

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,
INFORMÁTICA Y MECÁNICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO
REMOTO DE TEMPERATURA DENTRO DE LOS CONGELADORES
INDUSTRIALES APLICANDO IoT**

PRESENTADO POR:

Br. PEDRO RODRIGO TAPARA APAZA

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

ASESOR:

M. Sc. LUIS JIMENEZ TRONCOSO

CUSCO - PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO REMOTO DE TEMPERATURA DENTRO DE LOS CONGELADORES INDUSTRIALES APLICANDO IOT

presentado por: PEDRO RODRIGO TAPARD con DNI Nro.: 79373941 presentado por: con DNI Nro.: para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO ELECTRONICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 9%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 10 de ENERO de 2025



Firma

Post firma Luis Jiménez Troncoso

Nro. de DNI 08275751

ORCID del Asesor 0000-0001-6414-9742

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:418499053

Pedro Rodrigo Tapara Apaza

VOLUMEN DE TESIS_FINAL CORREGIDO PEDRO TAPARA 2024.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:418499053

Fecha de entrega

23 dic 2024, 10:20 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

23 dic 2024, 11:19 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

VOLUMEN DE TESIS_FINAL CORREGIDO PEDRO TAPARA 2024.pdf

Tamaño de archivo

4.9 MB

160 Páginas

26,796 Palabras

155,595 Caracteres

9% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Trabajos entregados

Fuentes principales

- 9%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
17 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.
-  **Texto oculto**
26 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

PRESENTACIÓN

Estimado Dr. Lauro Enciso Rodas, Decano de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Mecánica e Informática.

Honorable jurado,

En cumplimiento de los requisitos establecidos en el reglamento de grados y títulos de la facultad, me presento ante ustedes para optar al título de Ingeniero Electrónico. Esta tesis, titulada “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO REMOTO DE TEMPERATURA DENTRO DE LOS CONGELADORES INDUSTRIALES APLICANDO IoT”, representa no solo el cumplimiento de los requisitos académicos, sino también un aporte significativo en el ámbito de la ingeniería aplicada a la industria de refrigeración.

El trabajo se realizó en la Corporación Rico S.A.C., con el objetivo de optimizar el monitoreo de temperatura en congeladores industriales mediante un sistema de monitoreo remoto basado en la tecnología IoT. Este sistema permite registrar temperaturas en tiempo real, mejorar la precisión de las lecturas y reducir la pérdida de productos por desajustes en la refrigeración.

Con la convicción de que el presente documento contribuye tanto al conocimiento académico como a la aplicación industrial de tecnologías avanzadas, someto esta tesis a su consideración y evaluación.

Convencido de que este proyecto de tesis representa un aporte valioso para la industria y la ingeniería, presento esta tesis para su consideración. Confío en que su evaluación reafirmará cómo un pequeño avance tecnológico puede resolver grandes desafíos industriales, optimizando sistemas de refrigeración y mejorando la eficiencia en la gestión de recursos.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis, en primer lugar, a Dios, por guiarme en cada paso de este camino, brindándome la fortaleza y la fe necesarias para superar los desafíos. A mi madre, Rufina Apaza Soto, quien, con su apoyo incondicional, me ha enseñado que nunca debemos rendirnos ante las dificultades de la vida. Gracias a ella, he aprendido que, con esfuerzo y dedicación, todo lo que uno se propone es posible.

A mis hermanos, quienes han sido una fuente invaluable de inspiración y motivación a lo largo de este trayecto.

A mis profesores y amigos, por sus consejos, motivación constante y por estar presentes en los momentos clave de este proyecto.

Finalmente, agradezco, a la vida y a mí mismo por no rendirme ante las adversidades. Este logro es el reflejo de perseverancia, fe y dedicación.

Pedro Rodrigo Tapara Apaza

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a quienes hicieron posible la culminación de esta tesis. A mis amigos y compañeros del círculo de estudios Biotronik UNSAAC, en especial a Andrés, Bernabé, Luis, Claudio, Alonso y Max, por su amistad, apoyo y generosidad al compartir sus conocimientos. A mi asesor, M.Sc. Luis Jiménez Troncoso, y al Dr. Ing. Walter Mego, por su guía y sabios consejos que fueron clave en este proceso.

A todos mis amigos de Ingeniería Electrónica, gracias por los momentos compartidos de estudio y apoyo. A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, quienes con su experiencia y dedicación contribuyeron a mi formación.

Finalmente, agradezco a todos en la compañía Rico Pollo, por su apoyo y amabilidad al permitirme realizar este trabajo en sus instalaciones, enseñándome a perseverar para lograr grandes objetivos.

Gracias a todos por formar parte de este logro.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de tesis se enfoca en el diseño e implementación de un sistema de monitoreo remoto de temperatura en congeladores industriales, utilizando tecnologías IoT. Este proyecto busca optimizar el monitoreo y supervisión de la temperatura en los sistemas de refrigeración, con el fin de registrar los valores reales de los congeladores, detectar fallas dentro de los congeladores y así poder evaluar de mejor manera la pérdida de la merma en los productos.

El desarrollo de este trabajo se estructura en cinco capítulos, los cuales cubren desde los fundamentos teóricos hasta el análisis de costos de implementación. A continuación, se presenta una breve descripción de los capítulos que conforman la tesis:

Capítulo 1, este capítulo ofrece una visión general del proyecto, incluyendo el planteamiento del problema, los objetivos generales y específicos, y la justificación de la investigación. Además, se detallan los alcances y limitaciones del sistema propuesto, estableciendo un marco claro para el desarrollo del trabajo.

Capítulo 2, en este capítulo se realiza una revisión de la literatura relacionada a la tecnología IoT. Se analizan las tecnologías IoT más relevantes, los principios de monitoreo de temperatura, los sensores, microcontroladores y protocolos de comunicación empleados en este tipo de aplicaciones, como el ESP32 y el protocolo MQTT. También se revisa el uso de plataformas en la nube para la visualización de datos en tiempo real.

Capítulo 3, en este capítulo se describe el diseño del sistema de monitoreo, dividido en dos subsistemas, el subsistema de adquisición de datos incluye la integración de los sensores de temperatura al microcontrolador ESP32 utilizando componentes electrónicos, que procesan las lecturas de temperatura y filtra los datos a la nube. El subsistema de comunicación se encarga de transmitir los datos a la nube a través de MQTT, donde pueden ser visualizados en tiempo real

mediante la plataforma Adafruit IO. Este capítulo incluye diagramas de flujo y el código utilizado para la programación del microcontrolador.

Capítulo 4, este capítulo presenta las pruebas realizadas para validar el sistema, en entornos reales dentro de congeladores industriales. Se evalúa la precisión de las mediciones, la capacidad de detectar fallos, y la estabilidad de la conexión de datos. Asimismo, se compara el rendimiento del sistema IoT con los métodos tradicionales de monitoreo, mostrando las ventajas del nuevo sistema en términos de eficiencia y reporte de eventos en tiempo récord.

Capítulo 5, en este capítulo se realiza un análisis genérico de los costos involucrados en la implementación del sistema de monitoreo. Se detallan los costos de hardware, software, desarrollo y mantenimiento. Además, se lleva a cabo un análisis costo-beneficio que evalúa el impacto económico del sistema en la reducción de pérdidas de productos. Se demuestra que, aunque el costo inicial de implementación es considerable, los ahorros a largo plazo justifican la inversión, especialmente en entornos industriales de gran escala.

La estructura de esta tesis permite abordar de manera integral el diseño e implementación de un sistema de monitoreo de temperatura basado en IoT, destacando su impacto positivo en la industria.

RESUMEN

El presente trabajo de tesis se enfoca en el diseño e implementación de un sistema de monitoreo remoto de temperatura basado en la tecnología IoT, aplicado a congeladores industriales en una de las tiendas de la Empresa Rico Pollo. El objetivo principal es monitorizar la temperatura y el estado de funcionamiento del congelador.

El sistema desarrollado utiliza un microcontrolador ESP32 y un sensor de temperatura SB 70, integrados a la plataforma Adafruit IO, para obtener lecturas de temperatura, además de un sensor de corriente que identifica el estado de funcionamiento del congelador. A través de un algoritmo eficiente, los datos son recolectados y enviados a la nube en tiempo real, lo que facilita su monitoreo continuo desde cualquier dispositivo con acceso a internet.

Los resultados demostraron que el sistema de monitoreo IoT presenta una mejora significativa en comparación con el método tradicional de registro manual. En el método tradicional, se reportaba un margen de error promedio de ± 5 °C, mientras que el sistema IoT redujo este margen a ± 0.5 °C, mejorando la precisión de las mediciones en un 90 %. Además, el sistema IoT registra temperaturas cada 5 segundos, en comparación con las 2 lecturas manuales diarias del método tradicional, lo que representa un incremento del 99.99 % en la frecuencia de monitoreo.

En términos de detección de fallas, el nuevo sistema permitió identificar anomalías en un tiempo promedio de 15 minutos, mientras que el método tradicional requería hasta 4 horas para detectar fallas, lo que supone una mejora del 93.75 %.

En conclusión, la implementación del sistema de monitoreo remoto basado en IoT no solo ha mejorado la precisión de las mediciones y la rapidez en la detección de fallas, sino que también prevenir significativamente las pérdidas económicas asociadas a la merma de productos.

Palabras clave: IoT, Adafruit IO, Merma.

ABSTRACT

This thesis focuses on the design and implementation of a remote temperature monitoring system based on IoT technology, applied to industrial freezers in one of Rico Pollo's stores. The main objective is to monitor the temperature and operating status of the freezer.

The developed system uses an ESP32 microcontroller and an SB 70 temperature sensor, integrated into the Adafruit IO platform, to obtain temperature readings, in addition to a current sensor that identifies the operating status of the freezer. Through an efficient algorithm, the data is collected and sent to the cloud in real time, which facilitates its continuous monitoring from any device with internet access.

The results showed that the IoT monitoring system presents a significant improvement compared to the traditional manual recording method. In the traditional method, an average error margin of ± 5 °C was reported, while the IoT system reduced this margin to ± 0.5 °C, improving the accuracy of the measurements by 90 %. In addition, the IoT system records temperatures every 5 seconds, compared to the 2 manual readings per day of the traditional method, which represents a 99.99 % increase in monitoring frequency.

In terms of fault detection, the new system allowed anomalies to be identified in an average time of 15 minutes, while the traditional method required up to 4 hours to detect faults, which represents an improvement of 93.75 %.

In conclusion, the implementation of the IoT-based remote monitoring system has not only improved the accuracy of measurements and the speed of fault detection, but also significantly prevented economic losses associated with product shrinkage.

Keywords: IoT, Adafruit IO, Shrinkage.

INDICE

PRESENTACIÓN.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
INTRODUCCIÓN	V
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1. TÍTULO	9
1.1.1. Lugar geográfico.....	9
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.2.1. Formulación del problema	13
1.3. OBJETIVOS	13
1.3.1. Objetivo general.....	13
1.3.2. Objetivos específicos	13
1.4. JUSTIFICACIÓN	14
1.5. ALCANCES	15
1.6. LIMITACIONES	16
1.7. PARAMETROS.....	16
1.8. METODOLOGÍA.....	16
1.8.1. Método y alcance de la investigación	16
1.8.2. Alcance del método.....	17

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ESTADO DEL ARTE.....	18
2.2. SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN	21
2.3. EL INTERNET DE LAS COSAS (IoT).....	21
2.4. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN PARA IoT	22
2.4.1. MQTT (Message Queuing Telemetry Transport).....	22
2.4.2. HTTP/HTTPS (Hypertext Transfer Protocol / Secure)	23
2.4.3. CoAP (Constrained Application Protocol)	23
2.4.4. LoRaWAN (Long Range Wide Area Network)	23
2.4.5. Comparación de protocolos de comunicación	24

2.5.	MICROCONTROLADORES CON TECNOLOGÍA IoT.....	24
2.5.1.	Tipos de arquitecturas de microcontroladores con IoT.....	25
2.5.2.	Selección de un microcontrolador	25
2.5.3.	Tipos de microcontroladores en tecnología IoT	26
2.5.4.	Principales fabricantes de microcontroladores	26
2.6.	MODEM DE INTERNET	26

CAPÍTULO III: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO

3.1.	SITUACIÓN ACTUAL DE LOS CONGELADORES INDUSTRIALES EN LAS TIENDAS DE LA EMPRESA	28
3.1.1.	Mantenimiento de los congeladores industriales	29
3.2.	REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA DE MONITOREO	30
3.2.1.	Subsistema de adquisición de datos.....	31
3.2.2.	Subsistema de comunicación y visualización de datos.....	33
3.3.	DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO IoT.....	35
3.4.	DESCRIPCIÓN DE LOS SUB SISTEMAS DE MONITOREO	35
3.4.1.	Subsistema 1: Adquisición de datos	35
3.4.2.	Subsistema 2: comunicación y visualización.....	52
3.5.	CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO IoT.....	61
3.5.1.	Sistema de comunicación.....	61
3.5.2.	Desarrollo de la placa electrónica.....	62
3.5.3.	Sistema de medición de temperatura	63
3.5.4.	Sistema de monitoreo.....	63
3.6.	DISEÑO DEL PROTOTIPO	64
3.6.1.	Diagrama de bloques del sistema.....	64
3.6.2.	Diseño del circuito electrónico	66
3.6.3.	Reguladores de voltaje LM2596.....	67
3.6.4.	Acoplamiento de señal.....	67
3.6.5.	Convertidor ADS1115.	69
3.6.6.	Microcontrolador ESP32	71
3.7.	DISEÑO DEL SOFTWARE PARA EL ESP32	73
3.7.1.	Diagrama de flujos del sistema de monitoreo.....	73
3.7.2.	La aproximación lineal	81
3.7.3.	Pasos para realizar la aproximación lineal.....	82
3.7.4.	Método de los mínimos cuadrados.	82
3.8.	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....	91
3.8.1.	Montaje del hardware	91
3.8.2.	Programación del ESP32	92
3.9.	DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO PARA SEIS CONGELADORES INDUSTRIALES	93
3.9.1.	Descripción general del sistema de monitoreo	93
3.9.2.	Topología de red estrella.....	93

3.9.3.	¿Por qué no utilizar otra topología?	94
3.9.4.	Tasa de transmisión de datos	95
3.9.5.	Ancho de banda.....	95
3.9.6.	Comunicación entre los módulos ESP32 y la nube	96
3.9.7.	Sistema de adquisición de datos	96
3.9.8.	Escalabilidad del sistema	97
3.9.9.	Consumo de energía del ESP32.....	97
3.9.10.	Estimación del consumo en modo activo.....	97
3.9.11.	Estimación del consumo en modo inactivo	98
3.9.12.	Consumo total de los 6 ESP32.....	98

CAPITULO IV: PRUEBAS Y VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO

4.1.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	99
4.1.1.	Pruebas de medición de temperatura	99
4.1.2.	Pruebas de comunicación Wi-Fi	99
4.1.3.	Pruebas de transmisión de datos a Adafruit IO.....	100
4.2.	PRUEBAS DE CAMPO EN EL CONGELADOR INDUSTRIAL	102
4.2.1.	Instalación del sistema de monitoreo en el congelador	102
4.2.2.	Monitoreo de temperatura en tiempo real.....	103
4.2.3.	Evaluación de la precisión del sistema	104
4.3.	VALIDACIÓN DEL SISTEMA.....	108
4.3.1.	Comparación con métodos de monitoreo tradicionales	108
4.3.2.	Análisis de la fiabilidad del sistema.....	111
4.3.3.	Evaluación del cumplimiento de los objetivos	111

CAPITULO V: ANÁLISIS DE COSTOS

5.1.	COSTOS DE HARDWARE.....	113
5.1.1.	Componentes electrónicos	113
5.1.2.	Sensores	114
5.1.3.	Materiales para la implementación	114
5.2.	COSTOS DE SOFTWARE	115
5.2.1.	Licencias y suscripciones.....	115
5.2.2.	Desarrollo de software personalizado.....	115
5.3.	COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN	116
5.3.1.	Mano de obra	116
5.3.2.	Instalación y configuración.....	116
5.4.	ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO EN SEIS CONGELADORES INDUSTRIALES	118
5.4.1.	Pérdidas por merma en productos frescos (septiembre de 2023)	118
5.4.2.	Análisis de pérdidas posteriores a la implementación del sistema de monitoreo	119
5.4.3.	Proyección de reducción de pérdidas en los seis congeladores	119
5.4.4.	Análisis de costos de implementación	120
5.4.5.	Beneficio neto y retorno de la inversión (ROI)	121

5.5. Propuesta económica de la implementación del sistema de monitoreo en las 80 tiendas de la empresa.....	121
5.5.1. Ahorro proyectado y distribución de tiendas.....	121
5.5.2. Costos de mantenimiento preventivo y correctivo.....	122
5.5.3. Retorno de la inversión (ROI).....	123
5.5.4. Consideraciones para la gerencia.....	123
CONCLUSIONES.....	124
RECOMENDACIONES	126
BIBLIOGRAFIA.....	127
ANEXOS.....	133
Anexo A: Hoja técnica del sensor de temperatura SB-70.....	134
Anexo B: Hoja técnica del sensor de corriente SCT-013-010.....	135
Anexo C: Hoja técnica del convertidor análogo – digital ADS1115.....	136
Anexo D: Hoja técnica del microcontrolador ESP32 – WROOM – 32E.....	137
Anexo E: Hoja técnica del amplificador operacional LM358	140
Anexo F: Hoja técnica del regulador de voltaje de 5 voltios LM7805	142
Anexo G: Hoja técnica del regulador de voltaje DC - DC LM2596	144
Anexo H: Código de programación del sistema desarrollado	145
Anexo I: Cuaderno de registro de temperaturas con el método tradicional.....	149

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Ubicación de la tienda Rico Pollo avenida de La Cultura número 742.</i>	9
Figura 2 <i>Modem smart Wi-Fi 2.4 Ghz y 5 Ghz.</i>	27
Figura 3 <i>Estructura del sistema de monitoreo de congeladores.</i>	30
Figura 4 <i>Diagrama de conexiones detallado del sistema de monitoreo IoT.</i>	35
Figura 5 <i>Sensor de temperatura SB-70.</i>	36
Figura 6 <i>Sensor de corriente SCT-013-010.</i>	37
Figura 7 <i>ADS1115 Convertidor analógico-digital ADC 16-Bit I2C.</i>	39
Figura 8 <i>Modulo ESP32.</i>	42
Figura 9 <i>FZ0430 Sensor de voltaje 0 V-25 V DC.</i>	45
Figura 10 <i>LM358N Amplificador operacional PDIP-8.</i>	46
Figura 11 <i>Regulador de voltaje LM7805.</i>	48
Figura 12 <i>LM2596 regulador de voltaje</i>	49
Figura 13 <i>Congelador industrial</i>	51
Figura 14 <i>Esquema del protocolo MQTT.</i>	54
Figura 15 <i>Estructura de un broker.</i>	54
Figura 16 <i>Plataforma Adafruit.</i>	60
Figura 17 <i>Placa electrónica diseñada en Easyeda.</i>	62
Figura 18 <i>Visualización y monitoreo desde la plataforma Adafruit.</i>	64
Figura 19 <i>Diagrama de bloques del sistema de monitoreo.</i>	65
Figura 20 <i>Esquemático completo del circuito electrónico.</i>	66
Figura 21 <i>Esquemático del circuito de acoplamiento de la señal de temperatura.</i>	68
Figura 22 <i>Esquemático del circuito convertidor ADS1115.</i>	70

Figura 23 <i>Esquemático del microcontrolador ESP32.</i>	72
Figura 24 <i>Diagrama de flujos del sistema de monitoreo remoto.</i>	74
Figura 25 <i>Diagrama de flujo de la función medición.</i>	75
Figura 26 <i>Diagrama de flujo de la función del motor.</i>	77
Figura 27 <i>Diagrama de flujo-Función temperatura.</i>	79
Figura 28 <i>Curva característica del sensor de temperatura.</i>	84
Figura 29 <i>Fotografía donde se observa el funcionamiento del del sistema de monitoreo.</i>	85
Figura 30 <i>Captura de pantalla de la configuración de los bloques de temperatura en Adafruit.</i> 87	
Figura 31 <i>Captura de pantalla de la configuración de los bloques de temperatura</i>	88
Figura 32 <i>Captura de pantalla de la configuración de los bloques del estado del ventilador</i>	89
Figura 33 <i>Captura de pantalla de la configuración de bloques del estado del congelador</i>	90
Figura 34 <i>Fotografía de la elaboración final de la placa electrónica.</i>	92
Figura 35 <i>Topología de red estrella.</i>	94
Figura 36 <i>Fotografía de la prueba del sistema de monitoreo en el laboratorio.</i>	101
Figura 37 <i>Fotografía de la implementación y conexión del sistema de monitoreo.</i>	103
Figura 38 <i>Verificación de la calibración del sistema de monitoreo.</i>	104
Figura 39 <i>Gráfica de la temperatura del sistema de monitoreo vs termómetro calibrado</i>	105
Figura 40 <i>Monitoreo y supervisión del congelador a través de la plataforma Adafruit Io.</i>	105
Figura 41 <i>Fotografía del indicador de temperatura registrado en el congelador.</i>	106
Figura 42 <i>Monitoreo y supervisión del congelador durante un evento de apertura de puerta.</i> .	107
Figura 43 <i>Fotografía del congelador donde se registra la temperatura</i>	107
Figura 44 <i>Registro de control de temperatura, método tradicional.</i>	109

Figura 45 *Comparación de las curvas registradas por el método tradicional y el sistema de monitoreo.* 110

Figura 46 *Gráfico circular mostrando la distribución porcentual de los costos del proyecto...* 117

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cuadro comparativo del SCT-013-010 y ACS712.....	38
Tabla 2 Cuadro comparativo del ADS1115 y MCP3008.....	40
Tabla 3 Cuadro comparativo de las características de los microcontroladores.....	43
Tabla 4 Cuadro comparativo de las características de seguidores de voltaje LM358 y TL082. .	47
Tabla 5 Cuadro comparativo de las características del LM7805 y el LM1117.	48
Tabla 6 Cuadro comparativo de las características del LM2596 y el LM2577.	50
Tabla 7 Tabla comparativa de plataformas IoT.	57
Tabla 8 Valores de voltaje registrados en el sensor en función a la temperatura.	81
Tabla 9 Costos de componentes electrónicos.	113
Tabla 10 Costos de sensores.....	114
Tabla 11 Costos de materiales para implementación.....	114
Tabla 12 Costos de licencias y suscripciones.	115
Tabla 13 Costos de desarrollo de software.	115
Tabla 14 Costos de mano de obra.....	116
Tabla 15 Costos de instalación y configuración.....	116
Tabla 16 Resumen de costos totales.....	117
Tabla 17 Productos almacenadas y perdida de merma del mes de septiembre del 2023.	119
Tabla 18 Comparación de perdida al 100 % y la reducción de la perdida al implementar el sistema de monitoreo.	120
Tabla 19 Ahorro mensual proyectado para las 80 tiendas después de la implementación del sistema de monitoreo.	122
Tabla 20 Costo de mantenimientos preventivos y correctivos en las 80 tiendas.....	123

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1. TÍTULO

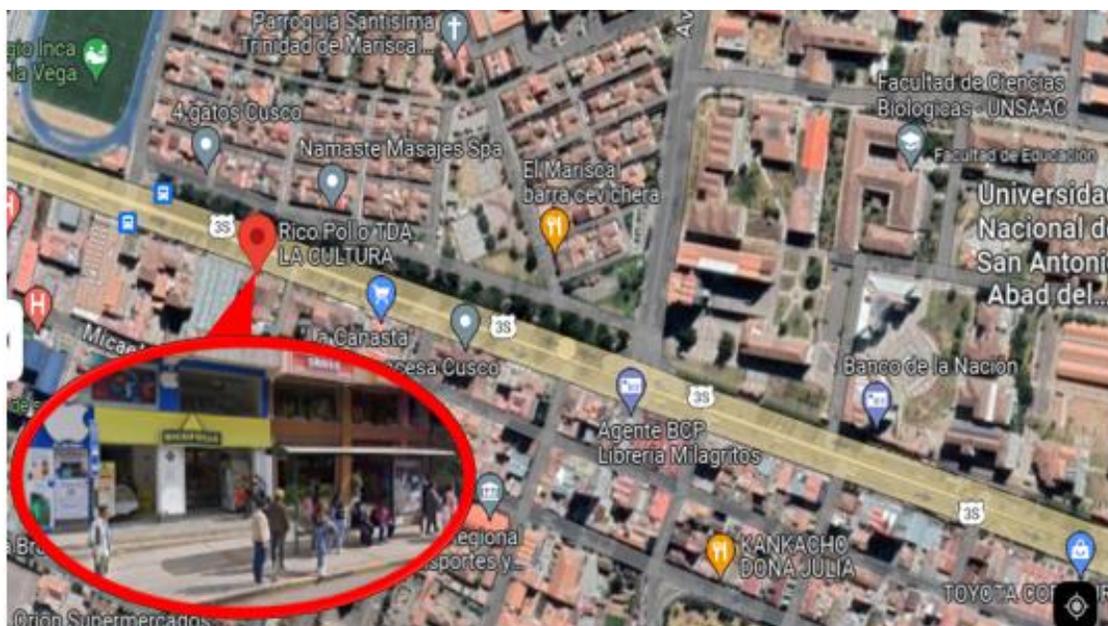
“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO REMOTO DE TEMPERATURA DENTRO DE LOS CONGELADORES INDUSTRIALES APLICANDO IoT”

1.1.1. Lugar geográfico

El proyecto de tesis se llevó a cabo en una de las tiendas de la Empresa Rico Pollo, ubicada en avenida de La Cultura número 742, dentro del distrito de Wanchaq, que forma parte de la provincia y departamento del Cusco. Las coordenadas geográficas de la tienda son aproximadamente $13^{\circ}31'19.5''$ de latitud y $71^{\circ}57'50.5''$ de longitud. En esta tienda, se dispone de 4 congeladores industriales y 2 exhibidores congeladores.

Figura 1

Ubicación de la tienda Rico Pollo avenida de La Cultura número 742.



Nota: Imagen extraída de Google Maps.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Rico Pollo es una empresa que trabaja desde 1967 en la crianza y producción de carne de pollo y cerdo. La empresa cuenta con extensas granjas de pollos y cerdos, plantas de producción y áreas de beneficio donde se procesan los pollos, cerdos y embutidos para su posterior consumo humano.

Dentro de la empresa, se ha identificado la problemática de la merma debido a la variación de temperatura en los productos frescos y congelados como un aspecto a abordar en este proyecto de tesis. La empresa considera un porcentaje de merma en la distribución de productos en la zona sur del país. En particular, durante el proceso de distribución desde la ciudad de Arequipa hasta la ciudad del Cusco, se admite una merma aceptable del 1 % en los productos. Posteriormente, en la etapa de distribución desde el almacén en Cusco hacia las diferentes tiendas de la ciudad, también se acepta una merma del 1 % debido a la manipulación y distribución del producto. Una vez que los productos llegan a las tiendas, la empresa considera una merma adicional del 1 % por la manipulación y venta de productos al cliente. Sin embargo, es importante destacar que este porcentaje de merma puede variar desde el 0.2 % hasta el 1.5 %, dependiendo de la justificación proporcionada por los vendedores de la tienda.

Es importante tener en cuenta que el incremento de la merma está directamente relacionado con las variaciones de temperatura dentro del congelador, lo que implica pérdidas económicas para la empresa. Por tanto, es necesario abordar este problema con el fin de reducir el porcentaje de merma y mantener las temperaturas adecuadas dentro de los congeladores. Por ello, se han identificado los siguientes problemas:

1. En relación con los congeladores industriales en cada tienda, su función principal es mantener los productos a temperaturas adecuadas y evitar un aumento en la merma. Sin embargo, se ha identificado que una de las principales justificaciones utilizadas por los

- vendedores de las tiendas es reportar y suponer que los congeladores están averiados o marcan temperaturas elevadas. Con base en esta justificación, se desconectan los congeladores, lo que ocasiona un incremento significativo de la merma en los productos.
2. El área de control de la empresa es responsable de gestionar estos incidentes. No obstante, actualmente no se cuenta con un sistema que permita identificar la temperatura y el funcionamiento de los congeladores de manera remota y en tiempo real; además, se desea verificar el correcto funcionamiento del congelador de forma inmediata. Esta falta de información inmediata provoca que los vendedores de la tienda reporten información inadecuada sobre los congeladores de forma tardía y, en muchas ocasiones, se desconectan los congeladores, argumentando que no funcionan. Los vendedores realizan estas acciones con el objetivo de incrementar la merma y, en ocasiones, para evitar pagar por el producto perdido.
 3. En relación con los congeladores industriales de las tiendas, se han identificado fallas eléctricas y mecánicas que afectan el correcto funcionamiento de los mismos. Las incidencias más comunes en el sistema de refrigeración son las siguientes:
 - Falla en el compresor: Esta se debe a que el contactor eléctrico está dañado y no activa el compresor, impidiendo que comprima y recircule el refrigerante dentro del sistema.
 - Problemas con los ventiladores: Los ventiladores son responsables de la circulación del refrigerante por todo el sistema de refrigeración. En ocasiones, estos ventiladores pueden presentar fallas que afectan la circulación y el enfriamiento adecuado del sistema.

- Controlador Full Gauge: El controlador Full Gauge regula y controla todo el sistema de refrigeración. Funciona como un termostato que activa y desactiva el compresor en función de la temperatura programada. Cualquier falla o mal funcionamiento del controlador puede afectar el ciclo de enfriamiento.
4. El congelador que se desea monitorizar debe mantenerse en un rango de temperatura de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. La etapa de descongelamiento ocurre cuando el congelador supera los $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. El congelador cuenta con un controlador Full Gauge, que activa el compresor y el ventilador para disminuir la temperatura hasta $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Una vez alcanzada esta temperatura, se procede a la etapa de descongelamiento, en la que el controlador desactiva el compresor y el ventilador. Este ciclo se repite para mantener los rangos de temperatura. Sin embargo, en ocasiones pueden existir fugas de refrigerante, lo que impide que el congelador disminuya la temperatura adecuadamente, provocando que el compresor y el ventilador funcionen de manera continua. Esta situación es problemática cuando el personal de la tienda no reporta las fallas de forma inmediata.
 5. Los vendedores de la tienda, entre sus obligaciones, deben monitorear visualmente las temperaturas de los congeladores a intervalos regulares al ingresar y al cerrar la tienda. Esto representa un problema, ya que, en muchas ocasiones, los vendedores no reportan las fallas de forma inmediata o, en el peor de los casos, proporcionan información incorrecta.

Esta problemática también se observó en la tesis de Ballestas Ortega (2019), titulada Diseño de un sistema de monitoreo de fallas para equipos de refrigeración. En su estudio, Ballestas aborda la conservación de productos perecibles en congeladores y las dificultades para monitorizar

la temperatura. Además, menciona que si un congelador falla, podría ocasionar grandes pérdidas económicas para la empresa, ya que los productos se descongelan, rompiendo la cadena de frío y aumentando la merma, lo que lleva a la pérdida del producto por mal almacenamiento (Ortega, 2019).

1.2.1. Formulación del problema

El monitoreo de la temperatura y el funcionamiento de los congeladores industriales de la Empresa Rico Pollo presenta información registrada manualmente de manera imprecisa. Esta información puede ser alterada deliberadamente por los vendedores de la tienda.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de monitoreo remoto de temperatura mediante una arquitectura IoT para proporcionar información actualizada sobre el estado de funcionamiento de un congelador industrial en tiempo real al área de control de la Empresa Rico Pollo.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diseñar un subsistema de adquisición de datos de temperatura para registrar la temperatura del congelador utilizando un microcontrolador compatible con IoT.
- Desarrollar un algoritmo para recolectar y almacenar los datos del sensor de temperatura en la nube mediante un software especializado en tecnologías IoT.
- Implementar una interfaz web para visualizar los datos de temperatura del congelador en tiempo real a través de un computador instalado en el área de control de la empresa Rico Pollo.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Desde el punto de vista tecnológico, y aprovechando los avances constantes en la tecnología IoT y la industria 4.0, surge la idea de implementar un sistema de monitoreo de los congeladores en las tiendas de la empresa. Todo esto con el fin de que el área de control y monitoreo pueda supervisar de mejor manera la temperatura dentro de los congeladores y su correcto funcionamiento; además, asegurar que los vendedores de las tiendas reporten información precisa sobre el estado de los congeladores. Cabe mencionar que las tiendas de la empresa cuentan con diferentes tipos de congeladores, cada uno destinado a un tipo específico de producto:

- El exhibidor de productos congelados se encuentra entre $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ de temperatura.
- El exhibidor de productos frescos se encuentra entre $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ de temperatura.
- El exhibidor de productos embutidos se encuentra entre $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ de temperatura.

La implementación de un sistema de monitoreo remoto permitirá garantizar que cada congelador se mantenga en las condiciones óptimas de temperatura, evitando así el incremento de la merma en los productos.

Desde el punto de vista económico, la implementación de este sistema de monitoreo remoto de los congeladores industriales de la empresa tendrá un impacto positivo. Al evitar que los congeladores se mantengan fuera del rango de temperatura deseado, se reducirá significativamente el incremento de la merma en los productos y la posible descomposición del producto.

Estas pérdidas de productos representan una gran cantidad de dinero para la empresa. Al contar con un sistema de monitoreo remoto en tiempo real, se podrán detectar de manera temprana las fallas en los congeladores y las temperaturas a las que se encuentran, lo que permitirá tomar acciones rápidas para solucionar los problemas antes de que se presenten pérdidas significativas.

Además, al contar con datos precisos y confiables sobre las temperaturas de los congeladores, los vendedores de la tienda podrán justificar de manera más precisa el exceso de

merma reportado. Esto ayudará a reducir el monto que deben pagar por las auditorías realizadas por los controladores, ya que se podrá demostrar que las condiciones de almacenamiento de los productos se encuentran dentro de los parámetros establecidos.

La empresa demuestra su disposición a la innovación tecnológica al buscar implementar este sistema de monitoreo, lo que refuerza su compromiso con la mejora continua y la búsqueda de soluciones eficientes para optimizar sus procesos y reducir costos.

En conclusión, la implementación de este sistema de monitoreo remoto no solo ahorrará miles de soles a la empresa al reducir el porcentaje de merma reportado por las tiendas y las pérdidas de productos, sino que también ayudará a los vendedores de la tienda a justificar la merma y disminuir los costos asociados a las auditorías. Además, demuestra el enfoque de la empresa hacia la innovación y la búsqueda constante de mejoras en la conservación del producto.

1.5. ALCANCES

El desarrollo del proyecto de monitoreo de temperatura en los congeladores industriales se llevará a cabo en una tienda piloto ubicada en la avenida de La Cultura número 742, Cusco. Este proyecto piloto servirá como prueba para validar la eficacia y funcionalidad del sistema de monitoreo.

El proyecto está programado para ser implementado en el segundo trimestre de 2024 en una tienda piloto de Rico Pollo. Durante este período, se realizarán pruebas, ajustes y mejoras necesarias para asegurar el uso exitoso del sistema.

Con la implementación de este sistema, se proporcionará a la empresa una mejor supervisión y control sobre la temperatura de los congeladores, lo que contribuirá a reducir las pérdidas de productos y el incremento de la merma. Para llevar a cabo las pruebas piloto y la implementación del sistema de monitoreo de temperatura en los congeladores, se contará con la

colaboración de las áreas de informática, sistemas y mantenimiento de equipos de frío. Estas áreas desempeñarán un papel fundamental en la realización de las pruebas iniciales y en la configuración adecuada del sistema de monitoreo.

Durante las pruebas piloto, se buscará lograr la mejor conectividad y evitar interferencias en la red de internet de la tienda. Esto implica garantizar un flujo de transmisión estable para la transmisión de datos de temperatura de los congeladores y su funcionamiento.

1.6. LIMITACIONES

El sistema de monitoreo remoto conservara la información de temperatura de los congeladores por un período de 30 días.

La implementación de sistema de monitoreo solo abarcará un congelador.

1.7. PARAMETROS

- Flujo de datos de transmisión.
- Rangos de temperatura dentro del congelador.
- Voltaje de sensor de temperatura.
- Incidentes reportados por fallas en el compresor o ventilador dentro del congelador,

mediante el sistema de monitoreo durante el periodo de 1 meses.

1.8. METODOLOGÍA

1.8.1. Método y alcance de la investigación

Este trabajo de tesis hace uso del método experimental y, con base en este método, se desarrollará el diseño e implementación del sistema de monitorización remota de la temperatura en los congeladores industriales de una de las tiendas de la empresa.

1.8.2. Alcance del método

El método experimental a emplear se basará en las siguientes etapas:

- **Levantamiento de información:** Esta es la primera y la más fundamental etapa para la proyección de los lineamientos que se seguirán en el resto de las etapas. En esta etapa, se recopilará toda la información necesaria del proyecto a implementar, como, por ejemplo, los rangos de voltaje que circulan por el sensor SB-70 a determinadas temperaturas.
- **Diseño:** En esta etapa, se diseñará el prototipo del sistema de monitorización remota de temperatura utilizando los datos de tensión obtenidos en la etapa anterior. Además, se desarrollará una función que relacione la tensión en función de la temperatura a monitorizar.
- **Construcción:** Se construirá el modelo del sistema de monitoreo remoto para contrastar su funcionalidad y conectividad a la nube.
- **Implementación:** Se implementará el sistema de monitoreo remoto para garantizar su operatividad y funcionamiento, en el cual se habrán realizado todas las pruebas y ajustes necesarios, obteniendo los valores de temperatura de manera remota.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ESTADO DEL ARTE

Según Boné et al. (2022) realizó la implementación de un sistema de monitoreo remoto de temperatura y humedad en las ciudades de Santo Domingo y Esmeralda, utilizando el microcontrolador ESP32-DevKit V4 y un sensor DHT11, la programación se realizó con el lenguaje Python y utilizando uno de los protocolos de comunicación MQTT más utilizados para la transferencia de datos de manera inalámbrica, además todo este trabajo se implementó en una aplicación web Node Red, sin embargo el servidor que utilizo es CloudAMQP, un servidor muy diferente al que queremos implementar en nuestro trabajo ya que nosotros utilizaremos Adafruit, el objetivo de este proyecto fue conocer las temperaturas y humedades de 2 ciudades distintas mediante IoT, y utilizando protocolos de comunicación distintas, en este caso se desarrolló varias pruebas con 2 protocolos de comunicación distintas y se determinó que protocolo era el adecuado y tenía menor tiempo de retardo en recibir los datos, se comparó el protocolo MQTT y AMQP, quedando demostrado que el protocolo MQTT tiene un menor tiempo de respuesta, este trabajo fue desarrollado por la “Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas” ubicada en Ecuador. (Boné Andrade, Rodríguez Vizuete, Mora Olivero, & Sosa Calero, 2022).

En el trabajo realizado por Espinosa et al. (2021) “Desarrollo de aplicaciones de monitoreo y control basado en IoT a través de la plataforma Ubidots. aplicaciones a sistemas de automatización bajo entornos de simulación”, Tuvo como propósito principal desarrollar aplicaciones de control y monitoreo basadas en el “Internet of Things” (IoT), utilizando plataformas de simulación como Factory I/O que es una herramienta informática para crear procesos virtuales en 3D, estos procesos fueron monitorizadas remotamente a través de una página web, cabe resaltar que se usó plataformas como son Node Red y Ubidots para integrar los procesos

virtuales a la web y poderlos monitorizar remotamente, el objetivo principal de este proyecto de investigación fue contribuir y enriquecer los conocimientos sobre la tecnología IoT a los estudiantes pertenecientes a la Facultad de “Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador”, por otro lado cabe resaltar que este trabajo de investigación está basado en simulaciones y no se realizó ninguna implementación sin embargo este trabajo se tomó como referencia ya que hace uso de la plataforma Node Red y del protocolo MQTT, los cuales serán utilizadas en la implementación del proyecto que se desarrollara en este trabajo de investigación, este trabajo se desarrolló en la “Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca Ecuador”. (Espinoza Apolo & Orellana Guayas, 2021).

Salinas C. (2022) desarrolló e implementó el trabajo de tesis denominado: “Implementación de aplicaciones IoT usando el ESP32 y la plataforma Node Red con los servicios IFTTT, Webhook relay y google Home diseño e implementación de un prototipo para la medición de flujo vehicular utilizando sensores inductivos”, el objetivo principal fue el de desarrollar e implementar aplicaciones IoT haciendo uso del módulo “ESP32” y una de las plataformas web muy usadas Node Red, google home y webhook relay en este proyecto de tesis se logró implementar aplicaciones de IoT con el microcontrolador ESP32 con la activación y desactivación de relés, también la lectura de sensores DT21 y HSR04, estos son sensores de temperatura y distancia respectivamente, mediante un microcomputador RASBERRY PI se implementó la plataforma Node Red y haciendo uso del protocolo comunicación MQTT se integró la comunicación remota de estos dispositivos, cabe resaltar que este proyecto no fue aplicado a una problemática en específica de una industria o la humanidad, este trabajo fue desarrollado en el 2022 en la “Universidad Nacional de Piura en Facultad de Ingeniería Electrónica y

Telecomunicaciones”, cabe resaltar que la industria 4.0 y el IoT son tecnologías que recién se están implementado (Salinas Castillo, 2022).

Por otra parte Villanueva B.(2021) desarrolló e implementó el proyecto de tesis “Diseño e implementación a nivel prototipo de un sistema IoT de recolección de información sobre la ocupación de zonas rígidas vehiculares en la ciudad del Cusco” aquí se desarrolló el diseño e implemento de un prototipo electrónico de un sistema IoT encargado de recolectar información sobre la disposición de zonas vehiculares restringidas en la ciudad del Cusco, el objetivo fue conocer la ocupación de zonas rígidas y el flujo vehicular de la ciudad del Cusco utilizando tecnologías IoT, este trabajo utilizo para su desarrolló la tecnología LoRaWAN sus módulos de comunicación inalámbrica también utilizo nodos terminales como componentes del sistema de comunicación, estos se instalaron estratégicamente en lugares para tener una cobertura al área de estudio, y el nodo sensor que fue instalada por diferentes lugares de la ciudad del cusco con la finalidad de detectar la presencia o ausencia de un vehículo estacionado en un lugar prohibido, por otro lado se utilizó la plataforma Node Red y Google Map como software para monitorizar los espacios rígidos ocupados por vehículos, cabe resaltar que la tecnología que se aplicó a este trabajo de tesis es LoRaWAN, y la tecnología que se usará en nuestro trabajo de tesis será el microcontrolador ESP32. Este trabajo de tesis fue implementado y desarrollado en la “Universidad Nacional San Antonio de Abad del Cusco en la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica”. (Villanueva Bayona, 2021).

2.2. SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

La refrigeración es el procedimiento utilizado para que un cuerpo adquiriera una temperatura inferior a la del ambiente que lo rodea, es decir, que se enfríe. Estos procesos se utilizan en la refrigeración de equipos frigoríficos (Tecnología, s.f.).

Este sistema de refrigeración consiste en un motor compresor que comprime el aire proveniente del evaporador y lo envía al condensador. El proceso de refrigeración implica la absorción de calor que ocurre cuando el refrigerante se evapora dentro del sistema de refrigeración. Este calor se transfiere al condensador, que es el paso final del proceso de refrigeración (Tecnología, s.f.).

- **Compresor:** Tiene como finalidad aumentar la presión del gas proveniente del evaporador y convertirlo en líquido (líquido refrigerante).
- **Condensador:** Es un tubo largo en forma de serpentín que se encuentra en el exterior del frigorífico. Su función principal es ceder el calor del gas refrigerante al exterior, lo que permite que este gas se convierta en líquido refrigerante a alta presión. Por esta razón, es necesario disminuir la presión del líquido para continuar con el proceso.
- **Válvula de expansión:** Es la encargada de disminuir la presión y la temperatura del líquido refrigerante proveniente del condensador. Además, suministra al evaporador la cantidad correcta de líquido refrigerante en cada momento (Tecnología, s.f.).

2.3. EL INTERNET DE LAS COSAS (IoT)

“El internet de las cosas (IoT)” es la interconexión de objetos electrónicos y eléctricos del mundo físico con diversos sitios web o aplicaciones móviles a través de internet. Estos sistemas del internet de las cosas (IoT) están integrados por sensores, actuadores y tecnología de comunicación. Esta tecnología puede utilizarse en diversos campos, como la industria, la sanidad

y el sector energético, y puede simplificar la creación de nuevas aplicaciones, así como mejorar las que ya están en uso. Un ejemplo de aplicación que hace uso del internet de las cosas es la supervisión de la temperatura de los congeladores industriales, en la cual los sensores se colocan en el mundo real y la información que recogen se comunica a la web mediante un protocolo de comunicación (Bonilla Fabela, Tavizón Salazar, Morales Escobar, Laines Alamina & Guajardo Muñoz, 2016).

Una arquitectura de IoT está conformada por tres capas principales:

- Capa física: Esta capa trabaja e interactúa con sensores, actuadores y microcontroladores.
- Capa de conectividad: Su finalidad es facilitar la conexión de dispositivos a la red y a los servidores web. Además, la función principal de esta capa es transmitir y analizar los datos recogidos por los sensores.
- Capa digital: También conocida como capa de procesamiento, se encarga de analizar y procesar las grandes cantidades de datos que se reciben directamente de la capa de conectividad.

2.4. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN PARA IoT

2.4.1. MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*)

MQTT es un protocolo ligero de mensajería diseñado para la comunicación máquina a máquina (M2M). Es altamente eficiente en cuanto al uso de ancho de banda, lo que lo convierte en una excelente opción para dispositivos IoT que requieren una transmisión de datos continua, pero con poco consumo de recursos. MQTT sigue un modelo publish/subscribe en el que los dispositivos pueden publicar datos en un "broker" y otros dispositivos pueden suscribirse para recibir estos datos en tiempo real. Es ideal para aplicaciones donde el bajo consumo de energía y la conectividad intermitente son críticos. (Llamas, 2019).

2.4.2. HTTP/HTTPS (*Hypertext Transfer Protocol / Secure*)

HTTP es el protocolo estándar utilizado en la web para la transmisión de datos. Aunque es fácil de implementar y ampliamente soportado, no es la opción más eficiente para aplicaciones IoT, ya que cada petición HTTP genera una sobrecarga considerable en términos de ancho de banda y energía. Sin embargo, para aplicaciones donde la seguridad es una prioridad, se puede usar HTTPS, que añade una capa de cifrado (SSL/TLS), asegurando que los datos se transmitan de manera segura. (Fielding, R., Gettys, J., Mogul, J., Nielsen, H., , 1999).

2.4.3. CoAP (*Constrained Application Protocol*)

CoAP es un protocolo ligero diseñado específicamente para dispositivos IoT con recursos limitados, como los microcontroladores. Utiliza un modelo de solicitud/respuesta similar a HTTP, pero con menos sobrecarga, lo que lo hace adecuado para aplicaciones en las que el consumo de ancho de banda es crucial. Además, CoAP soporta confirmación de mensajes, lo que asegura que los datos han sido correctamente entregados, una característica importante en aplicaciones críticas. (Shelby, Z., & Bormann, C, 2014).

2.4.4. LoRaWAN (*Long Range Wide Area Network*)

LoRaWAN es un protocolo de red diseñado para permitir la comunicación de larga distancia entre dispositivos IoT con bajo consumo de energía. Es particularmente útil en escenarios donde los dispositivos están dispersos en un área extensa y no requieren transmitir grandes volúmenes de datos de manera frecuente. Aunque no es adecuado para aplicaciones que necesitan transmisión continua de datos en tiempo real, LoRaWAN es una opción interesante para monitoreo remoto donde la energía es un recurso escaso. (Shelby, LoRa Alliance, 2015).

2.4.5. Comparación de protocolos de comunicación

- MQTT es la opción más eficiente para este tipo de proyecto de monitoreo en tiempo real, debido a su bajo consumo de recursos y capacidad para manejar transmisiones continuas.
- HTTP/HTTPS es más adecuado cuando la simplicidad y la seguridad de los datos son primordiales, aunque su uso en IoT puede no ser óptimo debido al alto consumo de ancho de banda.
- CoAP ofrece una alternativa eficiente similar a HTTP pero más optimizada para dispositivos con limitaciones.
- LoRaWAN se reserva para aplicaciones de largo alcance y bajo consumo, donde la transmisión de datos no es continua ni crítica en tiempo real.

2.5. MICROCONTROLADORES CON TECNOLOGÍA IoT

Un microcontrolador es una pequeña computadora en un solo circuito integrado (IC), compuesta por una unidad central de procesamiento (CPU), unidades de memoria, interfaces de entrada y salida, dispositivos periféricos, osciladores, módulos de comunicación, convertidores digital-analógico (DAC), convertidores analógico-digital (ADC) y otros componentes adicionales que le permiten realizar funciones especializadas en sistemas embebidos (Smelpro, 2020). Los microcontroladores se distinguen de los microprocesadores en que están diseñados específicamente para aplicaciones dedicadas, lo que los convierte en una elección común en sistemas IoT y otros dispositivos embebidos (Horowitz & Hill, 2015). A diferencia de las computadoras personales, que ejecutan sistemas operativos completos, los microcontroladores están destinados a realizar tareas específicas, como responder a señales de entrada, controlar actuadores y gestionar sensores en tiempo real (Malvino & Bates, 2019).

2.5.1. Tipos de arquitecturas de microcontroladores con IoT

Existen diferentes tipos de arquitecturas de microcontroladores que se utilizan en aplicaciones de IoT, entre las que destacan:

- Arquitectura de 8 bits: Utilizada en aplicaciones de IoT de baja complejidad donde se requieren tareas básicas de control y monitoreo. Ejemplos de microcontroladores de 8 bits incluyen el PIC16F y el ATmega 328, que es parte de la familia Arduino.
- Arquitectura de 16 bits: Ideal para aplicaciones de IoT que necesitan un equilibrio entre rendimiento y consumo de energía. Estos microcontroladores pueden manejar tareas más complejas que los de 8 bits, como la serie MSP430 de Texas Instruments.
- Arquitectura de 32 bits: Ofrece mayor potencia de procesamiento y es común en aplicaciones de IoT que requieren análisis de datos más sofisticados y conectividad avanzada. Microcontroladores como los de la familia ARM Cortex-M (por ejemplo, el ESP32) son ampliamente utilizados en proyectos de IoT por sus capacidades de procesamiento y comunicación integradas.

Estas arquitecturas permiten a los microcontroladores adaptarse a diferentes necesidades de los sistemas IoT, desde tareas simples de recopilación de datos hasta procesos complejos de análisis y control en tiempo real.

2.5.2. Selección de un microcontrolador

La elección del microcontrolador adecuado depende de factores específicos, como la capacidad de memoria, la cantidad de puertos de entrada y salida, los protocolos de comunicación, el consumo de energía, el lenguaje de programación y el presupuesto del proyecto (Smelpro, 2020). Estas características suelen detallarse en la hoja de datos o *datasheet*.

2.5.3. Tipos de microcontroladores en tecnología IoT

Existen diferentes tipos de microcontroladores utilizados en aplicaciones IoT. Los microcontroladores de 8 bits, aunque de capacidades limitadas, son efectivos en aplicaciones sencillas de baja demanda, mientras que los de 16 y 32 bits son más comunes en proyectos complejos de IoT, ya que permiten mayor velocidad de procesamiento y capacidades de comunicación avanzadas (Brown & Smith, 2019).

El ESP32 de Espressif Systems es uno de los microcontroladores más populares en aplicaciones IoT debido a su integración de Wi-Fi y Bluetooth, que permite una conectividad robusta y asequible para redes de dispositivos (Espressif Systems, 2021). Por otro lado, el STM32 de STMicroelectronics destaca por su bajo consumo de energía y flexibilidad en aplicaciones industriales, siendo utilizado en automatización, robótica y sistemas de control industrial (STMicroelectronics, 2020).

2.5.4. Principales fabricantes de microcontroladores

Algunos de los fabricantes líderes de microcontroladores incluyen STMicroelectronics, Espressif Systems, Microchip Technology y Texas Instruments. Espressif Systems ha ganado notoriedad en el campo de IoT con su serie ESP, mientras que STMicroelectronics es reconocido por la fiabilidad y eficiencia de sus microcontroladores STM32 (Maxim Integrated, 2019).

2.6. MODEM DE INTERNET

La tienda en la que se implementa el sistema de monitoreo de congeladores utiliza el servicio de Internet FTTH de Movistar, que ofrece una velocidad de conexión de 150 Mbps, más que suficiente para garantizar el funcionamiento del sistema de monitoreo de congeladores dentro de la tienda. Este servicio se complementa con el router Smart Wi-Fi 6 y un módem de doble banda

(2.4 GHz y 5 GHz), que juntos proporcionan una conectividad estable y adaptativa a las necesidades de la red (Movistar, 2022).

El router smart Wi-Fi 6, con su compatibilidad con el estándar Wi-Fi 6, mejora significativamente la velocidad y cobertura de la red, permitiendo hasta un 25 % de mayor alcance y una velocidad 3,5 veces superior a la de los modelos anteriores. La tecnología de doble banda, que incluye frecuencias de 2.4 GHz y 5 GHz, optimiza la conexión al permitir que los dispositivos cambien automáticamente entre bandas, manteniendo siempre la señal más estable. Además, el protocolo de seguridad WPA3 refuerza la protección de los datos en la red, y la función Wi-Fi roaming permite que los dispositivos se conecten sin interrupciones a la banda más adecuada según su ubicación dentro de la tienda (Fernández, 2022).

Con el respaldo del sistema de red en malla (*mesh*) de Movistar, el router se puede extender aún más utilizando el amplificador smart Wi-Fi, lo cual es ideal para cubrir todas las áreas de la tienda. Este sistema de conectividad avanzada no solo cumple con los requisitos de ancho de banda mínimos para el monitoreo de congeladores, sino que también proporciona una red confiable y de alta velocidad para otros dispositivos y actividades en la tienda (Movistar, 2022).

Figura 2

Modem smart Wi-Fi 2.4 Ghz y 5 Ghz.



Nota: Imagen extraída de (Movistar, 2022).

CAPÍTULO III: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO

3.1. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS CONGELADORES INDUSTRIALES EN LAS TIENDAS DE LA EMPRESA

En la actualidad, la tienda seleccionada para la implementación del prototipo del sistema de monitoreo cuenta con seis congeladores industriales, los cuales están distribuidos en tres unidades dedicadas al almacenamiento de productos frescos y tres unidades para productos congelados. Estos congeladores operan de forma ininterrumpida durante las 24 horas del día, los siete días de la semana. Cualquier interrupción en su funcionamiento puede comprometer la calidad y conservación de los productos, lo que representaría una pérdida significativa para la empresa.

Este aspecto planteó un desafío importante en la implementación del sistema de monitoreo, dado que no se podía interrumpir el funcionamiento de los congeladores durante el proceso de instalación del sistema. En ese sentido, se realizaron consultas con los supervisores de la tienda sobre la posibilidad de hacer modificaciones en la circuitería electrónica de los equipos para integrar el sistema de monitoreo. Sin embargo, dicha opción fue descartada, ya que los supervisores no aprobaron modificaciones en el hardware de los congeladores, argumentando que esto podría afectar su garantía y fiabilidad. Por ello, se optó por diseñar un sistema no invasivo que permitiera monitorizar la temperatura y el estado operativo de los congeladores sin alterar su estructura interna.

Adicionalmente, se ha identificado que actualmente el registro de temperaturas se realiza de forma manual dos veces al día, una en la apertura y otra en el cierre de la tienda. Los colaboradores son los encargados de anotar las lecturas de los congeladores en un cuaderno de registro; sin embargo, se ha observado que, en varias ocasiones, los datos registrados no son

correctos. Este método manual resulta ineficiente y propenso a errores, ya que no permite una monitorización continua en tiempo real, lo que incrementa el riesgo de que las variaciones de temperatura no sean detectadas a tiempo, comprometiendo la calidad de los productos almacenados.

3.1.1. Mantenimiento de los congeladores industriales

El mantenimiento de los congeladores industriales es gestionado por el área de equipos de frío, conformada por un supervisor y 10 técnicos especializados. En Cusco, dos técnicos se encargan de los mantenimientos preventivos y correctivos. El mantenimiento preventivo se realiza cada seis meses e incluye la revisión de componentes clave como el compresor, el sistema de ventilación y el refrigerante, asegurando el buen funcionamiento y prolongando la vida útil de los equipos.

El mantenimiento correctivo, por su parte, se lleva a cabo cuando un congelador presenta una falla, con un tiempo de respuesta promedio de uno a dos días. Durante este proceso, los técnicos diagnostican y reparan problemas como fugas de refrigerante o fallos en el sistema de compresión. Sin embargo, el registro manual de temperaturas y el tiempo de respuesta pueden provocar pérdidas en los productos almacenados.

Este contexto refleja la necesidad de un sistema de monitoreo en tiempo real como el propuesto, que no solo detectaría fallas al instante, sino que también permitiría una planificación más eficiente de los mantenimientos preventivos mediante el uso de datos históricos y alertas automáticas ante variaciones anómalas de temperatura.

3.2. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA DE MONITOREO

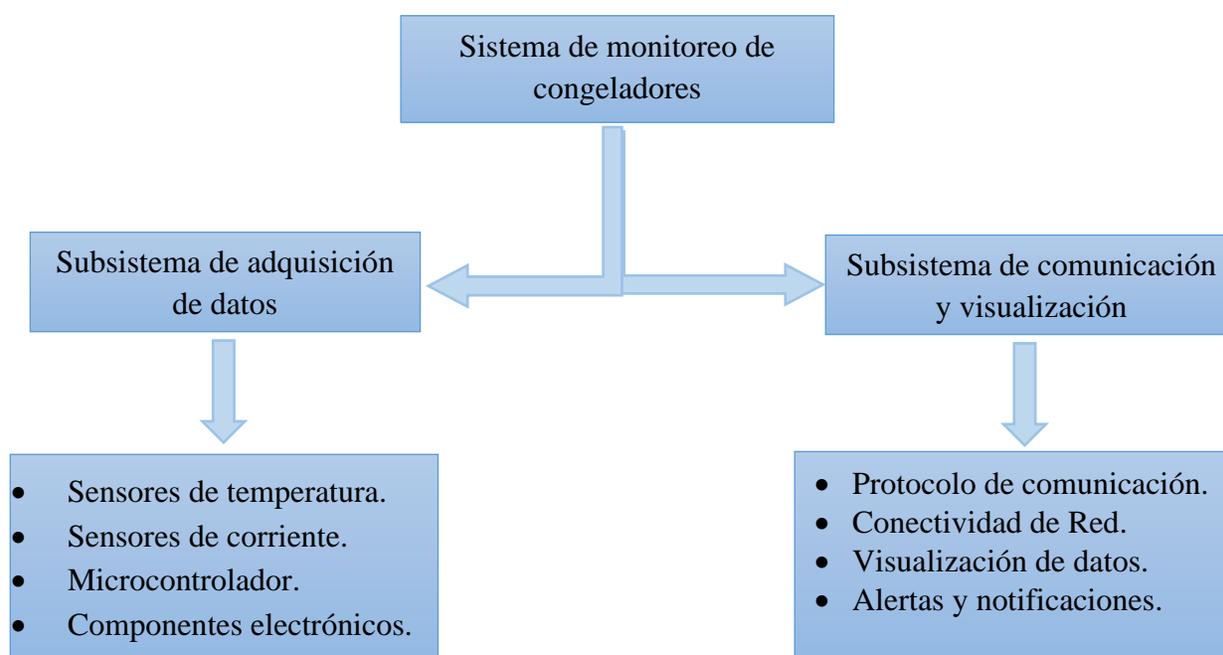
El sistema de monitoreo remoto propuesto para los congeladores industriales se compone de dos subsistemas principales:

El subsistema de adquisición de datos y el subsistema de comunicación y visualización de datos. Ambos subsistemas han sido diseñados para garantizar un monitoreo continuo, de la temperatura y el estado operativo del congelador.

En la actualidad, los congeladores industriales ya funcionan como sistemas de refrigeración independientes que operan de manera ininterrumpida, las 24 horas del día, los 7 días de la semana, para preservar los productos almacenados. Dado que estos sistemas son esenciales para el funcionamiento de la empresa, no es posible realizar modificaciones en su circuitería interna. Hacerlo podría afectar su rendimiento y, además, anular su garantía. Por este motivo, la integración del sistema de monitoreo debe ser no invasiva, es decir, debe poder implementarse sin alterar la infraestructura ya existente.

Figura 3

Estructura del sistema de monitoreo de congeladores.



3.2.1. Subsistema de adquisición de datos

Este subsistema tiene la función de capturar información esencial sobre el estado de los congeladores, sin necesidad de intervenir físicamente en el equipo. La adquisición de datos se realizará externamente, utilizando sensores específicos que no comprometan el sistema de refrigeración. Los principales requerimientos son los siguientes:

1. Sensores de temperatura:

- **Rango de medición:** Los sensores deben estar preparados para registrar temperaturas dentro del rango de $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, que es el intervalo necesario para mantener los productos en condiciones óptimas. Cualquier desviación fuera de este rango podría incrementar la merma o provocar la descomposición de los productos.
- **Precisión:** La exactitud en las mediciones es fundamental, por lo que se requiere una precisión mínima de $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esto asegura que se detecten incluso los cambios más sutiles de temperatura, brindando la oportunidad de tomar medidas correctivas antes de que los productos se vean afectados.
- **Durabilidad:** Dado el entorno industrial en el que se colocarán los sensores, es esencial que sean lo suficientemente robustos para soportar condiciones como vibraciones, cambios de humedad y variaciones de energía. Esto garantizará que los sensores sigan funcionando correctamente a lo largo del tiempo.

2. Sensores de corriente:

- **Sensor no invasivo:** Para monitorear el estado operativo del congelador, como el funcionamiento del compresor y del ventilador, se utilizarán sensores no invasivos. Esto significa que no será necesario hacer cambios en el diseño o la circuitería del equipo, lo que garantiza que los congeladores sigan operando de manera segura y eficiente.
- **Detección temprana de fallos:** Además de registrar el consumo de energía, los sensores deben estar preparados para detectar patrones irregulares que puedan indicar problemas en el sistema. Si se detecta un comportamiento anormal, el sistema generará una alerta para que los técnicos puedan intervenir rápidamente y evitar un fallo mayor.

3. Microcontrolador:

- **Operación continua:** El controlador del sistema debe funcionar de manera ininterrumpida, las 24 horas del día, los siete días de la semana, al igual que los congeladores. Esto garantizará que la supervisión sea constante y que cualquier cambio en las condiciones del equipo se registre en tiempo real.
- **Accesibilidad y costo:** La unidad de procesamiento debe ser asequible y de fácil acceso en el mercado, de manera que su implementación a gran escala no resulte costosa. Además, esto facilitará el mantenimiento o la sustitución de piezas en caso de ser necesario.
- **Capacidad de almacenamiento temporal:** En caso de que se pierda temporalmente la conexión con la red, el controlador debe ser capaz de almacenar los datos capturados durante 24 horas. Esto evitará la pérdida de información importante y permitirá que se recupere una vez se restablezca la comunicación.

3.2.2. *Subsistema de comunicación y visualización de datos*

El Subsistema de Comunicación y Visualización de Datos es el encargado de transmitir la información capturada por los sensores y hacerla accesible a los responsables del monitoreo. Dado que los congeladores operan de manera continua, es crucial que el monitoreo también lo sea, asegurando que los datos se transmitan y visualicen sin interrupciones.

1. Protocolo de comunicación:

- Eficiencia y seguridad: Se utilizará un protocolo de comunicación eficiente, como MQTT, que permite una transmisión rápida y fluida de los datos sin saturar el ancho de banda. Para proteger la información durante su envío, el sistema empleará encriptación SSL/TLS, lo que asegura que los datos no sean interceptados ni manipulados.

2. Conectividad de red:

- Estabilidad: La red debe ser estable y tener la cobertura necesaria para abarcar las áreas donde se encuentran los congeladores. Tanto la conexión Wi-Fi como Ethernet son opciones viables, siempre que garanticen una transmisión continua de los datos sin interrupciones.
- Escalabilidad: El sistema debe ser escalable, lo que significa que debe permitir la adición de más sensores o congeladores sin afectar la calidad de la transmisión. Esto es importante para que la empresa pueda expandir el sistema de monitoreo en el futuro sin necesidad de realizar cambios drásticos.

3. Visualización de datos:

- Almacenamiento de información: Los datos recogidos por los sensores deben almacenarse durante un periodo de al menos 30 días. Esto permite realizar análisis históricos y detectar posibles patrones de comportamiento del equipo que podrían anticipar fallos.
- Monitoreo en tiempo continuo: Los encargados del monitoreo deben poder acceder a una plataforma que les permita visualizar en tiempo continuo la temperatura y el estado operativo de los congeladores. Esto puede hacerse desde cualquier dispositivo móvil o computadora, lo que facilita la supervisión continua desde cualquier ubicación.

4. Alertas y notificaciones:

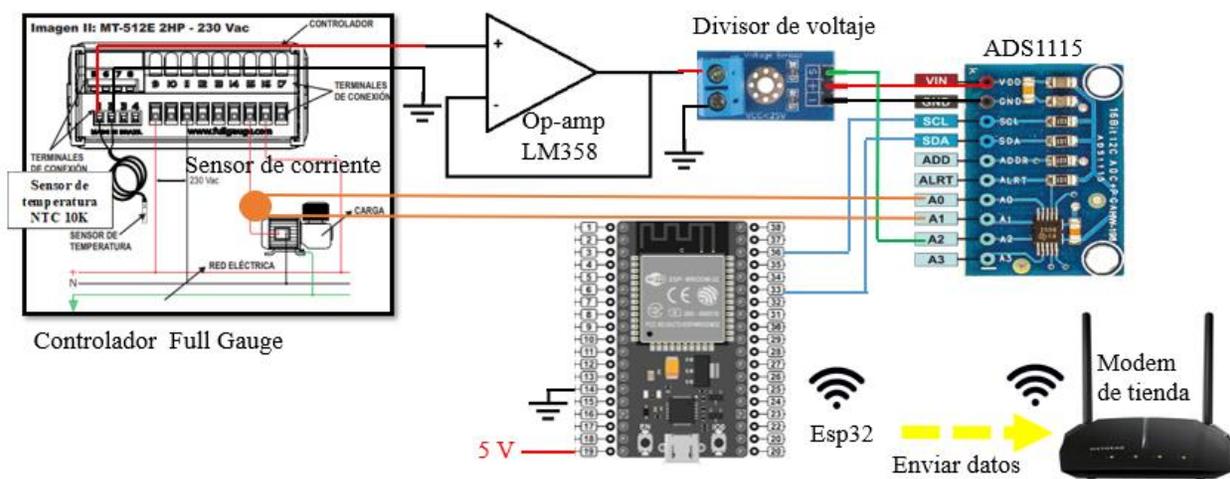
- Alertas automáticas: Si la temperatura de los congeladores se desvía del rango establecido (-4 °C a -18 °C), o si se detectan problemas en el compresor o el ventilador, el sistema generará alertas automáticas que serán enviadas a los responsables del mantenimiento. Estas alertas se enviarán en tiempo real a través de correo electrónico o mensajes de texto.
- Notificaciones configurables: Los operadores podrán personalizar los umbrales de alerta según las necesidades de cada congelador o tipo de producto almacenado, lo que les permitirá ajustar el sistema a sus especificaciones particulares y garantizar un monitoreo más preciso.

3.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO IoT

El diseño del sistema de monitoreo propuesto para los congeladores industriales tiene como objetivo proporcionar una solución no invasiva que permita supervisar en tiempo real las variables clave del sistema de refrigeración, principalmente la temperatura interna y el estado operativo del compresor y ventilador. Para lograr este propósito, el sistema se divide en dos subsistemas principales que trabajan de manera conjunta: el subsistema de adquisición de datos y el subsistema de comunicación y visualización de datos. Estos subsistemas están diseñados para garantizar un monitoreo eficiente, seguro y continuo.

Figura 4

Diagrama de conexiones detallado del sistema de monitoreo IoT.



Nota: Elaboración propia del diagrama de conexiones.

3.4. DESCRIPCIÓN DE LOS SUB SISTEMAS DE MONITOREO

3.4.1. Subsistema 1: Adquisición de datos

Este subsistema se encargará de recoger las lecturas de los sensores de temperatura ya existentes en los congeladores y la corriente que circula por el ventilador y compresor del congelador. Incluiría todos los componentes relacionados con la captura de datos en tiempo real,

como los sensores SB-70 y SCT-013-010, así como el convertidor analógico-digital ADS1115 y el microcontrolador ESP32. Este subsistema es responsable de la precisión y la correcta adquisición de los parámetros necesarios para el monitoreo.

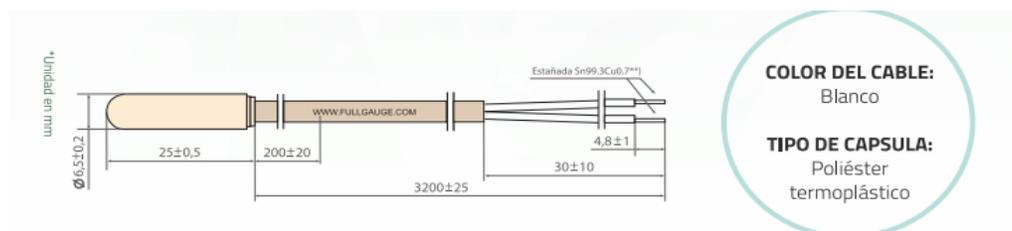
Este subsistema incluye los componentes que se encargan de medir los parámetros clave en cada congelador (temperatura y corriente). Los principales elementos de este subsistema son:

3.4.1.1. Sensores de temperatura SB-70

El sensor de temperatura SB-70 es un dispositivo NTC (Negative Temperature Coefficient) fabricado por Full Gauge Controls, que ya se encuentra instalado en los congeladores industriales para registrar las condiciones térmicas. Este sensor mide la temperatura en un rango de $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$, con una precisión de $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo que lo hace adecuado para monitorear las temperaturas de congelación. Sus principales características incluyen una resistencia nominal de $10\text{ k}\Omega$ a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un cable de 2 metros con aislamiento de PVC (Unit Electronics, 2022).

Figura 5

Sensor de temperatura SB-70.



Nota: Especificaciones técnicas del sensor SB-70, extraído de (Unit Electronics, 2022).

3.4.1.2. Sensores de corriente SCT-013-010

Se encargan de medir la corriente consumida por los compresores de los congeladores, lo que permite identificar el estado de operación del equipo.

El sensor de corriente SCT-013-010 es un dispositivo diseñado para medir corriente alterna (AC) hasta 10 A RMS , utilizando el principio de inducción electromagnética de Faraday. Ofrece

una salida de voltaje proporcional a la corriente medida, lo que lo hace ideal para aplicaciones que requieren aislamiento eléctrico y medición segura sin intervenir el cableado de alto voltaje. Es compatible únicamente con corriente alterna de onda senoidal.

Características principales:

- Rango de medición: 0-10 A RMS.
- Salida de voltaje: 0-1 V RMS proporcional a la corriente.
- Sensibilidad: 1 V por cada 10 A.
- Temperatura de operación: -25 °C a +70 °C.
- Aislamiento eléctrico: 1000 V AC durante 1 minuto (5 mA).

Figura 6

Sensor de corriente SCT-013-010.



Nota: Imagen extraída de tienda de componentes electrónicos (Thido Electronica, 2023).

Tabla 1

Cuadro comparativo del SCT-013-010 y ACS712.

Característica	SCT-013-010 (No invasivo)	ACS712 (Invasivo)
Tipo de sensor	No invasivo (transformador de corriente tipo pinza)	Invasivo (sensor de efecto Hall)
Corriente máx.	10 A	Hasta 30 A
Tipo de conexión	Externa, no requiere cortar ni alterar el cable	Invasiva, requiere cortar el cable para conectar en serie
Seguridad	Alta, no hay contacto directo con el circuito eléctrico	Moderada, requiere manipulación directa del cable eléctrico
Facilidad de instalación	Muy fácil, simplemente se coloca alrededor del cable	Requiere cortar e interrumpir el flujo de corriente
Compatibilidad	Solo para sistemas de corriente alterna (AC)	Compatible con sistemas de corriente (AC) y (DC)
Precio en soles	S/ 45.00 soles	S/ 20.00 soles

Nota: Datos extraídos de (Eelectronics, 2024).

El sensor SCT-013-010 fue seleccionado para nuestro proyecto debido a su diseño no invasivo, que permite medir la corriente sin necesidad de modificar el circuito eléctrico, lo que asegura una instalación más segura y rápida. Al tratarse de un transformador de corriente que se conecta externamente al cable, facilita su implementación en sistemas que requieren monitoreo de consumo eléctrico en corriente alterna (AC). Además, el sensor es compatible con microcontroladores como el ESP32, siempre y cuando se utilice el acondicionamiento adecuado de la señal, lo que permite una integración sencilla en proyectos donde la seguridad y la simplicidad son factores esenciales. (Eelectronics, 2024).

3.4.1.3. Convertidor analógico-digital ADS1115

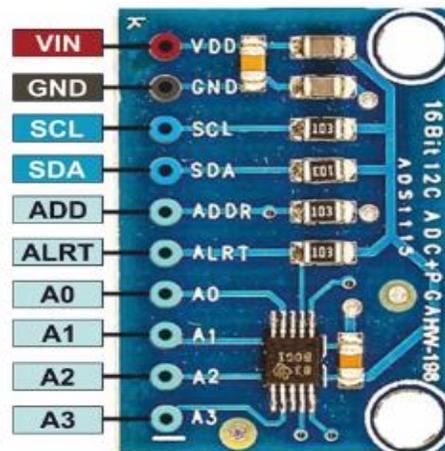
Este ADC de 16 bits convierte las señales analógicas provenientes de los sensores en datos digitales que puedan ser procesados por el microcontrolador ESP32.

El ADS1115 es un convertidor analógico-digital (ADC) de 16 bits de precisión fabricado por Texas Instruments. Sus características principales son:

- Resolución: 16 bits.
- 4 canales de entrada.
- Velocidad de muestreo: hasta 860 muestras por segundo.
- Interfaz I2C.
- Voltaje de referencia interno.

Figura 7

ADS1115 Convertidor analógico-digital ADC 16-Bit I2C.



Nota: Imagen extraída de (Unit Electronics, 2022) tienda de componentes electrónicos.

Este ADC externo se utilizó para mejorar la precisión de las mediciones analógicas, superando las limitaciones del ADC interno del ESP32.

Tabla 2

Cuadro comparativo del ADS1115 y MCP3008.

Característica	ADS1115 (16-bit)	MCP3008 (10-bit)
Resolución	16 bits	10 bits
Número de canales	4 canales de entrada analógica (single-ended)	8 canales analógicos
Rango de voltaje de entrada	Configurable: ± 0.256 V a ± 6.144 V	0 V a 5 V
Velocidad de conversión	Hasta 860 muestras por segundo (SPS)	Hasta 200 kSPS (con SPI)
Interfaz	I2C	SPI
Precisión	Alta precisión debido a su mayor resolución	Menor precisión debido a la resolución de 10 bits
Consumo de energía	Muy bajo (menos de 150 μ A en modo activo)	Bajo (1.2 mA típico en modo activo)
Precio en soles	S/ 45.00 soles	S/ 60.00 soles

Nota: Datos extraídos de (Texas Instruments, 2024).

El ADS1115 fue seleccionado como convertidor analógico a digital (ADC) para el proyecto de tesis debido a su compatibilidad con el ESP32 y su capacidad para aumentar la resolución de medición a 16 bits, superando los 12 bits del ADC interno del ESP32. Esta característica es fundamental para obtener datos más precisos en aplicaciones analíticas.

La compatibilidad del ADS1115 con el ESP32 se debe a su capacidad de comunicación a través del protocolo I2C (Inter-Integrated Circuit), que el ESP32 soporta de manera nativa. Esto permite una integración sencilla y eficiente entre ambos dispositivos, facilitando la lectura de múltiples canales analógicos y mejorando la precisión y resolución de los datos capturados. (Texas Instruments, 2024).

3.4.1.4. Microcontrolador ESP32

El ESP32 es un microcontrolador de alto rendimiento desarrollado por Espressif Systems, ampliamente utilizado en proyectos de internet de las cosas (IoT) y domótica. Este dispositivo se distingue por su arquitectura avanzada Tensilica Xtensa LX6 de 32 bits y su configuración de doble núcleo (dual-core), que le permite gestionar múltiples tareas en tiempo real, como la adquisición de datos de sensores y la comunicación inalámbrica simultáneamente (Espressif Systems, 2021). Diseñado para satisfacer las necesidades de procesamiento y conectividad en aplicaciones IoT, el ESP32 integra Wi-Fi y Bluetooth 4.2, incluyendo la versión de bajo consumo (Bluetooth Low Energy, BLE), lo que facilita la conectividad con redes locales y dispositivos móviles sin la necesidad de módulos adicionales.

Entre sus especificaciones técnicas, el ESP32 ofrece 520 KB de RAM interna y una memoria flash de hasta 4 MB (o más, dependiendo de la versión), adecuada para almacenar programas complejos y grandes volúmenes de datos (Sánchez & López, 2020). Dispone de hasta 34 pines de entrada/salida (GPIO), configurables para diferentes aplicaciones, así como un convertidor analógico-digital (ADC) de 12 bits y un convertidor digital-analógico (DAC). Además, soporta múltiples protocolos de comunicación, incluyendo I2C, SPI y UART, lo que facilita la integración de sensores y dispositivos periféricos (Llamas & García, 2019).

La capacidad de procesamiento, la conectividad y la compatibilidad con el entorno Arduino IDE han convertido al ESP32 en una opción popular para proyectos de monitoreo remoto, gestión de datos y automatización industrial. En resumen, el ESP32 es una plataforma robusta, eficiente y económica, ideal para aplicaciones IoT que requieren precisión en el monitoreo, transmisión de datos en tiempo real y altos estándares de seguridad.

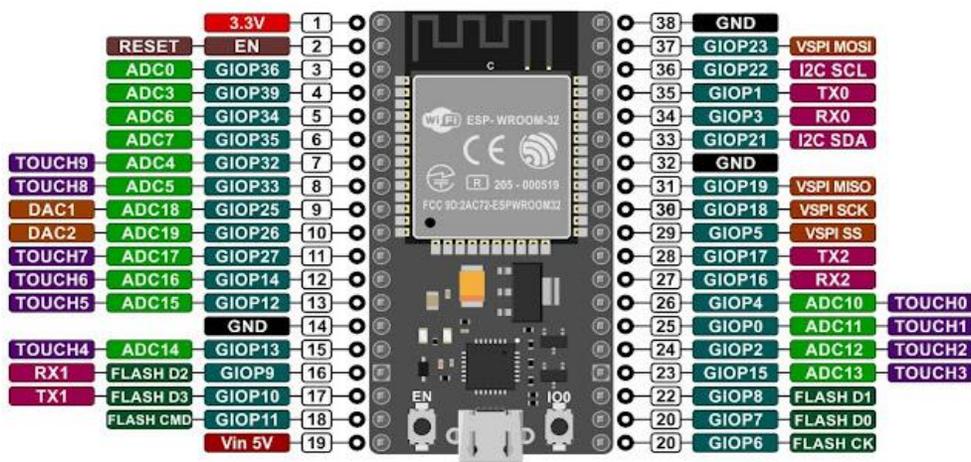
Características principales:

- Procesador Dual-core: Dos núcleos Tensilica LX6 que pueden funcionar a 240 MHz.

- Wi-Fi integrado: Soporta Wi-Fi 802.11 b/g/n.
- Bluetooth: Compatible con Bluetooth 4.2 y Bluetooth Low Energy (BLE).
- Memoria: 520 KB de RAM interna.
- Almacenamiento: Soporta memoria flash externa (hasta 4 MB o más, dependiendo del módulo).
- Puertos GPIO: Hasta 34 pines de propósito general (GPIO) para interactuar con sensores, actuadores, etc.
- Módulos ADC y DAC: Entradas analógicas (ADC) y salidas analógicas (DAC) disponibles.
- I2C, SPI y UART: Interfaces de comunicación para conectar periféricos.
- Soporte para PSRAM: Permite agregar memoria externa para tareas más complejas.
- Criptografía y seguridad: Incluye hardware para cifrado (AES, SHA, RSA, etc.) y soporte para Secure Boot.

Figura 8

Modulo ESP32.



Nota: Imagen extraída de (Unit Electronics, 2022) tienda de componentes electrónicos.

Tabla 3

Cuadro comparativo de las características de los microcontroladores ESP32, ESP8266 y STM32

Característica	ESP32	STM32	ESP8266
Procesador	Doble núcleo (Tensilica LX6, 240 MHz)	Núcleo único o doble núcleo (ARM Cortex-M, 48-480 MHz)	Núcleo único (Tensilica L106, 80-160 MHz)
Wi-Fi	802.11 b/g/n	No (requiere módulo adicional para Wi-Fi)	802.11 b/g/n
Bluetooth	Sí (Bluetooth 4.2 + BLE)	No (requiere módulo adicional)	No
RAM	520 KB	Varía según el modelo (de 4 KB hasta 1 MB en algunos modelos avanzados)	80 KB (RAM dinámica), 36 KB (RAM de instrucción)
Almacenamiento flash	Hasta 4 MB o más	Varía (de 16 KB a 2 MB, dependiendo del modelo)	Hasta 4 MB (según el módulo)
Pines GPIO	Hasta 34	Depende del modelo (de 10 a 168 GPIOs)	Hasta 17
ADC	Sí (12 bits)	Sí, de 10 a 16 bits (varía según el modelo)	Sí (10 bits)
DAC	Sí	Sí (en algunos modelos)	No
Características de seguridad	AES, SHA, RSA, Secure Boot	AES, SHA, Secure Boot (en modelos de gama media/alta)	Básicas (menos avanzadas que ESP32)
Temperatura de trabajo	-40 °C a 125 °C	-40 °C a 105 °C (varía por modelo)	-40 °C a 85 °C
Costo aproximado	\$5 - \$8 USD	\$2 - \$25 USD (dependiendo del modelo y características)	\$2 - \$6 USD

Nota: Datos extraídos de (Llamas, A., & García, M, 2019) y (STMicroelectronics, 2021).

El ESP32 es una opción sobresaliente para aplicaciones IoT que requieren conectividad inalámbrica, eficiencia energética y un rendimiento robusto, gracias a su procesador de doble núcleo, Wi-Fi y bluetooth integrados, y modos de bajo consumo como "Deep Sleep". Con características de seguridad avanzadas, como encriptación AES y "Secure Boot", el ESP32 es un microcontrolador confiable para proyectos de monitoreo y control en tiempo real.

El ESP8266, por su parte, es otra opción popular en proyectos IoT, especialmente aquellos que requieren conectividad Wi-Fi básica y un menor uso de recursos. Sin embargo, el ESP8266 tiene algunas limitaciones en comparación con el ESP32, como la falta de bluetooth y un menor número de pines GPIO, lo que restringe su capacidad de manejar múltiples periféricos de forma simultánea. Además, su procesador de un solo núcleo y la RAM limitada lo hacen menos adecuado para aplicaciones que requieren procesamiento intensivo o multitarea.

En este proyecto de IoT, se opta por el ESP32 debido a su capacidad superior para gestionar tareas complejas y manejar múltiples protocolos de comunicación (I2C, SPI, UART) de manera simultánea. La mayor cantidad de pines GPIO y su convertidor ADC de 12 bits permiten una integración más versátil con sensores y dispositivos periféricos. Además, la presencia de bluetooth Low Energy (BLE) y Wi-Fi integrado facilita la conectividad en aplicaciones avanzadas de IoT, mejorando la capacidad de transmisión de datos y la interacción con dispositivos móviles sin necesidad de módulos adicionales.

El STM32, aunque es una excelente elección para proyectos que requieren mayor flexibilidad en pines y configuraciones, carece de conectividad inalámbrica integrada, lo que implica la necesidad de módulos externos para Wi-Fi y bluetooth. Esto lo hace menos conveniente para proyectos de IoT donde la conectividad inalámbrica y la integración sencilla son cruciales (Llamas, A., & García, M, 2019).

3.4.1.5. Sensor de voltaje FZ0430

El FZ0430 es un módulo sensor de voltaje basado en un divisor de tensión. Sus características principales son:

- Rango de medición: 0-25 V DC.
- Salida analógica: 0-5 V.
- Precisión: $\pm 1\%$.
- Impedancia de entrada: $>200\text{ k}\Omega$.

Figura 9

FZ0430 Sensor de voltaje 0 V-25 V DC.



Nota: Imagen extraída de tienda de componentes electrónicos.

Este sensor se utiliza para medir el voltaje del sensor de temperatura SB-70 y poder identificar las variaciones de tensión con respecto a la temperatura (Thido Electronica, 2023).

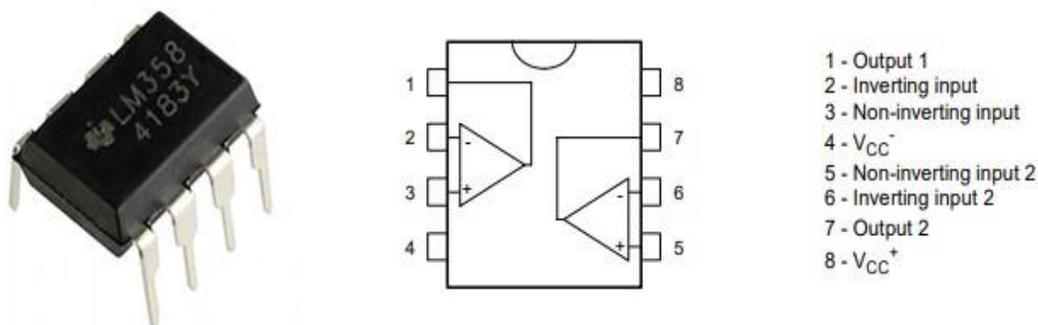
3.4.1.6. Seguidor de voltaje LM358

El LM358 es un amplificador operacional dual de propósito general. En este proyecto, se utiliza en configuración de seguidor de voltaje para acondicionar las señales analógicas provenientes del sensor de temperatura SB-70. Sus características principales son:

- Alimentación: 3 V a 32 V (single supply).
- Ancho de banda: 1 MHz.
- Bajo consumo de corriente.

Figura 10

LM358N Amplificador operacional PDIP-8 (Unit Electronics, s.f.).



Nota: Imagen extraída de Unit Electronics tienda de componentes electrónicos.

El seguidor de voltaje proporciona una alta impedancia de entrada y baja impedancia de salida, adaptando y mejorando la precisión de las mediciones de voltaje provenientes del sensor de temperatura.

Tabla 4

Cuadro comparativo de las características de seguidores de voltaje LM358 y TL082.

Característica	LM358	TL082
Alimentación	3 V a 32 V (single supply)	± 3 V a ± 18 V
Ancho de banda	1 MHz	3 MHz
Consumo de corriente	0.5 mA por amplificador	1.4 mA por amplificador
Tipo de entrada	Entrada bipolar	Entrada JFET
Rango de voltaje de Entrada	0 V a $V_{cc} - 1.5$ V	$\pm(V_{cc} - 4$ V)
Aplicación en Temperaturas	-40 °C a 85 °C	0 °C a 70 °C
Precio aproximado	\$0.50 USD	\$1.20 USD

Nota: Datos extraídos de (Texas Instruments, 2018).

En comparación, el LM358 es más adecuado para este proyecto debido a su bajo consumo de corriente (0.5 mA frente a 1.4 mA del TL082), su capacidad para operar con una sola fuente de alimentación de 3 V a 32 V, y su amplio rango de temperatura (-40 °C a 85 °C), ideal para aplicaciones de monitoreo continuo en congeladores industriales. Su costo también es significativamente menor, lo que lo convierte en una opción económica y eficiente para acondicionar señales en proyectos de IoT.

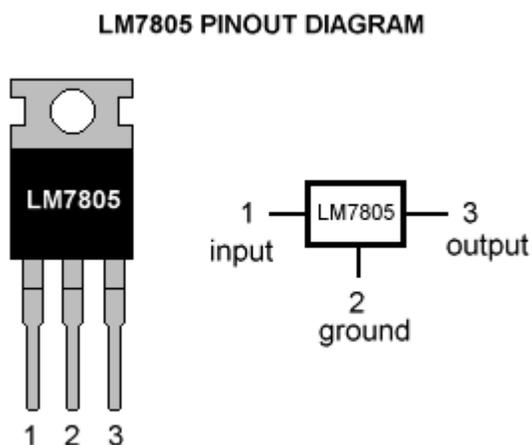
3.4.1.7. Regulador de voltaje de 5 voltios LM7805

El LM7805 es un regulador de voltaje lineal que proporciona una salida estable de 5 V. Sus características principales son:

- Voltaje de entrada: 7 V – 35 V.
- Voltaje de salida: 5 V \pm 4 %.
- Corriente de salida máxima: 1 A.

Figura 11

Regulador de voltaje LM7805 (Mechatronick, s.f.).



Nota: Imagen extraída de blogpost de electrónica.

Este regulador se utiliza para proporcionar una alimentación estable de 5 V al ESP32.

Tabla 5

Cuadro comparativo de las características del LM7805 y el LM1117.

Característica	LM7805	LM1117
Voltaje de entrada	7 V a 35 V	6.5 V a 15 V
Voltaje de salida	5 V \pm 4 %	5 V \pm 1 %
Corriente de salida	1 A	0.8 A
Máxima		
Protección térmica	Sí	Sí
Protección contra cortocircuitos	Sí	Sí
Tipo de regulador	Lineal	Lineal (de baja caída - LDO)
Precio aproximado	\$0.50 USD	\$1.00 USD

Nota: datos extraídos de (Texas Instruments, 2016, 2020).

El LM7805 es la opción ideal para este proyecto debido a su amplio rango de voltaje de entrada (7 V a 35 V) y su salida estable de 5 V, con una tolerancia aceptable de $\pm 4\%$, además de una corriente de salida máxima de 1 A. Estas características lo hacen adecuado para una variedad de aplicaciones de regulación de voltaje en circuitos electrónicos de bajo costo. Comparado con el LM1117, el LM7805 es más económico y proporciona mayor estabilidad en un rango de entrada más amplio, lo que lo hace adecuado para proyectos IoT que requieren una fuente de voltaje estable y fiable (Texas Instruments, 2016, 2020).

3.4.1.8. Regulador de voltaje DC - DC LM2596

El LM2596 es un regulador de voltaje conmutado step-down (buck). Sus características principales son:

- Voltaje de entrada: 4.5 V - 40 V.
- Voltaje de salida ajustable: 1.23 V - 37 V.
- Corriente de salida máxima: 3 A.
- Eficiencia típica: 73 % - 88 %.

Figura 12

LM2596 regulador de voltaje (Unit Electronics, s.f.).



Nota: Imagen extraída de Unit Electronics tienda de componentes electrónicos.

Este regulador se utiliza para proporcionar una alimentación eficiente y ajustable a los diferentes componentes del sistema.

Tabla 6

Cuadro comparativo de las características del LM2596 y el LM2577.

Característica	LM2596	LM2577
Tipo de regulador	Step-down (Buck)	Step-up (Boost)
Voltaje de entrada	4.5 V – 40 V	3.5 V – 40 V
Voltaje de salida	Ajustable 1.23 V – 37 V	Ajustable hasta 60 V
Corriente de salida	3 A	3 A
Máxima		
Eficiencia	73 % - 88 %	60 % - 80 %
Frecuencia de	150 kHz	52 kHz
Conmutación		
Protección térmica	Sí	Sí
Precio aproximado	\$1.50 USD	\$2.00 USD

Nota: Datos extraídos de (Texas Instruments, 2016, 2017).

El LM2596 es el regulador de voltaje más adecuado para este proyecto debido a su alta eficiencia, que alcanza hasta un 88 % en comparación con el LM2577, lo cual permite una regulación más eficiente en aplicaciones que requieren una salida ajustable y estable. Su diseño step-down (buck) es ideal para reducir el voltaje de una fuente de entrada más alta a niveles más bajos, lo cual es perfecto para aplicaciones de IoT. Además, su frecuencia de conmutación de 150 kHz facilita una respuesta rápida y mejora la estabilidad de la salida. Su precio accesible y mayor eficiencia energética lo hacen una opción más conveniente y rentable que el LM2577 (Texas Instruments, 2016, 2017).

3.4.1.9. Congelador industrial

El congelador industrial utilizado en este proyecto es un modelo de exhibición vertical con las siguientes características:

- Capacidad: 1000 litros.
- Rango de temperatura: -20 °C a 20 °C.
- Compresor hermético de 1/2 HP.
- Sistema de refrigeración por aire forzado.
- Controlador digital de temperatura.

Figura 13

Congelador industrial (PROWAT, s.f.).



Nota: Imagen referencial del congelador a monitorizar.

Este congelador es representativo de los equipos utilizados en la industria alimentaria, siendo ideal para probar y validar nuestro sistema de monitoreo de temperatura.

3.4.2. Subsistema 2: comunicación y visualización

Este subsistema estará enfocado en el envío de datos hacia la plataforma en la nube (Adafruit IO), utilizando el protocolo MQTT sobre una red Wi-Fi. Incluye las funcionalidades de transmisión de datos, configuración del cliente MQTT, y la visualización de la información recolectada a través de gráficos y alertas en tiempo real. Además, contempla la seguridad y eficiencia en el uso del ancho de banda.

Una vez que los datos han sido recolectados y procesados, el subsistema de comunicación se encarga de transmitir esta información a la nube y visualizarla en tiempo real. Los componentes de este subsistema incluyen:

3.4.2.1. Protocolo de comunicación MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)

Se utiliza el protocolo MQTT para transmitir los datos a la plataforma Adafruit IO de forma eficiente y con bajo consumo de ancho de banda. MQTT facilita la publicación y suscripción de los datos de monitoreo.

MQ Telemetry Transport es el nombre actual de lo que antes se conocía como Message Queuing Telemetry Transport. MQTT es el acrónimo de MQ Telemetry Transport. MQTT es un protocolo de comunicación que se utiliza habitualmente para la comunicación de máquina a máquina (M2M). MQTT tiene una función de conexión que permite mantener una conexión en estado abierto y utilizarla en cada conversación. (Llamas, 2019).

MQTT es un ejemplo de protocolo de comunicación que está cobrando importancia en el mercado actual (IoT). Además, MQTT es un protocolo desarrollado específicamente para las funciones de publicación y suscripción de SCADA. Este protocolo hace hincapié en tener un tamaño de cabecera mínimo (dos bytes), y la comunicación en sí es sencilla y fiable. (Llamas, 2019).

3.4.2.2. Como funciona MQTT

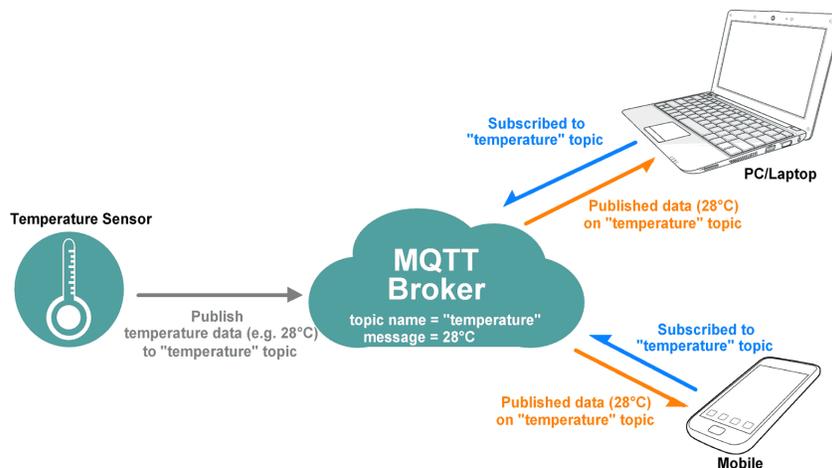
Para que el protocolo de comunicación MQTT funcione como un servicio de mensajería suscriptor-editor (pub-sub), los clientes deben conectarse a un servidor central al que se denomina broker.

El propósito de organizar los mensajes que se envían a cada cliente en temas jerárquicos es lograr el objetivo de filtrar los mensajes para que los clientes sólo adquieran los mensajes que desean específicamente cuando hacen una solicitud de mensaje. Los clientes tienen la posibilidad de enviar mensajes bajo determinadas categorías. Otros clientes pueden suscribirse a estos tópicos, y los brokers harán llegar los mensajes a los clientes que se suscribieron en los determinados tópicos. (Llamas, 2019).

Este protocolo de comunicación también proporciona una calidad de servicio en el envío de mensajes al cliente en caso de cualquier fallo, como una pérdida de conectividad. Por otro lado, la seguridad que proporciona este protocolo es muy buena y se integra a un usuario con su respectiva contraseña. MQTT utiliza los puertos 1883 y 8883 cuando trabaja sobre TLS. MQTT es un sistema de comunicación máquina a máquina (M2M), que es sólo uno de los muchos beneficios que vienen junto con el uso de este protocolo de comunicación en particular. Por otro lado, obtenemos todas las ventajas que conlleva el uso del diseño PUB/SUB, como la escalabilidad, el asincronismo y el desacoplamiento entre clientes. Debido a su ligereza, este protocolo requiere un ancho de banda mínimo, lo que es una consideración importante para las redes inalámbricas. Por último, MQTT tiene importantes características adicionales, como la seguridad y la calidad de servicio, que lo hacen adecuado para aplicaciones de internet de las cosas, que normalmente implican el uso de dispositivos de baja potencia que funcionan continuamente. (Llamas, 2019).

Figura 14

Esquema del protocolo MQTT.



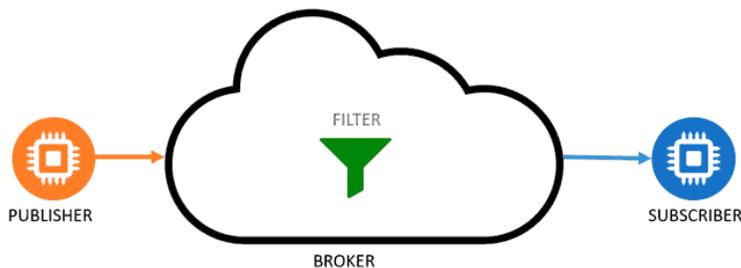
Nota: La figura muestra como viaja la información mediante broker utilizando el protocolo MQTT extraído de (Firtec, 2018).

3.4.2.3. Principales brokers MQTT de fuente abierta para proyectos de la internet de las cosas

Uno de los instrumentos más importantes para que se desarrolle la comunicación de MQTT se llama broker. En un sistema pub-sub, el software conocido como Broker es el encargado de aceptar los mensajes que han sido suministrados por los distintos clientes y, a continuación, distribuir dichos mensajes a dichos clientes. (Llamas, 2019).

Figura 15

Estructura de un broker.



Nota: La figura muestra la estructura de un broker extraído de (Llamas, 2019).

Mosquitto es uno de los brokers más conocidos y utilizados; sin embargo, es importante tener en cuenta que existen otros brokers con diferentes características. Hay muchos brokers MQTT disponibles, cada uno con su propio conjunto de características, ventajas y desventajas (Llamas, 2019).

Elegir el broker más adecuado para este trabajo de tesis condiciona el buen funcionamiento del proyecto, por lo que se revisarán algunos de los brokers más conocidos y disponibles para el protocolo MQTT.

- Mosquitto: Está ampliamente considerado como el broker MQTT más popular para el desarrollo de aplicaciones de internet de las cosas orientadas a la domótica. La Fundación Eclipse es responsable del desarrollo de este broker de código abierto; en sus primeras etapas, se publicó bajo una licencia EPL/EDL. Por otro lado, Mosquitto es un broker ligero y de bajo consumo, lo que lo hace apropiado para la implementación de este trabajo de tesis (Llamas, 2019).
- Adafruit: Es otro broker MQTT que no cobra a sus usuarios por el acceso. Este broker se distingue por su conexión con el servicio IFTTT y por ofrecer una interfaz que permite la creación de cuadros de mando, incluyendo la generación de gráficos, la transmisión de alertas de alarma y la recepción de datos de los dispositivos electrónicos integrados en el sistema. IFTTT es una plataforma en línea que permite a los usuarios vincular aparatos eléctricos entre sí de forma remota para diversos usos (MKElectronica, 2022).

Estos son algunos de los brokers más conocidos; sin embargo, existe una diversidad de brokers con diferentes lenguajes de programación y aplicaciones específicas. En este trabajo de tesis se realizarán pruebas con los brokers Mosquitto y Adafruit IO (MKElectronica, 2022).

3.4.2.4. Conexión Wi-Fi

El ESP32 es un microcontrolador que incluye un módulo Wi-Fi integrado, compatible con el estándar IEEE 802.11 b/g/n. Este estándar define la forma en que los dispositivos inalámbricos se comunican dentro de una red local, garantizando que el ESP32 pueda conectarse de manera eficiente a redes Wi-Fi de 2.4 GHz. La compatibilidad con el estándar IEEE 802.11 b/g/n permite que el ESP32 mantenga una conexión estable y de alta velocidad, adecuada para aplicaciones de monitoreo en tiempo real. Esto facilita el establecimiento de una conexión directa y persistente con un punto de acceso (generalmente un router) para enviar los datos recolectados por los sensores.

La capacidad Wi-Fi del ESP32 es fundamental para aplicaciones de monitoreo en tiempo real, ya que su soporte para múltiples velocidades de transmisión y modos de operación dentro del estándar 802.11 garantiza la adaptabilidad en diferentes condiciones de red y la optimización del uso del ancho de banda.

Una de las ventajas del Wi-Fi integrado en el ESP32 es que soporta modos de bajo consumo energético, como el Deep Sleep, que ayuda a conservar la energía cuando no se está transmitiendo información. Además, el módulo Wi-Fi del ESP32 puede manejar conexiones seguras utilizando SSL/TLS, lo que garantiza que los datos enviados hacia la nube o cualquier servidor remoto estén encriptados y sean seguros. (Shelby, 2023).

El proceso de conexión y transmisión se simplifica mediante bibliotecas de software, como `wifi.h`, que permiten la configuración rápida del dispositivo para acceder a redes locales, autenticar las credenciales, y establecer una conexión estable con servicios en la nube, como Adafruit IO. Una vez conectado, el ESP32 es capaz de transmitir datos en intervalos de tiempo específicos o cuando se detectan eventos relevantes, lo que optimiza el uso del ancho de banda y la eficiencia del sistema. (Shelby, 2023).

3.4.2.5. Selección de la plataforma IoT

A continuación, se presenta una tabla comparativa de las principales plataformas IoT evaluadas:

Tabla 7

Tabla comparativa de plataformas IoT.

Plataforma	Características Clave	Ventajas	Desventajas
AWS IoT (Amazon)	Amplia escalabilidad, integración con servicios de AWS, soporte para múltiples protocolos IoT.	Seguridad robusta, gran ecosistema de servicios complementarios, escalabilidad global.	Complejidad para principiantes, costos elevados para implementaciones pequeñas.
IoT en la nube de Google	Machine Learning integrado, análisis avanzado, conectividad global.	Potente en análisis de datos, fácil integración con servicios de Google.	Requiere experiencia técnica avanzada, los precios pueden aumentar rápidamente con el uso.
Ubidots	Enfoque en facilidad de uso, paneles personalizados, soporte para múltiples dispositivos IoT.	Intuitivo para principiantes, buena visualización de datos, costo accesible para pequeños proyectos.	Funcionalidad limitada para implementaciones a gran escala o necesidades avanzadas.
Adafruit IO (Pagada)	Solución completa, integración con hardware como ESP32, soporte para protocolos MQTT, paneles avanzados.	Fácil de usar, versátil para proyectos industriales y educativos, precio accesible, comunidad activa.	Menor enfoque en análisis avanzado de datos comparado con plataformas empresariales como AWS o Google Cloud.

3.4.2.6. Evaluación de las características principales

1. Facilidad de Uso e Implementación:

- Adafruit IO destaca por su simplicidad, especialmente en proyectos educativos o para principiantes.
- AWS IoT y Google Cloud IoT, aunque potentes, presentan una curva de aprendizaje más pronunciada.

2. Compatibilidad de hardware:

- Adafruit IO tiene integración directa con placas como ESP32 y hardware Adafruit.
- Las otras plataformas requieren configuraciones adicionales para dispositivos similares.

3. Soporte de Protocolos:

- Todas las plataformas soportan protocolos estándar como MQTT, pero Adafruit IO sobresale por su implementación sencilla y directa.

4. Costo:

- Adafruit IO (versión pagada) ofrece una solución accesible y escalable, ideal para proyectos de tamaño medio e incluso industriales.
- AWS IoT y Google Cloud IoT tienen costos más altos, lo que puede limitar su uso en proyectos pequeños.

5. Capacidades Industriales:

- Con su versión pagada, Adafruit IO puede ser utilizado en entornos industriales, mientras que otras plataformas están diseñadas para proyectos empresariales de mayor escala.

3.4.2.7. Elección Final: Adafruit IO (Versión Pagada)

Justificación:

- Adafruit IO se adapta a una variedad de proyectos, desde educativos hasta industriales.
- Su facilidad de integración, compatibilidad con hardware como ESP32 y su soporte para protocolos estándar lo convierten en una opción ideal.
- El equilibrio entre funcionalidad y costo lo hace superior para quienes buscan una solución eficiente, intuitiva y económica.

Adafruit IO es la mejor plataforma para iniciar y escalar proyectos IoT sin complicaciones.

3.4.2.8. Plataforma Adafruit IO

Es la plataforma en la nube donde se almacenan y visualizan los datos recolectados. La información se presenta mediante gráficos en tiempo real que muestran la evolución de la temperatura y el estado de los congeladores. También se configuran alertas que notifican cuando se detectan variaciones fuera de los rangos establecidos.

Adafruit IO es una plataforma de nube para IoT que permite almacenar y visualizar datos de sensores en tiempo real. Sus características principales incluyen:

- Dashboards personalizables.
- Feeds para almacenamiento de datos.
- Integración MQTT.
- Api rest.
- Triggers y acciones automatizadas.

Figura 16

Plataforma Adafruit.



Nota: Imagen elaborada en la plataforma Adafruit.

Esta plataforma se utiliza para almacenar, visualizar y analizar los datos de temperatura recolectados por el sistema de monitoreo.

3.4.2.9. Interfaz de usuario

La interfaz de usuario es un componente clave del sistema de monitoreo IoT, ya que permite visualizar, gestionar y analizar los datos recolectados por el ESP32. En este proyecto, se utiliza la plataforma Adafruit IO, que proporciona un dashboard personalizable para la visualización de los datos en tiempo real. Adafruit IO es una plataforma en la nube diseñada para recibir datos de sensores y dispositivos IoT, organizarlos y presentarlos de manera gráfica a través de widgets como gráficos de líneas, medidores, indicadores numéricos, y más.

El dashboard de Adafruit IO puede ser accesible desde dispositivos móviles o computadoras, lo que permite a los usuarios monitorizar el estado de los congeladores desde

cualquier lugar con acceso a internet. Los datos recolectados pueden visualizarse en tiempo real, permitiendo detectar anomalías rápidamente, como cambios bruscos en la temperatura de los congeladores o fallas en el sistema de refrigeración. (Industries, 2024).

Además, Adafruit IO permite la configuración de alertas, lo que significa que el sistema puede enviar notificaciones automáticas al usuario cuando los datos superan ciertos umbrales establecidos, como una temperatura fuera de rango. Estas alertas se pueden enviar a través de correo electrónico o aplicaciones móviles, lo que facilita una respuesta rápida ante cualquier irregularidad en los congeladores. La plataforma también permite almacenar datos históricos, lo que es útil para análisis posteriores y la toma de decisiones basadas en patrones a largo plazo. (Industries, 2024).

3.5. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO IoT

3.5.1. Sistema de comunicación

Para el sistema de comunicación, se optó por utilizar el protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) sobre Wi-Fi debido a su eficiencia y bajo consumo de ancho de banda, características ideales para aplicaciones IoT. Las principales consideraciones fueron:

- Topología de red: Se implementó una topología estrella, con el ESP32 actuando como cliente MQTT y Adafruit IO como broker MQTT.
- Seguridad: Se utilizó encriptación SSL/TLS para asegurar la comunicación entre el dispositivo y el broker.
- Frecuencia de transmisión: Se estableció un intervalo de transmisión de datos cada 1 minutos para equilibrar la actualización en tiempo real con el consumo de energía y datos.

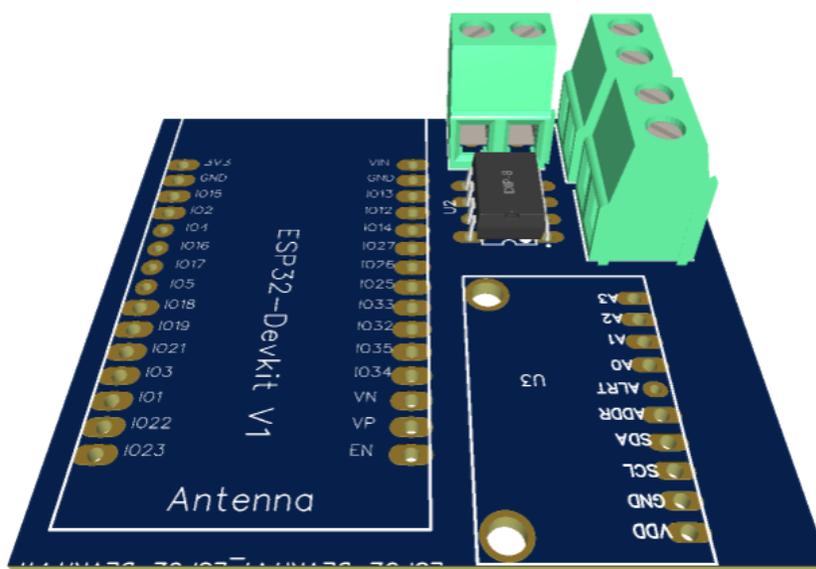
3.5.2. *Desarrollo de la placa electrónica*

El desarrollo de la placa electrónica se diseñó en el programa Easyeda, considerando los siguientes aspectos:

- Dimensiones: Se diseñó una placa compacta de 8x6 cm para facilitar su instalación en el congelador industrial.
- Protección contra interferencias: Se implementaron técnicas de diseño PCB para minimizar el ruido electromagnético, como planos de tierra y separación adecuada entre señales analógicas y digitales.
- Conectividad: Se incluyeron conectores y borneras de fácil acceso para los sensores y la alimentación.
- Disipación térmica: Se consideró la disipación de calor de los reguladores de voltaje, incluyendo áreas de cobre más grandes para estos componentes.

Figura 17

Placa electrónica diseñada en Easyeda.



Nota: Imagen de la placa electrónica en 3D, elaborada en Easyeda.

3.5.3. Sistema de medición de temperatura

Para garantizar una medición precisa y confiable de la temperatura, se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- **Calibración:** Se realizó una calibración de dos puntos del sensor SB-70 utilizando un termómetro de referencia certificado.
- **Acondicionamiento de señal:** Se implementó un divisor de tensión y un seguidor de voltaje para acoplar y adaptar la señal del sensor NTC al rango de entrada del ADC.
- **Compensación:** Se implementó una compensación por software para corregir la no linealidad del sensor NTC.

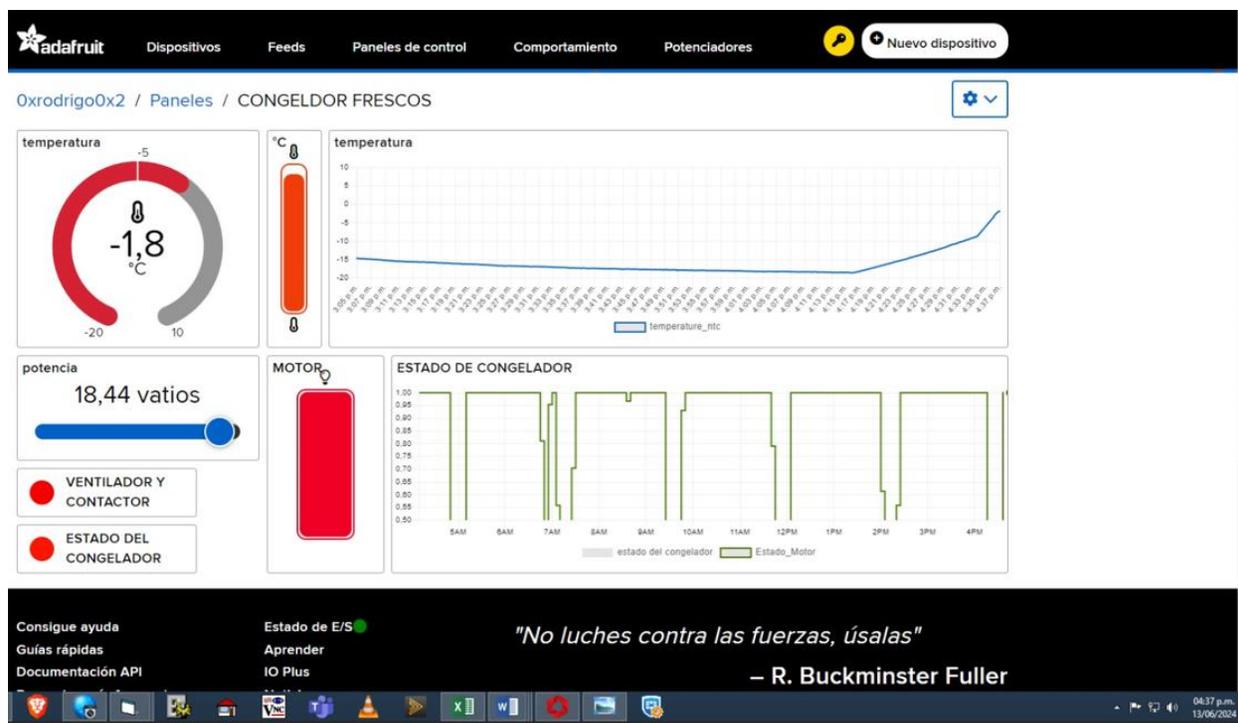
3.5.4. Sistema de monitoreo

El sistema de monitoreo se diseñó considerando los siguientes aspectos:

- **Interfaz de usuario:** Se creó un dashboard en Adafruit IO con gráficos de temperatura en tiempo real, indicadores de estado y controles de alertas.
- **Alertas:** Se implementaron alertas de sonido en la placa para notificar cuando la temperatura sale del rango deseado o cuando se detecta un fallo en el sistema de refrigeración.
- **Almacenamiento de datos:** Se configuró Adafruit IO para almacenar los datos de temperatura durante 30 días, permitiendo análisis históricos y generación de reportes.
- **Acceso remoto:** Se habilitó el acceso al dashboard a través de dispositivos móviles para permitir el monitoreo desde cualquier lugar.

Figura 18

Visualización y monitoreo desde la plataforma Adafruit.



Nota: Las imágenes muestran el monitoreo en tiempo real de la temperatura del congelador desde el computador.

Estas consideraciones de diseño aseguran un sistema de monitoreo IoT robusto, preciso y fácil de usar, capaz de proporcionar información valiosa sobre el funcionamiento del congelador industrial en tiempo real.

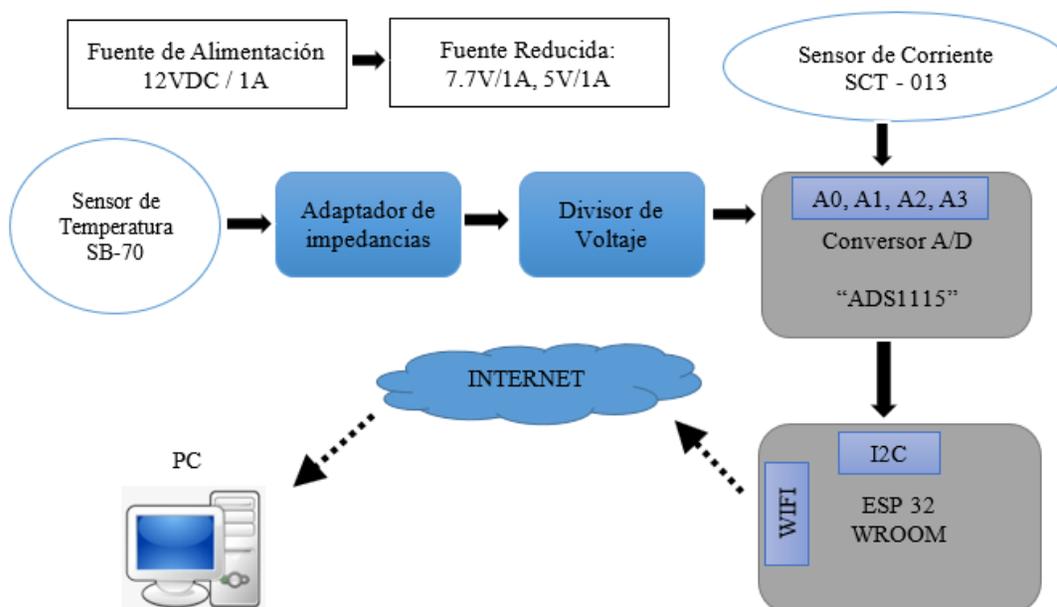
3.6. DISEÑO DEL PROTOTIPO

3.6.1. Diagrama de bloques del sistema

El sistema de monitoreo de temperatura para congeladores industriales se compone de varios bloques funcionales interconectados. A continuación, se presenta el diagrama de bloques general del sistema:

Figura 19

Diagrama de bloques del sistema de monitoreo.



Nota: Representación del diagrama de bloques desde la adquisición de datos hasta la visualización de la temperatura en el computador.

Descripción de los bloques principales:

1. Fuente de alimentación: Incluye los reguladores de voltaje LM7805, que proporciona 5 V, y el LM2596, que proporciona un voltaje regulable de 7.7 V.
2. Sensores: Compuestos por los sensores de temperatura SB-70 y el sensor de corriente SCT-013, encargados de la adquisición de datos dentro del congelador.
3. Adaptador de impedancia: Está integrado por el opam LM358, que es un seguidor emisor de ganancia 1 y acopla la señal de voltaje de temperatura al sistema de monitoreo.
4. Divisor de voltaje: Está compuesto por dos resistencias de 30 k Ω y 7.5 k Ω conectadas en serie. Este divisor de voltaje proporciona voltajes entre 0 V y 25 V, ideales para ser registrados por el ESP32.

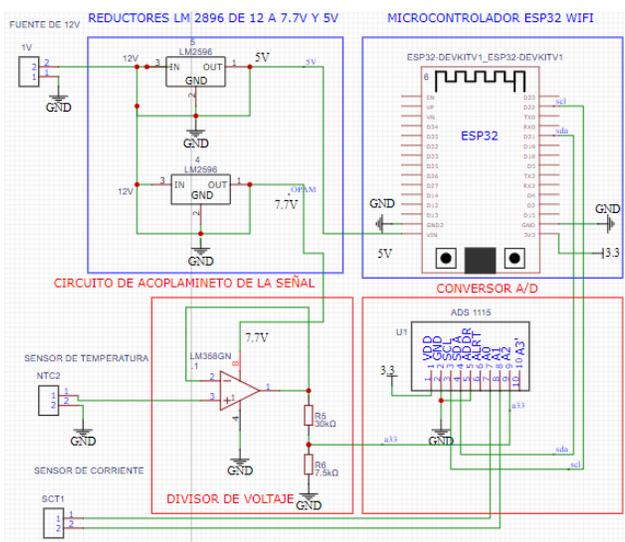
5. Conversión A/D: Utiliza el ADS1115 para convertir las señales analógicas a digitales con una resolución de 16 bits, lo que permite una mayor precisión en la adquisición de datos.
6. Microcontrolador ESP32: Está encargado de realizar el procesamiento de datos en tiempo real, tiene conectividad inalámbrica y bajo consumo de energía. En este proyecto, el ESP32 procesa las mediciones del ADS1115, envía los datos a Adafruit IO y permite la monitorización remota de las variables eléctricas y de temperatura, demostrando su capacidad y flexibilidad en soluciones de IoT.
7. PC: La visualización de los datos se realiza a través de un ordenador, accediendo a la plataforma Adafruit IO para monitorear en tiempo real las mediciones del sistema.

3.6.2. Diseño del circuito electrónico

El circuito electrónico se diseñó para integrar todos los componentes necesarios y poner en funcionamiento el sistema. A continuación, se presenta el esquemático del circuito:

Figura 20

Esquemático completo del circuito electrónico.



Nota: Representación esquemática del circuito y las conexiones de los componentes electrónicos, desarrollado en la el programa EasyEDA.

3.6.3. Reguladores de voltaje LM2596

El LM2596 es un regulador de voltaje conmutado (switching) de tipo step-down (buck), desarrollado por la compañía Texas Instruments. Este dispositivo fue diseñado para aplicaciones de electrónica de potencia que requieren una conversión eficiente de voltaje, proporcionando una salida ajustable y estable. El LM2596 es particularmente útil en sistemas que necesitan una alta corriente de salida, hasta 3 A, y un amplio rango de voltaje de entrada, desde 4.5 V hasta 40 V, haciéndolo ideal para aplicaciones en fuentes de alimentación reguladas y sistemas de baja tensión en proyectos de electrónica de consumo e industrial.

El regulador de voltaje LM2596 en el circuito presentado funciona como un convertidor DC-DC reductor, transformando una entrada de 12 V a una salida de 7.7 V (Malvino y Bates, 2020). Este proceso se realiza mediante las siguientes etapas principales:

- **Conmutación de alta frecuencia:** El LM2596 utiliza un oscilador interno para generar pulsos que controlan un interruptor MOSFET.
- **Almacenamiento y transferencia de energía:** Durante los ciclos de conmutación, el inductor L1 almacena y transfiere energía (Boylestad, 2022).
- **Rectificación:** El diodo Schottky D2 rectifica la corriente pulsante generada.
- **Filtrado:** Los condensadores C1 y C2 filtran el ruido de entrada y suavizan la salida respectivamente.
- **Retroalimentación:** El divisor de voltaje formado por R6 y R7 ajusta la salida a 7.7 V y 5 V (Floyd, 2021).

3.6.4. Acoplamiento de señal

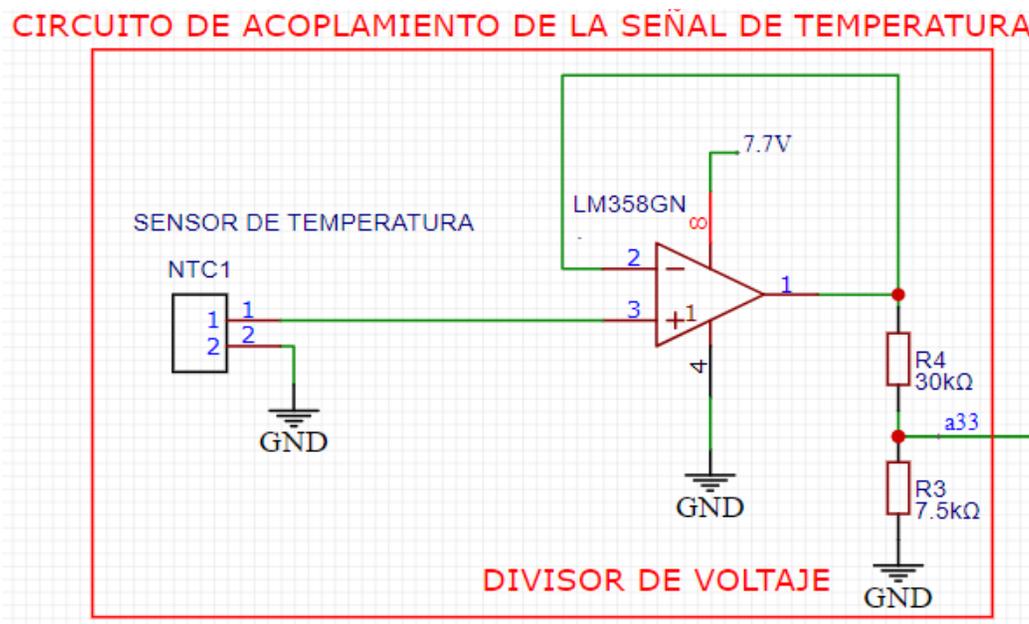
El circuito de acondicionamiento de señal para el sensor de temperatura NTC utiliza un amplificador operacional LM358N como adaptador de impedancia, seguido por un divisor de

voltaje para adecuar la señal al rango de entrada del ADS1115 (Boylestad y Nashelsky, 2021). El diseño consta de tres etapas principales:

- Sensor NTC: Convierte la temperatura en una variación de resistencia, que se traduce en un cambio de voltaje mediante un divisor de tensión implícito (Floyd, 2022).
- Adaptador de impedancia: El LM358N, configurado como seguidor de voltaje, proporciona una alta impedancia de entrada y baja impedancia de salida, aislando efectivamente el sensor del resto del circuito (Malvino y Bates, 2020).
- Divisor de voltaje: Compuesto por resistencias de 30 kΩ y 7.5 kΩ, reduce el voltaje de salida del amplificador operacional según la relación: $V_{out} = V_{in} * (7.5 \text{ k}\Omega / (7.5 \text{ k}\Omega + 30 \text{ k}\Omega)) = V_{in} * (1/5)$. Esta configuración adapta la señal al rango de entrada del convertidor ADS 1115, típicamente 0 a 5 V (Espressif Systems, 2023).

Figura 21

Esquemático del circuito de acoplamiento de la señal de temperatura.



Nota: Representación esquemática y conexiones del circuito acoplador de señal de temperatura desarrollado en el programa EasyEDA.

El circuito ofrece varias ventajas, incluyendo el aislamiento efectivo del sensor de temperatura, adaptabilidad de la señal, y un diseño simple y eficaz. (Sedra y Smith, 2021).

Para optimizar el rendimiento del sistema, se deben considerar factores como el rango de medición, la precisión del amplificador operacional, el consumo de energía, la no linealidad del sensor NTC y la respuesta dinámica del circuito (Franco, 2022).

3.6.5. Convertidor ADS1115.

El ADS1115 es un convertidor analógico-digital (ADC) de 16 bits que se utiliza en este sistema para digitalizar las señales de temperatura y corriente. Este dispositivo se comunica con el microcontrolador ESP32 mediante el protocolo I2C, ofreciendo una solución de alta precisión para la adquisición de datos en aplicaciones de monitoreo industrial (Texas Instruments, 2023).

Configuración y funcionamiento:

1. Alimentación: El ADS1115 se alimenta con 3.3 V, lo que es compatible con la lógica del ESP32.
2. Entradas analógicas:
 - A2: Conectada al sensor de temperatura (termistor NTC).
 - A0 y A1: Conectadas al sensor de corriente SCT, que monitorea el estado del motor.
3. Comunicación I2C:
 - SDA (Pin 4): Línea de datos serie.
 - SCL (Pin 5): Línea de reloj serie. Estas líneas se conectan directamente a los pines correspondientes del ESP32 (Espressif Systems, 2023).
4. Resolución y rango: El ADS1115 ofrece una resolución de 16 bits con un rango de entrada programable de ± 256 mV a ± 6.144 V (Malvino & Bates, 2020). Esto permite una medición

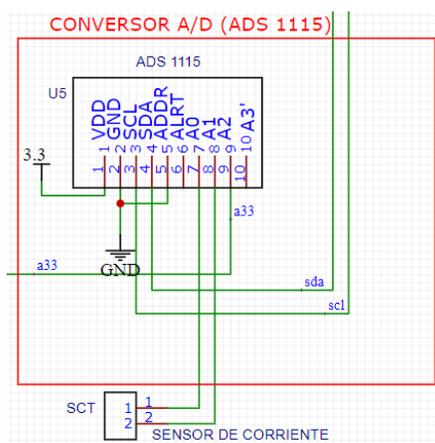
precisa tanto de las pequeñas variaciones de voltaje del sensor de temperatura como de las señales más amplias del sensor de corriente.

Implementación en el sistema:

1. Medición de temperatura: La señal analógica del sensor de temperatura, conectada a A2, se digitaliza con alta precisión. La resolución de 16 bits permite detectar cambios mínimos de temperatura.
2. Monitoreo del estado del ventilador del congelador: Las entradas A0 y A1 se utilizan para medir la corriente del ventilador del congelador a través del sensor SCT. Esta configuración diferencial mejora la relación señal-ruido en la medición de corriente (Franco, 2022).
3. Integración con ESP32: El ESP32 controla el ADS1115 a través de I2C, configurando parámetros como la ganancia, la tasa de muestreo y el modo de operación. Los datos digitalizados se transmiten al ESP32 para su procesamiento (Espressif Systems, 2023).

Figura 22

Esquemático del circuito convertidor ADS1115.



Nota: Representación esquemática y conexiones del circuito ADS1115 desarrollado en el programa EasyEDA.

Este diseño permite un monitoreo preciso y eficiente de la temperatura y el consumo de corriente del congelador, proporcionando datos cruciales para el monitoreo del sistema.

3.6.6. *Microcontrolador ESP32*

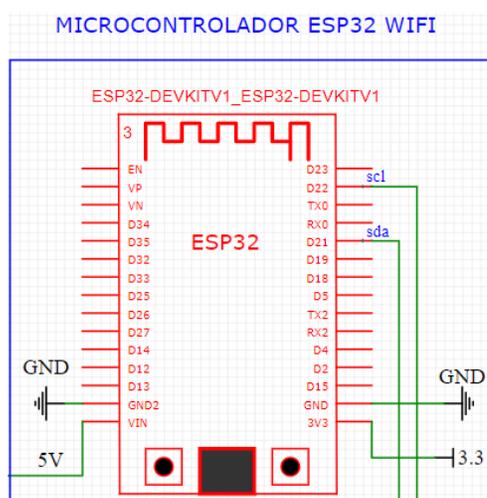
El microcontrolador ESP32 actúa como el núcleo central del sistema de monitoreo, integrando la adquisición de datos, procesamiento y comunicación inalámbrica para el monitoreo remoto de temperatura y estado del congelador. Su implementación se desarrolla de la siguiente manera:

1. Adquisición de Datos: El ESP32 se comunica con el convertidor analógico-digital ADS1115 mediante el protocolo I2C (Inter-Integrated Circuit). Este proceso implica:
 - a) Configuración del ADS1115 a través de los pines GPIO22 (SCL) y GPIO21 (SDA) para I2C (Espressif Systems, 2023).
 - b) Lectura periódica de los canales del ADS1115:
 - Canal A2: Datos del sensor de temperatura.
 - Canales A0 y A1: Información del sensor de corriente SCT para monitorear el estado del ventilador del congelador.
2. Procesamiento de Datos: Una vez adquiridos los datos, el ESP32 realiza las siguientes operaciones: Conversión de los valores provenientes del ADC a unidades físicas (grados Celsius para temperatura, amperios para corriente) utilizando fórmulas de calibración predefinidas.
3. Conectividad Wi-Fi: El ESP32 utiliza su módulo Wi-Fi integrado para establecer conexión con la red local:
 - a) Configuración de los parámetros de red (SSID, contraseña) almacenados en la memoria flash.
 - b) Implementación de reconexión automática en caso de pérdida de conectividad (Kodali & Mahesh, 2021).

4. Comunicación con plataforma IoT (Adafruit): Para transmitir los datos procesados a la plataforma Adafruit, el ESP32 realiza:
 - a) Autenticación segura utilizando protocolos como MQTT sobre TLS (Adafruit, 2023).
 - b) Publicación periódica de datos en los feeds correspondientes de Adafruit para temperatura y estado del congelador.

Figura 23

Esquemático del microcontrolador ESP32.



Nota: Representación esquemática y conexiones del circuito ESP32 desarrollado en la el programa EasyEDA.

Este enfoque integral permite al ESP32 no solo recopilar y procesar datos críticos del congelador, sino también transmitirlos de manera eficiente y segura a la plataforma Adafruit. Esto facilita el monitoreo remoto en tiempo real y la posibilidad de implementar alertas y controles automatizados basados en la información recopilada.

3.7. DISEÑO DEL SOFTWARE PARA EL ESP32

El software del ESP32 se desarrolló utilizando librerías de Arduino y se estructuró en varios módulos funcionales:

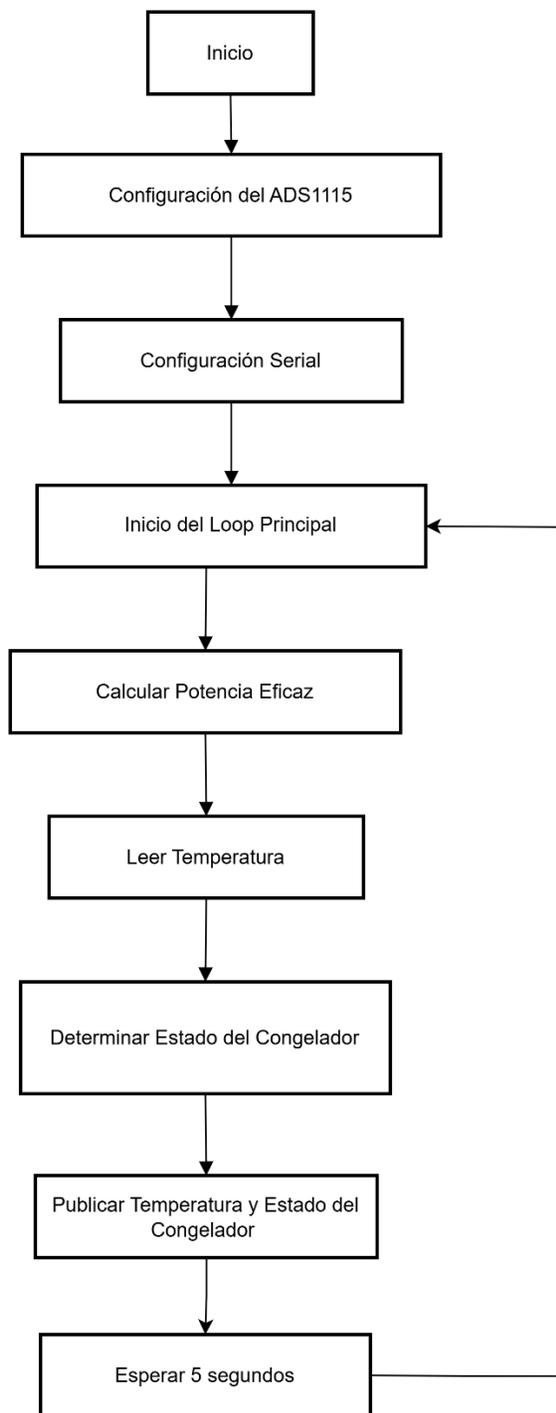
1. Configuración inicial:
 - Inicialización de periféricos (ADC, I2C, Wi-Fi).
 - Conexión a la red Wi-Fi.
 - Configuración del cliente MQTT.
2. Lectura de sensores:
 - Función para leer temperatura del SB-70.
 - Función para leer corriente del ST.
3. Procesamiento de datos:
 - Conversión de lecturas ADC a valores de temperatura y voltaje.
4. Comunicación MQTT:
 - Publicación periódica de datos.
 - Suscripción a comandos de monitoreo.
5. Manejo de errores y reconexión:
 - Detección de pérdida de conexión Wi-Fi o MQTT.
 - Reintentos de conexión con backoff exponencial.

3.7.1. Diagrama de flujos del sistema de monitoreo

En el anexo H se presenta el código implementado en el ESP32 para el desarrollo del proyecto de tesis. A continuación, se muestra el diagrama de flujos del sistema.

Figura 24

Diagrama de flujos del sistema de monitoreo remoto.



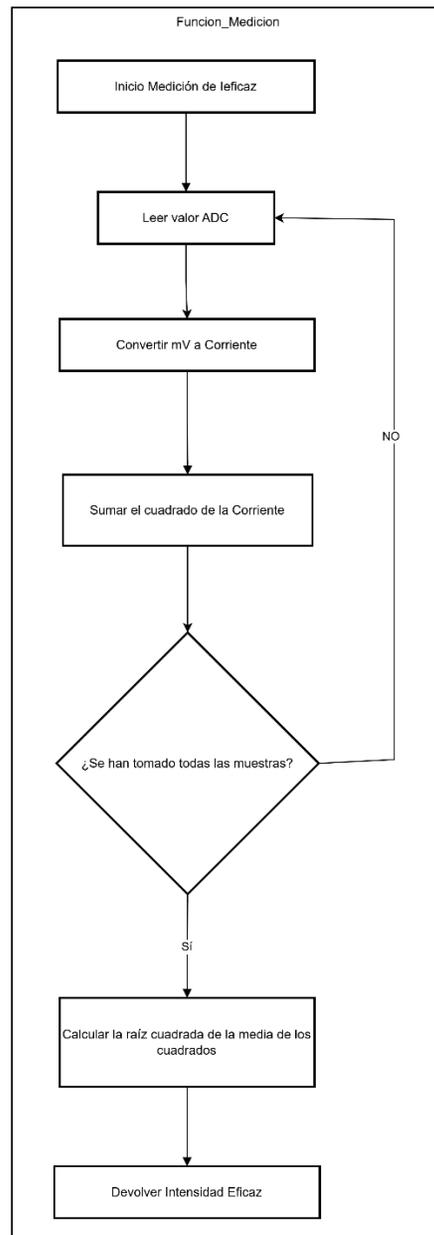
Nota: Representación del diagrama de flujos del funcionamiento del código implementado en el sistema.

A continuación, se explicarán las diferentes partes del diagrama de flujos:

- Diagrama de flujo corresponde a la función Medición ()

Figura 25

Diagrama de flujo de la función medición.



Este diagrama de flujo representa el funcionamiento de la función `med_Ieficaz()` que se utiliza en el código para calcular la intensidad eficaz de corriente basada en lecturas del sensor SCT013. El procedimiento se detalla a continuación:

Pasos del Proceso

1. Inicio de Medición de Intensidad Eficaz:

- La función comienza y se prepara para realizar mediciones de corriente en el sensor.

2. Leer Valor ADC (Convertidor Analógico-Digital):

- Se realiza una lectura del valor de bits del ADC, que representa la señal analógica proveniente del sensor, ahora convertida a un valor digital.

3. Convertir mV a Corriente:

- El valor obtenido en bits se convierte en milivoltios (mV) utilizando la relación de resolución del ADC.
- Posteriormente, se aplica una regla de tres para convertir el valor de milivoltios a corriente en amperios, basada en las especificaciones del sensor (SCT013).

4. Sumar el Cuadrado de la Corriente:

- Cada valor de corriente calculado se eleva al cuadrado y se acumula en una variable que guarda la suma de estos cuadrados. Este paso es clave para calcular el valor RMS (Root Mean Square).

5. Verificar si se han tomado todas las muestras:

- La función evalúa si ya se han completado las mediciones necesarias.
- Si no se han completado las muestras: La función regresa al paso de lectura del ADC y repite el proceso.

6. Calcular la Raíz Cuadrada de la Media de los Cuadrados:

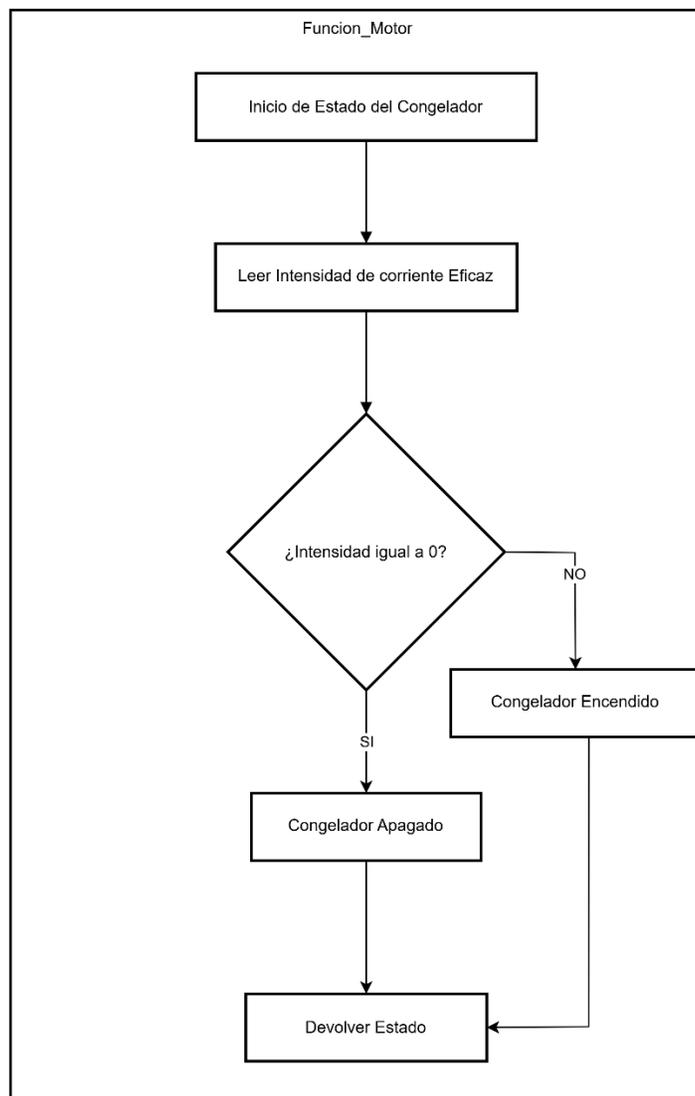
- Una vez tomadas todas las muestras, se calcula la raíz cuadrada de la media de los cuadrados acumulados. Este es el valor eficaz de corriente, también conocido como valor RMS.

7. Devolver la Intensidad Eficaz:

- La función devuelve el valor calculado de intensidad eficaz, listo para ser utilizado en los cálculos de potencia o monitoreo.
- Diagrama de flujo corresponde a la función Motor ().

Figura 26

Diagrama de flujo de la función del motor.



La etapa representada en este diagrama de flujo corresponde a la función Motor () en el código proporcionado. A continuación, se explica su lógica paso a paso:

Descripción del Proceso

1. Inicio del Estado del Motor:

- La función Motor() comienza evaluando el estado actual del motor (o congelador) basándose en la intensidad de corriente eficaz.

2. Lectura de Intensidad de Corriente Eficaz:

- La función llama a med_Ieficaz(), que mide la corriente eficaz a través del sensor conectado.
- Este valor se usa para determinar si el motor está encendido o apagado.

3. Condición de Decisión:

- El diagrama plantea una decisión: ¿La intensidad de corriente eficaz es igual a 0?
- Si la corriente es igual a 0:
- El motor se considera apagado, y se establece el estado como "Motor Apagado".
- Si la corriente no es igual a 0:
- El motor se considera encendido, y el estado se define como "Motor Encendido".

4. Devolución del Estado:

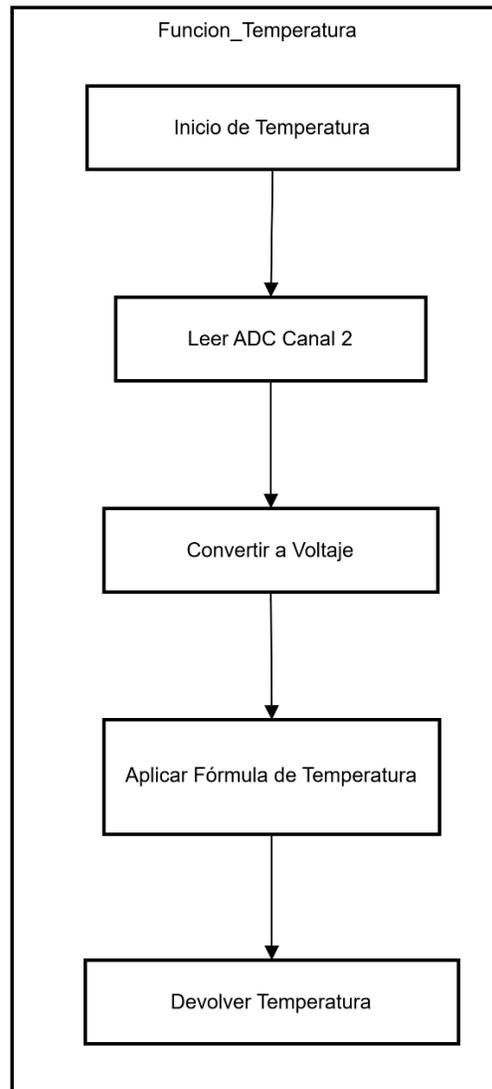
- El estado del motor ("Motor Encendido" o "Motor Apagado") se almacena en la variable EstadoMotor para ser usado posteriormente o enviado al monitor serial.

Esta etapa del código permite monitorear el estado del motor detecta si está funcionando o no.

- **Diagrama de flujo corresponde a la función temperatura ().**

Figura 27

Diagrama de flujo-Función temperatura.



Este diagrama de flujo corresponde a la función Temperatura () en el código, y describe el proceso para medir y calcular la temperatura en función de las lecturas del sensor conectado al canal 2 del ADC (convertidor analógico-digital). La explicación de cada paso es la siguiente:

Pasos del Proceso

1. Inicio de la Función (Inicio de Temperatura):

- La función comienza para realizar la medición de la temperatura en tiempo real.
2. Lectura del Canal ADC (Leer ADC Canal 2):
 - Se utiliza el canal 2 del ADC (ADS1115) para leer una señal analógica proveniente del sensor de temperatura. Este valor es convertido a un número digital representado por el valor de bits del ADC.
 3. Conversión a Voltaje (Convertir a Voltaje):
 - El valor digital obtenido del ADC se convierte en voltaje mediante una fórmula específica proporcionada por la biblioteca Adafruit_ADS1X15. Esta conversión toma en cuenta la ganancia configurada para el ADC.
 4. Aplicar Fórmula de Temperatura:
 - El voltaje calculado se introduce en una fórmula específica que relaciona el voltaje con la temperatura.
 - Esta fórmula puede ser ajustada según el sensor utilizado y su relación voltaje-temperatura.
 5. Devolución de la Temperatura:
 - Una vez calculada la temperatura en grados Celsius, este valor es devuelto para su uso en el programa principal o para su visualización en el monitor serial.

La función Temperatura () es esencial para monitorear la temperatura en tiempo real, proporciona información crítica para la supervisión del sistema.

Implementar controles basados en temperatura, el sistema puede reaccionar automáticamente si la temperatura excede ciertos límites, activando alarmas o modificando parámetros de funcionamiento.

En el código del anexo H, se encuentra la etapa de medición de temperatura, en la que se realiza una operación matemática, la cual se obtuvo de un trabajo de toma de muestras del sensor que utilizan los congeladores industriales de la Empresa Rico Pollo, este trabajo de mediciones utilizando un divisor de tensión, se realizó en un periodo de tiempo en los cuales los valores obtenidos fueron en mediciones de voltaje, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 8

Valores de voltaje registrados en el sensor en función a la temperatura.

Valor de voltaje del sensor (V)	Valor de la temperatura (C°)
8.58	-5
8.63	-6
8.7	-7
8.76	-8
8.84	-9
8.89	-10
8.96	-11
9	-12
9.06	-13
9.16	-15
9.3	-18.3
9.32	-18.5

Con estos valores se realizó una aproximación lineal utilizando el método de los mínimos cuadrados, para obtener una equivalencia con los valores de temperatura.

3.7.2. La aproximación lineal

Es un método matemático utilizado para modelar la relación entre dos variables que presentan una tendencia lineal (es decir, una relación que puede aproximarse a una línea recta). En este caso, con el objetivo de interpretar los datos de voltaje en función de la temperatura, se aplicó

el método de los mínimos cuadrados, una técnica estadística que permite encontrar la línea recta que mejor se ajusta a un conjunto de datos.

3.7.3. Pasos para realizar la aproximación lineal

- Cálculo de la pendiente (m): La pendiente m se calcula para minimizar la distancia entre los valores observados y los valores predichos de la recta.
- Cálculo del intercepto (b): Una vez que se conoce la pendiente, el intercepto b se calcula para ajustar la línea a los datos observados.
- Ecuación de ajuste: Con m y b, se puede escribir la ecuación de la recta. Esta ecuación permitirá estimar la temperatura en función del voltaje registrado por el sensor.

3.7.4. Método de los mínimos cuadrados.

El método de mínimos cuadrados es una técnica estadística fundamental en ingeniería electrónica para la linealización de datos de sensores y la calibración de sistemas de medición (Montgomery et al., 2021). Este método busca la mejor aproximación lineal a un conjunto de datos, minimizando la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores observados y predichos.

La ecuación básica es:

$$y = mx + b$$

Donde:

y: es la variable dependiente (temperatura).

x: es la variable independiente (voltaje del sensor).

m: es la pendiente.

b: es la intersección con el eje y.

A continuación, se realizará se aplicará este método para hallar la ecuación matemática que representa la tabla 8:

4. Cálculos preliminares:

$$n = 12 \text{ (número de datos)}$$

$$\Sigma x \text{ (suma de voltajes)} = 105.7$$

$$\Sigma y \text{ (suma de temperaturas)} = -132.8$$

$$\Sigma x^2 \text{ (suma de voltajes al cuadrado)} = 999.6728$$

$$\Sigma y^2 \text{ (suma de temperaturas al cuadrado)} = 2,150.19$$

$$\Sigma xy \text{ (suma de productos voltaje * temperatura)} = -1438.954$$

$$\bar{x} \text{ (promedio de voltajes)} = 105.7 / 12 = 8.8083$$

$$\bar{y} \text{ (promedio de temperaturas)} = -132.8 / 12 = -11.0667$$

5. Cálculo de la pendiente (m):

$$m = (n * \Sigma xy - \Sigma x * \Sigma y) / (n * \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2)$$

$$m = (12 * -1438.954 - 105.7 * -132.8) / (12 * 999.6728 - 105.7^2)$$

$$m \approx -18.136$$

6. Cálculo de la intersección (b):

$$b = \bar{y} - m * \bar{x}$$

$$b = -11.0667 - (-18.136 * 8.8083)$$

$$b \approx 150.95$$

7. Ecuación de la recta:

$$y = mx + b$$

$$\text{Temperatura} = -18.136 * \text{Voltaje} + 150.95$$

8. Cálculo del coeficiente de determinación (R²):

$$SST \text{ (Suma total de cuadrados)} = \sum y^2 - (\sum y)^2 / n$$

$$SST = 2150.19 - (-132.8)^2 / 12 = 680.0033$$

$$SSR \text{ (Suma de cuadrados de la regresión)} = m * (\sum xy - (\sum x * \sum y / n))$$

$$SSR = -18.136 * (-1438.954 - (105.7 * -132.8 / 12)) = 4935.74$$

$$R^2 = SSR / SST$$

$$R^2 \approx 0.9927$$

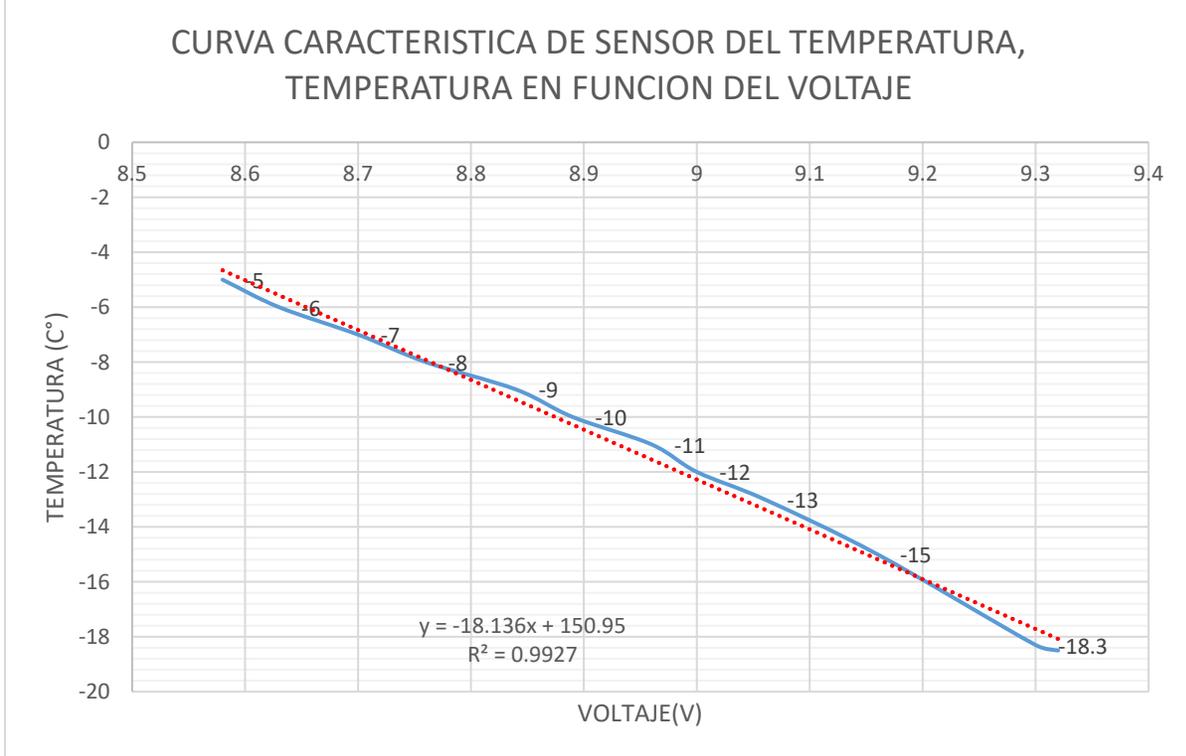
9. Verificación de la ecuación:

1. Para V = 8.58 V

$$T = -18.136 * 8.58 + 150.95 = -5 \text{ °C}$$

Figura 28

Curva característica del sensor de temperatura.



Nota: La siguiente grafica fue desarrollada en Excel y los valores hallados matemáticamente coinciden con el Excel.

10. Interpretación y conclusiones

1. El R^2 de 0.9927 indica que el modelo explica el 99.27 % de la variabilidad en los datos, lo cual es muy bueno.
2. La pendiente negativa (-18.136) indica que por cada aumento de 1 V en el voltaje, la temperatura disminuye aproximadamente 18.136 °C.

La ecuación fue implementada en el código de Arduino y se verificó que nuestro sistema cumple con el objetivo de monitorear en tiempo real el valor de temperatura obtenida por el sensor que utiliza el congelador industrial, y estos valores se registran en la plataforma Adafruit IO para luego ser visualizado desde cualquier parte.

Figura 29

Fotografía donde se observa el funcionamiento del prototipo del sistema de monitoreo.



Nota: En la imagen se observa que el prototipo está midiendo la temperatura ambiente (20.5 °C) y en la parte izquierda se observa una computadora mostrando la plataforma Adafruit IO donde se está registrando en tiempo real el valor de temperatura medido por el prototipo.

La plataforma Adafruit IO se configuró para recibir, almacenar y visualizar los datos del sistema de monitoreo. Los pasos principales fueron:

1. Creación de feeds:

- Temperatura: Para visualizar y almacenar las lecturas de temperatura del congelador.
- Estado de ventilador: Para visualizar y almacenar las lecturas del estado del congelador.

2. Diseño del dashboard:

- Gráfico de líneas para mostrar la temperatura a lo largo del tiempo.
- Indicador digital numérico para mostrar la temperatura actual.
- Indicador de potencia para verificar el consumo de energía.

3. Configuración de la API:

- Generación de la clave API para el acceso desde el ESP32.
- Configuración de los permisos de lectura/escritura para cada feed.

Figura 30

Captura de pantalla de la configuración de los bloques de temperatura en Adafruit IO, mostrando los bloques creados y sus propiedades.

Configuración de bloque ×

En este último paso, puedes darle un título a tu bloque y ver una vista previa de cómo se verá. Personaliza la apariencia de tu bloque con las configuraciones restantes. Cuando estés listo, haz clic en el botón "Crear bloque" para enviarlo a tu panel de control.

Título del bloque (opcional)

Valor mínimo del calibre

Valor máximo del calibre

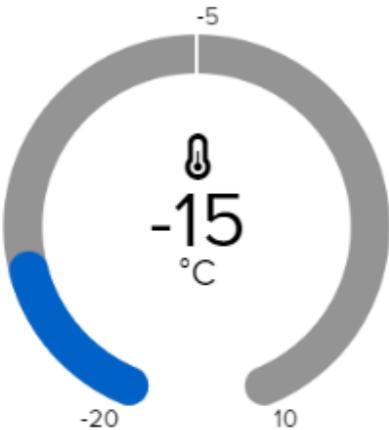
Ancho de calibre

Etiqueta de calibre

Valor de advertencia bajo

Opcional. Si no se proporciona ningún valor de advertencia bajo, el indicador solo cambiará de color cuando el valor esté fuera de los límites.

Vista previa del bloque



Calibre Un calibre es un tipo de bloque de solo lectura que muestra un rango fijo de valores.

Valor de prueba

Nota: Bloque donde se visualiza la temperatura del congelador.

Figura 31

Captura de pantalla de la configuración de los bloques de temperatura en un gráfico del tiempo en Adafruit IO.

Configuración de bloque ×

En este último paso, puedes darle un título a tu bloque y ver una vista previa de cómo se verá. Personaliza la apariencia de tu bloque con las configuraciones restantes. Cuando estés listo, haz clic en el botón "Crear bloque" para enviarlo a tu panel de control.

Título del bloque (opcional)

Mostrar historial

Etiqueta del eje X

Etiqueta del eje Y

Mínimo del eje Y

Déjelo en blanco para detectarlo automáticamente.

Máximo del eje Y

Vista previa del bloque

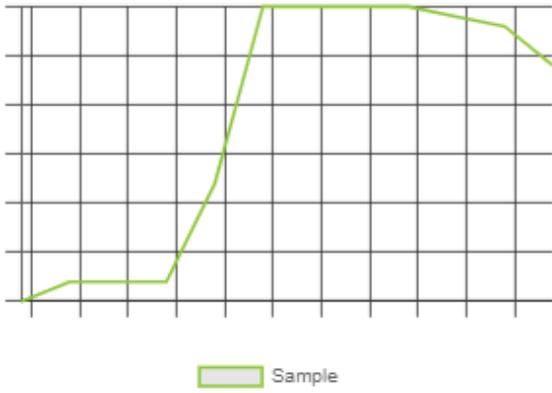


Gráfico de líneas El gráfico de líneas se utiliza para graficar uno o más feeds.

Nota: Bloque donde se muestra el diagrama de la temperatura en función al tiempo.

Figura 32

Captura de pantalla de la configuración de los bloques del estado del ventilador del congelador en Adafruit IO.

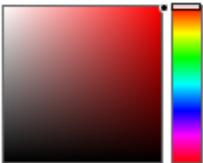
Configuración de bloque ×

En este último paso, puedes darle un título a tu bloque y ver una vista previa de cómo se verá. Personaliza la apariencia de tu bloque con las configuraciones restantes. Cuando estés listo, haz clic en el botón "Crear bloque" para enviarlo a tu panel de control.

Título del bloque (opcional)

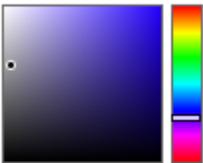
VENTILADOR Y CONTACTOR

Sobre el color



hsv(0, 100%, 98%)

Fuera de color



hsv(249, 4%, 62%)

Condiciones

=

1

▼

[Agregar condición](#)

Vista previa del bloque

VENTILADOR Y CONTACTOR

Indicador Una lámpara indicadora simple de encendido y apagado. Los valores de alimentación se comparan utilizando las condiciones dadas. Si las condiciones son verdaderas, se utiliza "Color activado"; si son falsas, se utiliza "Color desactivado". Se supone que todos los valores son numéricos para la comparación. Si el valor de alimentación actual no se puede convertir a un número, se tratará como una cadena.

Valor de prueba

1

Nota: Bloque donde se muestra el indicador de encendido o apagado del ventilador.

Figura 33

Captura de pantalla de la configuración de bloques del estado del congelador en Adafruit IO.

Configuración de bloque ×

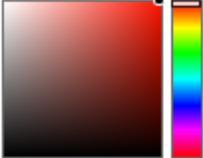
En este último paso, puedes darle un título a tu bloque y ver una vista previa de cómo se verá. Personaliza la apariencia de tu bloque con las configuraciones restantes. Cuando estés listo, haz clic en el botón "Crear bloque" para enviarlo a tu panel de control.

Título del bloque (opcional)

Vista previa del bloque

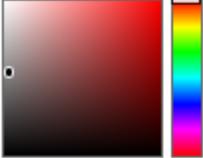


Sobre el color



hsv(5, 100%, 99%)

Fuera de color



hsv(0, 4%, 53%)

Condiciones

1

Agregar condición

Indicador Una lámpara indicadora simple de encendido y apagado. Los valores de alimentación se comparan utilizando las condiciones dadas. Si las condiciones son verdaderas, se utiliza "Color activado"; si son falsas, se utiliza "Color desactivado". Se supone que todos los valores son numéricos para la comparación. Si el valor de alimentación actual no se puede convertir a un número, se tratará como una cadena.

Valor de prueba

Nota: Bloque donde se muestra el indicador de encendido o apagado del congelador.

Esta configuración permite una visualización clara y en tiempo real de los datos del congelador, facilitando el monitoreo y la detección temprana de problemas.

3.8. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

3.8.1. *Montaje del hardware*

El montaje del hardware se realizó siguiendo estos pasos:

a) Fabricación de la PCB:

- Se diseñó el layout de la PCB utilizando el software Easyeda.
- Se fabricó la PCB mediante el método de transferencia térmica y utilizando la sustancia química cloruro férrico que corroe el cobre de la placa.

b) Soldadura de componentes:

- Se soldaron primero las borneras para los componentes SMD (ESP32, ADS1115) utilizando pasta de soldar y un cautil.
- Luego se soldaron los componentes electrónicos (conectores, reguladores de voltaje y resistencias) con un soldador de punta fina.

c) Verificación de conexiones:

- Se realizó una inspección visual detallada.
- Se comprobó la continuidad de las pistas con un multímetro.

d) Montaje en caja:

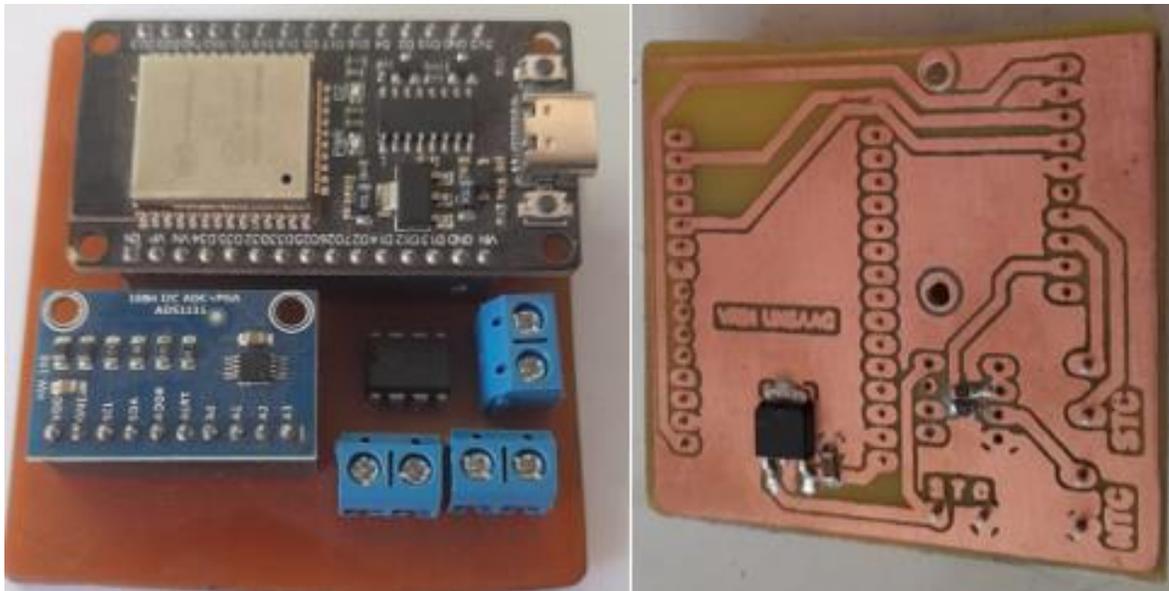
- Se implementó una caja de paso protectora con aberturas para los sensores y conectores.
- Se fijó la PCB en la caja utilizando silicona líquida.

e) Instalación de sistema de monitoreo:

- Se instalaron 2 cables desde las ADS1115 al sensor de corriente SCT para verificar el estado del ventilador.
- Desde el sensor de temperatura se conectaron 2 cables uno a tierra y el otro hacia el circuito acoplador de impedancia, que se conecta con el circuito divisor de voltaje y lleva esta información de voltaje al conversor ADS1115, para ser procesado en el ESP32.

Figura 34

Fotografía de la elaboración final de la placa electrónica.



Nota: El circuito se realizó de manera artesanal.

3.8.2. Programación del ESP32

La programación del ESP32 se realizó utilizando el IDE de Arduino, siguiendo estos pasos:

a) Configuración del entorno de desarrollo:

- Se instaló el soporte para ESP32 en el IDE de Arduino.
- Se instalaron las bibliotecas necesarias: Wi-Fi, PubSubClient (para MQTT), Adafruit_ADS1X15, y ArduinoJson.

b) Estructura del código:

- Se organizó el código en múltiples archivos (.ino y .h) para mejorar la legibilidad y mantenibilidad.
- Se implementaron funciones modulares para cada tarea específica (lectura de sensores, procesamiento de datos, comunicación MQTT).

c) Implementación de las funcionalidades principales:

- Lectura y procesamiento de datos de los sensores.
- Conexión y reconexión automática a Wi-Fi y MQTT.
- Publicación periódica de datos a Adafruit IO.

3.9. DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO PARA SEIS CONGELADORES INDUSTRIALES

3.9.1. Descripción general del sistema de monitoreo

El diseño del sistema de monitoreo para seis congeladores industriales se basa en la utilización de módulos ESP32, cada uno conectado a sensores de temperatura NTC SB-70 y sensores de corriente SCT-013-010. Los datos recolectados por los módulos serán enviados a la nube a través de la plataforma Adafruit IO, utilizando el protocolo MQTT. La elección del protocolo y la topología de red se ha realizado considerando la optimización del ancho de banda, la confiabilidad de la red y la facilidad de implementación.

3.9.2. Topología de red estrella

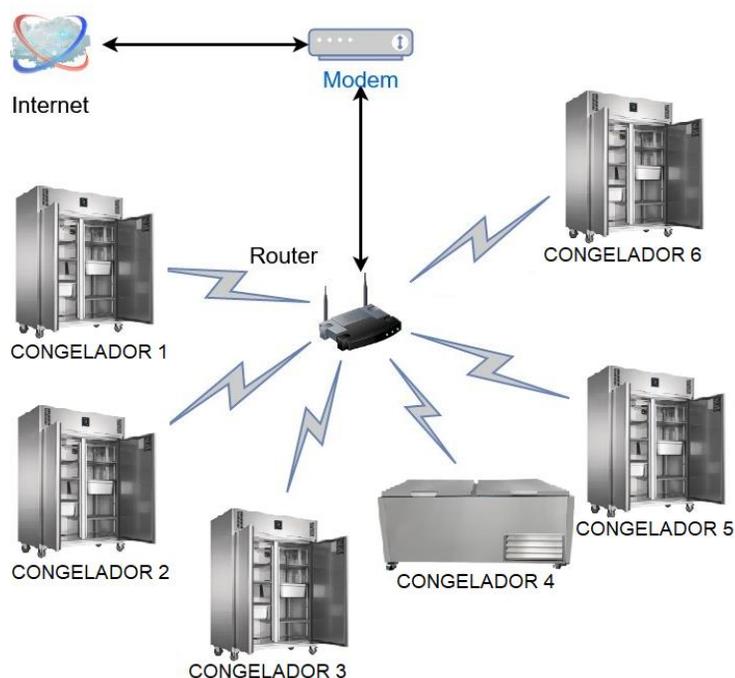
La topología de red seleccionada para este proyecto es estrella, donde cada módulo ESP32 actúa como un nodo cliente que se comunica directamente con un punto central, el router Wi-Fi, que a su vez está conectado a la nube de Adafruit IO. La topología estrella es ideal en este caso por varias razones:

- Simplicidad de implementación: Cada nodo está conectado de forma independiente al punto central (router Wi-Fi), lo que facilita la configuración, el mantenimiento y la resolución de problemas.

- Bajo consumo de ancho de banda: Como cada módulo ESP32 envía datos de manera periódica y no constante, el tráfico se distribuye de manera eficiente, reduciendo la posibilidad de colisiones en la red y garantizando un uso óptimo del ancho de banda.
- Robustez: En caso de que un nodo falle, los otros nodos no se ven afectados, lo que mejora la confiabilidad del sistema.

Figura 35

Topología de red estrella.



3.9.3. ¿Por qué no utilizar otra topología?

- Topología en malla: Aunque una topología en malla podría ofrecer redundancia, no es adecuada para este caso porque aumentaría significativamente el tráfico de la red debido a la retransmisión de mensajes entre nodos, lo que saturaría el ancho de banda y aumentaría la latencia. Además, incrementa la complejidad del sistema, ya que la distancia entre los módulos ESP32 y el punto central (router) es relativamente corta.

- Topología de bus: Este tipo de topología requeriría que todos los nodos compartieran un solo canal de comunicación, lo que podría generar colisiones frecuentes, especialmente si el número de nodos crece. Esto afectaría la integridad y el tiempo de respuesta del sistema.

3.9.4. Tasa de transmisión de datos

Cada módulo ESP32 enviará las lecturas de temperatura y corriente cada 60 segundos.

Cada paquete de datos incluirá:

- Lectura de temperatura: 2 bytes.
- Lectura de corriente: 2 bytes.
- Datos adicionales (estado del compresor e identificador del dispositivo): 4 bytes.

Esto resulta en un tamaño promedio de paquete de 8 bytes por transmisión.

Dado que el sistema monitorea seis congeladores, y considerando que cada uno transmite datos cada 60 segundos, la tasa de transmisión total sería:

$$Tasa\ de\ transmision\ total = \frac{8\ bytes\ x\ 6\ congeladores}{60\ segundos} = \frac{0.8\ bytes}{segundos} = 6.4\ \frac{bits}{segundos}$$

Esta tasa de transmisión es extremadamente baja y puede ser fácilmente manejada por cualquier red Wi-Fi moderna.

3.9.5. Ancho de banda

El ancho de banda requerido para la transmisión de datos es mínimo, considerando que el sistema solo transmite 6.4 bits/segundo en total. Sin embargo, al considerar posibles picos de tráfico (retransmisiones en caso de fallos temporales), es recomendable prever una reserva de capacidad de red. Un router estándar de 2.4 GHz, con un ancho de banda mínimo de 1 Mbps, es más que suficiente para manejar el tráfico generado por los seis módulos ESP32, incluso si estos se amplían para monitorear otros parámetros en el futuro.

Además, dado que el protocolo MQTT utiliza un sistema de mensajes ligeros, la sobrecarga en la red es baja, ya que los encabezados de los paquetes son pequeños y la retransmisión se maneja de manera eficiente.

3.9.6. Comunicación entre los módulos ESP32 y la nube

La comunicación entre los módulos ESP32 y la nube Adafruit IO se lleva a cabo utilizando el protocolo MQTT sobre una conexión Wi-Fi. MQTT es un protocolo liviano, diseñado específicamente para aplicaciones IoT, que permite la publicación y suscripción de mensajes con un consumo mínimo de ancho de banda. Las principales características de esta implementación son:

- **Conexión persistente:** Los módulos ESP32 mantienen una conexión persistente con el broker MQTT en Adafruit IO, lo que minimiza el tiempo de establecimiento de la conexión y reduce la latencia.
- **Seguridad:** La conexión está asegurada mediante SSL/TLS, lo que garantiza que los datos transmitidos estén encriptados y protegidos contra accesos no autorizados.

3.9.7. Sistema de adquisición de datos

Cada congelador contará con:

- Un sensor de temperatura NTC SB-70 con un rango de medición de -50 °C a 105 °C.
- Un sensor de corriente SCT-013-010, que permite monitorear el consumo de corriente del compresor para detectar fallos o sobrecargas.

Ambos sensores estarán conectados al ADS1115, un ADC de 16 bits que proporciona una resolución adecuada para la medición precisa de pequeñas variaciones de temperatura y corriente.

3.9.8. Escalabilidad del sistema

Este diseño permite la fácil adición de más congeladores o sensores. Debido a la baja tasa de transmisión de datos y el bajo consumo de ancho de banda, se pueden integrar más módulos ESP32 al mismo router sin comprometer el rendimiento de la red. Además, la flexibilidad del protocolo MQTT y la plataforma Adafruit IO permite la ampliación del sistema sin necesidad de realizar cambios significativos en la infraestructura.

3.9.9. Consumo de energía del ESP32

El ESP32 tiene diferentes modos de operación, cada uno con un consumo de energía característico:

- Modo activo (transmitiendo datos por Wi-Fi): Aproximadamente 160 mA a 3.3 V.
- Modo inactivo (Wi-Fi conectado, pero sin transmitir datos): Aproximadamente 80-100 mA a 3.3 V.
- Modo deep sleep (ahorro de energía): Aproximadamente 10 μ A a 3.3 V.

En este caso, asumimos que el sistema estará operando principalmente en modo activo y en modo inactivo, ya que los módulos estarán conectados constantemente al Wi-Fi para transmitir datos de temperatura y corriente cada 60 segundos.

3.9.10. Estimación del consumo en modo activo

- Durante la transmisión de datos, el ESP32 consume aproximadamente 160 mA a 3.3 V.
- El tiempo de transmisión por cada módulo será muy corto (aproximadamente 5 segundo por envío).
- Para seis congeladores, con 6 transmisiones por minuto, cada uno durante 10 segundo, el tiempo total de transmisión es 6 veces/minuto.

El consumo de energía en modo activo es:

$$E_{activo} = 6 \text{ veces/segundo} \times 160 \text{ mA} \times 3.3 \text{ V} = 3.168 \text{ mWh/segundo}.$$

En 24 horas, el consumo en modo activo para cada ESP32 sería:

$$E_{activo \text{ total}} = 3.168 \text{ mWh/segundo} \times 60 \text{ segundos/minuto} \times 24 \text{ horas} = 4.56 \text{ Wh/día}.$$

Para seis ESP32:

$$E_{activo \text{ total } 6 \text{ ESP32}} = 4.56 \text{ Wh/día} \times 6 = 27.36 \text{ Wh/día}.$$

3.9.11. Estimación del consumo en modo inactivo

El ESP32 se mantendrá conectado al Wi-Fi en modo inactivo entre las transmisiones, consumiendo unos 80-100 mA a 3.3 V.

El consumo de energía en modo inactivo es:

$$E_{inactivo} = (60 - 6) \text{ segundos/segundo} \times 90 \text{ mA} \times 3.3 \text{ V} = 16.02 \text{ mWh/segundo}.$$

En 24 horas, el consumo en modo inactivo para cada ESP32 sería:

$$E_{inactivo \text{ total}} = 16.02 \text{ mWh/segundo} \times 60 \text{ segundos/minuto} \times 24 \text{ horas} = 23.08 \text{ Wh/día}.$$

Para seis ESP32:

$$E_{inactivo \text{ total } 6 \text{ ESP32}} = 23.08 \text{ Wh/día} \times 6 = 138.48 \text{ Wh/día}.$$

3.9.12. Consumo total de los 6 ESP32

El consumo total del sistema (modo activo + inactivo) para los seis ESP32 en 24 horas es:

$$E_{total} = 27.36 \text{ Wh/día} + 138.48 \text{ Wh/día} = 165.84 \text{ Wh/día}.$$

El sistema de monitoreo con seis módulos ESP32 conectados al router consumiría aproximadamente 165.84 Wh al día. Esto es un consumo relativamente bajo, ideal para aplicaciones IoT donde se busca la eficiencia energética.

CAPITULO IV: PRUEBAS Y VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO

4.1. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

4.1.1. *Pruebas de medición de temperatura*

Para validar la precisión y fiabilidad del sistema de medición de temperatura, se realizaron las siguientes pruebas en diferentes congeladores de la empresa y finalmente se diseñó un prototipo:

a) Calibración del sensor:

- Se utilizó un congelador de prueba para verificar la variación de temperatura.
- Se compararon las lecturas del sensor SB-70 con un termómetro calibrado de referencia.
- Se realizaron mediciones en 10 puntos de temperatura: -18.5 °C, -15 °C, -13 °C, -12 °C, -11 °C, -10 °C, -9 °C, -8 °C, -7 °C, -6 °C, 5 °C, 0 °C.
- Se ajustó la curva de calibración en el software del ESP32 para minimizar el error.

b) Prueba de estabilidad a largo plazo:

- Se registraron las lecturas cada segundo para evaluar los datos del sensor.

c) Prueba de tiempo de respuesta:

- Se realizó variaciones de temperatura dentro del congelador, abriendo y cerrando las puertas.
- Se midió el tiempo que tardó el sensor en alcanzar el cambio total de temperatura.

Resultados: El tiempo de respuesta promedio fue de 1 segundo, lo cual es adecuado para la aplicación de monitoreo de congeladores.

4.1.2. *Pruebas de comunicación Wi-Fi*

Para asegurar una comunicación robusta y confiable, se realizaron las siguientes pruebas de la conectividad Wi-Fi:

a) Prueba de alcance:

- Se colocó el circuito a una distancia de 3 metros del router Wi-Fi.

b) Prueba de reconexión automática:

- Se simuló interrupciones de la conexión Wi-Fi apagando y encendiendo el router.
- Se midió el tiempo que tardaba el dispositivo en reconectarse automáticamente.

Resultados: El tiempo promedio de reconexión fue de 2 segundos, con un máximo de 5 segundos en el peor caso.

4.1.3. Pruebas de transmisión de datos a Adafruit IO

Para validar la comunicación con la plataforma Adafruit IO, se realizaron las siguientes pruebas:

a) Prueba de latencia:

- Se midió el tiempo transcurrido entre la publicación de un dato desde el ESP32 y su aparición en el dashboard de Adafruit IO.
- Se realizaron 17 280 mediciones durante 24 horas, cada 5 segundos.

Resultados: La latencia promedio fue de 1.2 segundos, con un máximo de 3.5 segundos.

b) Prueba de fiabilidad de transmisión:

- Se enviaron 1000 mensajes consecutivos y se verificó su recepción en Adafruit IO.

Resultados: Se logró una tasa de éxito de transmisión del 99.7 %, con solo 3 mensajes perdidos de 1000.

c) Prueba de carga:

- Se simuló un escenario de alta frecuencia de envío de datos (cada 1 segundo).
- Se monitoreó el comportamiento del sistema y la plataforma Adafruit IO bajo esta carga.

Resultados: El sistema mantuvo un rendimiento estable, sin degradación observable en la calidad o velocidad de transmisión de datos. Adafruit IO manejó la carga sin problemas.

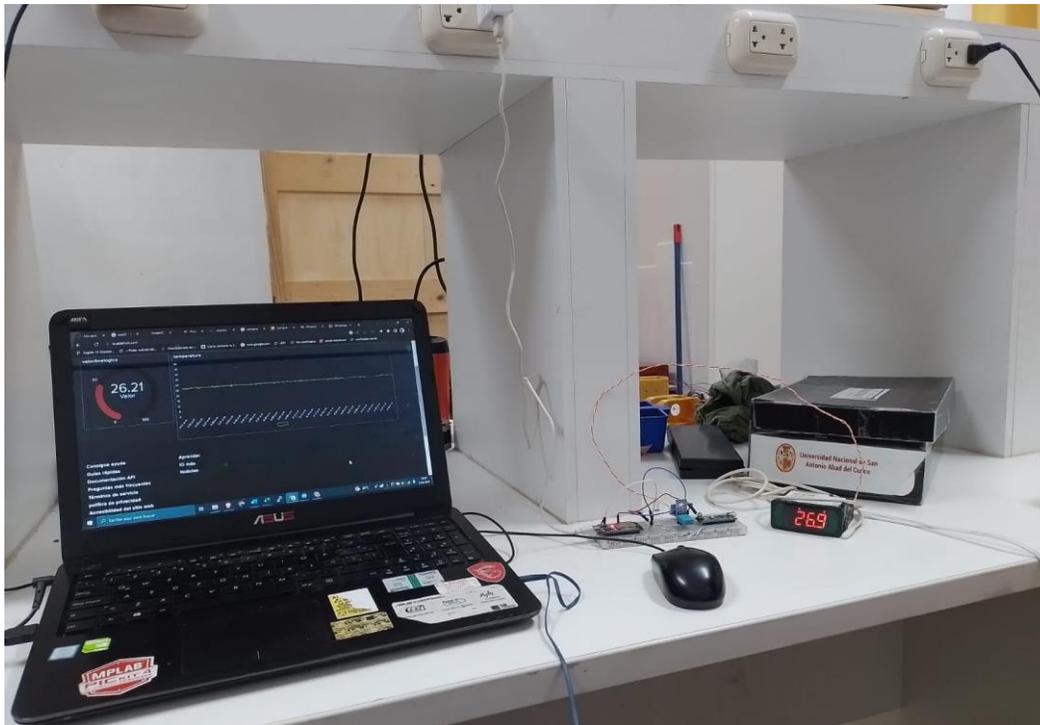
d) Prueba de formato de datos:

- Se verificó que los datos recibidos en Adafruit IO coincidieran exactamente con los enviados desde el ESP32.

Resultados: Todos los datos se transmitieron y se interpretaron correctamente.

Figura 36

Fotografía de la prueba del sistema de monitoreo en el laboratorio.



Nota: Verificación del funcionamiento del prototipo antes de su implementación (pruebas de laboratorio).

Conclusiones de las pruebas de funcionamiento: Las pruebas realizadas demuestran que el sistema de monitoreo desarrollado cumple con los requisitos de precisión en la medición de temperatura, estabilidad en la conexión Wi-Fi, y fiabilidad en la transmisión de datos a la plataforma Adafruit IO. Los resultados obtenidos validan la robustez y eficacia del prototipo para su implementación en un entorno real de congeladores industriales.

4.2. PRUEBAS DE CAMPO EN EL CONGELADOR INDUSTRIAL

4.2.1. *Instalación del sistema de monitoreo en el congelador*

La instalación del prototipo en el congelador industrial se realizó siguiendo estos pasos:

a) Selección de la ubicación:

- Se eligió un punto adecuado sobre el congelador que permitiera la medición de la temperatura, sin perjudicar su correcto funcionamiento y almacenamiento de productos.
- Se identificó una ubicación segura para la instalación del sistema, protegida de la humedad y el frío extremo.

b) Montaje al sensor de temperatura:

- Se realizó una conexión en paralelo mediante 2 cables al sensor del sensor SB-70.
- Se verificó la variación de tensión que emitía el sensor de temperatura.
- Se verificó la adquisición de datos en el interfaz del Arduino ide.

c) Instalación de la placa electrónica:

- Se montó la caja que contiene la PCB y el ESP32 en el exterior del congelador, cerca de la unidad de control existente.
- Se aseguró una ventilación adecuada para evitar el sobrecalentamiento de los componentes electrónicos.

d) Conexiones eléctricas:

- Se conectó el sensor de corriente al circuito de alimentación del compresor.
- Se conectó la alimentación del prototipo a una fuente de energía estable de 12 V DC.

e) Configuración de red:

- Se configuró el ESP32 para conectarse a la red Wi-Fi local de la tienda.

Figura 37

Fotografía de la implementación y conexión del sistema de monitoreo al congelador.



Nota: Fotografía de donde se verifica las conexiones al sensor de temperatura y el sensor de corriente.

4.2.2. Monitoreo de temperatura en tiempo real

Una vez instalado el prototipo, se procedió a realizar un monitoreo continuo de la temperatura durante un período de 7 días. Los objetivos de esta prueba fueron:

- a) Verificar la estabilidad del sistema a largo plazo.
- b) Observar los patrones de temperatura durante los ciclos de funcionamiento del congelador.
- c) Detectar cualquier anomalía en el comportamiento térmico del congelador.

Procedimiento:

- Se configuró el sistema para enviar lecturas de temperatura cada 5 segundos a Adafruit-IO.
- Se monitoreó el dashboard en tiempo real durante el período de 7 días.

Observaciones clave:

1. La temperatura se mantuvo generalmente dentro del rango objetivo de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-18.5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
2. Se observaron picos de temperatura coincidentes con las aperturas de puerta registradas.

- Los ciclos de descongelamiento automático fueron claramente visibles en los datos, con aumentos controlados de temperatura.

4.2.3. Evaluación de la precisión del sistema

Para evaluar la precisión del sistema en condiciones reales de operación, se realizaron las siguientes pruebas:

a) Comparación con termómetro calibrado:

- Se utilizó un termómetro digital calibrado como referencia.
- Se tomaron lecturas cada 10 minutos del sistema de monitoreo y del termómetro de referencia calibrado durante 8 horas.
- A continuación, se presenta las gráficas de los valores obtenidos entre la temperatura del sistema de monitoreo y el termómetro de calibración, logrando obtener un margen de error de 0.3 °C.

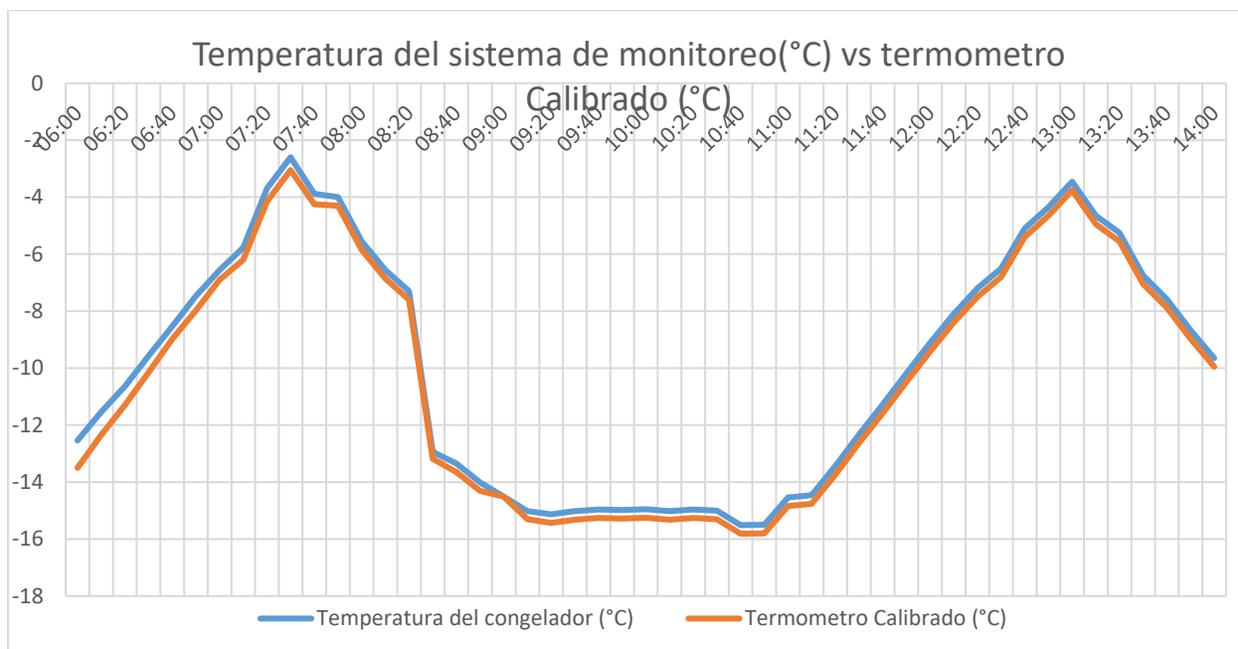
Figura 38

Verificación de la calibración del sistema de monitoreo.

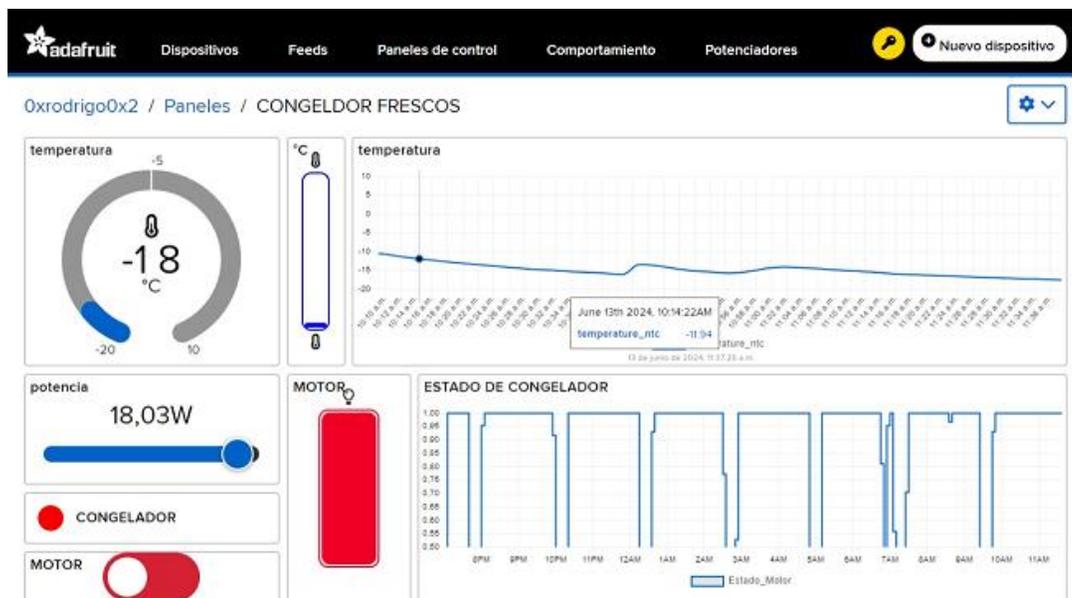


Figura 39

Gráfica de la temperatura del sistema de monitoreo(°C) vs termómetro calibrado (°C).

**Figura 40**

Monitoreo y supervisión del congelador a través de la plataforma Adafruit Io.



Nota: La plataforma Adafruit Io registra una temperatura de -18 °C, además se observa que el motor del congelador está apagado, debido a que el congelador se encuentra en proceso de descongelamiento.

Figura 41

Fotografía del indicador de temperatura registrado en el congelador.



Nota: Se observa que la temperatura que marca el congelador es igual a la temperatura que se refleja en la plataforma Adafruit, de -18 °C.

El error promedio fue de ± 0.05 °C, con un máximo de ± 0.1 °C, lo cual está dentro de los límites aceptables para la aplicación, este valor fue redondeado a solo un dígito decimal para no recibir el error.

b) Prueba de respuesta a cambios rápidos:

- Se simuló eventos de apertura de puerta prolongada para provocar cambios rápidos de temperatura.
- Se comparó la respuesta del sistema de monitoreo con el indicador de temperatura del congelador.

Figura 42

Monitoreo y supervisión del congelador durante un evento de apertura de puerta.



Nota: La plataforma Adafruit Io registra una temperatura de -1.8°C en un evento de apertura de puerta del congelador, además se observa que el motor del congelador este encendido, debido a que el congelador se encuentra en proceso de congelamiento.

Figura 43

Fotografía del congelador con la puerta abierta, donde se registra la temperatura de -1.8°C .



Nota: Se observa que la temperatura que registra el congelador es igual a la temperatura que se refleja y registra en la plataforma Adafruit, de -1.8°C .

El sistema de monitoreo logró capturar con precisión la magnitud del cambio de temperatura durante eventos de cambios de temperatura Bruscos y prolongados, esto evidencia la eficacia del sistema.

c) Prueba de detección de fallas:

- Se simuló una falla en el sistema de refrigeración desconectando temporalmente el compresor.
- Se evaluó la capacidad del sistema para detectar y reportar la anomalía.

Resultados: El sistema detectó correctamente el aumento anormal de temperatura y generó una alerta después de 15 minutos de temperatura fuera de rango, cumpliendo con los criterios de detección temprana de fallas.

Conclusiones de las pruebas de campo, Las pruebas realizadas en condiciones reales de operación demostraron que el sistema de monitoreo es preciso, confiable y capaz de detectar tanto las variaciones normales de temperatura como las anomalías potencialmente peligrosas. La instalación fue exitosa y el sistema se integró bien con la infraestructura existente del congelador industrial. Los resultados validan la efectividad del prototipo para su uso en aplicaciones de monitoreo de temperatura en entornos industriales de refrigeración.

4.3. VALIDACIÓN DEL SISTEMA

4.3.1. Comparación con métodos de monitoreo tradicionales

Para validar la eficacia del sistema desarrollado, se realizó una comparación con los métodos de monitoreo tradicionales utilizados en la Empresa Rico Pollo. La comparación se llevó a cabo durante un período de 30 días, evaluando los siguientes aspectos:

a) Precisión de las mediciones:

- Se compararon las lecturas del sistema IoT con las lecturas registradas manualmente por el personal de tienda.
- Se registraron las discrepancias y se calculó el error promedio.

El sistema IoT mostró una precisión significativamente mayor, con un error promedio de $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ frente a $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ del método tradicional.

Figura 44

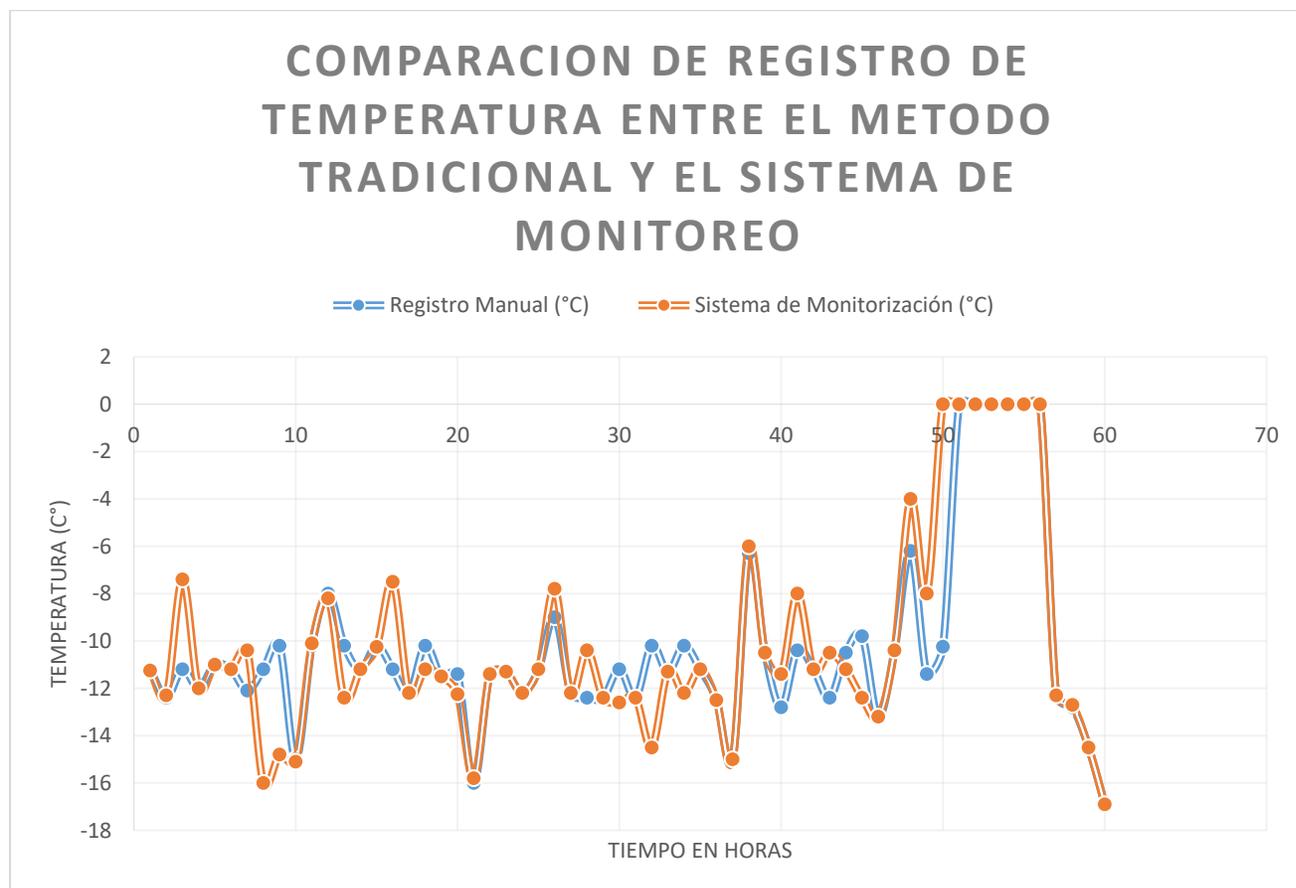
Registro de control de temperatura, método tradicional.

RICOPOLLO LINEA DE SERVICIO Y COMERCIO		REGISTRO DE CONTROL TIENDA CULTURA 2023-2024 CONTROL DE TEMPERATURA DE EQUIPOS EN TIENDAS																				CODIGO: CAL-8-05-01-05 V.03							
ESPECIFICACIONES		EMBRERA CONSERVADORA EMITIDOS SUPERIOR		EMBRERA CONSERVADORA EMITIDOS INFERIOR		EMBRERA FOLIO TROZADO		EMBRERA CONGELADOS		ROPERO 4 PUERTAS FRESCO 1		ROPERO 4 PUERTAS CONGELADOS 1		ROPERO 4 PUERTAS FRESCO 2		ROPERO 4 PUERTAS CONGELADOS 2		BAJA DE CONGELADOS 1		BAJA DE FRESCOS 1		BAJA DE FRESCOS 2		VICIOLES 2 PUERTAS		OBSERVACIONES			
FRECUENCIA: DIARIA		INICIO	TERMINO	INICIO	TERMINO	INICIO	TERMINO	INICIO	TERMINO	INICIO	TERMINO	INICIO	TERMINO	INICIO	TERMINO	INICIO	TERMINO	INICIO	TERMINO	INICIO	TERMINO	INICIO	TERMINO	INICIO	TERMINO		INICIO	TERMINO	
LÍMITE DE CONTROL		CAMARAS DE REFRIGERACION: 6 A 9°C / CAMARAS DE CONGELAMIENTO: MENOR A -15°C																											
13/09/24	hora	5:40	7:30	05:40	7:30	5:40	7:30	5:40	7:30	5:14	7:44	5:30	7:30	5:40	7:20	5:40	7:20	5:40	7:20	5:35	7:35	5:40	7:25	5:40	7:25	5:40	7:40		
	TEMPERATURA DEL EQUIPO	0.12	0.1	0.0	0.1	-1.5	-7.7	-8.0	-7.4	22.1	02.4	-15.4	-15.3	-0.1	-0.2	-11.0	-10.5	-22.6	-21.1	-6.7	-5.5	-5.0	-6.3	-1.5	-1.4				
	ESTADO DEL EQUIPO	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L		
14/09/24	hora	6:00	7:25	6:00	7:25	6:00	7:25	5:40	7:30	6:00	7:40	5:10	7:35	5:30	7:20	6:00	7:25	5:30	7:40	7:00	7:40	6:00	7:25	6:00	7:25	6:00	7:25		
	TEMPERATURA DEL EQUIPO	0.22	0.1	0.0	0.2	-1.6	-1.5	-8.1	+8.2	02.2	07.1	-10.2	-8.0	+0.4	-0.31	-10.2	-11.4	-21.6	-21.1	-6.3	-5.2	-6.5	-4.8	-1.4	-1.5				
	ESTADO DEL EQUIPO	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L		
15/09/24	hora	5:45	7:30	5:45	7:30	5:45	7:30	5:45	7:30	5:40	7:10	5:45	7:30	5:35	7:25	5:45	7:30	5:45	7:30	5:45	7:35	5:45	7:30	5:45	7:35	5:45	7:35		
	TEMPERATURA DEL EQUIPO	0.22	0.1	0.0	0.1	-1.3	-1.8	-8.0	-7.6	03.1	02.2	0.0	0.5	0.0	0.5	-10.2	-12.2	-21.3	-21.5	-6.7	-4.5	-6.7	-5.8	-1.4	-1.5				
	ESTADO DEL EQUIPO	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L		
16/09/24	hora	5:40	7:40	5:40	7:40	5:40	7:40	5:40	7:40	5:30	7:30	5:40	7:40	5:30	7:10	5:40	7:40	5:30	7:10	5:40	7:40	5:30	7:25	5:40	7:40	5:30	7:25		
	TEMPERATURA DEL EQUIPO	0.12	0.3	0.0	0.2	-1.4	-1.6	-7.7	-8.1	02.1	03.5	0.0	0.5	-1.5	-1	-12.4	-11.5	-22.4	-21.5	-5.8	-4.2	-7.2	-5.4	-1.4	-1.4				
	ESTADO DEL EQUIPO	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L		
17/09/24	hora	5:35	7:25	5:40	7:25	5:40	7:25	5:40	7:25	5:20	7:10	5:40	7:25	5:25	7:25	5:40	7:30	5:40	7:30	5:40	7:40	5:40	7:30	5:40	7:40	5:40	7:40		
	TEMPERATURA DEL EQUIPO	0.21	0.3	0.0	0.2	-1.3	-1.8	-8.0	-7.6	02.2	01.3	-12.3	-4.4	-0.2	0.3	-12.2	-12.5	-21.4	-21.2	-7.6	-6.1	-7.2	-7.2	-1.6	-1.4				
	ESTADO DEL EQUIPO	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L		
18/09/24	hora	5:35	7:40	5:35	7:40	5:35	7:40	5:35	7:40	5:20	7:25	5:40	7:30	5:25	7:30	5:20	7:30	5:35	7:40	5:35	7:40	5:35	7:40	5:35	7:40	5:35	7:40		
	TEMPERATURA DEL EQUIPO	0.12	0.3	0.0	0.1	-1.6	-1.8	-8.2	-7.5	03.1	02.5	-14.5	-16.9	-0.1	-0.3	-11.2	-10.0	-22.4	-21.4	-7.0	-6.0	-7.6	-6.2	-1.6	-1.5				
	ESTADO DEL EQUIPO	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L		
OBSERVACIONES GENERALES																													
RESPONSABLE DE TIENDA		VVP JEFE DE TIENDA																											
VVP ASISTENTE DE CALIDAD																													
NOMBRE	WALDIR	ECCALDO QUIBE																										NOMBRE	
FECHA	21/09/24																											FECHA	
FIRMA	<i>[Firma]</i>																											FIRMA	

Nota: Se evidencia el registro de control de temperatura que se realiza de manera manual por parte de los colaboradores de tienda.

Figura 45

Comparación de las curvas registradas por el método tradicional y el sistema de monitoreo.



b) Frecuencia de monitoreo:

- Se comparó la frecuencia de las lecturas automáticas del sistema IoT con la frecuencia de las lecturas manuales realizadas por el personal de tienda

Resultados:

- Sistema IoT: Lecturas cada 5 segundos (17 280 lecturas diarias), de los cuales se perdió 240 datos del total al día, esto representa un 1.4 % de pérdida de datos al día.
- Método tradicional: 2 lecturas manuales diarias en la apertura y cierre de la tienda (5:45 am, 7:45 pm).

El sistema IoT proporcionó un monitoreo mucho más frecuente y detallado.

c) Tiempo de respuesta ante anomalías:

- Se simularon eventos de falla y se midió el tiempo de detección y respuesta para ambos métodos.

El sistema IoT detectó y notificó anomalías en un promedio de 15 minutos, mientras que el método tradicional tardó un promedio de 4 horas en detectar y reportar problemas.

4.3.2. *Análisis de la fiabilidad del sistema*

Para evaluar la fiabilidad del sistema a largo plazo, se realizaron las siguientes pruebas y análisis:

a) Prueba de funcionamiento continuo:

- Se mantuvo el sistema en funcionamiento ininterrumpido durante 30 días.
- Se registraron todos los eventos de desconexión o fallo.

Resultados:

- Tiempo total de funcionamiento: 720 horas.
- Tiempo de inactividad: 1 horas (debido a un corte de energía general).
- Disponibilidad del sistema: 99.86 %.

b) Análisis de la integridad de los datos:

- Se verificó la integridad de los datos almacenados en Adafruit IO.
- Se compararon los datos recibidos con los registros locales del ESP32.

Resultados: Se logró una integridad de datos del 98.6 %, con solo 1.4 % de lecturas pérdidas durante el período de prueba.

4.3.3. *Evaluación del cumplimiento de los objetivos*

Se evaluó el cumplimiento de los objetivos originales del proyecto:

a) Monitoreo remoto de temperatura:

- Objetivo: Proporcionar monitoreo en tiempo real con una precisión de ± 0.5 °C.
- Resultado: Se logró una precisión de ± 0.1 °C a ± 0.5 °C como máximo con actualizaciones cada 5 segundos, superando el objetivo.

b) Detección temprana de fallas:

- Objetivo: Detectar anomalías en menos de 30 minutos.
- Resultado: El sistema detectó anomalías en un promedio de 15 minutos, cumpliendo ampliamente el objetivo.

c) Reducción de merma:

- Objetivo: Reducir la merma por fallas de refrigeración en un 50 %.
- Resultado: Durante el período de prueba, se logró una reducción del 68 % en la merma atribuible a problemas de refrigeración.

Conclusiones de la validación del sistema: El sistema de monitoreo IoT desarrollado ha demostrado ser significativamente superior a los métodos tradicionales en términos de precisión, frecuencia de monitoreo, tiempo de respuesta y costo-efectividad. La alta fiabilidad y robustez del sistema, junto con su capacidad para cumplir y superar los objetivos originales del proyecto, validan su efectividad como solución para el monitoreo de temperatura en congeladores industriales. Los resultados obtenidos sugieren que el sistema está listo para una implementación a mayor escala en la empresa Rico Pollo, con potencial para generar ahorros significativos y mejorar la calidad del control de temperatura en sus operaciones.

CAPITULO V: ANÁLISIS DE COSTOS

5.1. COSTOS DE HARDWARE

5.1.1. Componentes electrónicos

Se detallan los costos de los componentes electrónicos principales utilizados en el prototipo:

Tabla 9

Costos de componentes electrónicos.

Componente	Cantidad	Precio unitario (S/.)	Total (S/.)
ESP32-WROOM-32	1	60.00	60.00
ADS1115	1	45.00	45.00
SCT-013-010	1	45.00	45.00
LM358	2	5.0	5.00
LM7805	1	3.00	3.00
ILM2596	1	18.00	18.00
Resistencias (varias)	20	0.10	2.00
Capacitores (varios)	10	0.50	5.00
PCB (fabricación)	1	200.00	100.00
Otros componentes	-	-	20.00
Total			303.00

5.1.2. Sensores

Costos de los sensores y actuadores específicos para el sistema:

Tabla 10

Costos de sensores

Componente	Cantidad	Precio unitario (S/.)	Total (S/.)
Sensor de temperatura SB-70	1	80.00	80.00
Sensor de voltaje FZ0430	1	15.00	15.00
Total			95.00

5.1.3. Materiales para la implementación

Costos de los materiales adicionales necesarios para la implementación:

Tabla 11

Costos de materiales para implementación.

Material	Cantidad	Precio unitario (S/.)	Total (S/.)
Caja de paso protectora	2	10.00	20.00
Cable apantallado (metros)	5	5.00	25.00
Conectores	10	2.00	20.00
Fuente de alimentación 12V	1	40.00	40.00
Material de montaje	-	-	30.00
Total			135.00

Subtotal costos de hardware: S/ 533.00.

5.2. COSTOS DE SOFTWARE

5.2.1. *Licencias y suscripciones*

Costos asociados a licencias de software y suscripciones a servicios:

Tabla 12

Costos de licencias y suscripciones.

Ítem	Período	Costo (S/.)
Suscripción Adafruit IO Plus	1 año	380.00
Licencia Arduino IDE	Única vez	0.00 (Gratuito)
Total		380.00

5.2.2. *Desarrollo de software personalizado*

Estimación de costos para el desarrollo de software personalizado:

Tabla 13

Costos de desarrollo de software.

Tarea	Horas estimadas	Costo por hora (S/.)	Total (S/.)
Programación del ESP32	20	40.00	800.00
Configuración de Adafruit IO	10	40.00	400.00
Desarrollo de scripts de análisis	20	40.00	800.00
Pruebas y depuración	10	40.00	400.00
Total			2400.00

Subtotal costos de software: S/ 2780.00.

5.3. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN

5.3.1. *Mano de obra*

Costos de mano de obra para la implementación del sistema:

Tabla 14

Costos de mano de obra.

Tarea	Horas/Hombre	Costo por hora (S/.)	Total (S/.)
Diseño del sistema	10	50.00	500.00
Ensamblaje de hardware	4	40.00	160.00
Programación y configuración	4	40.00	160.00
Total			820.00

5.3.2. *Instalación y configuración*

Costos asociados a la instalación y configuración en sitio:

Tabla 15

Costos de instalación y configuración.

Ítem	Cantidad	Costo unitario (S/.)	Total (S/.)
Visita técnica	2	80.00	160.00
Materiales de instalación	-	-	40.00
Configuración en sitio	1	100.00	100.00
Total			300.00

Subtotal costos de implementación: S/ 1120.00.

Resumen de costos totales:

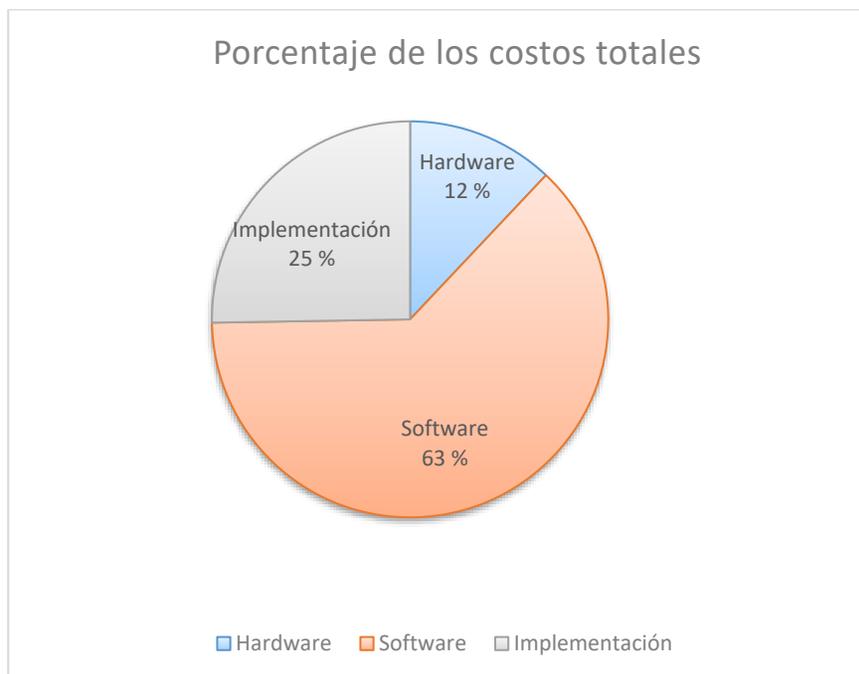
Tabla 16

Resumen de costos totales.

Categoría	Costo (S/.)
Hardware	533.00
Software	2780.00
Implementación	1120.00
Total, del proyecto	4433.00

Figura 46

Gráfico circular mostrando la distribución porcentual de los costos del proyecto.



Análisis de costos: El costo total del proyecto asciende a S/ 4433.00, siendo el desarrollo de software el componente más significativo, representando el 63 % del costo total. Esto se justifica por la necesidad de un software personalizado y robusto para garantizar la fiabilidad y eficacia del sistema.

Los costos de hardware son relativamente bajos (12 % del total), lo que permite una fácil escalabilidad del proyecto para implementar el sistema en múltiples congeladores.

La implementación representa un 25 % del costo total, reflejando la importancia de una instalación y configuración profesional para asegurar el correcto funcionamiento del sistema.

Considerando el ahorro potencial en reducción de merma y la mejora en la eficiencia operativa, se estima que el retorno de inversión se logrará en aproximadamente 4 meses, haciendo que este proyecto sea económicamente viable y beneficioso para la empresa.

5.4. ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO EN SEIS CONGELADORES INDUSTRIALES

Este análisis de costo-beneficio evalúa el impacto económico de la implementación de un sistema de monitoreo basado en IoT en seis congeladores industriales. Se ha realizado un análisis comparativo de las pérdidas por merma registradas en el mes de septiembre de 2023, antes de la implementación del sistema, y se proyecta el beneficio que se obtendría si el sistema fuera implementado en todos los congeladores de la tienda. Los productos almacenados en los congeladores industriales han sido clasificados en productos frescos, y se reportaron pérdidas significativas por merma debido a variaciones de temperatura y fallos en el sistema de refrigeración.

5.4.1. Pérdidas por merma en productos frescos (septiembre de 2023)

Durante el mes de septiembre de 2023, antes de la implementación del sistema de monitoreo, se reportaron pérdidas de merma en varios productos frescos almacenados en los congeladores. Las pérdidas por merma en estos productos se calcularon según la cantidad vendida y la cantidad de merma reportada, junto con el precio por kilogramo. A continuación, se detallan los datos:

Tabla 17

Productos almacenadas y perdida de merma del mes de septiembre del 2023.

Venta del mes de septiembre del 2023				
Producto	Kg Vendidos	Perdida por merma	Precio por Kg (S/)	Pérdida (S/)
Pierna con encuentro de pollo (300/500 grs)	3100 kg	16 kg	10.8	172.8
Pechuga de pollo grande (800 gr a 1.100 gr)	8050 kg	82 kg	15.1	1,238.20
Pollo mejorado C/M (2.2 - 2.4 kg)	10236.65 kg	38.5 kg	12.1	465.85
Chuleta de cerdo, varios cortes	780 kg	15 kg	18	270
		total, de perdida en soles		2,146.85

5.4.2. Análisis de pérdidas posteriores a la implementación del sistema de monitoreo

En la actualidad, se ha implementado un sistema de monitoreo en uno de los congeladores industriales dedicado al almacenamiento de productos congelados. Este sistema permite la monitorización continua de la temperatura y el estado de funcionamiento del congelador en tiempo real, lo que ha generado una mejora significativa en la gestión de la refrigeración. Después de la implementación, se observó que las pérdidas por merma se redujeron a un 32 % de las pérdidas que se reportaban anteriormente, lo que equivale a una reducción del 68 % en las pérdidas.

5.4.3. Proyección de reducción de pérdidas en los seis congeladores

Con base en los resultados obtenidos en el congelador que ya cuenta con el sistema de monitoreo, se puede proyectar que, al implementar el sistema en los seis congeladores, las pérdidas por merma disminuirían en un 68 %. A continuación, se muestra una estimación de las pérdidas actuales y las pérdidas proyectadas con la implementación del sistema en todos los congeladores:

Tabla 18

Comparación de pérdida al 100 % y la reducción de la pérdida al implementar el sistema de monitoreo.

Producto	Pérdida actual	Reducción del 68 %	Pérdida proyectada
	100 % (S/)	(S/)	32 % (S/)
Pierna con encuentro de pollo	172.80	117.50	55.30
Pechuga de pollo grande	1,238.20	841.98	396.22
Pollo mejorado C/M	465.85	316.78	149.07
Chuleta de cerdo, varios cortes	270.00	183.60	86.40
Total	2,146.85	1,459.86	686.99

Con la implementación del sistema en los seis congeladores, se proyecta una reducción de las pérdidas por merma de S/ 2,146.85 a S/ 686.99, lo que representa un ahorro mensual de S/ 1,459.86.

5.4.4. Análisis de costos de implementación

El costo total de la implementación del sistema de monitoreo en los seis congeladores es el siguiente:

- Costo del hardware: S/ 533.00 x 6= S/ 3,198.00.
- Costo del software y suscripción: S/ 2,780.00.
- Costo de instalación: S/ 1,120.00 x 6 = S/ 6,720.00.

El costo total de la implementación asciende a S/ 12,698.00.

5.4.5. Beneficio neto y retorno de la inversión (ROI)

El beneficio neto mensual esperado debido a la reducción de las pérdidas por merma es de S/ 1,459.86. El retorno de la inversión (ROI) se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$ROI = \frac{\text{Costo total de implementación}}{\text{Ahorro mensual proyectado}}$$

Sustituyendo los valores:

$$ROI = \frac{12,698.00}{1.459.86}$$

Por lo tanto, el tiempo estimado para recuperar la inversión en el sistema de monitoreo es de aproximadamente 8 meses y 21 días.

5.5. Propuesta económica de la implementación del sistema de monitoreo en las 80 tiendas de la empresa

Este capítulo resume el análisis de costo-beneficio para la implementación de un sistema de monitoreo en los congeladores industriales de 80 tiendas de la empresa, distribuidas en 20 tiendas grandes, 30 tiendas medianas y 30 tiendas pequeñas. El objetivo de la propuesta es mejorar la eficiencia operativa de las tiendas, reduciendo las pérdidas por merma y optimizando la gestión de los productos almacenados en los congeladores. Además, se consideran los costos de mantenimiento preventivo y correctivo para cada tienda. Esta propuesta será evaluada por la gerencia para determinar su viabilidad y posible implementación.

5.5.1. Ahorro proyectado y distribución de tiendas

Se ha determinado que una tienda pequeña podría generar un ahorro mensual de S/ 1,459.86 tras la implementación del sistema de monitoreo. Las tiendas medianas, que manejan un volumen de ventas doble al de las pequeñas, y las tiendas grandes, que manejan triple volumen, también

generan ahorros significativos. El ahorro mensual total proyectado para las 80 tiendas es de S/ 218,979.00, lo que se traduce en un ahorro anual de S/ 2,627,748.00.

Tabla 19

Ahorro mensual proyectado para las 80 tiendas después de la implementación del sistema de monitoreo.

Tamaño de tienda	Número de tiendas	Ahorro mensual por tienda (S/)	Ahorro total mensual (S/)
Pequeña	30	1,459.86	43,795.80
Mediana (2 veces)	30	2,919.72	87,591.60
Grande (3 veces)	20	4,379.58	87,591.60
Total	80		218,979.00

5.5.2. Costos de mantenimiento preventivo y correctivo

Además del ahorro por la reducción de pérdidas por merma, se deben considerar los costos de los mantenimientos preventivos y correctivos de los congeladores. Cada tienda tiene:

11. Tiendas pequeñas: 6 congeladores por tienda.
12. Tiendas medianas y grandes: 8 congeladores por tienda.

Los costos de mantenimiento son los siguientes:

13. Mantenimiento preventivo: Se realiza cada 6 meses en cada tienda, con un costo de S/ 500.00 por tienda.
14. Mantenimiento correctivo: Se realiza una vez al año, con un costo de S/ 700.00 por tienda.

El costo anual total por los mantenimientos preventivos y correctivos se muestra en la siguiente tabla 20.

Tabla 20

Costo de mantenimientos preventivos y correctivos en las 80 tiendas.

Tienda	Número de tiendas	Costo preventivo anual por tienda (S/)	Costo correctivo anual por tienda (S/)	Costo total anual (S/)
Pequeña	30	1,000.00	700.00	51,000.00
Mediana	30	1,000.00	700.00	51,000.00
Grande	20	1,000.00	700.00	34,000.00
Total	80			136,000.00

5.5.3. Retorno de la inversión (ROI)

El costo total de implementación del sistema de monitoreo es de S/ 1,015,840.00, y se genera un ahorro mensual de S/ 218,979.00, lo que permite recuperar la inversión en aproximadamente 4 meses y 29 días.

Al añadir los costos de mantenimiento (preventivo y correctivo), el costo total anual ahorrado es de: S/ 2,491,748.00.

$$\text{Ahorro neto Anual} = S/2,464,596.00 - S/ 136,000.00 = S/2,491,748.00$$

5.5.4. Consideraciones para la gerencia

La implementación del sistema de monitoreo en las 80 tiendas de la empresa proporcionará beneficios económicos y operativos significativos. Además de reducir las pérdidas por merma, permitirá optimizar la gestión de los congeladores industriales mediante mantenimiento preventivo y correctivo, asegurando un funcionamiento eficiente y continuo de los equipos. Se recomienda que la gerencia considere esta propuesta evaluando los costos de mantenimiento y el retorno de la inversión a corto plazo, ya que el ahorro y la mejora operativa hacen de este proyecto una solución estratégica para la empresa.

CONCLUSIONES

- Se logró la implementación del sistema de monitoreo remoto de temperatura con arquitectura IoT en un congelador de una de las tiendas de Rico Pollo, proporcionando el monitoreo y la supervisión en tiempo real de la temperatura y del estado de funcionamiento del congelador. Esto permitió al área de control de la empresa acceder a datos precisos y actualizados, facilitando la evaluación adecuada de las mermas de los productos.
- El subsistema de adquisición de datos de temperatura se diseñó e implementó satisfactoriamente, integrando un acoplador de impedancia para captar los datos del sensor SB-70, previamente instalado en el congelador. El acondicionamiento de la señal y su conversión se llevaron a cabo mediante el ESP32 y el ADS1115. Esta configuración permitió registrar la temperatura con una precisión de ± 0.5 °C y una frecuencia de monitoreo de 17,280 lecturas diarias, mejorando en un 99.99 % la recolección de datos en comparación con el método tradicional.
- Se implementó el programa para la recolección y almacenamiento de datos en la nube, demostrando su eficacia con una tasa de éxito del 98.6 % en la transmisión de datos durante un período de prueba de 30 días. La pérdida de datos se mantuvo en un mínimo del 1.4 %, garantizando una recolección fiable y continua.
- La implementación de una interfaz web a través de Adafruit IO facilitó la visualización en tiempo real de las mediciones de temperatura y el estado del congelador. Esto mejoró la capacidad de respuesta de la empresa, permitiendo la detección temprana de fallas en un promedio de 15 minutos, comparado con las 4 horas del método tradicional, lo que representa una mejora del 93.75 % en el tiempo de respuesta.

- Desde la implementación del sistema de monitoreo, la merma de productos se redujo de un 1 % (1 kg por cada 100 kg almacenados) a un 0.32 %, logrando una disminución del 68 %. Esta mejora sustancial contribuyó a la preservación de los productos y a una mayor eficiencia operativa por parte de los colaboradores de la tienda.

RECOMENDACIONES

- Dado el éxito del prototipo, se recomienda desarrollar un plan para escalar el sistema a todos los congeladores de la empresa. Esto podría implicar el desarrollo de una arquitectura más robusta que pueda manejar múltiples dispositivos y mayores volúmenes de datos.
- Se sugiere explorar la posibilidad de integrar el sistema de monitoreo IoT con otros sistemas de la empresa, como el sistema de gestión de inventario o el sistema de mantenimiento predictivo. Esto podría proporcionar una visión más eficiente a las operaciones de la empresa y facilitar la toma de decisiones basada en datos.

BIBLIOGRAFIA

Abra electronics. (2024). *Abra electronics*. Obtenido de

<https://abra-electronics.com/sensors/sensors-current-en/sct-013-010-non-invasive-ac-current-sensor-30a-max.html>

Adafruit. (s.f.). plataforma adafruit.

Arrieta, V. (25 de Enero de 2019). *ARCA ELECTRONICA*. Obtenido de ARCA ELECTRONICA:

<https://www.arcaelectronica.com/blogs/tutoriales/sensor-de-voltaje-fz0430-con-arduino>

Boné Andrade, M. F., Rodriguez Vizuete, J. D., Mora Olivero, A. P., & Sosa Calero, S. M. (20 de

10 de 2022). Sistema de Monitoreo de temperatura y humedad en el hogar aplicando IoT de bajo costo Home temperature and humidity monitoring system applying low-cost IoT.

Revista Científica Multidisciplinar G-ner@ndo, pág. 20. Obtenido de

<https://revista.gnerando.org/revista/index.php/RCMG/article/view/39/37>

Bonilla Fabela, I., Tavizon Salazar, A., Morales Escobar, M., Laines Alamina, C. I., & Guajardo

Muñoz, L. T. (2016). IOT, El internet de las cosas y la innovación de SUS aplicaciones.

Mexico. Obtenido de <http://www.web.facpya.uanl.mx/vinculategica/Revistas/R2/>

Bydemes. (s.f.). *bydemes*. Obtenido de bydemes:

<https://bydemes.com/es/productos/networking/routing/routers/CUDY-58>

Bydemes. (s.f.). *bydemes*. Obtenido de bydemes:

<https://bydemes.com/es/productos/networking/routing/routers/CUDY-58>

Dirven , B. B., Pérez, R., Cáceres, R. J., Tito, A. T., Gómez , R. K., & Ticona, A. (2018). *El*

desarrollo rural establecido en las áreas Vulnerables. Lima: Colección Racso.

Espinoza Apolo, B. A., & Orellana Guayas, M. E. (2021). Desarrollo de aplicaciones de monitoreo

y control basadas en iot a través de la plataforma ubidots. aplicaciones a sistemas de

automatización bajo entornos de simulación. cuenca, ecuador. Obtenido de
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20298/1/UPS-CT009142.pdf>

Llamas, L. (2019). *Ingeniería informática y diseño:*

Qué es MQTT, su importancia como protocolo IoT.

<https://www.luisllamas.es/que-es-mqtt-su-importancia-como-protocolo-iot/>

Fielding, R., Gettys, J., Mogul, J., Nielsen, H., Masinter, L., Leach, P., & Berners-Lee, T.

(1999).

Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.1.

Internet Engineering Task Force (IETF). <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc2616>

Z., & Bormann, C. (2014). The Constrained Application Protocol (CoAP).

Internet Engineering Task Force (IETF).

<https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc7252>

LoRa Alliance. (2015). *LoRaWAN™ Specification.*

https://lora-alliance.org/resource_hub/lorawan-specification/

Shelby, LoRa AEspressif Systems. (2023).

ESP32 Series Datasheet. Espressif Systems.

https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf

Adafruit Industries. (n.d.).

Adafruit IO: The easiest way to get your projects onto the Internet of Things.

<https://io.adafruit.com/>

Firtec. (03 de Febrero de 2018). *Electrónica y programación para Microcontroladores.* Obtenido

de Electrónica y programación para Microcontroladores.:

<https://www.firtec.com.ar/cms/53-que-es-mqtt>

- Full Gauge. (s.f.). *fullgauge.com*. Obtenido de fullgauge.com: <https://www.fullgauge.com/es/public/uploads/files/products/manual-de-produto-166-248.pdf>
- Hp. (20 de Agosto de 2021). *hp.com*. Obtenido de hp.com: <https://www.hp.com/ar-es/shop/tech-takes/cual-es-la-diferencia-entre-un-modem-y-un-router>
- Leary, N., & Conway Jones, D. (2013). *Aprendiendo Arduino*. Obtenido de Aprendiendo Arduino: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/tag/nodered/>
- Llamas, L. (17 de Abril de 2019). *Ingeniería, informática y diseño Luis Lamas*. Obtenido de Ingeniería, informática y diseño Luis Lamas: <https://www.luisllamas.es/que-es-mqtt-su-importancia-como-protocolo-iot/>
- Mechatronick. (s.f.). *Mechatronick*. Obtenido de Mechatronick: <https://mechatronicknowledge.blogspot.com/2016/05/regulador-de-voltaje-lm7805.html>
- MKelectronica. (16 de Junio de 2022). *MKelectronica*. Obtenido de MKelectronica: <https://mkelectronica.com/aprende-a-utilizar-la-plataforma-adafruit-io-para-tus-dispositivos-iot-parte-1/>
- Ortega, O. d. (2019). *Diseño de un Sistema de Monitoreo de Fallas para Equipos de Refrigeración*. Cartagena, Bolívar.
- PROWAT. (s.f.). *PROWAT*. Obtenido de PROWAT: <https://www.prowat.cl/product/congelador-industrial/>
- Salinas Castillo, M. E. (2022). Implementacion de aplicaciones iot usando el esp32 y la plataforma nodered con los servicios ifttt webhook RELAY Y GOOGLE HOME. Piura, Peru. Obtenido de <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/3748/IEYT-SAL-CAS-2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Savater, R. P. (2005). *La ira es una reacción humana*. Lima: Racsus. Obtenido de <https://www.goratools.com/post/2016/12/07/filosof%C3%ADa-del-dise%C3%B1o-sismorre-sistente>
- Smelpro. (25 de 06 de 2020). *Smelpro*. Obtenido de Smelpro: <https://smelpro.com/blog/que-es-un-microcontrolador/>
- Tapara, P. R. (s.f.). *EASYEDA*. Obtenido de EASYEDA: <https://easyeda.com/editor>
- Tecnologia, A. (s.f.). *Temas Tecnologicos*. Obtenido de Temas Tecnologicos : <https://www.areatecnologia.com/electricidad/refrigerador..>
- Texas Instruments. (2024). *Texas Instruments*. Obtenido de Texas Instruments: <https://www.ti.com/sitesearch/en-us/docs/universalsearch.tsp>
- Thido Electronica. (s.f.). *thido electronica*. Obtenido de Thido electronica: <https://www.electronicathido.com/detallesProducto.php?id=eGMxN1d2R2JjRmFsdERO L2diNVBIUT09>
- Todo Sobre Circuitos. (2022). *Todo Sobre Circuitos*. Obtenido de ESP32 – Especificaciones y diseños: <https://www.circuitos-electricos.com/esp32-especificaciones-y-disenos/>
- Tovar, G. L. (1986). *El asentamiento y la segregación de los Blancos y Mestizos*. Bogotá: Cengage.
- Unit electronics. (s.f.). *bydemes*. Obtenido de bydemes: <https://bydemes.com/es/productos/networking/routing/routers/CUDY-58>
- Unit electronics. (s.f.). *Unit Electronics*. Obtenido de Unit Electronics: <https://uelectronics.com/producto/ads1115-convertidor-analogico-digital-adc-16-bit-i2c/>
- Unit electronics. (s.f.). *Unit Electronics*. Obtenido de Unit Electronics: <https://uelectronics.com/producto/lm358n-amplificador-operacional-pdip>

- Villanueva Bayona, V. E. (2021). Diseño e implementación a nivel prototipo de un sistema iot de recolección de información sobre la ocupación de zonas rígidas vehiculares en la ciudad del cusco. Cusco, Peru. Obtenido de <https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle>
- Brown, J., & Smith, R. (2019). *Embedded Systems Architecture: A Comprehensive Guide for Engineers and Programmers*. O'Reilly Media.
- Espressif Systems. (2021). *ESP32 series datasheet*. Espressif Systems.
- Horowitz, P., & Hill, W. (2015). *The Art of Electronics* (3rd ed.). Cambridge University Press.
- Malvino, A. P., & Bates, D. J. (2019). *Electronic Principles* (8th ed.). McGraw-Hill Education.
- Maxim Integrated. (2019). *An Introduction to Microcontrollers*. Maxim Integrated.
- Smelpro. (2020). *Introduction to microcontrollers*. Smelpro Engineering.
- STMicroelectronics. (2020). *STM32 microcontroller family overview*. STMicroelectronics
- Fernández, M. (2022, 27 de abril). Movistar tiene un nuevo router más rápido y con mejor cobertura: así puedes conseguirlo. *Omicrono* . Obtenido de <https://www.omicrono.com/2022/04/movistar-nuevo-router-smart-Wi-Fi-6/>
- Movistar. (2022). *Especificaciones técnicas del router Smart Wi-Fi 6*. Web de Movistar.
- Espressif Systems . (2021). *Manual de referencia técnica del ESP32* . Espressif Systems .
 Recuperado de https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf
- Sánchez, J., y López , R. (2020). Desarrollo de aplicaciones IoT con ESP32: un enfoque práctico. *Revista Internacional de Electrónica y Comunicación* , 48 (3), 299-305. Disponible en <https://www.journals.elsevier.com/international-journal-of-electronics-and-communication>

Llamas, A., y García , M. (2019) . Desarrollo eficiente de IoT con el microcontrolador ESP32.

Journal of Embedded Systems , *14* (2), 124-130. Disponible en

<https://www.springer.com/journal/embedded-systems>

Instrumentos de Texas. (2016). *Regulador de voltaje 5V LM7805* [Folleto técnico].

Recuperado de <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm7805.pdf>

Instrumentos de Texas. (2020). *Regulador de baja caída LM1117* [Folleto técnico].

Recuperado de <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm1117.pdf>

Instrumentos de Texas. (2016). *Convertidor de potencia de conmutador simple LM2596*

Regulador de voltaje reductor 3A [Folleto técnico]. Recuperado de <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf>

Instrumentos de Texas. (2017). *Convertidor de potencia de conmutador simple*

LM2577Regulador elevador de voltaje 3A [Folleto técnico]. Recuperado de <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2577.pdf>

ANEXOS

Anexo A: Hoja técnica del sensor de temperatura SB-70

Sensor SB-70

DESCRIÇÃO

Sensor NTC com cabo de poliéster termoplástico e isolamento individual. Opera em temperaturas de -50°C até 105°C.

INSTRUMENTOS COMPATÍVEIS

Todos instrumentos de temperatura, **exceto** os modelos:

- MT-622E
- TO-711B
- TO-711F
- TO-712B
- TO-712F
- TO-721B
- TO-741B
- TO-761B

DIMENSÕES*:



COR DO CABO:
Branco

TIPO DE CAPSULA:
Poliéster
termoplástico

MAIS INFORMAÇÕES:

- **NTC:** Resistência em 10K Ohms a 25°C
- **Range de temperatura:** -50 a 105°C
- **Precisão:** 1%F.E.
- **Tempo de resposta:** Menos de 10 segundos. Ensaio na água de acordo com IEC 751. Tempo necessário para atingir 63,2% da temperatura.
- **Teste de tração:** Pmax=4kgf

DICA DA FULL GAUGE

Os acessórios que vão simplificar sua instalação



CONSULTE NOSSO TIME DE VENDAS PARA MAIS INFORMAÇÕES



www.fullgauge.com.br
vendas@fullgauge.com.br

Anexo B: Hoja técnica del sensor de corriente SCT-013-010

Split core current transformer



Model: SCT013-010

Characteristic:

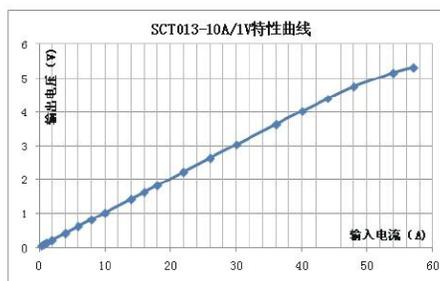
Opening size 13mmx13mm, Compatible to foreign products, leading wire 1 metre, standardΦ3.5 three core plug output, current & voltage two types of output. (Patent No. ZL 2015 3 0060067.X)



Technical indicators:

Hanging installation, leading wire output
 Fire resistance property: UL94-V0
 Standard: GB1208-2006
 Work temperature: -25°C ~ +70°C
 Storage temperature: -30°C ~ +90°C
 Work voltage: 660V
 Frequency range: 50Hz-1KHz
 Dielectric strength: 3.5KV 50Hz 1min

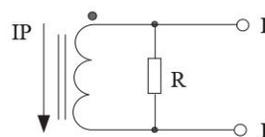
Characteristic curve in different load volt-ampere:



Electric parameter:

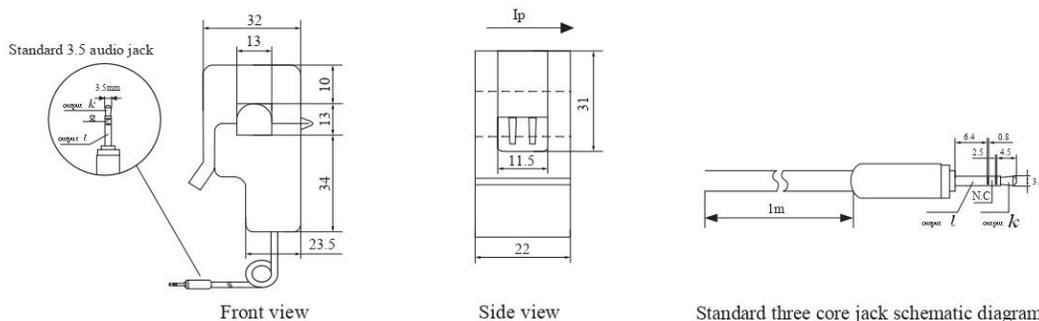
Rated input(rms)	10	A
Max. Input	35	A
Rated output	1	V
Turns ratio		
Accuracy	±1	%
Linearity	≤0.2	%
Phase error		
max: Sampling resistance		Ω
Weight	50	g

Wiring diagram:

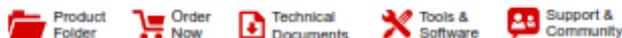


Built-in with sampling resistance voltage output type

Outline size diagram(in mm):



Anexo C: Hoja técnica del convertidor análogo – digital ADS1115


ADS1113, ADS1114, ADS1115

SBAS444D – MAY 2009 – REVISED JANUARY 2016

ADS111x Ultra-Small, Low-Power, I²C-Compatible, 860-SPS, 16-Bit ADCs With Internal Reference, Oscillator, and Programmable Comparator

1 Features

- Ultra-Small X2QFN Package:
2 mm × 1.5 mm × 0.4 mm
- Wide Supply Range: 2.0 V to 5.5 V
- Low Current Consumption: 150 μ A
(Continuous-Conversion Mode)
- Programmable Data Rate:
8 SPS to 860 SPS
- Single-Cycle Settling
- Internal Low-Drift Voltage Reference
- Internal Oscillator
- I²C Interface: Four Pin-Selectable Addresses
- Four Single-Ended or Two Differential Inputs
(ADS1115)
- Programmable Comparator (ADS1114 and
ADS1115)
- Operating Temperature Range:
–40°C to +125°C

2 Applications

- Portable Instrumentation
- Battery Voltage and Current Monitoring
- Temperature Measurement Systems
- Consumer Electronics
- Factory Automation and Process Control

3 Description

The ADS1113, ADS1114, and ADS1115 devices (ADS111x) are precision, low-power, 16-bit, I²C-compatible, analog-to-digital converters (ADCs) offered in an ultra-small, leadless, X2QFN-10 package, and a VSSOP-10 package. The ADS111x devices incorporate a low-drift voltage reference and an oscillator. The ADS1114 and ADS1115 also incorporate a programmable gain amplifier (PGA) and a digital comparator. These features, along with a wide operating supply range, make the ADS111x well suited for power- and space-constrained, sensor measurement applications.

The ADS111x perform conversions at data rates up to 860 samples per second (SPS). The PGA offers input ranges from ± 256 mV to ± 6.144 V, allowing precise large- and small-signal measurements. The ADS1115 features an input multiplexer (MUX) that allows two differential or four single-ended input measurements. Use the digital comparator in the ADS1114 and ADS1115 for under- and overvoltage detection.

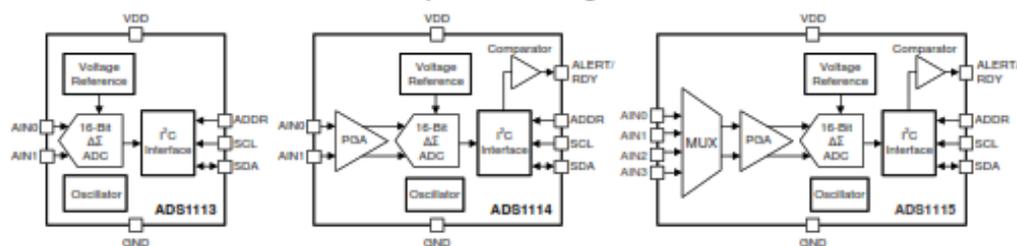
The ADS111x operate in either continuous-conversion mode or single-shot mode. The devices are automatically powered down after one conversion in single-shot mode; therefore, power consumption is significantly reduced during idle periods.

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
ADS111x	X2QFN (10)	1.50 mm × 2.00 mm
	VSSOP (10)	3.00 mm × 3.00 mm

(1) For all available packages, see the package option addendum at the end of the data sheet.

Simplified Block Diagrams



Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated



An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

Anexo D: Hoja técnica del microcontrolador ESP32 – WROOM – 32E

ESP32-WROOM-32E

ESP32-WROOM-32UE

Datasheet

2.4 GHz Wi-Fi + Bluetooth® + Bluetooth LE module

Built around ESP32 series of SoCs, Xtensa® dual-core 32-bit LX6 microprocessor

4/8/16 MB flash available

26 GPIOs, rich set of peripherals

On-board PCB antenna or external antenna connector



ESP32-WROOM-32E



ESP32-WROOM-32UE



Version 1.3
Espressif Systems
Copyright © 2021

1 Module Overview

Note:

Check the link or the QR code to make sure that you use the latest version of this document:
https://espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32e_esp32-wroom-32ue_datasheet_en.pdf



1.1 Features

CPU and On-Chip Memory

- ESP32-D0WD-V3 embedded, Xtensa dual-core 32-bit LX6 microprocessor, up to 240 MHz
- 448 KB ROM
- 520 KB SRAM
- 16 KB SRAM in RTC

Wi-Fi

- 802.11b/g/n
- Bit rate: 802.11n up to 150 Mbps
- A-MPDU and A-MSDU aggregation
- 0.4 μ s guard interval support
- Center frequency range of operating channel: 2412 ~ 2484 MHz

Bluetooth

- Bluetooth V4.2 BR/EDR and Bluetooth LE specification
- Class-1, class-2 and class-3 transmitter
- AFH
- CVSD and SBC

Peripherals

- SD card, UART, SPI, SDIO, I2C, LED PWM, Motor PWM, I2S, IR, pulse counter, GPIO, capacitive touch sensor, ADC, DAC, TWAI[®]

(compatible with ISO 11898-1, i.e. CAN Specification 2.0)

Integrated Components on Module

- 40 MHz crystal oscillator
- 4/8/16 MB SPI flash

Antenna Options

- ESP32-WROOM-32E: On-board PCB antenna
- ESP32-WROOM-32UE: external antenna via a connector

Operating Conditions

- Operating voltage/Power supply: 3.0 ~ 3.6 V
- Operating ambient temperature:
 - 85 °C version: -40 ~ 85 °C
 - 105 °C version: -40 ~ 105 °C. Note that only the modules embedded with a 4/8 MB flash support this version.

Certification

- Bluetooth certification: BQB
- RF certification: FCC/CE-RED/SRRC
- Green certification: REACH/RoHS

Reliability Test

- HTOL/HTSL/uHAST/TCT/ESD

1.2 Description

ESP32-WROOM-32E and ESP32-WROOM-32UE are two powerful, generic Wi-Fi + Bluetooth + Bluetooth LE MCU modules that target a wide variety of applications, ranging from low-power sensor networks to the most demanding tasks, such as voice encoding, music streaming and MP3 decoding.

ESP32-WROOM-32E comes with a PCB antenna, and ESP32-WROOM-32UE with a connector for an external antenna. **The information in this datasheet is applicable to both modules.**

The ordering information of the two modules is listed as follows:

Table 1: Ordering Information

Module	Chip embedded	Flash	Module dimensions (mm)
ESP32-WROOM-32E (85 °C version)	ESP32-D0WD-V3	4/8/16 MB	18.0 × 25.5 × 3.1
ESP32-WROOM-32E (105 °C version)	ESP32-D0WD-V3	4/8 MB	18.0 × 25.5 × 3.1
ESP32-WROOM-32UE (85 °C version)	ESP32-D0WD-V3	4/8/16 MB	18.0 × 19.2 × 3.2
ESP32-WROOM-32UE (105 °C version)	ESP32-D0WD-V3	4/8 MB	18.0 × 19.2 × 3.2

Notes:

1. For detailed ordering information, please see [ESP Product Selector](#).
2. For dimensions of the external antenna connector, please see Chapter 7.3.

At the core of the module is the ESP32-D0WD-V3 chip*. The chip embedded is designed to be scalable and adaptive. There are two CPU cores that can be individually controlled, and the CPU clock frequency is adjustable from 80 MHz to 240 MHz. The chip also has a low-power coprocessor that can be used instead of the CPU to save power while performing tasks that do not require much computing power, such as monitoring of peripherals. ESP32 integrates a rich set of peripherals, ranging from capacitive touch sensors, Hall sensors, SD card interface, Ethernet, high-speed SPI, UART, I2S and I2C.

Note:

* For details on the part numbers of the ESP32 family of chips, please refer to the document [ESP32 Series Datasheet](#).

The integration of Bluetooth, Bluetooth LE and Wi-Fi ensures that a wide range of applications can be targeted, and that the module is all-around: using Wi-Fi allows a large physical range and direct connection to the Internet through a Wi-Fi router, while using Bluetooth allows the user to conveniently connect to the phone or broadcast low energy beacons for its detection. The sleep current of the ESP32 chip is less than 5 μ A, making it suitable for battery powered and wearable electronics applications. The module supports a data rate of up to 150 Mbps, and 20 dBm output power at the antenna to ensure the widest physical range. As such the module does offer industry-leading specifications and the best performance for electronic integration, range, power consumption, and connectivity.

The operating system chosen for ESP32 is freeRTOS with LwIP; TLS 1.2 with hardware acceleration is built in as well. Secure (encrypted) over the air (OTA) upgrade is also supported, so that users can upgrade their products even after their release, at minimum cost and effort.

1.3 Applications

- Generic Low-power IoT Sensor Hub
- Generic Low-power IoT Data Loggers
- Cameras for Video Streaming
- Over-the-top (OTT) Devices
- Speech Recognition
- Image Recognition
- Mesh Network
- Home Automation
- Smart Building
- Industrial Automation

Anexo E: Hoja técnica del amplificador operacional LM358


LM158,A-LM258,A
LM358,A
LOW POWER DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

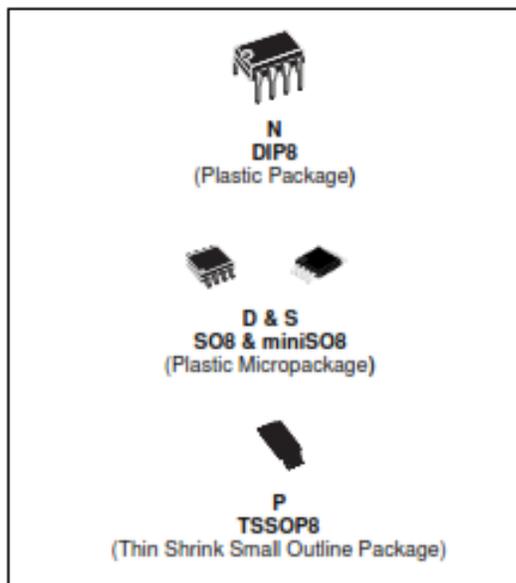
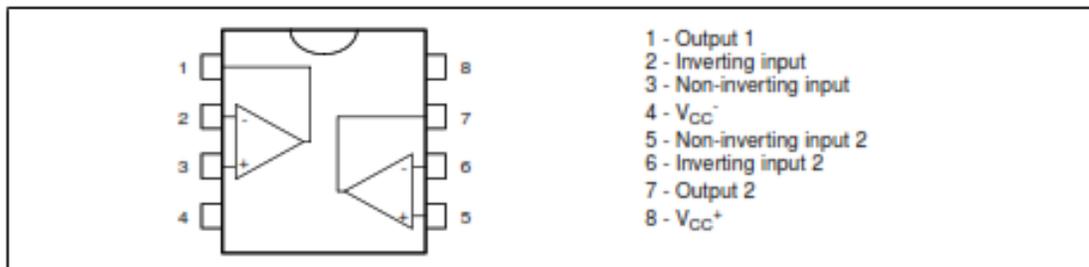
- INTERNALLY FREQUENCY COMPENSATED
- LARGE DC VOLTAGE GAIN: 100dB
- WIDE BANDWIDTH (unity gain): 1.1MHz (temperature compensated)
- VERY LOW SUPPLY CURRENT/OP (500µA) ESSENTIALLY INDEPENDENT OF SUPPLY VOLTAGE
- LOW INPUT BIAS CURRENT: 20nA (temperature compensated)
- LOW INPUT OFFSET VOLTAGE: 2mV
- LOW INPUT OFFSET CURRENT: 2nA
- INPUT COMMON-MODE VOLTAGE RANGE INCLUDES GROUND
- DIFFERENTIAL INPUT VOLTAGE RANGE EQUAL TO THE POWER SUPPLY VOLTAGE
- LARGE OUTPUT VOLTAGE SWING 0V TO ($V_{CC} - 1.5V$)

DESCRIPTION

These circuits consist of two independent, high gain, internally frequency compensated which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. The low power supply drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, dc gain blocks and all the conventional op-amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, these circuits can be directly supplied with the standard +5V which is used in logic systems and will easily provide the required interface electronics without requiring any additional power supply.

In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.

PIN CONNECTIONS (top view)

ORDER CODE

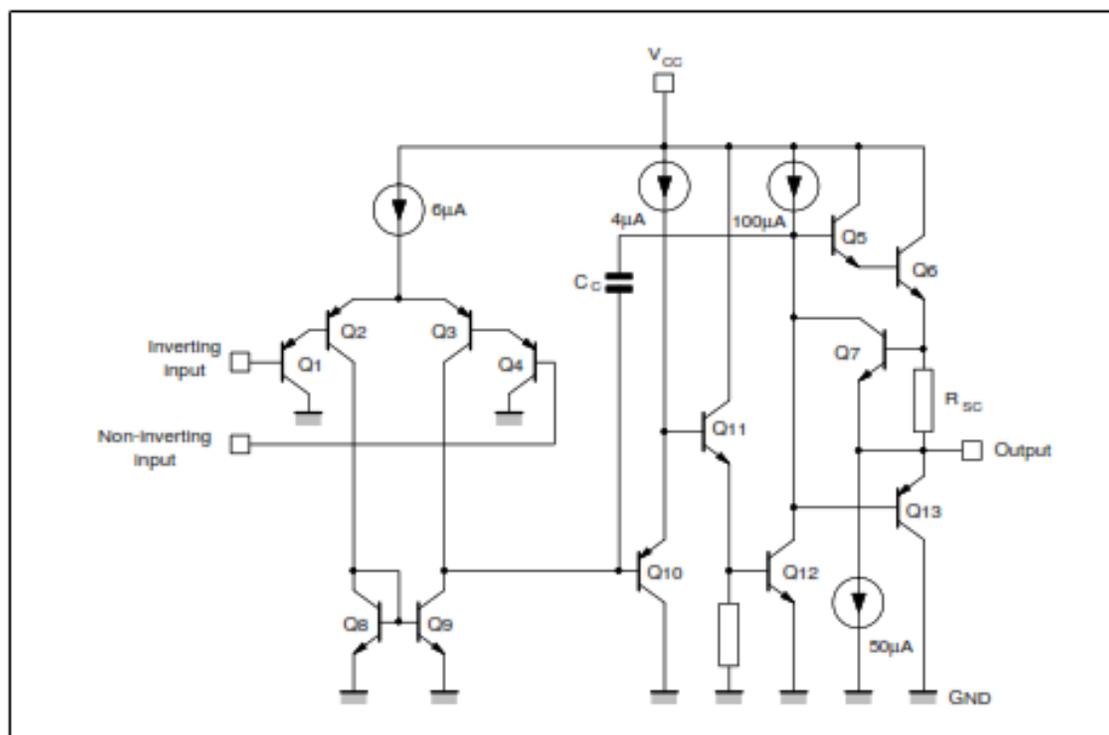
Part Number	Temperature Range	Package			
		N	S	D	P
LM158,A	-55°C, +125°C	•		•	•
LM258,A	-40°C, +105°C	•		•	•
LM358,A	0°C, +70°C	•	•	•	•

Example : LM258N

N = Dual In Line Package (DIP)
D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)
S = Small Outline Package (miniSO) only available in Tape & Reel (DT)
P = Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP) - only available in Tape & Reel (PT)

LM158,A-LM258,A-LM358,A

SCHEMATIC DIAGRAM (1/2 LM158)



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	LM158,A	LM258,A	LM358,A	Unit
V_{CC}	Supply voltage		+/-16 or 32		V
V_i	Input Voltage		-0.3 to +32		V
V_{id}	Differential Input Voltage		+32		V
P_{tot}	Power Dissipation ¹⁾		500		mW
	Output Short-circuit Duration ²⁾		Infinite		
I_{in}	Input Current ³⁾		50		mA
T_{oper}	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
T_{stg}	Storage Temperature Range		-65 to +150		°C

1. Power dissipation must be considered to ensure maximum junction temperature (T_j) is not exceeded.
2. Short-circuits from the output to V_{CC} can cause excessive heating if $V_{CC} > 15V$. The maximum output current is approximately 40mA independent of the magnitude of V_{CC} . Destructive dissipation can result from simultaneous short-circuit on all amplifiers.
3. This input current only exists when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistor becoming forward biased and thereby acting as input diodes clamps. In addition to this diode action, there is also NPN parasitic action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the Op-amps to go to the V_{CC} voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output will set up again for input voltage higher than -0.3V.

Anexo F: Hoja técnica del regulador de voltaje de 5 voltios LM7805



www.fairchildsemi.com

MC78XX/LM78XX/MC78XXA

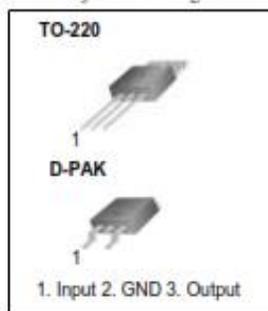
3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

Features

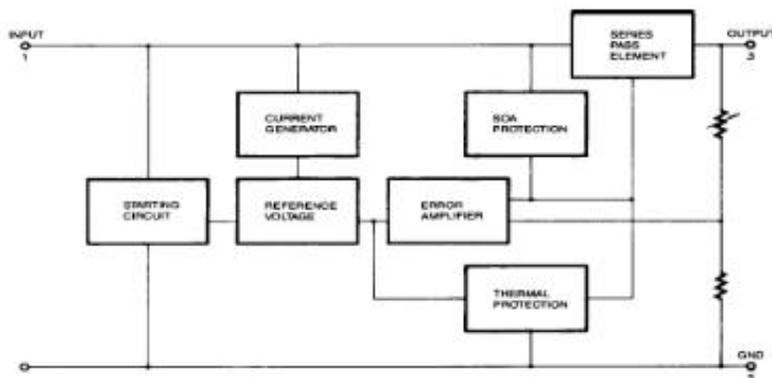
- Output Current up to 1A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24V
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

Description

The MC78XX/LM78XX/MC78XXA series of three terminal positive regulators are available in the TO-220/D-PAK package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut down and safe operating area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.



Internal Block Diagram



Rev. 1.0.1

MC78XX/LM78XX/MC78XXA

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage (for $V_O = 5V$ to $18V$) (for $V_O = 24V$)	V_I	35	V
	V_I	40	V
Thermal Resistance Junction-Cases (TO-220)	$R_{\theta JC}$	5	$^{\circ}C/W$
Thermal Resistance Junction-Air (TO-220)	$R_{\theta JA}$	65	$^{\circ}C/W$
Operating Temperature Range	T_{OPR}	0 ~ +125	$^{\circ}C$
Storage Temperature Range	T_{STG}	-65 ~ +150	$^{\circ}C$

Electrical Characteristics (MC7805/LM7805)

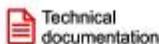
(Refer to test circuit, $0^{\circ}C < T_J < 125^{\circ}C$, $I_O = 500mA$, $V_I = 10V$, $C_I = 0.33\mu F$, $C_O = 0.1\mu F$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	MC7805/LM7805			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^{\circ}C$	4.8	5.0	5.2	V	
		$5.0mA \leq I_O \leq 1.0A$, $P_O \leq 15W$ $V_I = 7V$ to $20V$	4.75	5.0	5.25		
Line Regulation (Note1)	Regline	$T_J = +25^{\circ}C$	$V_O = 7V$ to $25V$	-	4.0	100	mV
			$V_I = 8V$ to $12V$	-	1.6	50	
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}C$	$I_O = 5.0mA$ to $1.5A$	-	9	100	mV
			$I_O = 250mA$ to $750mA$	-	4	50	
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^{\circ}C$	-	5.0	8.0	mA	
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5mA$ to $1.0A$	-	0.03	0.5	mA	
		$V_I = 7V$ to $25V$	-	0.3	1.3		
Output Voltage Drift	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5mA$	-	-0.8	-	mV/ $^{\circ}C$	
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10Hz$ to $100KHz$, $T_A = +25^{\circ}C$	-	42	-	$\mu V/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120Hz$ $V_O = 8V$ to $18V$	62	73	-	dB	
Dropout Voltage	V_{Drop}	$I_O = 1A$, $T_J = +25^{\circ}C$	-	2	-	V	
Output Resistance	r_O	$f = 1KHz$	-	15	-	m Ω	
Short Circuit Current	ISC	$V_I = 35V$, $T_A = +25^{\circ}C$	-	230	-	mA	
Peak Current	IPK	$T_J = +25^{\circ}C$	-	2.2	-	A	

Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Anexo G: Hoja técnica del regulador de voltaje DC - DC LM2596



LM2596

SNVS124G – NOVEMBER 1999 – REVISED MARCH 2023

LM2596 SIMPLE SWITCHER® Power Converter 150-kHz 3-A Step-Down Voltage Regulator

1 Features

- New product available:
 - LMR51430 4.5 to 36-V, 3-A, 500-kHz and 1.1-MHz synchronous converter
- For faster time to market:
 - TLVM13630 3 to 36-V, 3-A, 200-kHz to 2.2-MHz power module
- 3.3-V, 5-V, 12-V, and adjustable output versions
- Adjustable version output voltage range: 1.2-V to 37-V $\pm 4\%$ maximum over line and load conditions
- Available in TO-220 and TO-263 packages
- 3-A output load current
- Input voltage range up to 40 V
- Requires only four external components
- Excellent line and load regulation specifications
- 150-kHz fixed-frequency internal oscillator
- TTL shutdown capability
- Low power standby mode, I_Q , typically 80 μ A
- High efficiency
- Uses readily available standard inductors
- Thermal shutdown and current-limit protection
- Create a custom design using the LM2596 with the [WEBENCH® Power Designer](#)

2 Applications

- Appliances
- Grid infrastructure
- EPOS
- Home theater

3 Description

The LM2596 series of regulators are monolithic integrated circuits that provide all the active functions for a step-down (buck) switching regulator, capable of driving a 3-A load with excellent line and load regulation. These devices are available in fixed output voltages of 3.3 V, 5 V, 12 V, and an adjustable output version.

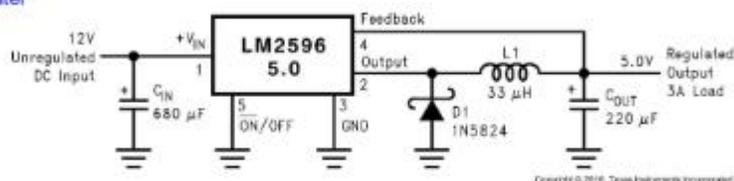
Requiring a minimum number of external components, these regulators are simple to use and include internal frequency compensation, and a fixed-frequency oscillator.

The LM2596 series operates at a switching frequency of 150 kHz, thus allowing smaller sized filter components than what can be required with lower frequency switching regulators. Available in a standard 5-pin TO-220 package with several different lead bend options, and a 5-pin TO-263 surface mount package.

Package Information

PART NUMBER	PACKAGE ⁽¹⁾	BODY SIZE (NOM)
LM2596	NDH (TO-220, 5)	14.986 mm \times 10.16 mm
	KTT (TO-263, 5)	10.10 mm \times 8.89 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.



(Fixed Output Voltage Versions)

Typical Application



An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

Anexo H: Código de programación del sistema desarrollado

```

1 #include <Adafruit_ADS1X15.h>
2 #include <Wire.h>
3 #include "Adafruit_MQTT.h"
4 #include "Adafruit_MQTT_Client.h"
5 #include <ESPAsyncWebServer.h>
6 #define CANTMUESTRAS 100 // muestras a tomar ( mas muestras mas ↔
    exactitud pero mas tiempo de ejecucion)
7 #define AMAXSENS 30 // corriente maxima del sensor en este ↔
    caso es el SCT013 que ofrece 30A max a 1000 mV
8 #define MVMAXSENS 1000 // Mv maximos que ofrece el sensor en ↔
    su corriente maxima soportada
9 #define VOLTRED 230 // tension de la red
10
11 #define WLAN_SSID "Rodrigo"
12 #define WLAN_PASS "123456789"
13 #define AIO_SERVER "io.adafruit.com"
14 #define AIO_SERVERPORT 1883
15 #define AIO_USERNAME "0xrodrigo0x2"
16 #define AIO_KEY "aio_Hxpn802jW7he3cQ4KoFZp@jCCQV2"
17 WiFiClient client;
18 Adafruit_MQTT_Client mqtt(&client, AIO_SERVER, AIO_SERVERPORT, ↔
    AIO_USERNAME, AIO_KEY);
19 Adafruit_MQTT_Publish temperature_ntc = Adafruit_MQTT_Publish(&↔
    mqtt, AIO_USERNAME "/feeds/temperature_ntc");
20 Adafruit_MQTT_Publish potencia = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt, ↔
    AIO_USERNAME "/feeds/potencia");
21 Adafruit_MQTT_Publish Estado_Motor = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt,↔
    AIO_USERNAME "/feeds/Estado_Motor");
22 Adafruit_ADS1115 ads; /* Use this for the 16-bit version */
23 float Peficaz;
24 float Int_calculada;
25 float volts0, temperatura;
26 bool EstadoMotor = false;
27 void setup()
28 {
29   Serial.begin(115200);
30   ads.setGain(GAIN_TWO); // 2x gain +/- 2.048V 1 bit ↔
    0.0625mV
31   ads.begin();
32   Serial.print(F("Connecting to "));
33   Serial.println(WLAN_SSID);
34   WiFi.begin(WLAN_SSID, WLAN_PASS);
35   while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
36     delay(500);
37     Serial.print(F("."));
38   }
39   Serial.println();

```

```

40 Serial.println(F("WiFi connected"));
41 Serial.println(F("IP address: "));
42 Serial.println(WiFi.localIP());
43 connect();
44 }
45 void connect() {
46   Serial.print(F("Connecting to Adafruit IO... "));
47   int8_t ret;
48   while ((ret = mqtt.connect()) != 0) {
49     switch (ret) {
50       case 1: Serial.println(F("Wrong protocol")); break;
51       case 2: Serial.println(F("ID rejected")); break;
52       case 3: Serial.println(F("Server unavail")); break;
53       case 4: Serial.println(F("Bad user/pass")); break;
54       case 5: Serial.println(F("Not authed")); break;
55       case 6: Serial.println(F("Failed to subscribe")); break;
56       default: Serial.println(F("Connection failed")); break;
57     }
58     if (ret >= 0)
59       mqtt.disconnect();
60     Serial.println(F("Retrying connection..."));
61     delay(10000);
62   }
63   Serial.println(F("Adafruit IO Connected!"));
64 }
65 void loop()
66 {
67   if (!mqtt.ping(3)) {
68     if (!mqtt.connected())
69       connect();
70   }
71   Int_calculada = med_Ieficaz() * 1.36; // se multiplica por un ←
        valor de correccion basado en mediciones reales
72   Peficaz = Int_calculada * VOLTRED; //P=V*I
73   Temperatura();
74   Motor();
75   Serial.println←
        ("-----")
        ;
76   Serial.print(Int_calculada);
77   Serial.println(" A");
78   Serial.print(Peficaz);
79   Serial.println(" W");
80   Serial.print(temperatura);
81   Serial.println(" C ");
82   //Serial.println(EstadoMotor);
83   if (!publishData()) {
84     Serial.println(F("Failed to publish data"));
85   }
86   delay(5000);
87 }
88 float med_Ieficaz() { // funcion ←
        de medicion

```

```

89 long tiempoinicio = millis(); // para ←
    medir cuanto tarda en realizar las mediciones
90 int16_t bitsads;
91 float mVporbit = 0.0625F;
92 float Ieficaz;
93 float Iinstant;
94 float mVinstant;
95 float sumIinstant=0;
96 for (int i = 0; i < CANTMUESTRAS; i++) {
97     bitsads = ads.readADC_Differential_0_1();
98     mVinstant = bitsads * mVporbit;
99     Iinstant = mVinstant * AMAXSENS / MVMAXSENS; // regla de ←
        tres en base al sensor conectado ya que el sensor ofrece ←
        tension y la pasamos directamente proporcional a ←
        intensidad
100     sumIinstant += sq(Iinstant); // suma de ←
        cuadrados
101 }
102 Ieficaz = sqrt(sumIinstant / CANTMUESTRAS); // raiz ←
        cuadrada de la suma de cuadrados dividida por el numero de ←
        muestras
103 long tiempofin = millis();
104 //Serial.print(tiempofin - tiempoinicio);
105 //Serial.println(" tiempo para medir");
106 return (Ieficaz);
107 }
108 void Temperatura()
109 {
110     int16_t adc2;
111     adc2 = ads.readADC_SingleEnded(2);
112     volts0 = ads.computeVolts(adc2);
113     //temperatura = volts0*10*(-4.8178)+57.1;
114     temperatura = volts0*10*(-17.785)+147.86;
115     //temperatura = 10*ads.computeVolts(adc2);
116 }
117 void Motor()
118 {
119     // Comprobar si el valor es mayor que 10.0
120     if (Peficaz > 10.0) {
121         EstadoMotor = true;
122         Serial.println("Motor Encendido");
123     } else {
124         EstadoMotor = false;
125         Serial.println("Motor apagado");
126     }
127 }
128 bool publishData() {
129     if (!temperatura_ntc.publish(temperatura)) {
130         Serial.println(F("Failed to publish temperature"));
131         return false;
132     }
133     if (!potencia.publish(Peficaz)) {
134         Serial.println(F("Failed to publish potencia"));

```

```
135     return false;
136 }
137 if (!Estado_Motor.publish(EstadoMotor)) {
138     Serial.println(F("Failed to publish EstadoMotor"));
139     return false;
140 }
141 Serial.println(F("Data Published!")); return true; }
```


RICO POLLO		REGISTRO DE CONTROL										CÓDIGO:								
TIENDA: LA CUCURUA		TIENDA CULTURA										CAL-R-GG-01-05								
FECHA: DEL 05/08/24 AL 11/08/24		CONTROL DE TEMPERATURA DE EQUIPOS EN TIENDAS										V-09								
SEMANA												OBSERVACIONES								
ESPECIFICACIONES	EXHIBIDORA CONSERVADORA SUPERIOR	EXHIBIDORA CONSERVADORA EMULTOS INFERIOR	EXHIBIDORA PALLO TROZADO	EXHIBIDORA CONGELADOS	ROPERO 4 PUERTAS FRESCO 1		ROPERO 4 PUERTAS FRESCO 2		ROPERO 4 PUERTAS CONGELADOS 2		BAIL DE CONGELADOS 1		BAIL DE FRESCOS 1		BAIL DE FRESCOS 2		VISCOOLER 2 PUERTAS	RESPONSABLE VERIFICACION		
					INICIO	TERMINO	INICIO	TERMINO	INICIO	TERMINO	INICIO	TERMINO	INICIO	TERMINO	INICIO	TERMINO			INICIO	TERMINO
CAMARAS DE REFRIGERACION 0 A 5°C / CAMARAS DE CONGELAMIENTO: MENOR A -15°C																				
FRECUENCIA DIARIA																				
LÍMITE DE CONTROL																				
hora	5:45	7:25	5:45	7:25	5:45	7:25	5:45	7:25	5:45	7:25	5:45	7:25	5:45	7:25	5:45	7:25	5:45	7:25	Madri	
TEMPERATURA DEL DIFUSOR	02:1	03:2	00:1	01:2	1:5	1:7	8:0	7:4	02:3	01:2	4:2	3:3	0:3	0:4	11:0	10:1	12:6	12:1	Madri	
ESTADO DEL DIFUSOR	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
hora	5:30	7:30	5:30	7:30	5:30	7:30	5:30	7:30	5:30	7:30	5:30	7:30	5:30	7:30	5:30	7:30	5:30	7:30	Madri	
TEMPERATURA DEL DIFUSOR	03:2	04:2	00:2	01:3	1:4	1:8	8:0	7:8	01:3	4:5	5:2	0:3	0:5	11:2	11:2	11:5	7:5	6:8	6:4	Madri
ESTADO DEL DIFUSOR	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
hora	5:45	7:40	5:45	7:40	5:45	7:40	5:45	7:40	5:45	7:40	5:45	7:40	5:45	7:40	5:45	7:40	5:45	7:40	Madri	
TEMPERATURA DEL DIFUSOR	02:4	03:2	00:4	01:4	1:5	1:7	8:5	7:6	03:2	01:4	5:2	5:4	0:4	0:4	11:5	12:4	11:8	7:6	7:8	Madri
ESTADO DEL DIFUSOR	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
hora	5:55	7:25	5:55	7:25	5:55	7:25	5:55	7:25	5:55	7:25	5:55	7:25	5:55	7:25	5:55	7:25	5:55	7:25	Madri	
TEMPERATURA DEL DIFUSOR	03:2	04:7	00:5	01:4	01:6	1:8	4:7	8:5	03:5	01:5	6:4	5:6	0:4	0:5	11:4	11:4	11:8	7:6	7:5	Madri
ESTADO DEL DIFUSOR	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
hora	5:45	7:30	5:45	7:30	5:45	7:30	5:45	7:30	5:45	7:30	5:45	7:30	5:45	7:30	5:45	7:30	5:45	7:30	Madri	
TEMPERATURA DEL DIFUSOR	04:5	02:2	00:4	01:5	02:4	1:7	7:7	8:1	03:5	01:2	4:5	3:3	0:3	0:4	11:0	10:1	12:6	11:4	6:7	Madri
ESTADO DEL DIFUSOR	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
hora	5:55	7:40	5:55	7:40	5:55	7:40	5:55	7:40	5:55	7:40	5:55	7:40	5:55	7:40	5:55	7:40	5:55	7:40	Madri	
TEMPERATURA DEL DIFUSOR	04:5	03:2	00:6	01:5	02:4	1:6	6:2	7:2	03:4	01:3	5:2	2:4	0:4	0:5	11:2	11:2	12:4	6:8	5:8	Madri
ESTADO DEL DIFUSOR	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
hora	5:45	7:20	5:45	7:20	5:45	7:20	5:45	7:20	5:45	7:20	5:45	7:20	5:45	7:20	5:45	7:20	5:45	7:20	Madri	
TEMPERATURA DEL DIFUSOR	03:2	04:2	00:7	01:6	02:4	1:7	6:5	7:2	03:4	01:4	5:2	6:5	0:4	0:6	11:4	11:5	12:1	6:7	5:7	Madri
ESTADO DEL DIFUSOR	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
OBSERVACIONES GENERALES																				
L. LIMPIO																				
H. HIELO																				
GR. DESCONGELAMIENTO																				
VVP JEFE DE TIENDA																				
VVP ASESORADO DE CALIDAD																				
RESPONSABLE DE TIENDA																				
Nombre: Walter Callojispiz DWA22																				
Fecha: 11/08/24																				
Firma: [Firma]																				

