



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN**



TESIS

**Sistema de monitoreo remoto de temperatura para prevenir fallas en el
banco N1 del molino de harina en la empresa PANESFOODS SAC**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

AUTOR:

Bach. Lescano Banda Hammer Javier

ASESORA:

Dra. Chamán Cabrera Lucía Isabel
ORCID: 0000-0003-2901-1427

LAMBAYEQUE-PERÚ

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

TESIS

**Sistema de monitoreo remoto de temperatura para prevenir fallas en el
banco N1 del molino de harina en la empresa PANESFOODS SAC**

Presentado por:



Bach. Hammer Javier Lescano Banda
Tesisista

ASESORA



Dra. Ing. Lucía Isabel Chamán Cabrera
Asesora

LAMBAYEQUE-PERÚ

2026

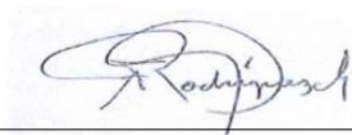
UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

**Sistema de monitoreo remoto de temperatura para prevenir fallas en el
banco N1 del molino de harina en la empresa PANESFOODS SAC**

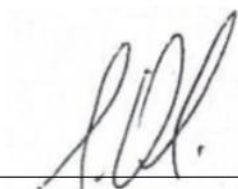
Tesis para optar el título profesional de

INGENIERO ELECTRÓNICO

Aprobado por el siguiente jurado:



Dr. Ing. Frank Richard Rodríguez Chirinos
Presidente



Dr. Ing. Carlos Leonardo Oblitas Vera
Secretario



Mg. Ing. Juan Carlos Ñáñez Aguilar
Vocal

LAMBAYEQUE-PERÚ

2026



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DECANATO

Ciudad Universitaria - Lambayeque

LICENCIADA - RESOLUCIÓN DEL CONSEJO DIRECTIVO N° 015 - 2023-SUNEDU / CD



0117



ACTA DE SUSTENTACIÓN N° 74-2026-D/FACFyM

Siendo las 11:45 horas del día 08 de septiembre del 2026 se reunieron los miembros del jurado evaluador de la Tesis titulada:

"SISTEMA DE MONITOREO REMOTO DE TEMPERATURA PARA PREVENIR LAS FALLAS EN EL BANCO N°1 DEL MOLINO DE HARINA EN LA EMPRESA PANES FOODS SAC"

Designados por Resolución N° 215 - 2025 - D/FACFyM de fecha 05 de marzo de 2025

Con la finalidad de evaluar y calificar la sustentación de la tesis antes mencionada, conformada por los siguientes docentes:

Dr. Ing. Frank Richard Rodríguez Chirinos

Presidente

Dr. Ing. Carlos Leonardo Oblitas Vera

Secretario

Mg. Ing. Juan Carlos Nariñez Aguilar

Vocal

La tesis fue asesorada por (el) (la) Dra. Ing. Lucía Isabel Chamán Cabrera nombrado por

Resolución N° 215-2025 - D/FACFyM de fecha 05 de marzo de 2025

El Acto de Sustentación fue autorizado por Resolución N° 622 - 2026 - D/FACFyM de fecha 01 de septiembre de 2026

La Tesis fue presentada y sustentada por (el) (los) Bachiller (es): LESCANO BANDA HAMMER JAVIER

y tuvo una duración de 40 minutos.

Después de la sustentación, y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado se procedió a la calificación respectiva, otorgándole el Calificativo de DIECIOCHO (18) en la escala vigesimal, mención (MUY BUENO).

Por lo que queda(n) apto(s) para obtener el Título Profesional de INGENIERO ELECTRÓNICO de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 12:55 horas se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto con la firma de los miembros del jurado.

DR. ING. FRANK RICHARD RODRÍGUEZ CHIRINOS
Presidente

DR. ING. CARLOS LEONARDO OBLITAS VERA
Secretario

Mg. Ing. Juan Carlos Nariñez Aguilar
Vocal

DRA. LUCÍA ISABEL CHAMÁN CABRERA
Asesor

CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD DEL ASESOR

Yo, Dra. Chamán Cabrera Lucía Isabel, usuaria revisora del documento titulado:
“Sistema de monitoreo remoto de temperatura para prevenir fallas en el banco N1 del molino de harina en la empresa PANESFOODS SAC”

Cuyo autor es:

- Bach. Lescano Banda Haammer Javier

Identificada con Documento de Identidad N.º 40866057; declaro que la evaluación realizada por el Programa Informático Turnitin, ha arrojado un porcentaje de similitud de **12%**, verificable en el Resumen de Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

La suscrita analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 19 de agosto de 2026



Dra. Chamán Cabrera Lucía Isabel
DNI N.º 40866057

TESIS FINAL

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%

INDICE DE SIMILITUD

11%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.coursehero.com	Fuente de Internet	1%
2	repositorio.unprg.edu.pe	Fuente de Internet	1%
3	repositorio.upse.edu.ec	Fuente de Internet	1%
4	dspace.ups.edu.ec	Fuente de Internet	1%
5	repositorio.ucv.edu.pe	Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.ucsm.edu.pe	Fuente de Internet	<1%
7	easyeda.com	Fuente de Internet	<1%
8	hdl.handle.net	Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.unap.edu.pe	Fuente de Internet	<1%
10	Submitted to Universidad de Guayaquil	Trabajo del estudiante	<1%
11	unl.edu.ec	Fuente de Internet	<1%
12	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru	Trabajo del estudiante	<1%
13	apirepositorio.unh.edu.pe	Fuente de Internet	<1%
14	dgsa.uaeh.edu.mx:8080	Fuente de Internet	<1%
15	repositorio.unah.edu.pe	Fuente de Internet	<1%



Dra. Chamán Cabrera Lucía Isabel
DNI N.º 40866057

16	repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
20	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
21	issuu.com Fuente de Internet	<1 %
22	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	repositorio.uct.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
24	shaker.umh.es Fuente de Internet	<1 %
25	renatiqa.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
26	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
27	securityinabox.org Fuente de Internet	<1 %
28	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
29	bibdigital.epn.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
30	digibuo.uniovi.es Fuente de Internet	<1 %
31	editorial.inudi.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
32	repositorio.udec.cl Fuente de Internet	<1 %

Lucía Isabel Chamán Cabrera

Dra. Chamán Cabrera Lucía Isabel
DNI N.º 40866057

33	repositorio.uisrael.edu.ec	Fuente de Internet	<1 %
34	cloud.google.com	Fuente de Internet	<1 %
35	repositorio.continental.edu.pe	Fuente de Internet	<1 %
36	repositorio.unac.edu.pe	Fuente de Internet	<1 %
37	Hyung Keun Oh, Hyung Joo Yoon, Joo Young Lee, Jeong Sun Park, Iksoo Kim. "Population Genetic Structure of the Bumblebee, Bombus ignitus (Hymenoptera: Apidae), Based on Mitochondrial COI Gene and Nuclear Ribosomal ITS2 Sequences", International Journal of Industrial Entomology, 2013	Publicación	<1 %
38	Submitted to Universidad TecMilenio	Trabajo del estudiante	<1 %
39	repositorio.unc.edu.pe	Fuente de Internet	<1 %
40	repositorio.uia.ac.cr:8080	Fuente de Internet	<1 %
41	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC	Trabajo del estudiante	<1 %
42	Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD, UNAD	Trabajo del estudiante	<1 %
43	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo	Trabajo del estudiante	<1 %
44	core.ac.uk	Fuente de Internet	<1 %
45	repositorio.unj.edu.pe	Fuente de Internet	<1 %
46	s3.amazonaws.com	Fuente de Internet	<1 %
47	www.valoraanalitik.com	Fuente de Internet	<1 %
48	Submitted to CONACYT	Trabajo del estudiante	<1 %

Lucia Isabel Chamán Cabrera

Dra. Chamán Cabrera Lucía Isabel
DNI N.º 40866057

49	Munyaneza, Joseline. "Semigroups of Sets Generated by Non-Lebesgue Measurable Subsets of the Real Line.", University of Rwanda Publicación	<1 %
50	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
51	Submitted to Universitat Oberta de Catalunya Trabajo del estudiante	<1 %
52	publicacionescd.uileam.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
53	"Inter-American Yearbook on Human Rights / Anuario Interamericano de Derechos Humanos, Volume 32 (2016)", Brill, 2018 Publicación	<1 %
54	cupdf.com Fuente de Internet	<1 %
55	dspace.unach.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
56	raw.githubusercontent.com Fuente de Internet	<1 %
57	repositorio.puce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
58	"IV Latin American Congress on Biomedical Engineering 2007, Bioengineering Solutions for Latin America Health", Springer Science and Business Media LLC, 2008 Publicación	<1 %
59	Omer Javed, Neelum Mansoor, Naeem Jabbar, Hamza Khan, Talha Israr, Sidra Maqsood, Saba Jamal, Fatima Meraj. "Los cambios inmunofenotípicos en tiempo real en la leucemia linfoblástica pediátrica de tipo B tienen implicaciones para la detección de la enfermedad mínima residual", Advances in Laboratory Medicine / Avances en Medicina de Laboratorio, 2025 Publicación	<1 %
60	bermellelectromedicina.com Fuente de Internet	<1 %
61	dspace.uazuay.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
62	fatu.uncoma.edu.ar Fuente de Internet	<1 %



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Hammer Lescano
Título del ejercicio: Quick Submit
Título de la entrega: TESIS FINAL
Nombre del archivo: INFORME_FINAL_TESIS-JAVIER_LESCANO_3.docx
Tamaño del archivo: 13.26M
Total páginas: 101
Total de palabras: 17,112
Total de caracteres: 96,618
Fecha de entrega: 09-ago-2026 07:02p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 3010327301



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



INFORME FINAL

Sistema de monitoreo remoto de temperatura para prevenir fallas en el banco N1 del molino de harina en la empresa PANESFOODS SAC

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

AUTOR:

Bach. Lescano Banda Hammer Javier

ASESORA:

Dra. Chamán Cabrera Lucia Isabel

LAMBAYEQUE-PERÚ
2026


Dra. Chamán Cabrera Lucia Isabel
DNI N.º 40866057

DEDICATORIA

A mis padres, por su esfuerzo constante y por cada sacrificio que hicieron,
todo lo que soy se los debo a ustedes.

A mis hermanos, por estar siempre presentes y por ese apoyo incondicional.

Y a ti, María Gomes Tejada, que fuiste una madre para nosotros. La entrega, el cariño y la fuerza con la que viviste cada día son una enseñanza que llevamos siempre con nosotros.

Bach. Lescano Banda Hammer Javier

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por la salud, la fuerza y la claridad para culminar este trabajo.

A mis padres, por cada sacrificio que hicieron para que pudiera llegar hasta aquí.

A mis hermanos, por el apoyo constante y por estar presentes cuando más lo necesité.

A la Dra. Lucía Isabel Chamán Cabrera, por la orientación brindada
durante el desarrollo de esta investigación.

A la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, por la formación recibida durante estos años.

A la empresa PANESFOODS SAC y a su personal operativo, por permitir la implementación del sistema en sus instalaciones y por su colaboración durante todo el período de monitoreo.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INDICE DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
INFORMACIÓN GENERAL.....	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
DISEÑO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Bases teóricas.....	4
1.2.1 Comunicación industrial	4
1.2.2 Fallas en equipos industriales	6
1.2.3 Molinos de harina	6
1.2.4 Monitoreo remoto	7
1.2.5 Plataforma de visualización	8
1.2.6 Procesamiento de datos.....	9
1.2.7 Sensores	10
1.2.8 Tipos de alarmas	12
1.2.9 Unidad de procesamiento y control	12
1.3 Definiciones Conceptuales.....	14
1.4 Operacionalización de Variables	16
DISEÑO METODOLÓGICO.....	17

2.1	Tipo de Investigación.....	17
2.2	Diseño de contrastación de hipótesis	17
2.3	Población, Muestra y Muestreo	18
2.3.1	Población.....	18
2.3.2	Muestra	19
2.3.3	Muestreo	19
2.4	Técnicas, instrumentos, equipos y materiales	19
2.4.1	Técnicas	19
2.4.2	Instrumentos.....	20
2.4.3	Equipos y Materiales.....	20
	RESULTADOS.....	21
3.1	Estado del monitoreo de temperatura	21
3.2	Diseño del sistema	21
3.2.1	Selección de hardware	22
3.2.2	Selección de software	28
3.2.3	Nodo primario	31
3.2.4	Nodo central.....	34
3.3	Ensamblaje del sistema	38
3.3.1	Montaje de componentes en PCB	38
3.3.2	Fabricación de las carcasas	40
3.3.3	Instalación in Situ	41
3.4	Mediciones.....	43
3.5	Evaluación comparativa del sistema	60
3.6	Presupuesto	62
	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	63

CONCLUSIONES	66
RECOMENDACIONES.....	67
REFERENCIAS.....	68
ANEXOS	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Configuraciones RS-485 y curva velocidad-longitud.....	5
Figura 2	Alarmas por superación de umbrales.....	12
Figura 3	Diseño de contrastación de hipótesis.....	18
Figura 4	Diagrama de funcionamiento del sistema.....	22
Figura 5	Termocupla K tipo tornillo M8	23
Figura 6	ESP32 y ESP32-S3.....	25
Figura 7	Convertidor RS485 a TTL.....	26
Figura 8	Módulo Micro SD Card 74LVC125A.....	26
Figura 9	Display OLED 1.3" I2C - Baliza TBC53-220.....	27
Figura 10	Fuente embebida HLK-5M05.....	27
Figura 11	Free Plan InfluxDB Cloud 2.0.....	28
Figura 12	Arduino IDE V2.3.7	29
Figura 13	EasyEDA Standard V 6.5.51	29
Figura 14	Grafana Cloud	30
Figura 15	Power BI.....	31
Figura 16	Flujo de operación nodo primario	32
Figura 17	Flujo de tareas Display, Sensors y Modbus.....	33
Figura 18	PCB Nodo Primario.....	34
Figura 19	Vista 3D Nodo Primario.....	34
Figura 20	Flujo de operación nodo central	35
Figura 21	Flujo de operación Core0 y Core1 ESP-S3	36
Figura 22	PCB Nodo Central.....	37
Figura 23	Vista 3D Nodo Central	37
Figura 24	Tarjetas electrónicas del nodo primario.....	39
Figura 25	Tarjetas electrónicas del nodo central.....	40
Figura 26	Case 3D Nodo primario y central	40

Figura 27 Case 3D en PETG.....	41
Figura 28 Nodo central y primario.....	41
Figura 29 Instalación nodo primario y central	42
Figura 30 Mediciones del 08/03/2026	44
Figura 31 Mediciones del 09/03/2026	44
Figura 32 Mediciones del 10/03/2026	46
Figura 33 Mediciones del 11/03/2026	46
Figura 34 Mediciones del 12/03/2026	46
Figura 35 Mediciones del 13/03/2026	47
Figura 36 Mediciones del 14/03/2026	47
Figura 37 Mediciones del 15/03/2026	47
Figura 38 Mediciones del 16/03/2026	48
Figura 39 Mediciones del 17/03/2026	48
Figura 40 Mediciones del 18/03/2026	48
Figura 41 Mediciones del 19/03/2026	49
Figura 42 Mediciones del 20/03/2026	49
Figura 43 Mediciones del 21/03/2026	49
Figura 44 Mediciones del 22/03/2026	50
Figura 45 Mediciones del 23/03/2026	50
Figura 46 Mediciones del 24/03/2026	50
Figura 47 Mediciones del 25/03/2026	51
Figura 48 Mediciones del 26/03/2026	51
Figura 49 Mediciones del 27/03/2026	52
Figura 50 Mediciones del 28/03/2026	52
Figura 51 Mediciones del 29/03/2026	52
Figura 52 Mediciones del 30/03/2026	53
Figura 53 Mediciones del 31/03/2026	53
Figura 54 Mediciones del 1/04/2026	53

Figura 55 Mediciones del 2/04/2026	54
Figura 56 Mediciones del 3/04/2026	54
Figura 57 Mediciones del 4/04/2026	54
Figura 58 Mediciones del 5/04/2026	55
Figura 59 Mediciones del 6/04/2026	55
Figura 60 Mediciones del 7/04/2026	55
Figura 61 Mediciones del 8/04/2026	55
Figura 62 Mediciones del 9/04/2026	56
Figura 63 Evidencia de alerta y resolución enviada mediante Telegram.....	56
Figura 64 Prueba funcional y alertas mediante Telegram.....	57
Figura 65 Alerta automática por superación SPP durante la operación.....	58
Figura 66 Medición de temperatura en S1 y S2 a las 12:46 h.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Código de color termopares J, K, T, E.....	11
Tabla 2	Operacionalización de Variables	16
Tabla 3	Deficiencias en el monitoreo de temperatura.....	21
Tabla 4	Características de termocupla K, J y E	23
Tabla 5	Características técnicas MAX31855.....	24
Tabla 6	Características ESP32 y ESP32-S3.....	25
Tabla 7	Lista de materiales nodo primario.....	38
Tabla 8	Lista de Materiales Nodo Central	39
Tabla 9	Activaciones de baliza y alerta en Telegram	58
Tabla 10	Comparación de temperaturas en S1 y S2	59
Tabla 11	Análisis de temperatura del banco N1	60
Tabla 12	Matriz comparativa de indicadores del monitoreo antes y después de la implementación..	61
Tabla 13	Costo del sistema	62

INFORMACIÓN GENERAL

Título

SISTEMA DE MONITOREO REMOTO DE TEMPERATURA PARA PREVENIR FALLAS EN EL BANCO N1 DEL MOLINO DE HARINA EN LA EMPRESA PANESFOODS SAC

Autor

Bach. Lescano Banda Hammer Javier.

Asesora de especialidad

Dra. Chamán Cabrera Lucía Isabel.

Línea de investigación

Ingenierías y tecnologías.

Lugar

Empresa PANESFOODS SAC, distrito de San Juan de Lurigancho, provincia de Lima, región Lima, Perú.

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo la implementación de un sistema de monitoreo remoto de temperatura para prevenir fallas en el banco N1 del molino de harina de la empresa PANESFOODS SAC, Lima. La problemática identificada fue el monitoreo manual de temperatura realizado cada 30 a 40 minutos sin registro de datos, lo que generaba una respuesta tardía ante incrementos de temperatura en la caja de engranajes del sistema de transmisión de rodillos. Para lo cual, se diseñó dos nodos de procesamiento basados en microcontroladores ESP32, integrados con termocuplas tipo K, comunicados mediante RS-485; donde, los datos obtenidos fueron almacenados en la base de series temporales InfluxDB Cloud 2.0 y visualizados en tiempo real mediante Grafana Cloud, con generación automática de alertas a través de siete reglas vinculadas a un bot de Telegram, y respaldo local en memoria microSD de 29.8 GB. El sistema se mantuvo en operación continua durante 32 días de monitoreo comprendidas entre el 8 de marzo y el 9 de abril de 2026, registrando un total de 773 446 datos con una frecuencia promedio de lectura de 5,18 segundos, temperaturas en operación entre 27 y 56.75 °C, y gestionando 15 eventos de sobretemperatura sin que en ningún momento se alcanzara el SPC de 60 °C; finalmente, los resultados evidenciaron que el sistema redujo la dependencia del monitoreo manual y proporcionó información oportuna para la detección de incrementos de temperatura y la toma de decisiones del operador.

Palabras clave: monitoreo remoto, temperatura, ESP32, banco de molienda, InfluxDB, Grafana.

ABSTRACT

The objective of this work was to implement a remote temperature monitoring system to prevent failures in the N1 roller mill bank at PANESFOODS SAC, Lima. The problem identified was the manual temperature monitoring performed every 30 to 40 minutes without data recording, which generated delayed responses to temperature increases in the gearbox of the roller transmission system. For this purpose, two processing nodes were designed based on ESP32 microcontrollers, integrated with type K thermocouples, communicating via RS-485; where the data obtained were stored in the InfluxDB Cloud 2.0 time-series database and visualized in real time using Grafana Cloud, with automatic alert generation through seven rules linked to a Telegram bot, and local backup on a 29.8 GB microSD memory. The system operated continuously for 32 monitoring days between March 8 and April 9, 2026, recording a total of 773,446 data points with an average reading frequency of 5.17 seconds, operating temperatures ranging from 27 to 56.75 °C, and managing 15 thermal events without the cutoff setpoint of 60 °C being reached at any point; finally, the results showed that the system reduced reliance on manual monitoring and provided timely information for detecting temperature increases and supporting operator decision-making.

Keywords: remote monitoring, temperature, ESP32, roller mill bank, InfluxDB, Grafana.

INTRODUCCIÓN

Durante la molienda, Tian et al. (2022) mencionan que las fuerzas mecánicas como la compresión y la fricción aplicadas en los bancos de molienda modifican la estructura del grano de trigo, afectando la distribución de proteínas, almidón y lípidos, así como la integridad de los gránulos de endospermo, estos cambios impactan directamente en la calidad, funcionalidad y rendimiento de la harina.

Para controlar estos efectos y garantizar un producto seguro y estable, la Comisión del Codex Alimentarius (2023), a través de la Norma del Codex para la Harina de Trigo (Norma 152), establece que el control de la temperatura durante el proceso de molienda es fundamental para garantizar la calidad, inocuidad y estabilidad de la harina, dicha norma establece límites críticos de humedad y ausencia de contaminantes, microorganismos y micotoxinas. En ese contexto, resulta indispensable el monitoreo continuo de la temperatura, ya que el calor generado por la fricción entre los rodillos y una posible desalineación de estos puede afectar la correcta ruptura del trigo.

En ese sentido, Netinant et al. (2023) menciona que existen sistemas de monitoreo para una variedad de aplicaciones industriales, aparte de recolectar información, estos sistemas emiten alertas automáticamente cuando las condiciones operativas no cumplen con los parámetros preestablecidos y realizan análisis de datos en tiempo real.

Bajo ese enfoque, el Institute of Electrical and Electronics Engineers (2024), mediante la norma IEEE P1451.99: Armonización de las Interacciones de los Sistemas IoT proporciona un marco para la interoperabilidad y comunicación estandarizada entre sensores, dispositivos inteligentes y plataformas de supervisión, lo que resulta especialmente relevante para sistemas de monitoreo remoto en procesos industriales.

Sin embargo, en la empresa PANESFOODS SAC, ubicada en San Juan de Lurigancho-Lima, el proceso de molienda del trigo se realiza mediante nueve bancos a rodillos, siendo el banco N°01 el principal, debido a que este es un banco de trituración, equipado con rodillos estriados de 50 cm de longitud, dispuestos en configuración espalda con espalda, en los cuales el control de la temperatura se realiza de forma manual, mediante verificaciones que van desde 30 – 40 minutos, sin registros de los mismos; por lo tanto, resultó fundamental la implementación de un sistema que permitió monitorear en tiempo real de la temperatura en la caja de engranajes del sistema de transmisión de los rodillos, con el fin de proporcionar información oportuna al operador para la regulación del espacio entre los rodillos, prevenir sobrecalentamientos y garantizar tanto la calidad del producto final como la protección y el adecuado funcionamiento de los equipos.

Luego de conocer la problemática, se formuló el siguiente problema de investigación: ¿De qué forma la implementación de un sistema de monitoreo remoto de temperatura permitirá prevenir fallas en el banco N1 del molino de harina en la empresa PANESFOODS SAC?

Como hipótesis se planteó que, si se implementa un sistema de monitoreo remoto de temperatura, entonces se mejorará la detección oportuna de incrementos de temperatura y la generación de alertas preventivas, contribuyendo a reducir el riesgo de fallas asociadas a la incrementación de temperatura en el banco N1 del molino de harina de la empresa PANESFOODS SAC.

Por lo tanto, se definió como objetivo general implementar un sistema de monitoreo remoto de temperatura para mejorar la detección oportuna de incrementos de temperatura y la generación de alertas preventivas, contribuyendo a reducir el riesgo de fallas en el banco N1 del molino de harina en la empresa PANESFOODS SAC. Además, se propusieron los siguientes objetivos específicos; a). Estudiar el mecanismo actual de medición de temperatura y sus limitaciones para identificar las deficiencias del monitoreo manual en dicho proceso; b).

Analizar fuentes bibliográficas científicas para fundamentar el marco teórico de la investigación; c). Elaborar el diseño del sistema de monitoreo remoto, incluyendo la arquitectura de hardware y software, para definir la estructura y el funcionamiento de la recolección, almacenamiento y transmisión de los datos; d). Armar el sistema de monitoreo remoto de temperatura en el banco N1 para evaluar su capacidad de monitoreo de temperatura.

La presente investigación se limitó a la implementación de un sistema que permitió leer, almacenar y visualizar datos de temperatura de dos termocuplas tipo K en el banco de molienda N1 del molino de harina de la empresa PANESFOODS SAC, estos datos se visualizaron de manera remota mediante Grafana; también, se generaban alarmas y notificaciones automáticas cuando las temperaturas sobrepasaban el umbral previamente establecido, sin embargo, las acciones correctivas derivadas de las alertas estuvieron a cargo del operador. Asimismo, en esta investigación, la prevención de fallas se entiende como la detección oportuna de incrementos anómalos de temperatura y la generación de alertas que permiten al operador realizar acciones correctivas antes de alcanzar el umbral crítico configurado. El sistema no ejecuta acciones correctivas automáticas ni elimina por completo la ocurrencia de fallas; su aporte consiste en reducir el riesgo asociado al sobrecalentamiento mediante el monitoreo continuo, la visualización local y las notificaciones remotas.

En este contexto, se optó por el uso del ESP32, debido a sus capacidades integradas de conectividad inalámbrica, eficiencia energética y su capacidad de procesamiento debido a que cuenta con una arquitectura de doble núcleo, lo que permitió la ejecución de tareas en paralelo; a diferencia de otras plataformas como Arduino, que requieren de módulos externos para transmisión de datos, operan con un solo núcleo y ejecutan tareas solo de forma secuencial. Asimismo, en cuanto la capacidad de procesamiento, el ESP32 presenta una ventaja significativa al operar a frecuencias de hasta 240 MHz, en comparación con los 16 MHz de Arduino.

DISEÑO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

A nivel internacional, en Indonesia Anggana & Solikin (2025) llevaron a cabo un sistema de monitorización de vibraciones aplicado a una máquina de prueba de tambores en la planta de ensamblaje Sunter, en el cual integraron un sensor de aceleración ADXL345, un microcontrolador ESP32 y una arquitectura basada en conectividad Wi-Fi, incorporado junto a una base de datos MySQL para el almacenamiento y Grafana como plataforma de monitoreo; de esta manera, se logró registrar y analizar las vibraciones en los ejes X,Y y Z, garantizando una adquisición de datos precisa y continua.

Asimismo, en Colombia Gómez (2025) desarrolló un sistema de monitoreo y adquisición en tiempo real de datos, aplicado a un motor asíncrono de 55kW, utilizando una estación emisora integrada por un ESP8266, ADS1115, un sensor de temperatura y vibración CWT-TVS-1A-1600-M-I; y el receptor por una Raspberry Pi 4 encargada del procesamiento y envío de datos a la plataforma ThingSpeak para almacenamiento y consulta histórica; ambos interconectados por medio XBee; este sistema tuvo como resultados la detección de picos de vibración de hasta 24 mm/s, temperaturas entre 33 °C y 50 °C; asimismo, se evidenció la capacidad del sistema para generar alertas tempranas ante condiciones anómalas.

De igual forma, en Palestina El-Khozondar et al. (2024) desarrollaron un sistema de monitoreo inteligente de monitorización energética en tiempo real cuyo núcleo fue un ESP32, encargado de recopilar, procesar y transmitir los datos obtenidos de medidores de energía digitales; estos dispositivos proporcionaban datos de voltaje ,corriente y potencia activa, la cual se enviaba a la plataforma Blynk, que funcionaba como interfaz gráfica en dispositivos móviles; además, se incorporando notificaciones de niveles de consumos establecidos a través de WhatsApp; como resultados, se obtuvo un sistema de precisión y de bajo costo, permitiendo una gestión energética más eficiente y reduciendo la dependencia de lectura manuales.

Del mismo modo, en Ecuador Farez y Auqui (2024) implementaron un sistema de monitoreo de temperatura y vibración para protección de motores eléctricos; este sistema estaba integrado por sensores Sick MPB10, los cuales se conectaban al Gateway SIG200 y PLC S71200, lo que permitía la recolección y transmisión de datos en tiempo real hacia Node-RED, donde los datos eran gestionados y visualizados, lo que permitió identificar aumentos en temperatura y vibraciones asociados a resonancias estructurales; además, se concluyó que el sistema optimizó la supervisión operativa, facilitó un mantenimiento preventivo; por consiguiente, redujo los costos operativos y prolongó la vida útil de los equipos.

De igual manera, en Ecuador, Cortijo et al. (2023) desarrollaron un sistema de monitoreo web para mejorar el mantenimiento de puertas automáticas en la empresa Markha Security S.A.C, mediante la medición temperatura y ruido de un motor, usando un sensor de temperatura MLX9014, sensor de ruido, un ESP32 y con Node-RED se realizó la recepción y gestión de los datos enviados por el ESP32, así como su almacenamiento y visualización en un servidor local, con transmisiones cada dos segundos; asimismo, se crearon interfases para ver la situación, manejo y evaluación del motor; además, la validación de los datos se realizó con un pirómetro obteniendo una precisión del 5% en temperatura y el ruido el 6%.

En la misma línea, en Ecuador Castillo (2022), implementó un sistema de detección de fallos en los motores de baja tensión de la Planta Unión cementera Nacional, para el cual hizo uso de sensores para la medición de temperatura (LM35), la corriente (STC013) y la vibración (ADXL335); asimismo, a través de una tarjeta Node MCU EPS32, se recolectó, procesó y envió la información a un servidor, donde se alojaron en una base de datos; la visualización se realizó en una interfaz de Node-RED, en el cual se mostraban los parámetros en un tablero de control, así como alertas sobre posibles irregularidades en el motor; este sistema permitió que los empleados de mantenimiento ejecutaran intervenciones adecuadas y fundamentadas en la información exacta.

A nivel nacional en Lima Chavez (2025) implementaron una máquina de centrifugado, con el propósito de monitorear parámetros temperatura, corriente y voltaje, para ello usaron los siguientes sensores LM35, ACS712 y ZMPT101B, además, el encargado de la adquisición y transmisión continua de datos a ThingSpeak estuvo a cargo de un ESP32, permitiendo el seguimiento permanente del estado del motor y la detección temprana de posibles anomalías; teniendo como resultado valores de los tres sensores dentro de rangos normales y con una transmisión de datos mínima de cada 15 segundos.

Asimismo, en Lima Sanchez y Galindo (2024) desarrollaron un sistema de medición de temperatura y presión de un motor CAT C280-12 TIER 4, para lo cual, emplearon tres sensores de temperatura PT100 y tres transmisores de presión Danfoss con módulos ADC MAX31865 Y ADS1115; un ESP32 para la recopilación, almacenamiento en una MicroSd y transmisión de datos a la nube mediante la plataforma ThingSpeak utilizando un módulo SIM5320, permitiendo registrar mediciones exactas y confiables, además, los datos se podían visualizar en formatos de Excel o Power BI; asimismo, el diseño robusto y con protección IP67, garantizó su funcionamiento incluso en condiciones adversas, como en ambientes de altamar, destacando así su versatilidad y confiabilidad.

Finalmente, en Huancayo Huacho (2022) realizó un proyecto que permitió la supervisión y gestión a distancia de temperatura y parámetros eléctricos en motores de inducción de baja potencia, usando un termopar tipo K para medir temperatura, el PZEM-004T para corriente; un microcontrolador Atmega 2560 para el control de los actuadores y la lectura de datos, mientras que el ESP32 se empleó para la conexión con la plataforma Ubidots, permitiendo el monitoreo gráfico y en tiempo real desde cualquier dispositivo conectado a internet, con hasta 10 variables, incluidas la temperatura, el voltaje y la corriente; además, se generaba alertas por correo electrónico si la temperatura supera un umbral preconfigurado.

1.2 Bases teóricas

1.2.1 *Comunicación industrial*

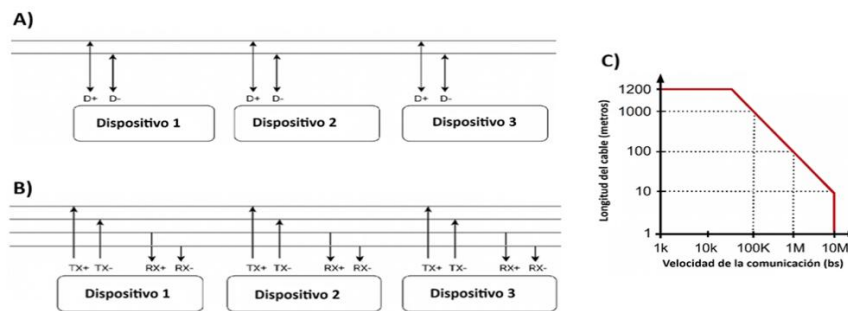
Desde la perspectiva de la comunicación industrial, Salazar (2025) menciona que existen diversos estándares de comunicaciones inalámbricas, WiFi, Zigbee, Bluetooth, entre otras; todas ellas permiten transmitir información sin necesidad de cables y se aplican según su alcance, consumo y tipo de servicio; donde, el Wi-Fi nos permite crear redes locales y facilita la comunicación entre múltiples equipos dentro de un mismo espacio, la cual, hoy en día se ha convertido en el estándar más común para la conexión inalámbrica en hogares, empresas e instituciones.

De forma complementaria, Pérez y Tejeda (2024) señalaron que también existen estándares comunicaciones alámbricas como el Ethernet, RS-232 y el RS-485, el cual destaca por su robustez y su alta inmunidad al ruido, además ofrece la capacidad de transmitir datos a largas distancias sin degradación significativa; esto es posible porque emplea un método de transmisión diferencial en el que la información depende de la diferencia de voltaje entre los dos conductores y no del valor individual de cada uno, de este modo cualquier interferencia afecta por igual a ambos cables y la señal útil se mantiene estable.

Asimismo, Pacheco (2025) indica que el RS-485 puede operar en half-duplex utilizando un solo par de cables para enviar y recibir datos de forma alternada como se aprecia en la Figura 1A; en cambio, full-duplex emplea dos pares, lo que posibilita la comunicación en ambas direcciones al mismo tiempo, y aunque ambos modos difieren en la cantidad de hilos mantienen el mismo principio de funcionamiento como se puede visualizar en la Figura 1B; además, en la Figura 1C se puede apreciar que la velocidad de transmisión guarda relación con la longitud del cable, de manera que a mayor distancia, menor debe ser la velocidad para mantener la integridad de la señal.

Figura 1

Configuraciones RS-485 y curva velocidad-longitud



Nota. Configuraciones de RS-485 y curva de velocidad de transmisión vs la longitud del cable

Además, Jácome y Hinojoza (2025) señalan que en los entornos industriales modernos se emplean diversos protocolos de comunicación que permiten una interacción eficiente y segura entre dispositivos y sistemas, facilitando el intercambio de información en procesos de automatización; entre estos protocolos se encuentran Modbus, PROFIBUS y EtherNet/IP, los cuales son ampliamente utilizados debido a su confiabilidad y estandarización.

En este contexto, Sepúlveda (2025) destaca que Modbus es uno de los protocolos más empleados en sistemas de automatización industrial, debido a que permite la transmisión de datos entre dispositivos electrónicos como PLCs, sensores y actuadores, mediante un esquema de comunicación de tipo maestro-esclavo, esto contribuye a una gestión ordenada y eficiente de la información dentro del sistema.

Finalmente, Valverde (2024) indicaron que el protocolo Modbus cuenta con dos variantes principales, siendo la primera Modbus RTU, la cual se emplea principalmente en redes seriales y se caracteriza por su eficiencia y confiabilidad, ya que utiliza un formato de mensajes binario y compacto que permite una comunicación rápida entre dispositivos y la segunda variante, Modbus TCP/IP, está orientado a redes Ethernet y encapsula los mensajes Modbus en paquetes TCP/IP, lo que facilita su integración en infraestructuras de red modernas, ofreciendo mayores velocidades de transmisión y una mejor conectividad con sistemas de supervisión y control avanzados.

1.2.2 Fallas en equipos industriales

Según Chen et al. (2024), la tecnología para identificar fallos se ha implementado de manera progresiva en diversas industrias, lo que ha permitido disminuir considerablemente el impacto de las fallas en los equipos industriales.

Impactos

Según Barreto (2023), menciona que las fallas en los equipos representan un desafío constante, ya que cuando un motor, un rodamiento o un sistema de transporte deja de funcionar, se interrumpe la producción y, por ende, se generan retrasos significativos. Además, estas fallas provocan tiempos de inactividad que se traducen en pérdidas económicas y aumentan los costos de mantenimiento, especialmente cuando el desgaste de un componente afecta a otros equipos relacionados. Por otra parte, Chiguano (2020) indica que los equipos que presentan fallas recurrentes disminuyen la confiabilidad general del sistema y, al mismo tiempo, pueden comprometer la calidad del producto y la seguridad del personal. Por ello, atender de manera oportuna los equipos averiados se vuelve fundamental, ya que permite minimizar los impactos negativos y garantizar la continuidad operativa.

1.2.3 Molinos de harina

Por otro lado, Cappelli et al. (2020) manifiestan que el método de producción más utilizado para obtener harina de trigo son los molinos de rodillos, los cuales comienzan separando los granos de trigo de los sistemas de ruptura y disminuyendo la longitud del endospermo mediante sistemas de reducción. Por su parte, Moammaei et al. (2024) explican que estos sistemas incluyen diversos pasos intermedios que separan de manera eficiente el endospermo, el salvado y el germen.

Finalmente, Bojanić et al. (2024) indican que en el proceso de molienda la temperatura tiene un efecto significativo en la estructura del almidón y en las propiedades de la harina; si hay un incremento no solo afecta a la calidad de la harina, sino también al rendimiento de los equipos; por ello, los ajustes precisos en la velocidad, la presión de los rodillos, junto con un control adecuado de la distancia entre estos, contribuyen a mejorar tanto la consistencia como la calidad funcional de la harina.

1.2.4 Monitoreo remoto

Según, Atao y Paucar (2023) permite de forma remota monitorear un sistema o proceso sin estar físicamente presente, destacando su relevancia porque facilita la visualización de parámetros y la identificación tempranas de fallas, permitiendo corregirlas a tiempo, todo ello se lleva a cabo mediante el uso de dispositivos y tecnologías capaces de recopilar y transmitir información desde cualquier lugar.

Aplicaciones del monitoreo remoto

En ese contexto, Asaadi et al. (2024) destacan que son esenciales para garantizar la seguridad y eficiencia de los equipos, ya que supervisan continuamente el funcionamiento y alertan en tiempo real sobre posibles desviaciones en el proceso.

Por otra parte, Arratia et al. (2021) destacan que el monitoreo de la temperatura, es esencial en distintos sectores como la agricultura, la industria farmacéutica y la alimentaria, ya que permite garantizar que los procesos y productos se mantengan en condiciones óptimas; además, con los avances tecnológicos, ahora es viable realizar este tipo de monitoreo mediante el uso de una variedad de dispositivos que no solo recolectan y muestran los datos en tiempo real, sino que también permiten tener un seguimiento más preciso y eficiente, adaptándose a las necesidades específicas de cada área.

Tecnologías

Asimismo, Arnao y Ventura (2024) señalaron que consiste en un conjunto de tecnologías que permiten recolectar información en tiempo real y a distancia de las condiciones operativas de equipos o procesos industriales. Por su parte, Tiboni et al. (2022) enfatizaron que la incorporación de estas tecnologías en entornos industriales facilita el monitoreo y gestión remota mediante la adquisición continua de datos.

Además, Flores et al. (2025) destacan que monitorear parámetros como temperatura, humedad o la vibración contribuyen directamente a la implementación de estrategias de mantenimiento. Por su parte, Lozano (2025) menciona que estos cuentan de al menos una capa arquitectónica que integra software y hardware, la cual se organiza comúnmente en cuatro módulos fundamentales: el procesamiento de la interfaz de usuario, el procesamiento de la entrada del sistema, el procesamiento de la salida del sistema y las unidades principales de proceso y control.

1.2.5 Plataforma de visualización

Según, Hashmani et al. (2023) es una herramienta que permite la visualización de datos a través de gráficos, histogramas y otros elementos personalizables; además, son compatibles con diversas fuentes de datos, lo que permite monitorear procesos industriales en tiempo real de manera eficiente y centralizada; también; y alertan a los usuarios mediante correo electrónico, SMS (Short Message Service) o mensajería instantánea cuando un valor es inferior o superior a un umbral predeterminado.

Por otro lado, hoy en día existen diferentes plataformas que permiten analizar y visualizar datos a través de gráficos. Dentro de ellas se encuentra ThingSpeak, que según Gómez (2025) es una plataforma en la nube desarrollada por MathWorks que permite recopilar, analizar y visualizar datos en tiempo real desde dispositivos remotos sin necesidad de contar con servidores propios.

A su vez, Ubidots, según Espinosa y Orellana (2021), es una plataforma que ofrece herramientas avanzadas para visualizar y analizar datos, ya que permite crear paneles personalizados a través de los cuales es posible supervisar variables en tiempo real, además integra un sistema de alertas que notifica al usuario cuando ocurre un evento relevante, por lo que se caracteriza por su flexibilidad y por la capacidad que posee para gestionar grandes volúmenes de información.

Posteriormente, Jiménez (2024) mencionó que Grafana es una aplicación diseñada para la visualización de datos en tiempo real, mediante la cual los usuarios pueden interpretar de manera sencilla la información presentada en gráficos y tablas que se integran en un panel de control unificado, lo que facilita la comprensión de los valores monitoreados. Además, esta plataforma emplea el protocolo SQL para la administración y gestión de bases de datos relacionales, de modo que asegura el manejo estructurado y eficiente de la información recopilada.

Por último, InfluxDB, según Basantes y Castro (2024), es una base de datos de series temporales, el cual utiliza Telegraf como agente encargado de recopilar dichos datos y enviarlos a diversos destinos, incluyendo bases de datos, aplicaciones, sistemas y sensores, ya que funciona como un servidor flexible que incorpora más de 300 complementos y está escrito en Go, lo que le permite adaptarse con facilidad a múltiples fuentes de información; además, la plataforma ofrece un conjunto sólido de API que facilita el acceso programático a sus servicios, de modo que el mismo código puede ejecutarse tanto en la versión local y de código abierto como en el servicio administrado de base de datos.

1.2.6 Procesamiento de datos

En relación con esto, Al-Surmi et al. (2022) señalaron que el procesamiento de datos y el análisis adecuado son fundamentales para transformar los registros obtenidos por los sensores en información útil para la supervisión industrial.

Además, Gunasekaran et al. (2023) destacaron que técnicas como el almacenamiento estructurado, el análisis continuo y la visualización de datos permiten interpretar correctamente el comportamiento de los equipos monitoreados, facilitando la toma de decisiones y mejorando la eficiencia operativa. Asimismo, resaltan que dichas técnicas posibilitan depurar los datos provenientes de sensores, identificar variaciones inusuales y anticipar condiciones que podrían derivar en fallas, lo que resulta especialmente relevante en entornos industriales donde la continuidad operativa es primordial.

En este contexto, Power BI se presenta como una herramienta de analítica que permite simplificar la visualización y el análisis de datos provenientes de sistemas de monitoreo industrial, ya que según Rincón (2024), esta plataforma genera informes detallados a partir de los datos recopilados por los sensores, facilitando la identificación de tendencias y anomalías; asimismo, su capacidad para manejar grandes volúmenes de información y su interfaz de fácil uso permiten a los usuarios tomar decisiones orientadas a la prevención de fallas en los equipos.

1.2.7 Sensores

Según, Benhanifia et al. (2025) indican que estos son elementos clave en la recolección de datos, debido a que permiten captar cambios en el entorno y convertirlos en información útil para supervisar procesos.

Dentro de esta categoría, González (2025) menciona que los sensores de temperatura son esenciales porque alertan sobre variaciones térmicas que pueden afectar la operación de equipos, y entre ellos se tiene los termopares, RTD y NTC, cuyos valores de medición pueden verse alterados por el ruido eléctrico, aunque una instalación adecuada asegura mediciones precisas y confiables; por lo tanto, estos dispositivos se han vuelto fundamentales para detectar anomalías y prevenir fallas en aplicaciones industriales.

Asimismo, Pérez y Tejeda (2024) explicaron que los termopares son sensores que generan una diferencia de potencial al calentarse o enfriarse, debido a la unión de dos metales distintos que produce un voltaje proporcional a la diferencia de temperatura entre sus extremos; se consideran económicos y ofrecen un rango de medición muy amplio, además suelen adaptarse a múltiples aplicaciones.

Además, Cruz (2025) menciona que existe diferentes tipos de termopares, los cuales se distinguen por su material, sensibilidad y rango de operación, donde la selección del tipo se realiza de acuerdo a la necesidad de la aplicación industrial; entre los más utilizados se encuentran los tipos K, E, J, N, B, R y T.

Por su parte, Castillo (2024) menciona que el tipo K es uno de los más versátiles y de mayor disponibilidad en el mercado; su rango de funcionamiento puede alcanzar los 1260 °C; de igual manera, está constituido por aleaciones de Niquel-Cromo y Niquel-Alumel, también conocido como Cromel-Alumel; además, se debe de tener en cuenta el código de las normas ya establecidos para la correcta identificación de los termopares, como la norma ANSI y DIN (Deutsches Institut für Normung), para evitar confusiones, tal como se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1

Código de color termopares J, K, T, E

TIPO	ANSI		DIN	
	+	-	+	-
J	Blanco	Rojo	Rojo	Azul
K	Amarillo	Rojo	Rojo	Verde
T	Azul	Rojo	Rojo	Marrón
E	Purpura	Rojo	Rojo	Negro

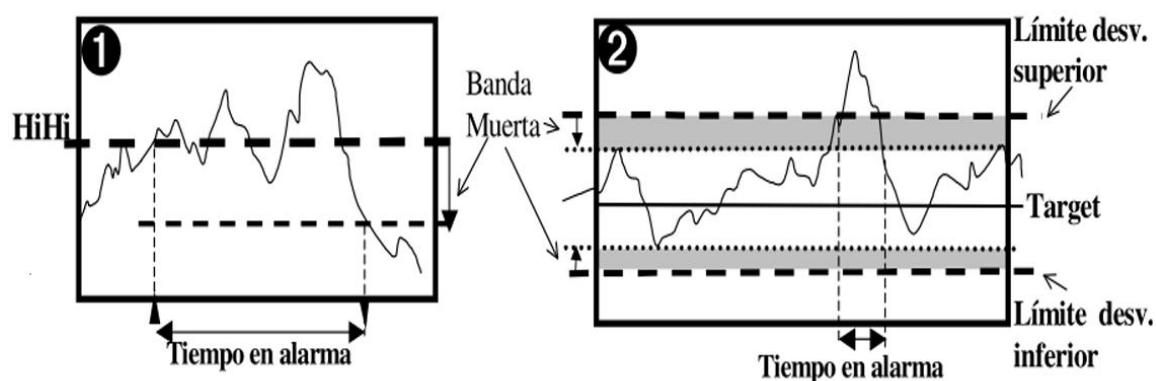
Nota. Normativa de colores de termocupla ANSI y DIN

1.2.8 Tipos de alarmas

Según Huisa (2024), los sistemas de alarmas pueden clasificarse según el tipo de variable a monitorear, distinguiéndose entre alarmas asociadas a variables discretas y variables continuas; tal como se muestra en la figura 2-1, la alarma de umbral absoluto se basa en el establecimiento de un único valor límite, mientras que en la figura 2-2 alarma de umbral relativo se basan en el establecimiento de umbrales numéricos que delimitan las condiciones normales de operación, permitiendo detectar desviaciones que afectan el desempeño del proceso.

Figura 2

Alarmas por superación de umbrales



Nota. Huisa (2024) muestra alarma por superación de umbral absoluto (1) y relativo (2)

1.2.9 Unidad de procesamiento y control

A continuación, Chuquitarco (2023) explicó que están diseñados específicamente para cumplir una tarea determinada dentro de un equipo o proceso; estos pueden ser programados utilizando el lenguaje ensamblador propio del microcontrolador o, alternativamente, mediante lenguajes de alto nivel como C o C++, a través de compiladores especializados que permiten optimizar su desempeño.

Por su parte, Cantos y Abad (2025) mencionó que un microcontrolador está compuesto por tres elementos principales: la CPU que funciona como el cerebro del sistema porque procesa instrucciones y realiza operaciones aritméticas, lógicas y de transferencia de datos; la memoria, encargada de almacenar información necesaria, debido a que la memoria del programa guarda instrucciones de forma permanente al ser no volátil; y los periféricos de E/S, que permiten la comunicación con el entorno ya que reciben datos y envían señales según las instrucciones procesadas, garantizando así el correcto funcionamiento del dispositivo.

En relación con lo anterior, Santi (2023) indicó que se clasifican por la cantidad de bits, ya que esto determina su capacidad y sus posibles aplicaciones; los de 4 bits corresponden a la gama más simple y se emplean en dispositivos de muy baja complejidad; los de 8 bits resultan ideales para principiantes y para tareas en tiempo real; los de 16 bits ofrecen más memoria y mejor rendimiento con bajo consumo; mientras que los de 32 bits aportan mayor potencia, seguridad y soporte para multitareas; de esta manera, cada nivel se ajusta a diferentes necesidades de diseño y complejidad.

Finalmente, Alcántara (2024) señaló que existe varias familias ampliamente utilizadas en el desarrollo electrónico, entre ellos los AVR de Microchip, los PIC también de Microchip, los MSP430 de Texas Instruments, los ARM Cortex fabricados por diversas compañías como NXP, Texas Instruments y Microchip, el RP2040 desarrollado por Raspberry Pi y por ultimo los ESP de Espressif, dentro de los cuales se encuentra el ESP32.

Según Fonseca (2025), este último es un microcontrolador avanzado que integra conectividad Wi-Fi y Bluetooth, lo que permite enviar y monitorear de manera remota los datos; además cuenta con interfaces como I2C que facilitan la conexión de sensores y periféricos; y ofrece un equilibrio entre capacidad de procesamiento, eficiencia energética y costo, lo que lo vuelve adecuado para aplicaciones en tiempo real.

1.3 Definiciones Conceptuales

Sistema de monitoreo remoto de temperatura: De acuerdo con Mejias (2024), permite la visualización en tiempo real de los datos de temperatura de equipos o ambientes, lo que facilita identificar de manera temprana posibles fallas y tomar decisiones rápidas para evitar problemas. En este sistema, se destacan tres aspectos: la capacidad de medición, la generación de alertas y el almacenamiento de datos.

Capacidad de medición: Tapara (2024) indica que esta se refiere a las características técnicas del sistema, como el rango de medición y la precisión; en ese sentido, la precisión es esencial para asegurar la exactitud de las mediciones, garantizando de esta manera que los datos obtenidos sean confiables y adecuados para la toma de decisiones.

Generación de alertas: Castillo y Fuentes (2023) resaltan que son importantes, ya que estas avisan cuando los parámetros se desvían de los valores establecidos, esto permite actuar rápidamente, evitando fallas en los equipos o interrupciones en el proceso productivo.

Tipos de alertas: Huisa (2024) menciona que se clasifican según el tipo de variable monitoreada y el criterio del umbral; las alarmas para variables discretas se activan ante cambios binarios del sistema, mientras que las alarmas para variables continuas requieren la definición de umbrales de operación, estos umbrales pueden ser absolutos, basados en un valor fijo, o relativos, considerando la variación de la variable, incluyendo las alarmas por tasa de cambio (ROC), que permiten detectar incrementos anómalos de manera anticipada.

Almacenamiento de datos: Chicaiza y González (2021) explican que cumplen una función fundamental al permitir la organización y resguardo de la información recopilada por el sistema de monitoreo en una base de datos o un sistema de almacenamiento adecuado; gracias a esto, se puede acceder a registros anteriores, analizar tendencias y tomar decisiones basadas en los datos acumulados, lo que mejora la gestión y el mantenimiento de los equipos.

Capacidad de almacenamiento: Tapara (2024) considera este como un factor clave para registrar continuamente los datos obtenidos por los sensores y conservarlos para su análisis posterior mientras que el período de retención de datos se establece de acuerdo con los requerimientos de supervisión permitiendo que la información histórica permanezca disponible durante un tiempo determinado y así facilitar su evaluación, además estos criterios contribuyen a optimizar el uso del almacenamiento y asegurar la disponibilidad e integridad de los datos generados por el sistema.

Fallas: Chiguano (2020) describe que son eventos inesperados o no deseados que interrumpen el funcionamiento de un equipo o proceso, lo que afecta directamente el desempeño de la empresa y genera un impacto operativo.

Interrupciones operativas: Nunton (2025) menciona que son paradas no planificadas en el funcionamiento de equipos o sistemas industriales, originadas por fallas inesperadas que ocurren durante la operación, generando tiempos de inactividad que producen pérdidas económicas directas y afectan la continuidad del proceso productivo.

Impacto operativo: Aranda y De la Cruz (2024) señalan que hace referencia a las consecuencias que genera una falla de equipo sobre el conjunto de operaciones de una empresa; asimismo, indican que cuando un equipo presenta una criticidad alta por la frecuencia con que falla, se generan importantes efectos que afectan la flexibilidad de la producción y los costos de mantenimiento.

1.4 Operacionalización de Variables

Tabla 2

Operacionalización de Variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Sistema de monitoreo remoto de temperatura (Independiente)	Permite la visualización en tiempo real de los datos de temperatura de equipos o ambientes (Mejias, 2024).	Herramienta tecnológica que permitirá medir, transmitir y monitorear la temperatura, alertando sobre variaciones para facilitar la toma de decisiones.	Capacidad de medición	Precisión $\pm 5^{\circ}\text{C}$ Rango de medición 0-100 $^{\circ}\text{C}$ Tiempo promedio 0-60 s
			Generación de alertas	Tipos de Alertas
			Almacenamiento de datos	Capacidad de almacenamiento Periodo de retención de datos
			Interrupciones operativas	Número de alertas preventivas
Fallas en el banco N1 (Dependiente)	Eventos inesperados o no deseados que interrumpen el funcionamiento de un equipo o proceso (Chiguano, 2020).	La recolección de datos se realizará a través de una ficha de recolección de datos y guía de entrevista para identificar el número y tipo de incidentes operativos.	Impacto operativo	Tiempo de inactividad

DISEÑO METODOLÓGICO

2.1 Tipo de Investigación

Esta investigación según el enfoque fue cuantitativa, por su finalidad aplicada y por el alcance transversal. De acuerdo a Hadi et al. (2023), es cuantitativa cuando se basa en la recopilación y análisis de datos numéricos de manera objetiva y precisa mediante herramientas estadísticas; asimismo, Révolo et al. (2023) mencionan que la investigación aplicada se enfoca en resolver problemas prácticos y específicos mediante la aplicación de conocimientos; finalmente, Ramírez et al. (2023) indican que es transversal cuando se recolectan datos en un solo momento, sin hacer seguimiento a lo largo del tiempo, cuyo propósito es analizar diferentes variables en un instante determinado para identificar patrones dentro de una población específica.

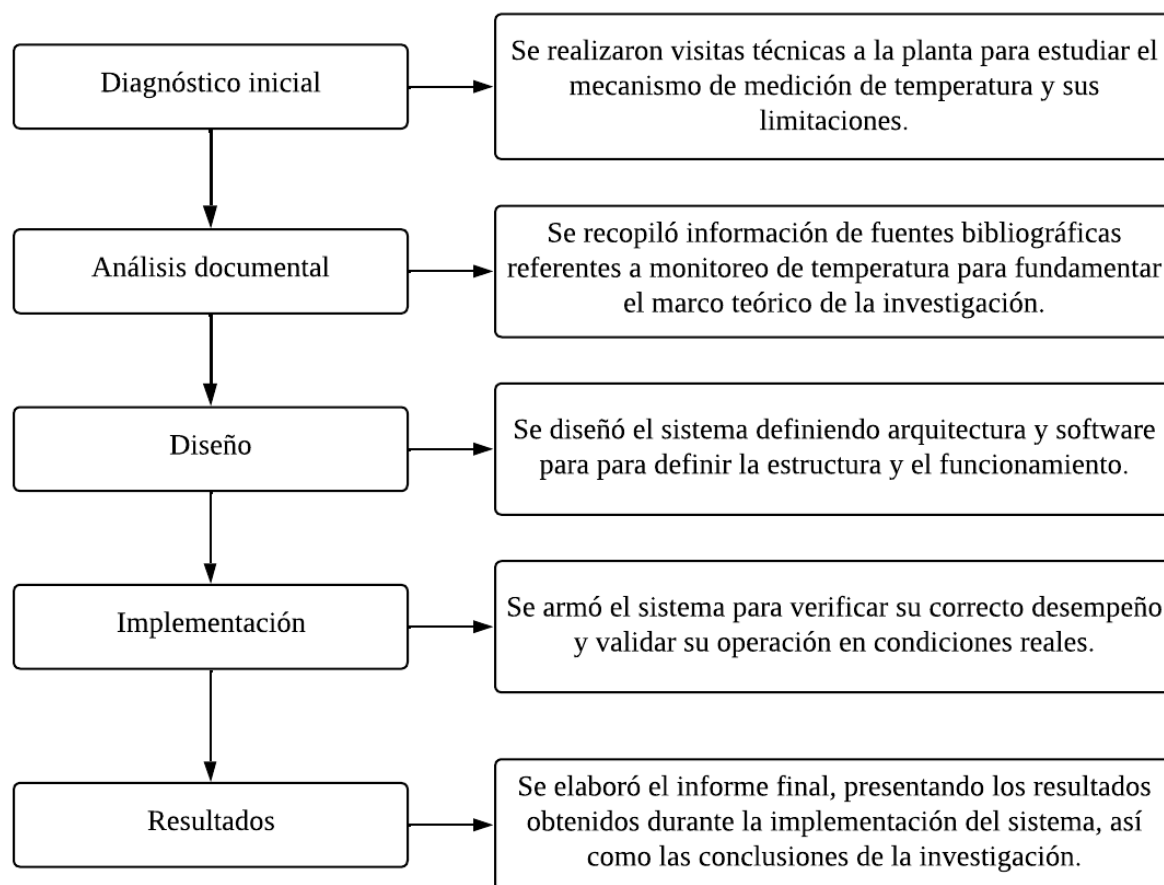
Asimismo, el método de esta investigación fue hipotético-deductivo, según Sucari et al. (2024), este enfoque se basa en la formulación de hipótesis que se prueban a través de observaciones empíricas y experimentos.

2.2 Diseño de contrastación de hipótesis

La presente investigación tuvo diferentes etapas para la comprobación de la hipótesis planteada, las cuales se estructuraron de manera secuencial, tal como se muestra en la Figura 3 iniciando con un diagnóstico inicial del proceso, seguido del análisis documental, el diseño del sistema, armado en condiciones reales de operación y, finalmente, el análisis de resultados. Este enfoque metodológico permitió evaluar el impacto del sistema de monitoreo remoto en la detección temprana de incrementos de temperatura en el banco N1.

Figura 3

Diseño de contrastación de hipótesis



2.3 Población, Muestra y Muestreo

2.3.1 Población

Según Torero et al. (2023), la población se define como el conjunto total de elementos que comparten ciertas características y sobre las cuales se requiere obtener información. Por lo cual, la población de este estudio estuvo compuesta por los nueve (9) bancos de molienda que se encuentran funcionando dentro del molino de harina de la empresa PANESFOODS SAC, situado en el Departamento de Lima, provincia de Lima, distrito de San Juan de Lurigancho. Cada banco de molienda desempeña un rol fundamental en el proceso de producción de la harina y su rendimiento es esencial para la eficiencia de la planta.

2.3.2 Muestra

En cuanto a la muestra Vizcaíno et al. (2023), señalan que esta corresponde a un subconjunto extraído de una población con el fin de llevar a cabo un estudio. Para esta investigación, se seleccionó al banco de molienda N1 del molino de harina, la elección de este banco se basó por las dificultades operativas que ha presentado, lo que lo convirtió en un candidato ideal para la implementación de un sistema de monitoreo remoto de temperatura.

2.3.3 Muestreo

Con relación al muestreo Huamán et al. (2022), mencionan que este consiste en el proceso de selección de la muestra, el cual puede realizarse mediante técnicas probabilísticas o no probabilísticas, según el enfoque de la investigación. En este caso, se optó por un muestreo no probabilístico por conveniencia, ya que el estudio está centrado en un banco de molienda específico (banco N1).

2.4 Técnicas, instrumentos, equipos y materiales

Según Medina et al. (2023), las técnicas e instrumentos de investigación son herramientas esenciales en el proceso de recolección y análisis de información, donde las técnicas se refieren a los métodos usados para la obtención de datos como encuestas, entrevistas o la observación, mientras que los instrumentos son las herramientas específicas, como los cuestionarios, escalas de medición o fichas de entrevistas.

2.4.1 Técnicas

En esta investigación se utilizaron dos técnicas para la recolección de datos; en primer lugar, se realizó una entrevista a supervisores para obtener información cualitativa sobre el proceso de monitoreo de temperatura en el banco de molienda N1; en segundo lugar, se llevó a cabo una observación directa con la finalidad de analizar el proceso de monitoreo de temperatura.

2.4.2 Instrumentos

La entrevista, aplicada mediante una guía estructurada (Anexo A), permitió comprender cómo se realizaba el monitoreo de temperatura para la regulación del espacio entre los rodillos en el banco N°1, así como identificar sus principales limitaciones operativas; asimismo, se identificaron problemas asociados a la falta de detección oportuna de incrementos de temperatura, los cuales habían derivado en demoras en la respuesta y afectaron la producción.

Adicionalmente, la observación directa, realizada mediante una ficha de recolección de datos (Anexo B) y un protocolo de pruebas comparativas (Anexo C), permitió recopilar información cuantitativa del sistema antes y después de su implementación, facilitando la comparación de su desempeño en condiciones reales de operación.

2.4.3 Equipos y Materiales

La laptop con procesador Intel Core i7 de duodécima generación y 16 GB de memoria RAM se utilizó para la configuración del sistema, la visualización y registro de datos en la plataforma de monitoreo, así como para el análisis de la información obtenida. Por su parte, el medidor de temperatura láser infrarrojo se empleó para la medición puntual de la temperatura en los puntos ubicados de los sensores en el banco N°1, con el fin de contrastar y validar los valores registrados por el sistema de monitoreo.

RESULTADOS

3.1 Estado del monitoreo de temperatura

Luego de conocer el monitoreo de temperatura en el banco N°1 de la empresa PANESFOODS SAC se encontraron las siguientes deficiencias mostradas en la Tabla 3.

Tabla 3

Deficiencias en el monitoreo de temperatura

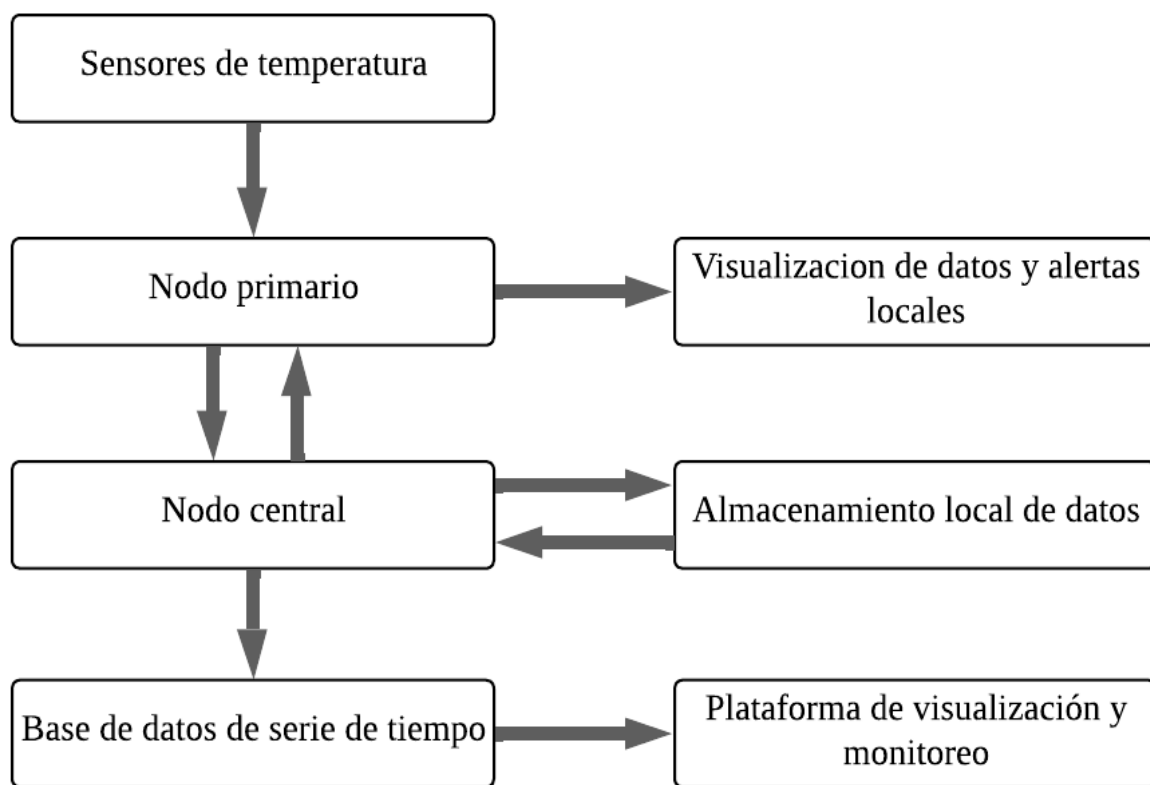
Deficiencia	Consecuencias
Monitoreo manual de la temperatura	Riesgo de omisión en la medición de temperatura, especialmente durante periodos de alta carga operativa, afectando la detección oportuna de incrementos de temperatura que requieren ajustes inmediatos en el proceso.
Falta de monitoreo continuo	Retraso en la identificación de temperaturas superiores al umbral permitido, generando una regulación inadecuada de los rodillos.
Falta de registro de datos	Imposibilidad de analizar el comportamiento térmico del proceso y de implementar acciones correctivas basadas en datos históricos.
Dependencia del operador	Depender de mediciones manuales por parte del operador, impide realizar una regulación oportuna del espaciado y afecta la eficiencia del proceso de molienda.

3.2 Diseño del sistema

A continuación, se Figura 4 se muestra mediante un diagrama el funcionamiento del sistema de monitoreo, el cual está conformado por un nodo primario encargado de la adquisición y visualización local de la temperatura, así como de la generación de alertas mediante una baliza luminosa. Los datos son transmitidos al nodo central a través de comunicación alámbrica, donde son procesados, almacenados y enviados a una base de datos para su posterior visualización y monitoreo en tiempo real mediante plataforma.

Figura 4

Diagrama de funcionamiento del sistema



3.2.1 Selección de hardware

Es una fue una etapa clave, ya que de ello dependió el correcto funcionamiento y confiabilidad de la información obtenida, estos fueron seleccionados considerando los requerimientos técnicos como rango de medición, precisión, compatibilidad, facilidad de integración y costo.

A continuación, se describen los principales elementos que conformaron el sistema: sensores de temperatura, convertidores analógico-digital (ADC), tarjetas de desarrollo, módulos de comunicación, almacenamiento, visualización y señalización local.

Sensores

Se emplearon dos termopares, debido a su amplio rango de medición, soporte de vibraciones constantes, presencia de polvo y variaciones bruscas sin perder precisión ni dañarse; además, se seleccionó los de tipo K por su amplio rango de medición (-200 a 1.260 $^{\circ}\text{C}$), disponibilidad del mercado, su resistencia en ambientes industriales y su alta compatibilidad con equipos; asimismo, en la Tabla 4 se puede observar una comparativa frente a los termopares de tipo J y E.

Tabla 4

Características de termocupla K, J y E

Característica	Tipo K	Tipo J	Tipo E
Material	Cromel - Alumel	Hierro – Constantán	Cromel - Constantán
Robustez mecánica	Alta	Media	Media
Rango $^{\circ}\text{C}$	-200 a 1260	-40 a 750	-200 a 900
Costo	Medio	Bajo	Medio
Resistencia a oxidación	Alta	Bajo	Media

También, se seleccionó con conexión tipo tornillo con rosca M8 como se puede apreciar en la Figura 5, debido a que esta configuración permite una fijación segura y estable en el banco N°1, evitando que los sensores se desprendan por vibraciones; además, al ser aislados, previenen interferencias eléctricas, fugas o cortocircuitos que podrían ocurrir si la malla del cable estuviera conectada al negativo y en contacto con estructuras metálicas.

Figura 5

Termocupla K tipo tornillo M8



Convertidores digitales de termopar

Se uso convertidores digitales MAX31855, uno para cada termopar tipo K, debido a su precisión en la conversión de la señal, así como la facilidad de detectar no solo desconexión del sensor, sino también cortocircuitos a GND o VCC; además, ofrece un amplio rango de medición de temperatura (-200 a 1350 °C) y es compatible trabajar con microcontroladores como ESP32 o Raspberry Pi, ya que opera a niveles lógicos de 3.3v; en la tabla 5 se presentan las características principales de este chip.

Tabla 5

Características técnicas MAX31855

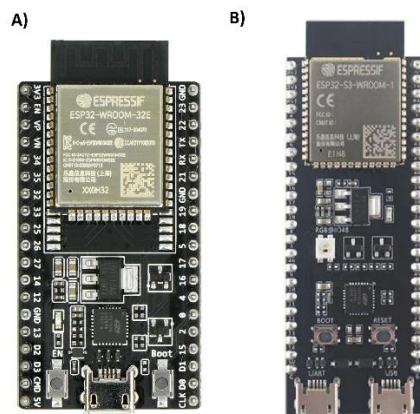
Característica	Detalle	Foto
Tipo	K	
Rango de medición	-200 a 1350 °C	
Resolución	14-16 bits	
Precisión	±2	
Tensión de Alimentación	3.3 VCC	
Corriente de funcionamiento	900uA	
Comunicación	SPI (Serial Peripheral Interface)	

Tarjetas de desarrollo

En el proyecto se utilizaron microcontroladores ESP32, cada uno cumpliendo funciones específicas. EL DevKitC V4 WROOM32E (Figura 6A) se empleó en el nodo primario, encargado de la adquisición de datos directamente desde los sensores y visualización local de los mismos, debido a su confiabilidad, soporte para Wi-Fi y bajo consumo en modos de espera. Por su parte ESP32-S3 DevKitC-1 (Figura 6B) se utilizó como nodo central, encargándose de la recolección de datos de los nodos primarios, su almacenamiento local y el envío a una plataforma de base de series temporales. En la Tabla 6 se muestran algunas características principales de ambos microcontroladores.

Tabla 6*Características ESP32 y ESP32-S3*

Característica	ESP32 DevKitC V4 WROOM32E	ESP32-S3 DevKitC-1
CPU	Xtensa LX6 Dual-Core, 240 MHz	Xtensa LX7 Dual-Core, 240 MHz
Flash	4 MB	8 MB
GPIO	41	48
WIFI	2.4 GHz b/g/n	2.4 GHz b/g/n
PERIFERICOS	UART, I ² C, SPI, ADC, DAC, PWM	UART, I ² C, SPI, ADC, PWM, USB OTG
Tensión de Alimentación	5 VCC	5 VCC
Corriente con Wi-Fi activo	80–180 mA	285–355 mA

Figura 6*ESP32 y ESP32-S3*

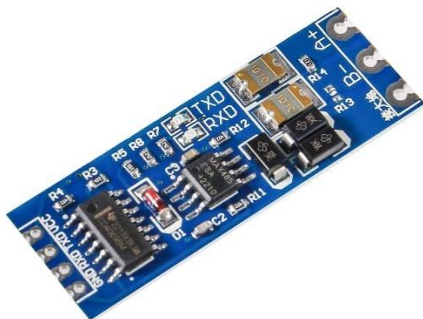
Módulos de comunicación

Se decidió utilizar RS485 para la comunicación entre el nodo primario y el nodo central debido a su alta confiabilidad en entornos industriales y su capacidad de transmitir datos a largas distancias sin pérdida significativa de señal, asimismo, este estándar permite una comunicación diferencial, lo que reduce considerablemente las interferencias eléctricas y el ruido generado por motores, variadores o equipos eléctricos cercanos; además, RS485 es compatible con topologías multipunto, lo que facilita la expansión futura del sistema con más nodos si fuera necesario.

Para ello se eligió el módulo RS485-TTL (Figura 7) compatible con 3.3–5 V para la comunicación entre los nodos del sistema debido a su facilidad de integración con los microcontroladores ESP32 y el ESP32-S3; además, este módulo permite la conexión directa a las líneas TX y RX del microcontrolador, manejando internamente la dirección de transmisión y recepción en la comunicación half-duplex, sin necesidad de controlar manualmente los pines DE y RE, como ocurre en los módulos basados en el MAX485 clásico.

Figura 7

Convertidor RS485 a TTL

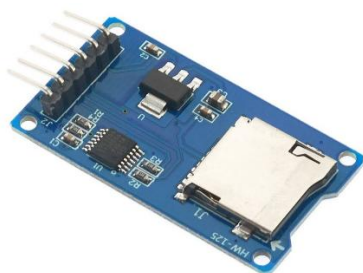


Módulo de almacenamiento local

Se utilizó un módulo lector de memoria Micro SD Card (Figura 8) junto a una memoria de 32 GB de la marca Kingston, que operaba mediante la interfaz SPI, permitiendo una conexión directa con el ESP32-S3; este módulo contaba con el chip MC74VHCT125A/74LVC125A como convertidor de nivel lógico, asegurando su funcionamiento seguro tanto a 3.3 V como a 5 V.

Figura 8

Módulo Micro SD Card 74LVC125A

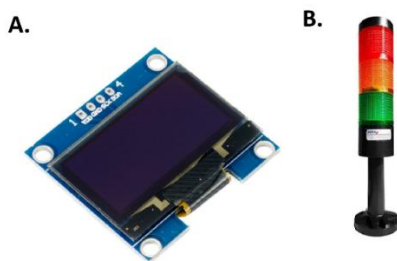


Visualización y señalización local

Se empleó una pantalla OLED de 1.3" I2C (Figura 9A), resolución 128×64 con controlador SH1106, que mostró en tiempo real la temperatura de los sensores y alertas sobre errores de desconexión o cortocircuito; además, se utilizó una baliza Owen modelo TBC53-220 (Figura 9B) de tres colores, cuya señalización visual indicaba el estado del sistema según los umbrales de temperatura establecidos.

Figura 9

Display OLED 1.3" I2C - Baliza TBC53-220



Fuente de alimentación

Se eligieron las fuentes embebidas de Hi-Link 5M05 (Figura 10) debido a su tamaño compacto, lo que facilita su integración dentro del sistema sin ocupar espacio adicional, y a su capacidad de entregar 5W con 5V DC de manera estable, suficiente para alimentar a cada uno de los nodos, además, estas fuentes proporcionan aislamiento eléctrico, lo que incrementa la seguridad del sistema al separar la alimentación de 220 V de la electrónica de bajo voltaje, reduciendo riesgos de sobrevoltaje o fallas por interferencia.

Figura 10

Fuente embebida HLK-5M05



3.2.2 Selección de software

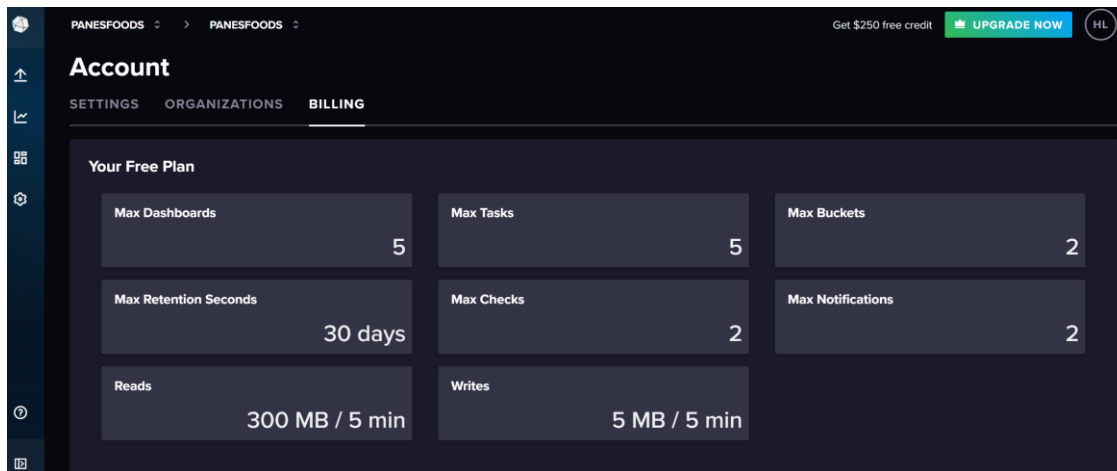
En este proyecto se emplearon diversos softwares que permitieron la programación, diseño electrónico, almacenamiento, monitoreo y visualización de datos.

Software de base datos

Para el almacenamiento y gestión de datos, se utilizó InfluxDB Cloud 2.0, una base de datos de series temporales que permitió registrar de manera eficiente las mediciones de temperatura y parámetros del sistema; la versión utilizada es la versión gratuita, que almacena los datos durante 30 días, facilitando la consulta y análisis de la información en ese periodo; además, es compatible con software de visualización y monitoreo. En la Figura 11 se puede observar los límites del plan, los cuales fueron suficientes para esta investigación.

Figura 11

Free Plan InfluxDB Cloud 2.0

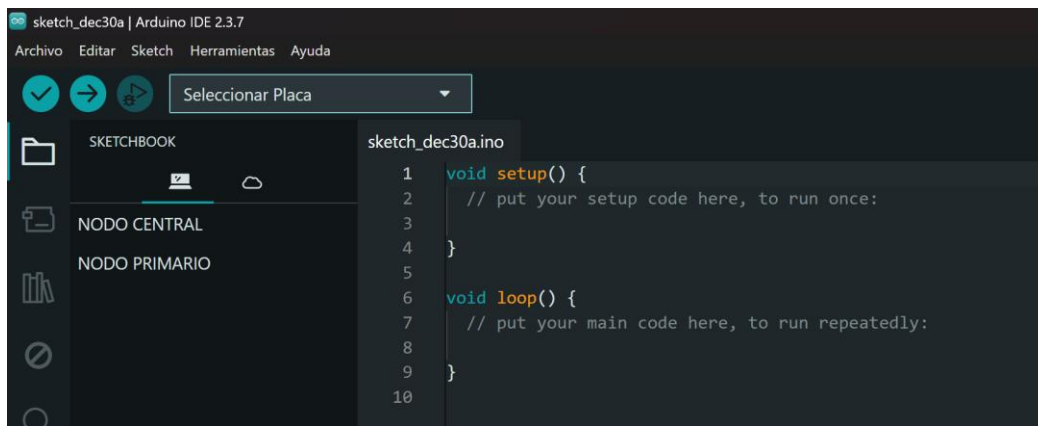


Software de programación

Para la programación de los ESP 32 de ambos nodos se realizó mediante la plataforma Arduino IDE versión 2.3.7 (Figura 12), debido a que es una herramienta compatible y ampliamente utilizada para la programación de ESP32, este entorno facilitó la escritura, compilación y carga del código al microcontrolador, además de ofrecer soporte nativo para las placas ESP32 mediante sus librerías y gestores de placas.

Figura 12

Arduino IDE V2.3.7

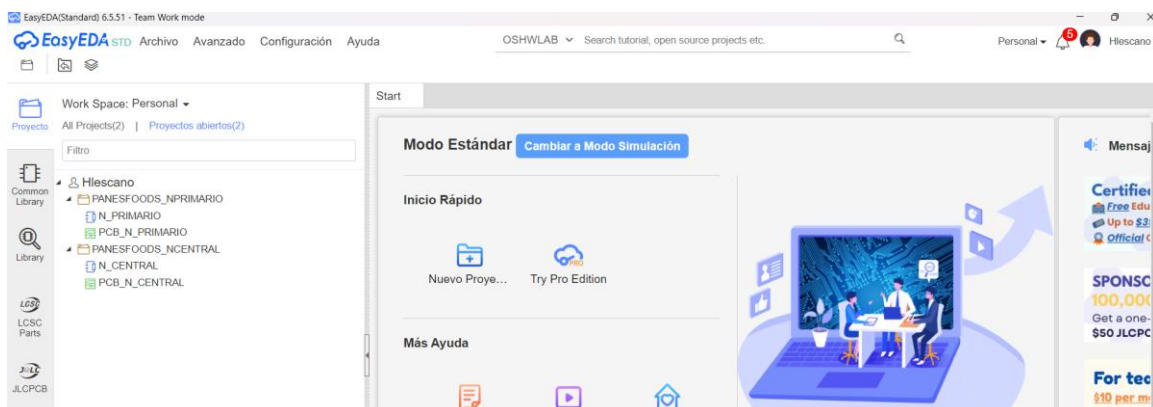


Software de diseño electrónico

Se utilizó EasyEDA Standard versión 6.5.51 (Figura 13) para el diseño del esquemático, lo cual facilitó la correcta interconexión de los componentes de los nodos primario y central; posteriormente, el mismo entorno se empleó para el diseño de las placas de circuito impreso (PCB), asegurando coherencia entre ambas etapas; asimismo, proporcionó bibliotecas y huellas adecuadas para los componentes utilizados; además, permitió generar los archivos de fabricación (Gerber) necesarios para la producción del PCB, lo cual redujo errores y optimizó el tiempo de desarrollo.

Figura 13

EasyEDA Standard V 6.5.51

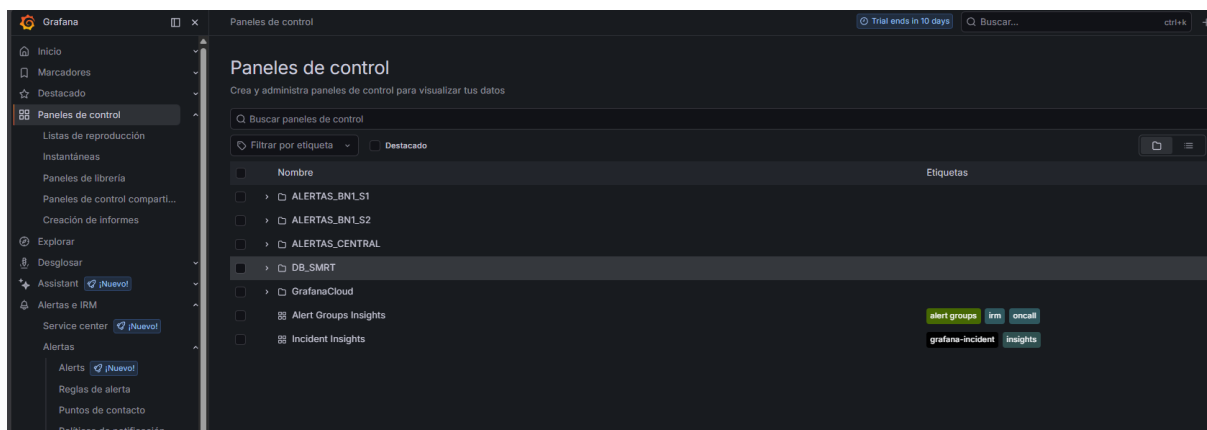


Software de visualización y monitoreo

Grafana Cloud (Figura 14) se empleó como software de visualización y monitoreo, este se vinculó con la base de datos de series temporales InfluxDB Cloud 2.0 para la consulta eficiente de la información generada por el sistema; esta integración permitió la visualización de datos en tiempo real mediante paneles interactivos (Anexo G), así como el análisis histórico (menor a 30 días) de las variables de temperatura, alarmas y datos del propio sistema. Además, se facilitó la configuración de alertas ante valores fuera de rango, mejorando la supervisión y el control del sistema.

Figura 14

Grafana Cloud

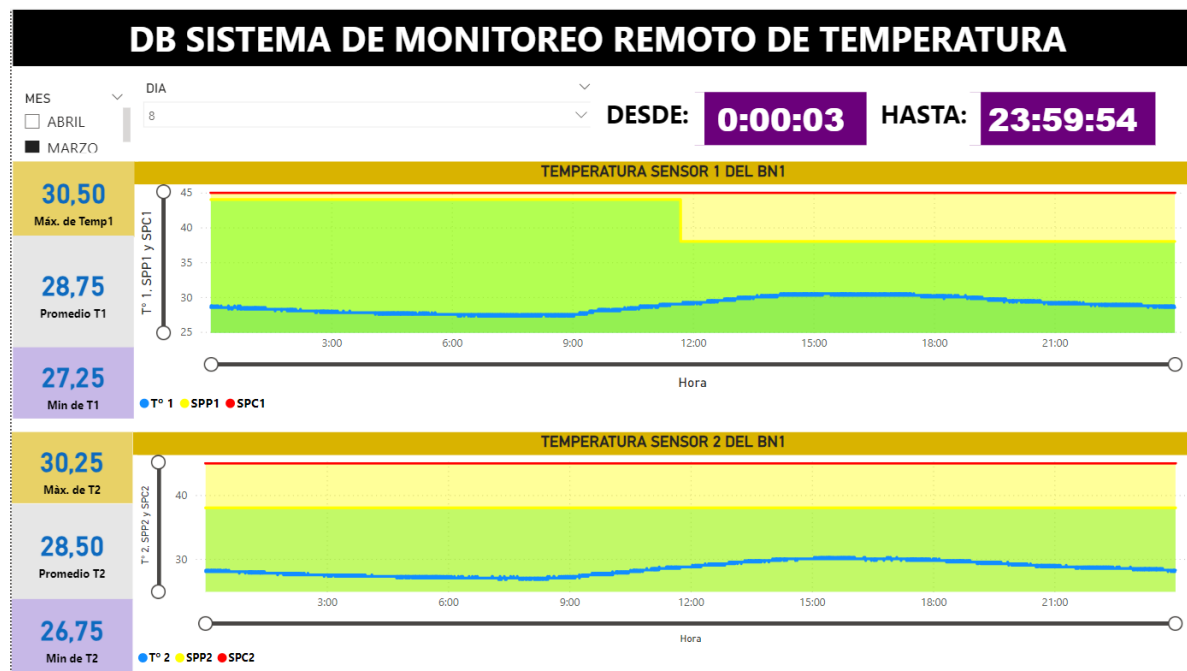


Software de análisis de datos

Para el análisis histórico de los datos registrados por el sistema, se empleó Power BI (Figura 15), herramienta que permitió procesar los archivos CSV descargados diariamente; a través de esta plataforma se visualizaron los registros de temperatura de ambos sensores del banco N1, presentando métricas como el valor máximo, mínimo y promedio, los umbrales configurados para la generación de alertas, así como el estado de conexión y funcionamiento continuo del sistema, facilitando la identificación de patrones térmicos y posibles interrupciones en la transmisión de datos.

Figura 15

Power BI



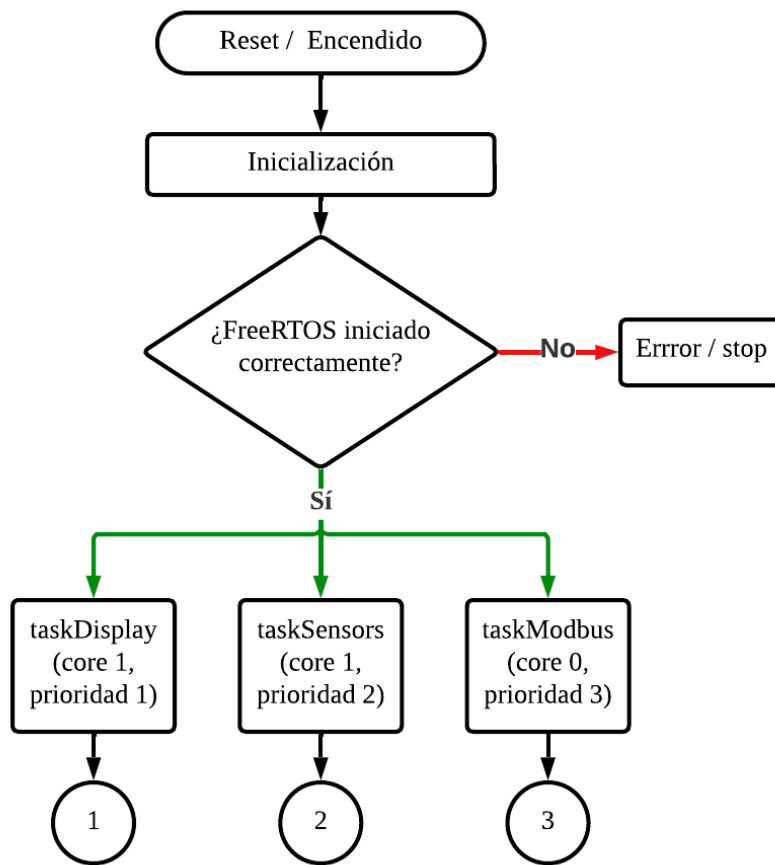
3.2.3 *Nodo primario*

El flujo de operación de este nodo se realizo de la siguiente manera (Figura 16). Comienza con el evento de reset o encendido, instante en el cual el ESP32 inicia su ejecución; a partir de este punto, se configuran los elementos fundamentales para el funcionamiento del equipo, tales como los periféricos y las interfaces de comunicación; concluida esta fase, se ha iniciado iniciado correctamente; si el resultado es negativo, el flujo se desvía hacia un estado de error o detención, indicando que el sistema no puede continuar con su operación normal debido a una falla crítica durante el arranque, en este estado, el nodo queda inhabilitado hasta que se realice una acción correctiva, como un reinicio o una intervención técnica.

Por el contrario, si es exitosa, el flujo continúa hacia un estado estable de operación, desde el cual se queda preparado para ejecutar sus funciones principales de manera controlada y organizada.

Figura 16

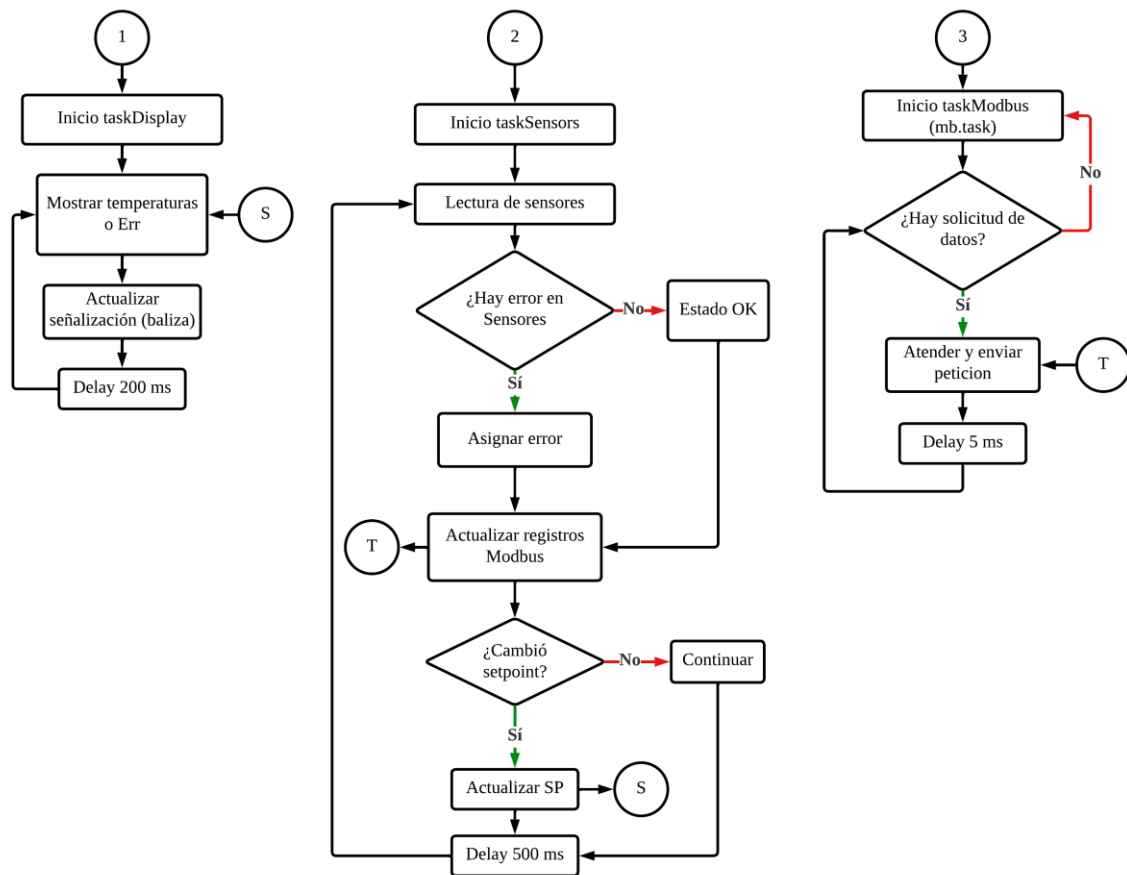
Flujo de operación nodo primario



Además, en la Figura 17 se evidencia el flujo de operación una vez finalizada la fase de inicialización del sistema, donde el primer flujo correspondió a la tarea de visualización, el segundo flujo representó la tarea de adquisición datos de temperatura de los sensores y por último, el tercer flujo correspondió a la tarea de comunicación Modbus, la cual permitió el intercambio de información y la actualización de parámetros con el nodo central; estas tareas se ejecutaron de manera concurrente y continua, garantizando el funcionamiento estable del nodo.

Figura 17

Flujo de tareas Display, Sensors y Modbus



Asimismo, en el Anexo D se presentó el diagrama esquemático del nodo primario, en el cual se detallaron las conexiones entre los componentes que lo conformaron. Posteriormente, en las Figuras 18 y 19 se muestra la implementación física del nodo, la cual fue realizada mediante dos PCB dispuestas una sobre otra. La PCB inferior integró el sistema de alimentación y la etapa de salida mediante relés de 220 V AC para el control de la baliza, a través de conectores, mientras que la PCB superior contuvo el microcontrolador ESP32, los convertidores MAX31855, la pantalla LCD y el módulo de comunicación RS-485.

Figura 18

PCB Nodo Primario

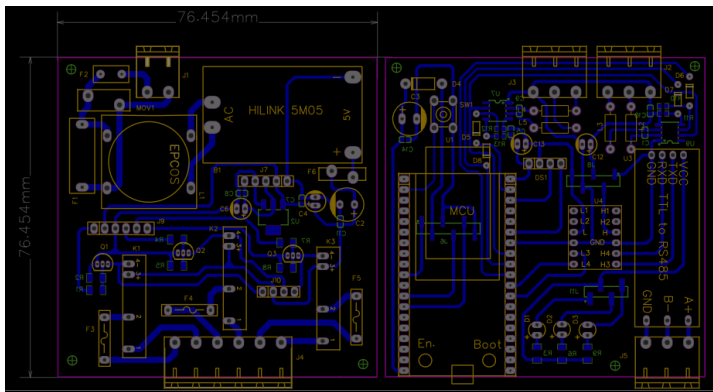
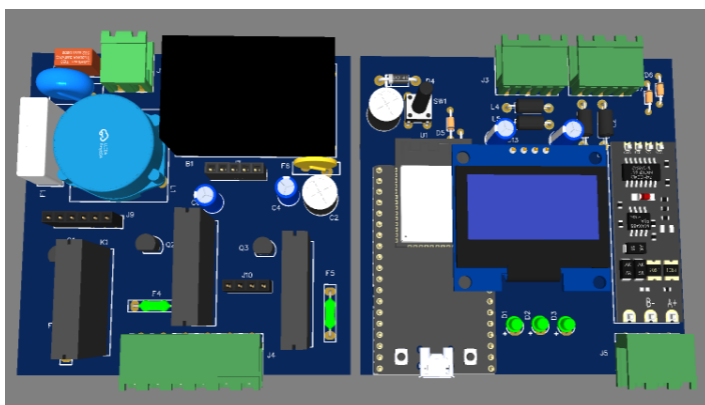


Figura 19

Vista 3D Nodo Primario



3.2.4 *Nodo central*

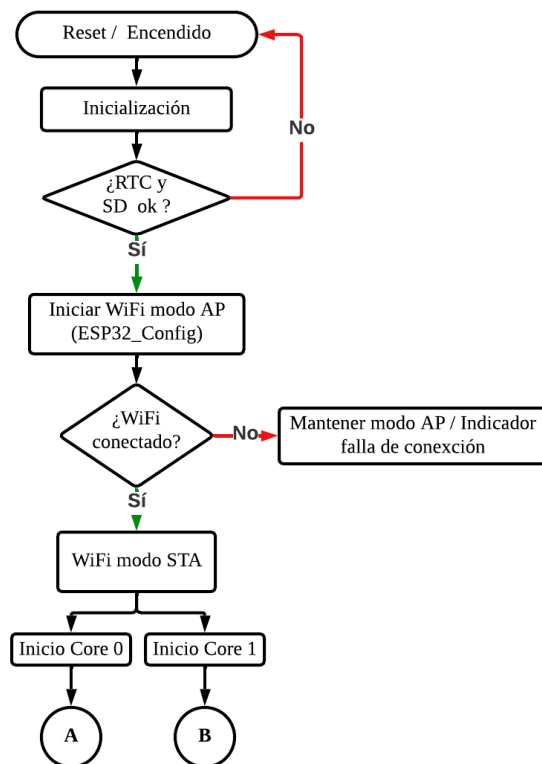
La Figura 20, se muestra el flujo de operación del nodo central, donde se inició con el evento de encendido o reset, momento en el cual el ESP32-S3 comenzó la ejecución del firmware. A continuación, se realizó la fase de inicialización, en la que se configuraron los periféricos principales del sistema, así como los módulos de comunicación y almacenamiento.

Finalizada esta fase, el sistema verificó el correcto funcionamiento del reloj de tiempo real (RTC) y de la tarjeta SD, en caso de que alguno de estos elementos no se inicializara correctamente, se debe verificar conexiones y resetear el nodo; si la verificación fue exitosa, el nodo procedió a iniciar el modo WiFi de punto de acceso (AP), identificado como ESP32_Config, habilitando el servidor web para la configuración del sistema.

Posteriormente, se evaluó el estado de la conexión WiFi, en caso no establecer la conexión, el sistema permaneció en modo AP e indicó una falla de conexión, manteniéndose a la espera de una configuración válida, por el contrario, si fue exitosa, el nodo cambió al modo estación (STA). A partir de este punto, el sistema dio inicio a la ejecución concurrente en ambos núcleos del ESP32-S3.

Figura 20

Flujo de operación nodo central

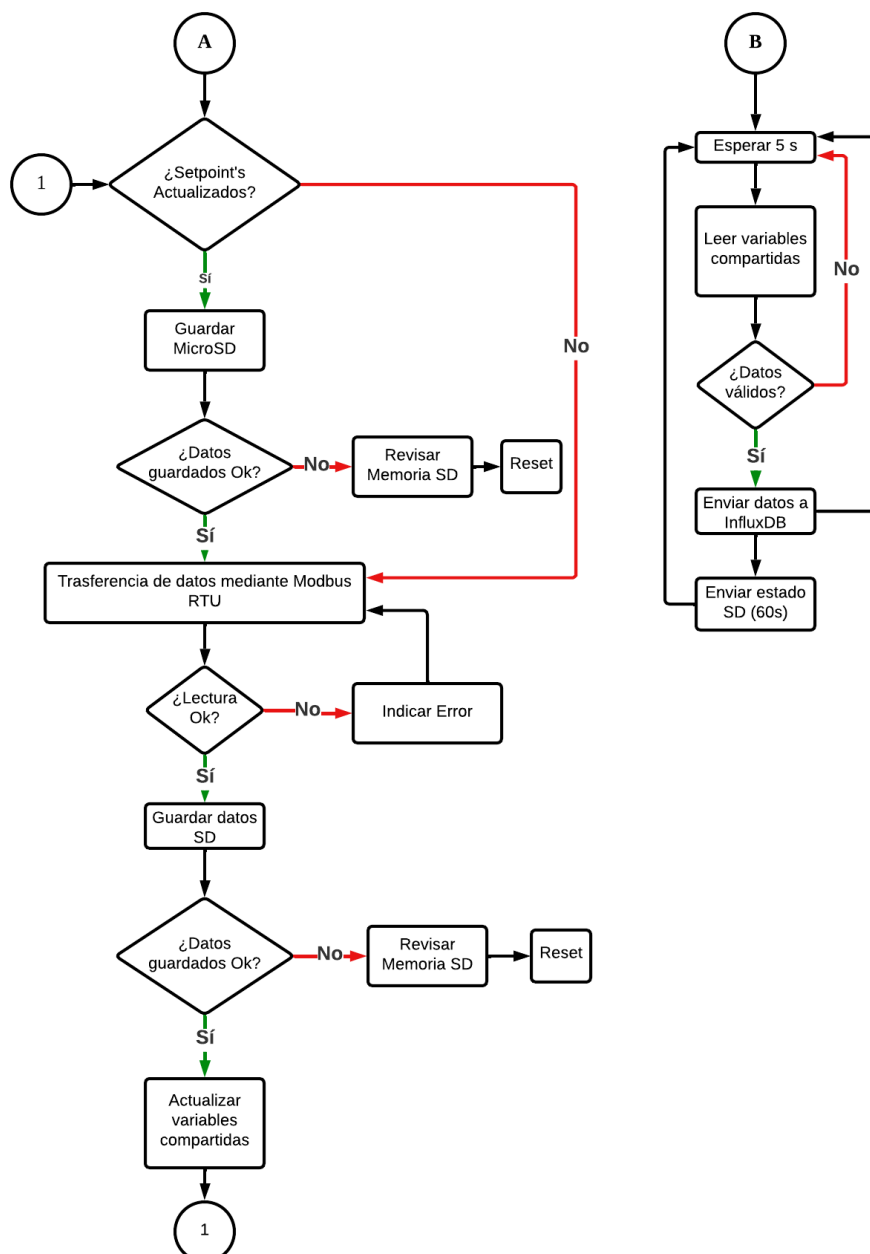


Asimismo, en la Figura 21 se detalla el flujo de operación en cada uno de los núcleos del ESP32-S3, donde en el Core 0 se ejecutó el modo WiFi STA, lo que permitió establecer la conexión del nodo central a la red local, a través de ello, el sistema habilitó la actualización de los setpoints de operación mediante la interfaz web, así como la gestión de la base de datos local, encargada del almacenamiento, lectura y administración de los archivos en formato CSV generados en la memoria SD; además, se encargó de la comunicación con el nodo primario mediante Modbus RTU configurada con un formato serial de 8 bits de datos, sin paridad y 1 bit de parada (8N1).

De manera paralela, el flujo correspondiente al núcleo 1 ejecutó la tarea de envío de datos a InfluxDB, la cual iniciaba con un retardo de cinco segundos, tras el cual se realizó la lectura de las variables compartidas generadas por el núcleo 0. El sistema verificó la validez de los datos leídos y, en caso de ser correctos, procedió al envío de la información. Adicionalmente, el estado de la tarjeta SD fue transmitido de forma periódica cada 60 segundos, la tarea repitió el ciclo de espera y lectura, manteniendo la ejecución continua.

Figura 21

Flujo de operación Core0 y Core1 ESP-S3



Asimismo, en el Anexo E se presentó el diagrama esquemático del nodo central, en el cual se detallaron las conexiones entre los componentes que lo conformaron. Posteriormente, en las Figuras 22 y 23 se muestra la implementación física del nodo, la cual fue realizada mediante dos PCB dispuestas una sobre otra. La PCB inferior integró el sistema de alimentación y el módulo de reloj en tiempo real (RTC), mientras que la superior contuvo el microcontrolador ESP32-S3, el módulo de comunicación RS-485 y la memoria microSD, los cuales se interconectaron mediante conectores para garantizar una correcta comunicación.

Figura 22

PCB Nodo Central

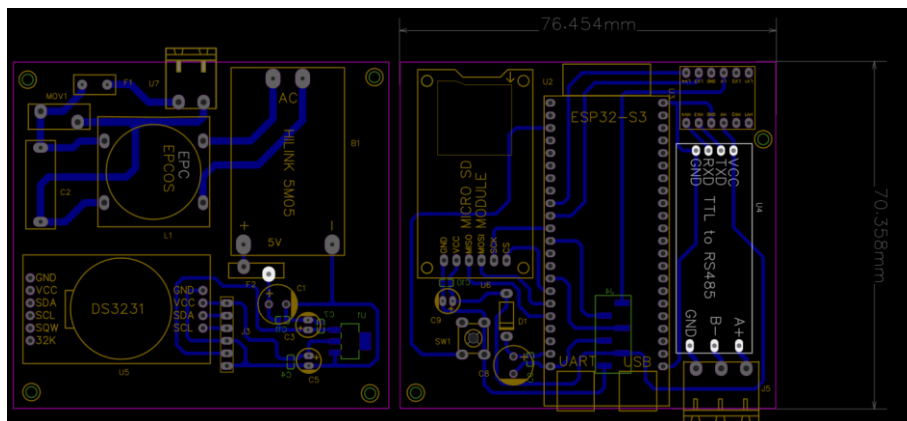
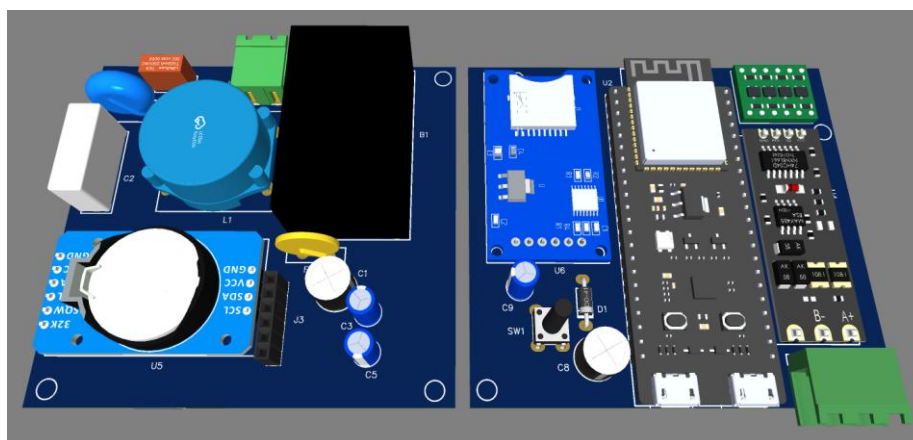


Figura 23

Vista 3D Nodo Central



3.3 Ensamblaje del sistema

3.3.1 Montaje de componentes en PCB

Nodo Primario

En la Tabla 7 se presentan los componentes ensamblados en el nodo primario, considerando los identificadores de referencia definidos en el diagrama esquemático mostrado en el Anexo D; como resultado del proceso de ensamblaje, se obtuvieron las placas de circuito impreso (PCB) mostradas en la Figura 24.

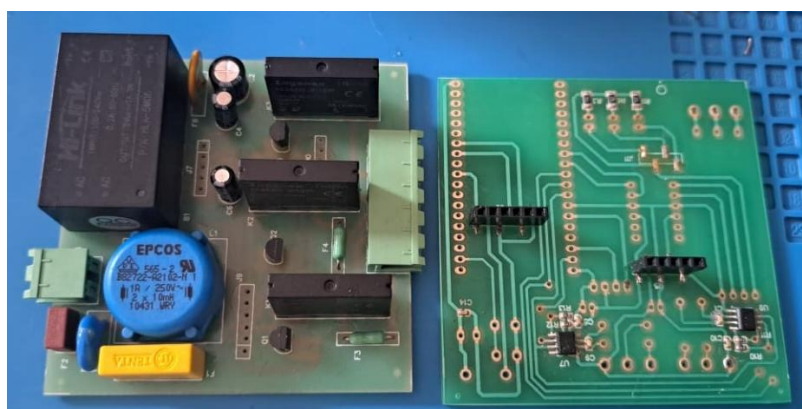
Tabla 7

Lista de materiales nodo primario

ID	Nombre	Código	Identificador	Encapsulado	Cantidad	P. Unitario	P. Total
1	Base Riel DIN	—	—	DIN 35mm	1	S/ 5,40	S/ 5,40
2	Termocupla Tipo k	—	—	Bulbo 5x50mm	2	S/ 19,05	S/ 38,10
3	PCB	—	—	—	2	S/ 40,00	S/ 80,00
4	Fuente embebida	HLK-5M05	B1	HLK5M05	1	S/ 25,00	S/ 25,00
5	Capacitor cerámico	10nF	C1,C9	C0603	2	S/ 0,10	S/ 0,20
6	Capacitor electrolítico	470uF	C2,C3	CAP-D8.0×F3.5	2	S/ 1,50	S/ 3,00
7	Capacitor electrolítico	10uF	C4,C6,C12,C13	CAP-D5.0×F2.0	4	S/ 1,00	S/ 4,00
8	Capacitor cerámico	100nF	C5,C7,C8,C10,C11,C14	C0603	6	S/ 0,50	S/ 3,00
9	Diodo led	DL	D1,D2,D3	LED2.54	3	S/ 0,50	S/ 1,50
10	Diodo Schottky	1N5819	D4	DO-41_BD2.4-L4.7-P8.7-D.6-RD	1	S/ 1,50	S/ 1,50
11	Diodo de conmutación rápida	1N4148S	D5,D6,D7,D8	DO-34_BD1.6-L3-P7-D.6-RD	4	S/ 1,00	S/ 4,00
12	Display OLED 1.3" I2C	SH1106_128X64	DS1	Módulo PCB	1	S/ 35,00	S/ 35,00
13	Capacitor MKP	C0.1UF_275_X2	F1	UL 94V-0	1	S/ 3,00	S/ 3,00
14	Micro fusible	TE5_0.5A	F2	TR5 392	1	S/ 2,30	S/ 2,30
15	Pico fusible	PF1A	F3,F4,F5	AX 2.4×7	3	S/ 1,70	S/ 5,10
16	Fusible PTC	XF110	F6	Radial TH_P5	1	S/ 0,90	S/ 0,90
17	Bornera angular	KF2EDGR-2P	J1	THT-5.08-2P	1	S/ 2,00	S/ 2,00
18	Conector hembra	HH-2.54_1x4	J10	HDR-TH	1	S/ 1,20	S/ 1,20
19	Conector hembra	HH2.54-1X4	J11	HDR-SMD	1	S/ 1,20	S/ 1,20
20	Bornera angular	KF2EDGR-3P	J2,J3,J5	THT-5.08-3P	3	S/ 3,00	S/ 9,00
21	Bornera angular	KF2EDGR-6P	J4	THT-5.08-6P	1	S/ 4,30	S/ 4,30
22	Conector hembra	HX PM2.54-1X6P TP H8.5-ZQ	J6	HDR-SMD	1	S/ 1,50	S/ 1,50
23	Conector hembra	HC-PM2.54-5.0H-1X5PZ	J7	HDR-TH	1	S/ 1,40	S/ 1,40
24	Conector hembra	HX PM2.54-1X5P TP H8.5-YQ	J8	HDR-SMD	1	S/ 1,40	S/ 1,40
25	Conector hembra	HC-PM2.54-5.0H-1X6PZ	J9	HDR-TH	1	S/ 1,50	S/ 1,50
26	SSR AC	H3MB-202P	K1,K2,K3	SIP-THT-4P	3	S/ 4,00	S/ 12,00
27	Bobina de modo común	B82722A2102N1	L1	Radial THT	1	S/ 35,00	S/ 35,00
28	Bobina axial de Ferrita	L-35X6X08	L2,L3,L4,L5	THT_P10	4	S/ 0,70	S/ 2,80
29	Varistor MOV	10D561K	MOV1	Disco radial THT	1	S/ 1,20	S/ 1,20
30	Transistor	2N2222A	Q1,Q2,Q3	TO-92-3_L4.9-W3.7-P1.27-L	3	S/ 1,50	S/ 4,50
31	Resistencia	10k	R1,R2,R4,R5,R7,R8	R1206	6	S/ 0,10	S/ 0,60
32	Resistencia	10k	R10,R11,R12,R13	R0603	4	S/ 0,10	S/ 0,40
33	Resistencia	330	R3,R6,R9	R1206	3	S/ 0,10	S/ 0,30
34	Tact Switch NA	KEY-TH_4P_21MM	SW1	KEY-TH_4P-L6-W6-21MM	1	S/ 0,40	S/ 0,40
35	Tarjeta de desarrollo	ESP32-DEVKITV1-38PIN	U1	Módulo PCB	1	S/ 75,00	S/ 75,00
36	Regulador de voltaje	AMS1117_3v3	U2	SOT-223-3_L6.5-W3.4-P2.3-LS7-BR	1	S/ 1,00	S/ 1,00
37	Convertidor UART a RS485	MOD RS485-TTL	U3	Módulo PCB	1	S/ 17,40	S/ 17,40
38	Conversor de nivel lógico	MOD CONV 4CH	U4	Módulo PCB	1	S/ 2,90	S/ 2,90
39	Convertidor termopar tipo K	MAX31855K	U7,U9	SO-8_L4.9-W3.9-P1.27-LS5.9-BL	2	S/ 21,00	S/ 42,00
40	Baliza	-	-	TBC53-220	1	S/ 65,00	S/ 65,00
41	Cable profibus DP	-	-	1x22x22AWG	32	S/ 7,00	S/ 224,00
42	Case 3D en PETG	-	-	-	1	S/ 45,00	S/ 45,00

Figura 24

Tarjetas electrónicas del nodo primario



Nodo central

De manera similar, en la Tabla 8 se presentan los componentes ensamblados en este nodo, considerando los identificadores de referencia definidos en el diagrama esquemático mostrado en el Anexo E, mientras que el resultado del proceso de ensamblaje se muestra en las placas de circuito impreso (PCB) presentadas en la Figura 25.

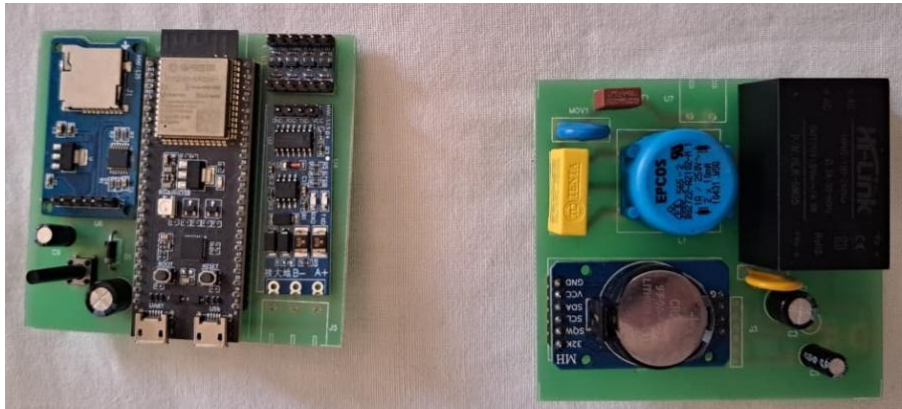
Tabla 8

Lista de Materiales Nodo Central

ID	Nombre	Codigo	Identificador	Encapsulado	Cantidad	P. Unitario	P. Total
1	Capacitor MKP	C0.1UF_275_X2	C2	UL 94V-0	1	S/ 3,00	S/ 3,00
2	Fuente embebida	HLK-5M05	B1	HLK5M05	1	S/ 25,00	S/ 25,00
3	Tarjeta MicroSDHC	SD 32 GB	U6	Tarjeta MicroSD	1	S/ 20,00	S/ 20,00
4	Convertidor UART a RS485	MOD RS485-TTL	U4	Módulo PCB	1	S/ 17,80	S/ 17,80
5	Módulo lector MicroSD SPI	MICRO SD CARD	U6	Módulo PCB	1	S/ 12,00	S/ 12,00
6	Tarjeta de desarrollo	ESP32-S3	U2	Módulo PCB	1	S/ 112,00	S/ 112,00
7	Real-Time Clock Module	DS3231	U5	Módulo PCB	1	S/ 10,60	S/ 10,60
8	Capacitor electrolítico	470uF	C1,C8	CAP-D8.0×F3.5	2	S/ 1,50	S/ 3,00
9	Diodo Schottky	1N5819	D1	DO-41_BD2.4-L4.7-P8.70-D0.6-RD	1	S/ 1,50	S/ 1,50
10	Conector hembra	HDR-F-2.54_1X6	J3	HDR-TH	1	S/ 1,50	S/ 1,50
11	Conector hembra	HDR-F-2.54_1X6	J4	HDR-SMD	1	S/ 1,50	S/ 1,50
12	Capacitor cerámico	10uF	C3,C5	CAP-D5.0×F2.0	2	S/ 1,00	S/ 2,00
13	Capacitor cerámico	100nF	C4,C6,C7,C9,C10,C11	C0603	6	S/ 0,10	S/ 0,60
14	Micro fusible	TE5_392	F1	FUSE TR5 392	1	S/ 2,30	S/ 2,30
15	Fusible PTC	XF110	F2	PTC RXEF110	1	S/ 0,90	S/ 0,90
16	Bornera angular	KF2EDGR-3P	J5	THT-5.08-3P	1	S/ 3,00	S/ 3,00
17	Bornera angular	KF2EDGR-2P	J7	THT-5.08-2P	1	S/ 2,00	S/ 2,00
18	Bobina de modo común	B82722A2102N1	L1	B82722-A2102N1	1	S/ 35,00	S/ 35,00
19	Varistor MOV	10D561K	MOV1	Disco radial THT	1	S/ 1,20	S/ 1,20
20	Tact Switch NA	KEY-TH_4P_21MM	SW1	KEY-TH_4P-L6-W6-21MM	1	S/ 0,40	S/ 0,40
21	Regulador de voltaje	AMS1117_3v3	U1	SOT-223-3_L6.5-W3.4-P2.30-LS7.0-BR	1	S/ 1,00	S/ 1,00
22	Convertor de nivel lógico	MOD CONV 4CH	U3	Módulo PCB	1	S/ 2,90	S/ 2,90
23	Base Riel DIN	—	—	DIN 35mm	2	S/ 5,40	S/ 10,80
24	Case 3D en PETG	—	—	—	1	S/ 45,00	S/ 45,00
25	Caja protectora	—	—	—	1	S/ 15,00	S/ 15,00
26	PCB	—	—	—	2	S/ 40,00	S/ 80,00

Figura 25

Tarjetas electrónicas del nodo central



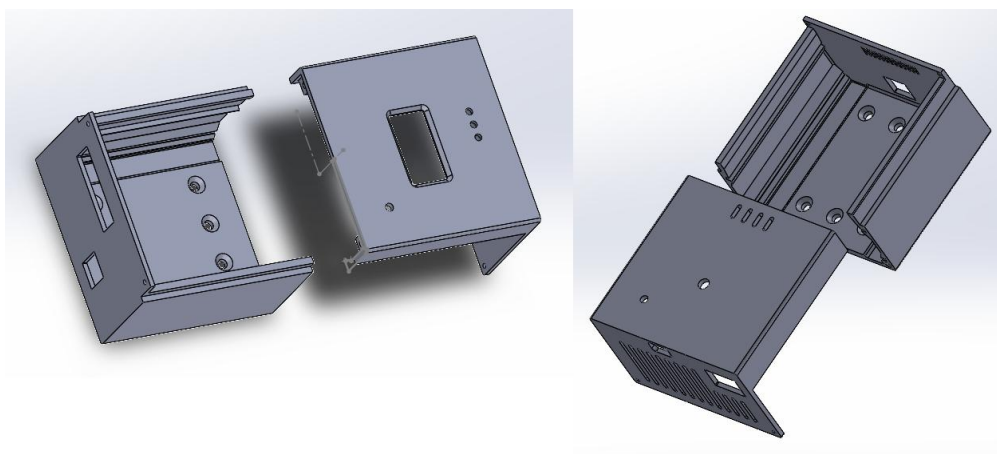
3.3.2 Fabricación de las carcasas

Para ambos nodos del sistema, se realizó el diseño mecánico de las carcasas utilizando el software SolidWorks, lo que permitió definir con precisión la geometría, dimensiones y distribución interna de los componentes electrónicos; asimismo, se contempló las aberturas necesarias para la conexión de cables de alimentación, señales de comunicación y dispositivos, garantizando una adecuada protección mecánica de los circuitos internos.

En la Figura 26 se muestra el resultado del modelado tridimensional, donde en el lado derecho se presenta el diseño correspondiente al nodo primario y en el lado izquierdo al nodo central.

Figura 26

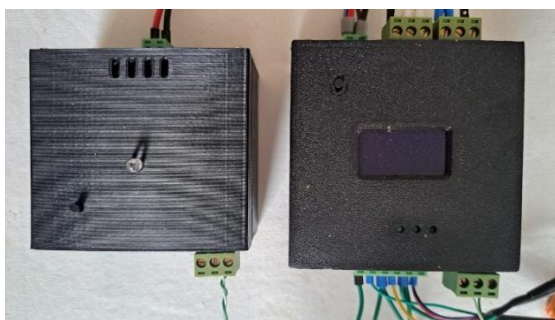
Case 3D Nodo primario y central



Una vez finalizado el diseño, las carcasas fueron fabricadas mediante impresión 3D (Figura 27), empleando filamento PETG de color negro, este material fue seleccionado debido a sus adecuadas propiedades mecánicas, resistencia térmica y estabilidad dimensional, características que lo hacen apropiado para aplicaciones industriales y entornos de operación continua.

Figura 27

Case 3D en PETG



3.3.3 Instalación in Situ

Con el objetivo de verificar el correcto funcionamiento del sistema antes de su montaje definitivo, la Figura 28 muestra la etapa de puesta en marcha realizada en banco de trabajo, en la cual se comprobó la lectura simultánea de ambos sensores en la pantalla LCD del nodo BN1, la comunicación entre módulos y la ausencia de fallas, permitiendo validar que el sistema respondía de forma adecuada antes de proceder con la instalación en las instalaciones de PANESFOODS SAC.

Figura 28

Nodo central y primario

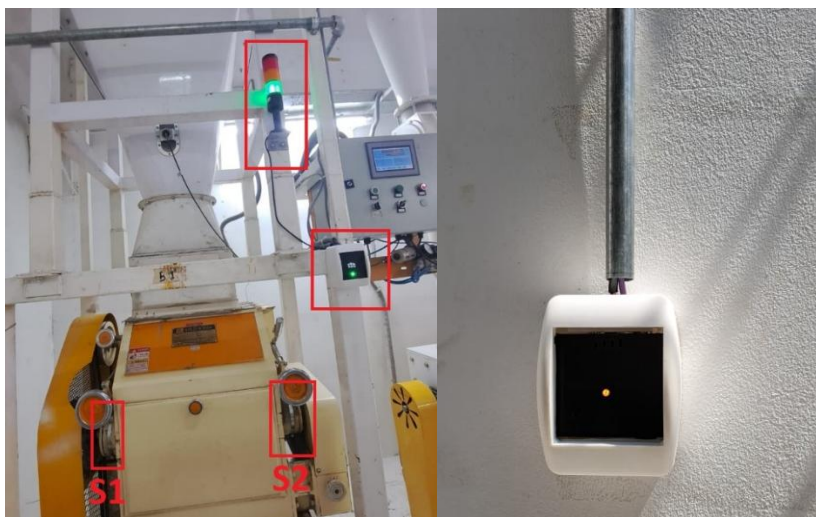


Una vez confirmado el funcionamiento del sistema, la Figura 29 registra la instalación en sitio sobre el banco N1 del molino de harina, donde el sensor S1 fue colocado en el lado izquierdo del banco y el sensor S2 en el lado derecho, ambos posicionados directamente sobre los rodamientos de cada rodillo por ser los puntos de mayor generación de calor por fricción durante la operación, mientras que el nodo BN1 fue instalado a una altura visible para el operador, facilitando la lectura directa de la pantalla LCD con los valores de temperatura en tiempo real, y la baliza fue ubicada en la misma zona de manera que su señalización luminosa, configurada según los setpoints establecidos, pudiera ser percibida desde distintos puntos del área de producción sin necesidad de aproximarse al equipo.

Adicional, en la Figura 29 se muestra la instalación del módulo del nodo central, el cual fue ubicado en una zona alejada del banco N1 con el propósito de reducir la interferencia electromagnética que el entorno industrial pudiera generar sobre la comunicación WiFi del sistema, garantizando así una transmisión de datos estable y continua hacia la plataforma de almacenamiento en la nube durante todo el periodo de monitoreo. Finalmente, concluida la instalación, se realizó una capacitación al personal sobre el uso e interpretación del sistema, cuyo registro se presenta en el Anexo H.

Figura 29

Instalación nodo primario y central



3.4 Mediciones

Se presentan los resultados del monitoreo continuo de temperatura del banco N1 durante el período del 8 de marzo al 9 de abril de 2026, comprendiendo 32 jornadas de registro que generaron un total de 773,446 datos recolectados con una frecuencia de lectura aproximada de un dato cada 5 segundos durante las 24 horas del día; cada figura corresponde a una jornada e incluye el panel de temperatura de los sensores T1 y T2 con sus setpoints configurados, y el panel de indicadores ESTADO S1/S2, CONEXION BN1, CONEXION WiFi y ESTADO SD.

A lo largo de todo el período los indicadores S1 y S2 permanecieron en 0, confirmando que ningún sensor presentó fallas durante los 32 días, mientras que el ESTADO SD se mantuvo permanentemente en 1, garantizando el almacenamiento local continuo de datos incluso ante pérdidas de internet; el indicador CONEXION BN1 en 0 señala la ausencia de comunicación Modbus con el banco N1, lo que en la mayoría de casos explica las caídas a 0°C en las curvas de temperatura, siendo importante precisar que las causas detrás de cada desconexión prolongada fueron identificadas mediante consulta directa con el personal operativo de la planta al momento de analizar los registros, dado que el sistema detecta la interrupción de comunicación pero no determina el motivo de la parada, por lo que el conocimiento del proceso productivo aportado por los operadores resultó complementario e indispensable para una interpretación integral de los datos; adicionalmente, se identificaron caídas puntuales y momentáneas a 0°C de duración muy breve atribuibles a interferencia electromagnética en el canal de comunicación, las cuales se distinguen de las paradas operativas por su carácter instantáneo y su recuperación inmediata a los valores de temperatura previos sin afectar la continuidad del monitoreo.

En cuanto al comportamiento inicial, el 8 de marzo (Figura 30) se inició con SPP/SPC con S1 en 44°C/45°C y S2 en 38°C/45°C para validar el correcto registro y almacenamiento ante cambios de setpoint, ajustándose ambos sensores a SPP=38°C y SPC=45°C tras confirmar el funcionamiento del sistema durante las primeras horas; en esa jornada y el 9 de marzo (Figura 31) el banco N1 no se encontraba en operación productiva, por lo que las temperaturas registradas de entre 27 y 37.5°C corresponden a la temperatura ambiente del entorno del equipo, siendo estas lecturas el resultado esperado de un sistema operando en vacío y no de condiciones térmicas de carga, lo que permitió validar que el sistema adquiría, almacenaba y transmitía correctamente los datos antes del inicio formal de la producción.

Figura 30

Mediciones del 08/03/2026

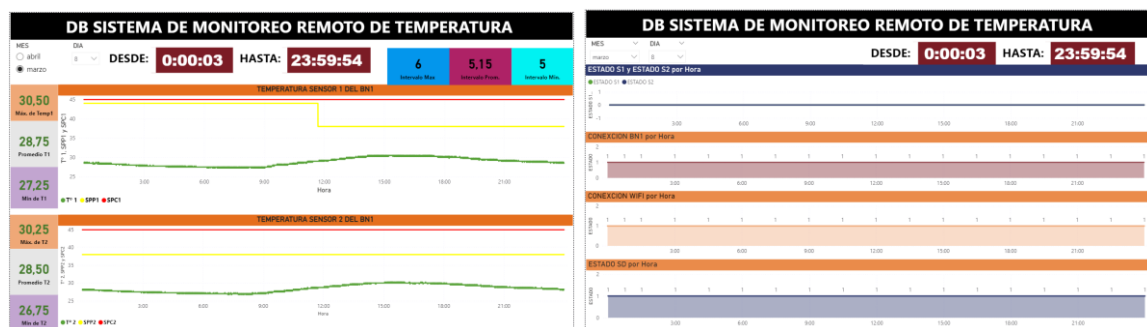
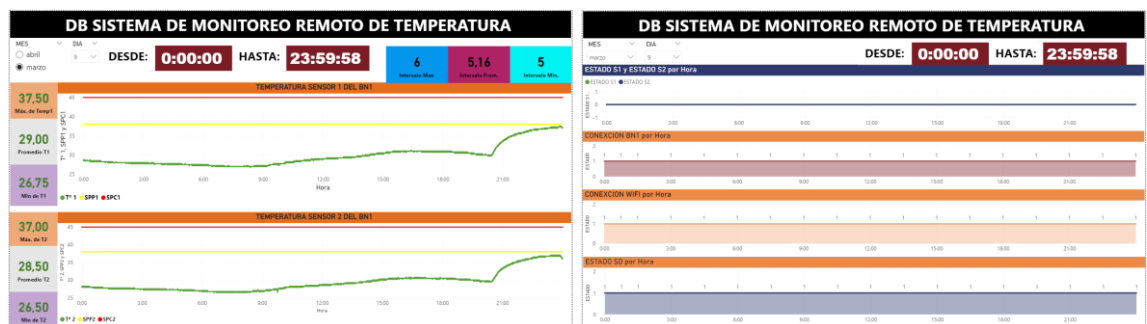


Figura 31

Mediciones del 09/03/2026



Asimismo, el 10 de marzo (Figura 32) los SPP y SPC fueron reconfigurados a 50°C y 60°C respectivamente con el inicio del arranque del molino, registrándose la primera activación de baliza del período cuando T2 alcanzó 50.25°C superando el SPP, mientras que T1 se mantuvo en 48.25°C siendo controlado por el operador desde pantalla; al día siguiente, tras el arranque definitivo, los setpoints fueron ajustados a sus valores operativos definitivos de SPP=55°C y SPC=60°C para ambos sensores, manteniéndose constantes durante el resto del período, y el 14 de marzo (Figura 36) el banco N1 fue detenido a partir de las 15:00 horas por una parada programada de mantenimiento, registrándose el 15 de marzo el sistema activo con BN1=0 y temperatura en 0°C al estar el banco fuera de operación, con arranque retomado el 16 de marzo (Figura 38).

Durante las semanas de plena producción el sistema activó la baliza de precaución en siete jornadas donde la temperatura superó el SPP=55°C: el 13 de marzo con T2 en 55.50°C, el 14 de marzo con T2 en 55°C, el 17 de marzo con T2 en 55.50°C, el 18 de marzo con T1 en 56.75°C y T2 en 56.25°C representando la jornada más crítica y la mayor aproximación al SPC=60°C de todo el período, el 20 de marzo con T1 en 55°C, el 27 de marzo con ambos sensores superando el SPP, y el 31 de marzo con T2 en 55°C; adicionalmente, en ocho jornadas 12, 16, 19, 21, 25, 26 y 28 de marzo, y 1 de abril, el operador gestionó el incremento térmico directamente desde la pantalla del banco antes de que se activara la baliza, evidenciando el funcionamiento del sistema en dos niveles preventivos complementarios que en ningún caso permitieron alcanzar el SPC=60°C durante todo el período de monitoreo.

Figura 32

Mediciones del 10/03/2026

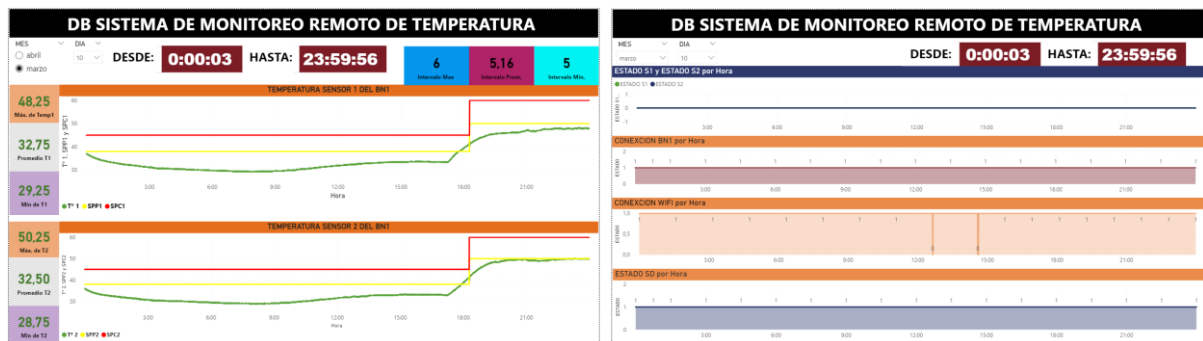


Figura 33

Mediciones del 11/03/2026

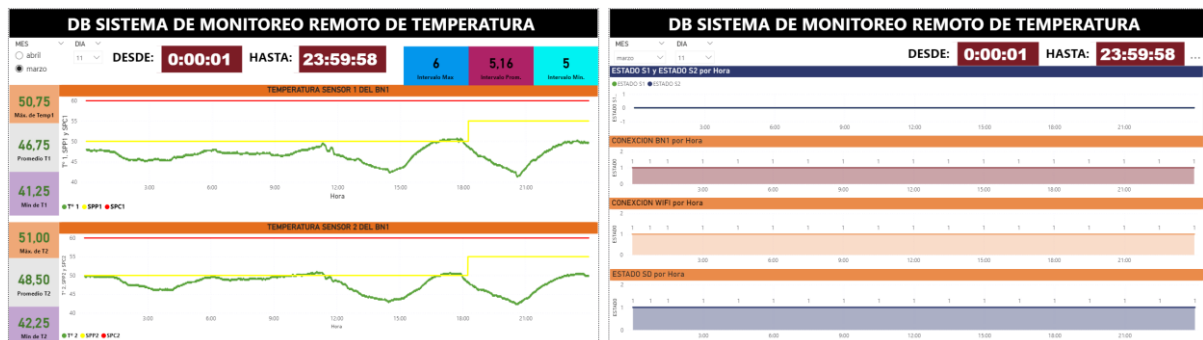


Figura 34

Mediciones del 12/03/2026

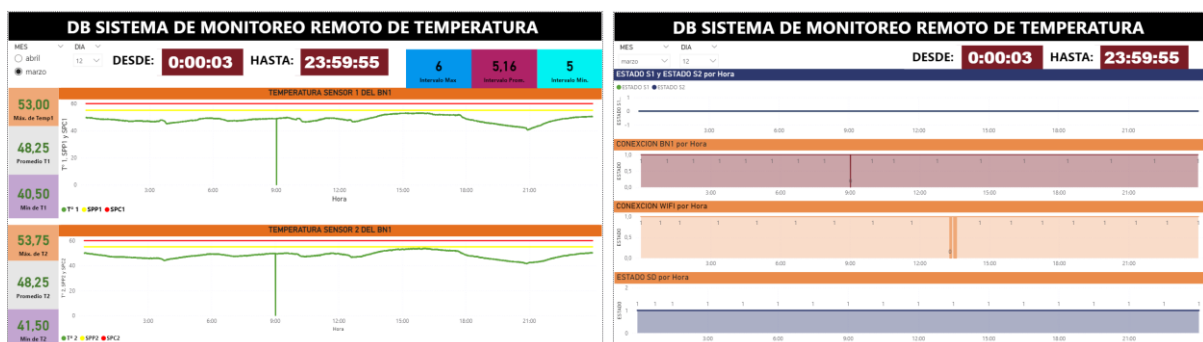


Figura 35

Mediciones del 13/03/2026

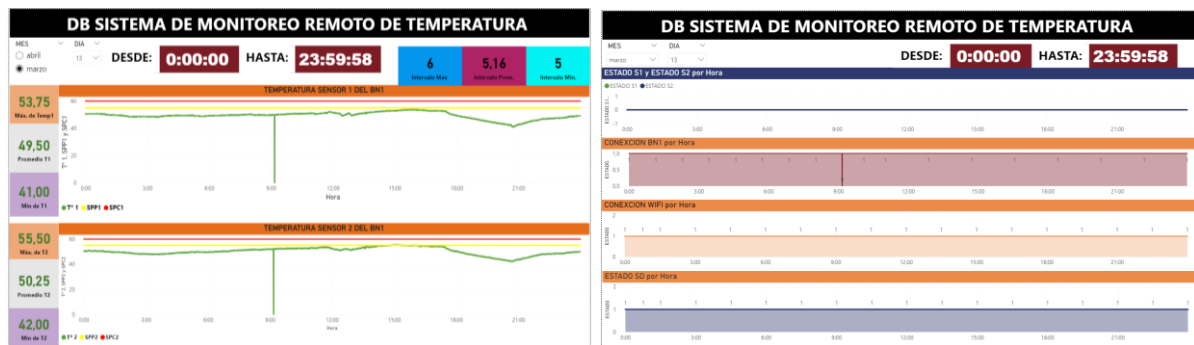


Figura 36

Mediciones del 14/03/2026

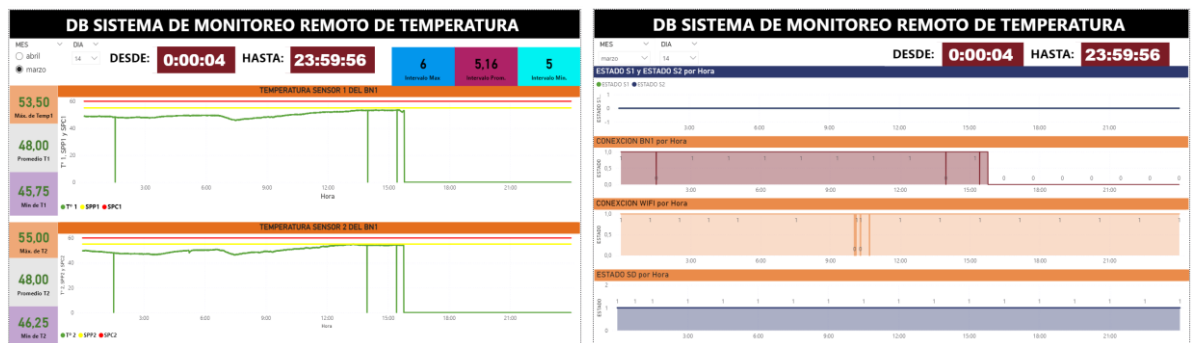


Figura 37

Mediciones del 15/03/2026

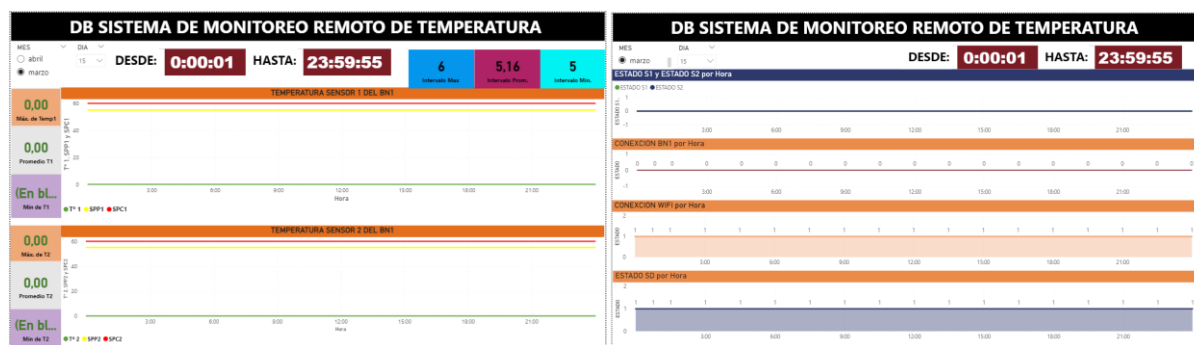


Figura 38

Mediciones del 16/03/2026

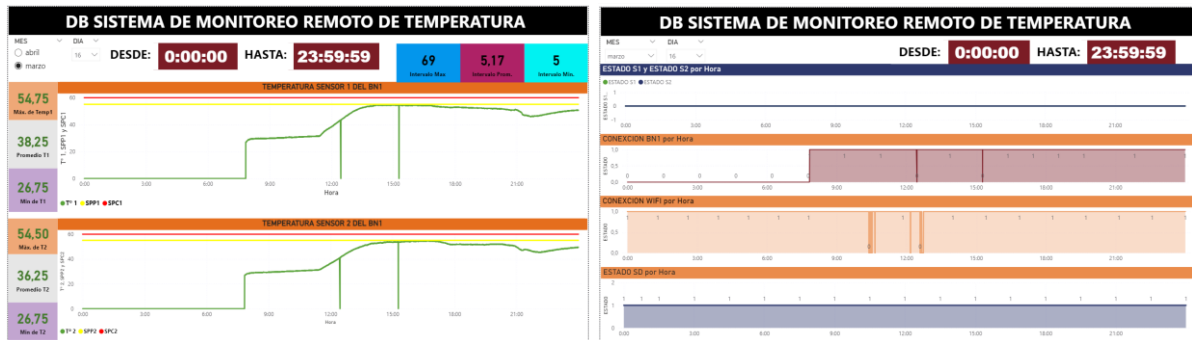


Figura 39

Mediciones del 17/03/2026

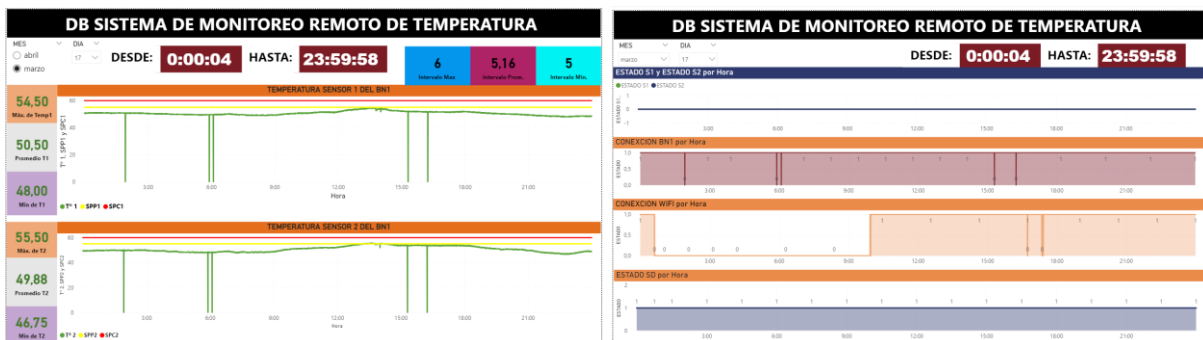


Figura 40

Mediciones del 18/03/2026

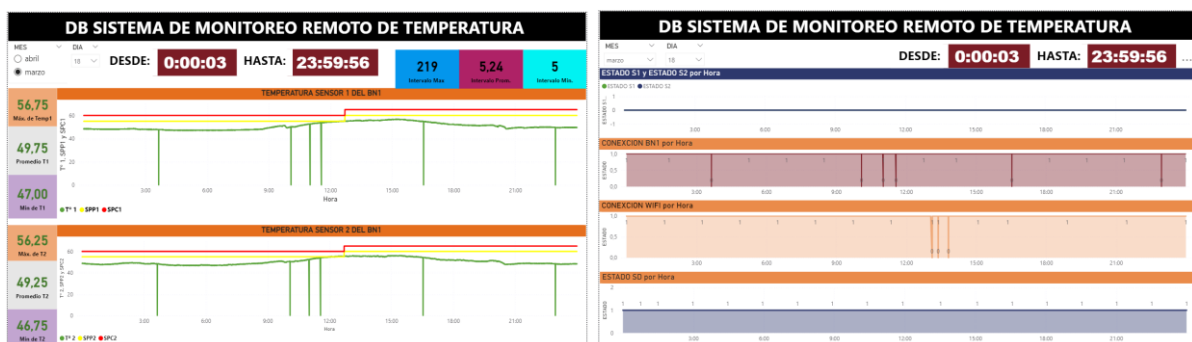


Figura 41

Mediciones del 19/03/2026

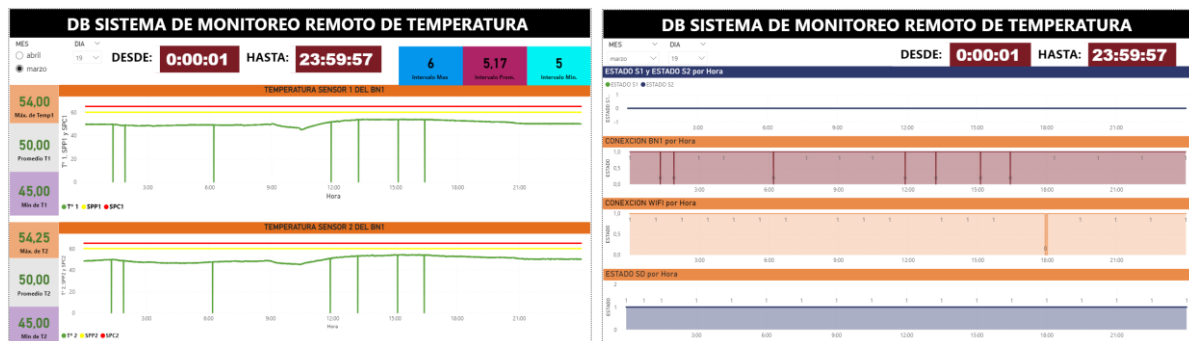


Figura 42

Mediciones del 20/03/2026

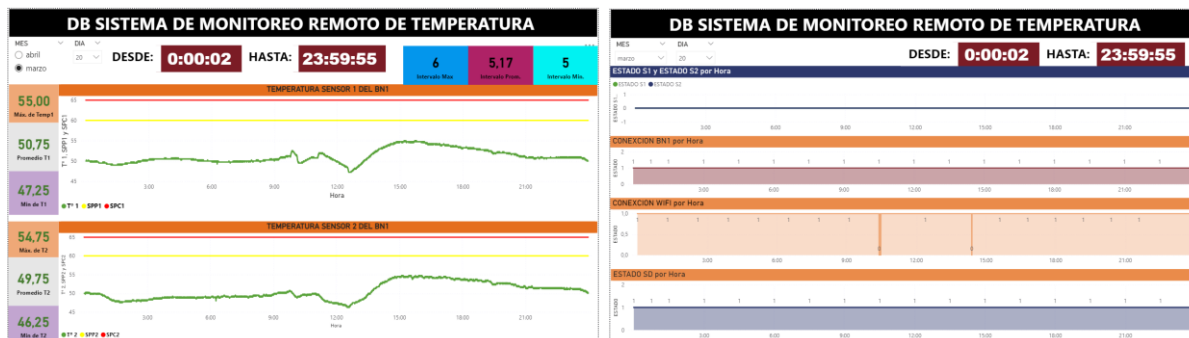


Figura 43

Mediciones del 21/03/2026

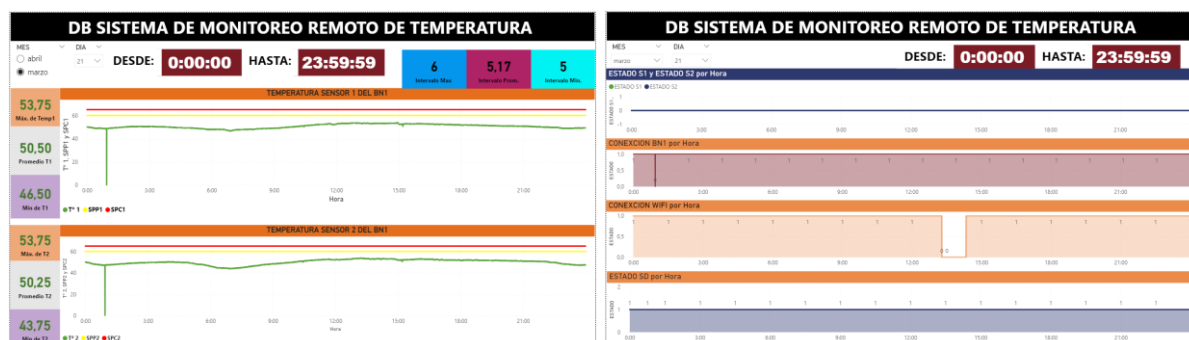


Figura 44

Mediciones del 22/03/2026

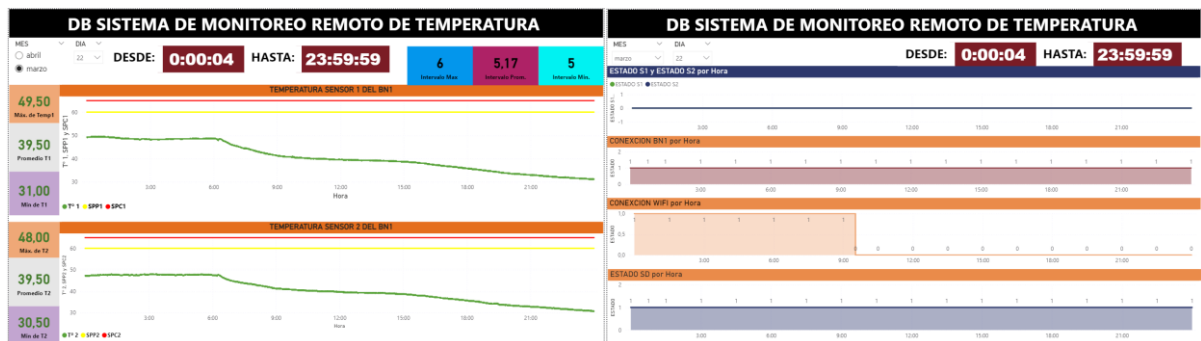


Figura 45

Mediciones del 23/03/2026

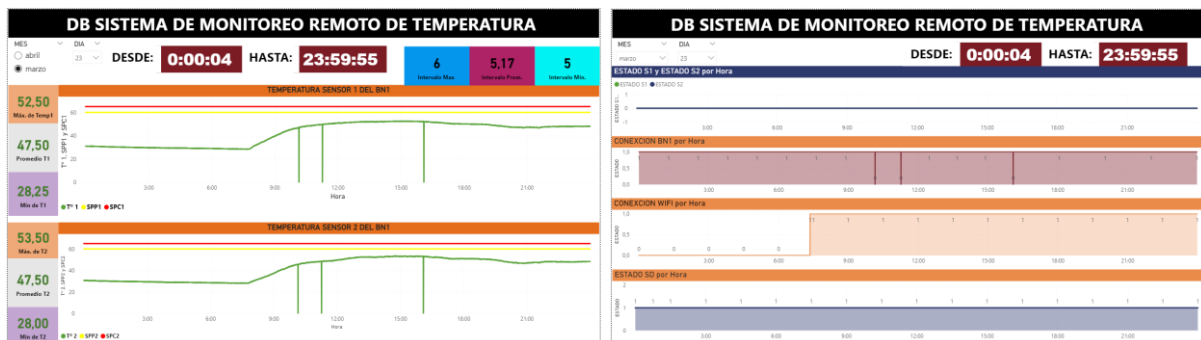


Figura 46

Mediciones del 24/03/2026

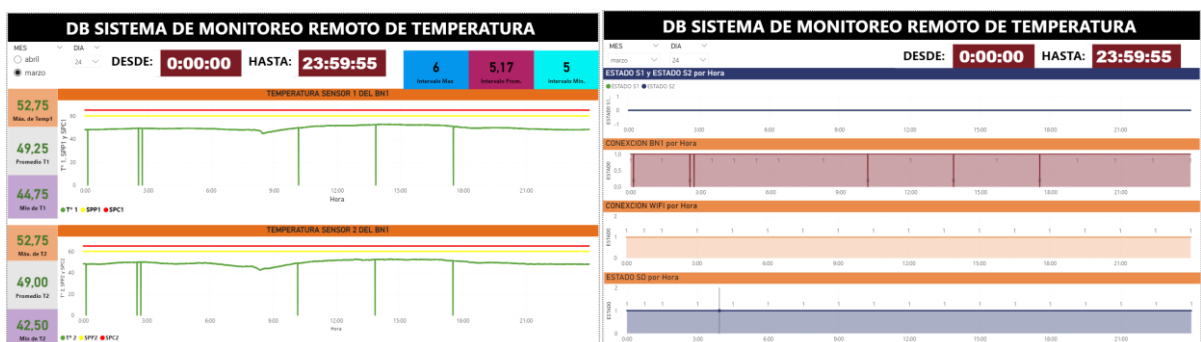
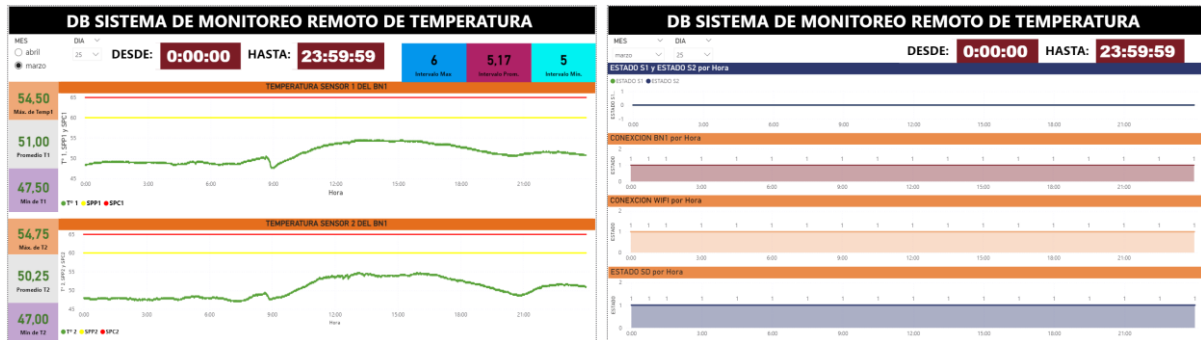


Figura 47

Mediciones del 25/03/2026



Respecto a los eventos de infraestructura, el 26 de marzo (Figura 48) un corte simultáneo de energía e internet en la planta interrumpió la transmisión durante 4.2 horas (15 250 segundos) de intervalo máximo entre lecturas, mientras que entre el 30 y el 31 de marzo problemas sostenidos de conectividad generaron una brecha acumulada de 73,850 segundos entre ambas jornadas, eventos que evidencian la importancia de contar con infraestructura de red estable como complemento al sistema implementado.

Figura 48

Mediciones del 26/03/2026

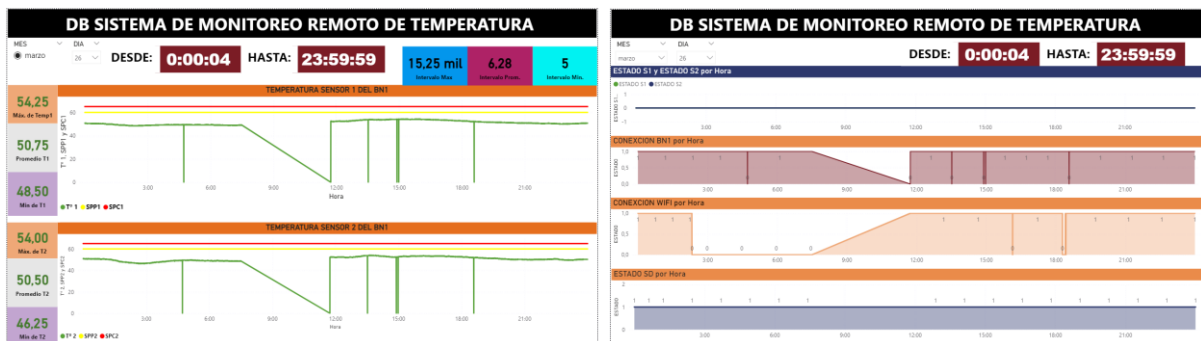


Figura 49

Mediciones del 27/03/2026

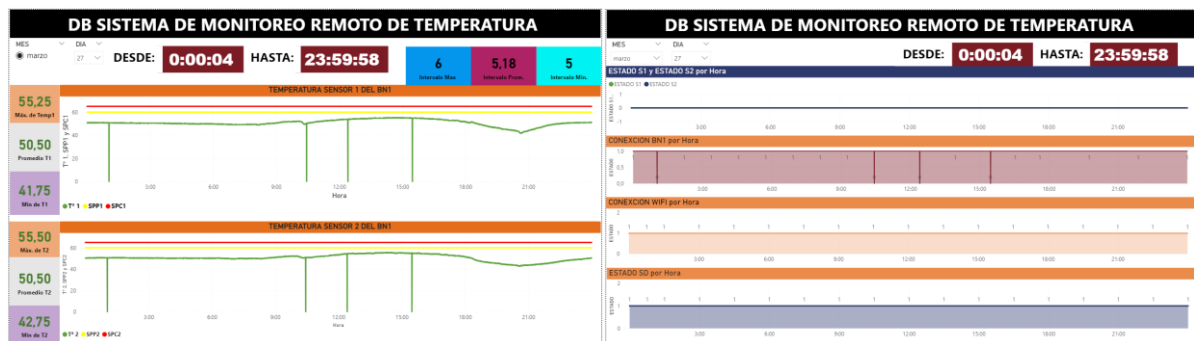


Figura 50

Mediciones del 28/03/2026

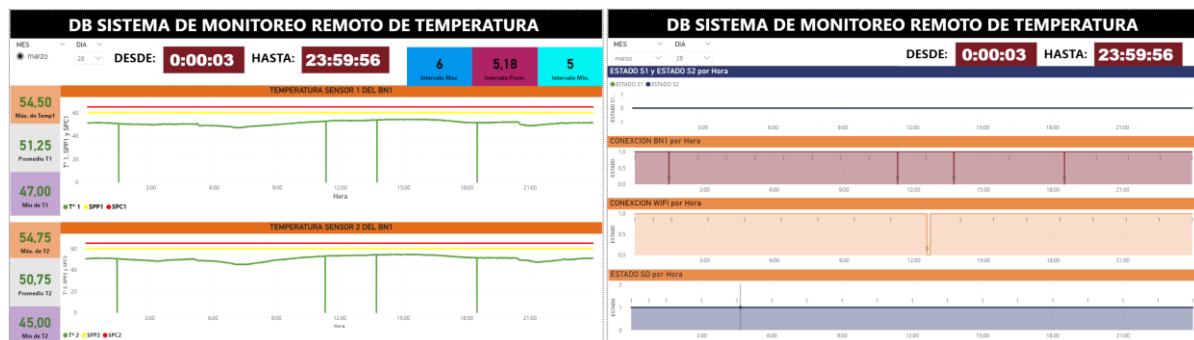


Figura 51

Mediciones del 29/03/2026

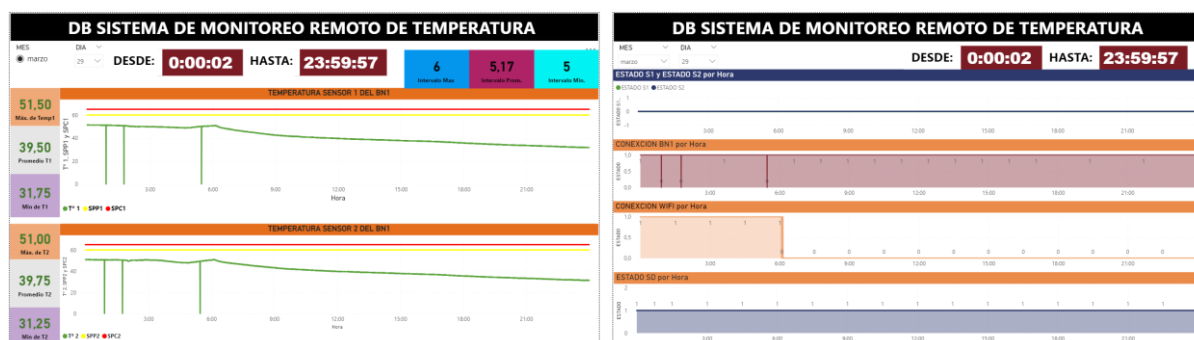


Figura 52

Mediciones del 30/03/2026

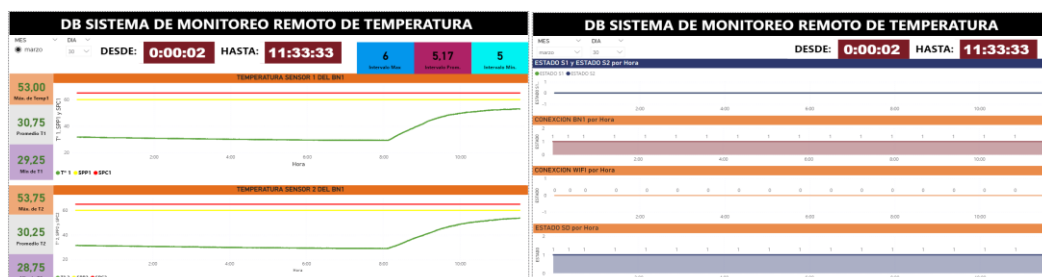


Figura 53

Mediciones del 31/03/2026

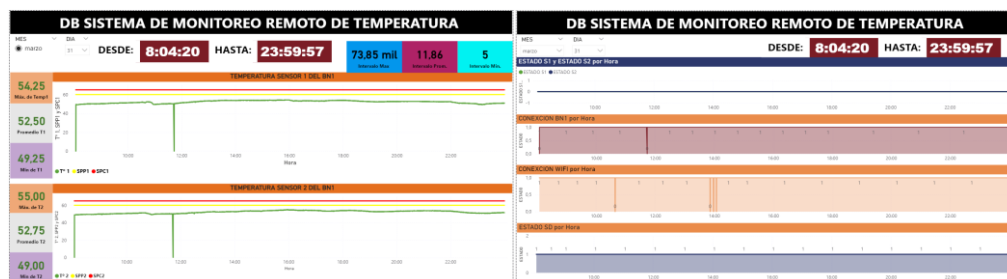
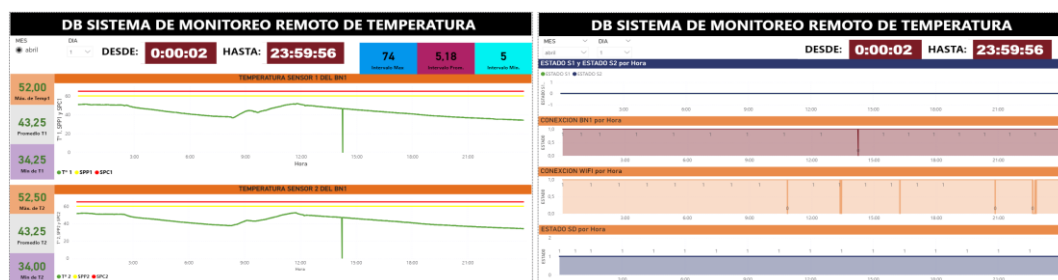


Figura 54

Mediciones del 1/04/2026



Finalmente, del 2 al 8 de abril el banco N1 permaneció detenido por inventario con temperaturas ambiente de 27 a 34°C, retomando operación el 9 de abril (Figura 62) con un arranque desde temperatura ambiente hasta 52.75°C que cerró el período de monitoreo confirmando que los 773,446 registros recolectados respaldan la fiabilidad y continuidad del sistema para el monitoreo remoto, la detección oportuna de incrementos de temperatura y la generación de alertas preventivas en el banco N1.

Figura 55

Mediciones del 2/04/2026

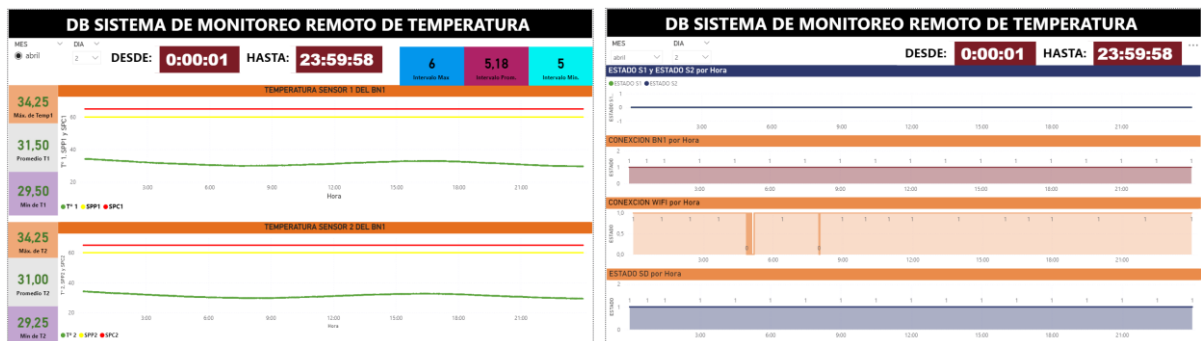


Figura 56

Mediciones del 3/04/2026

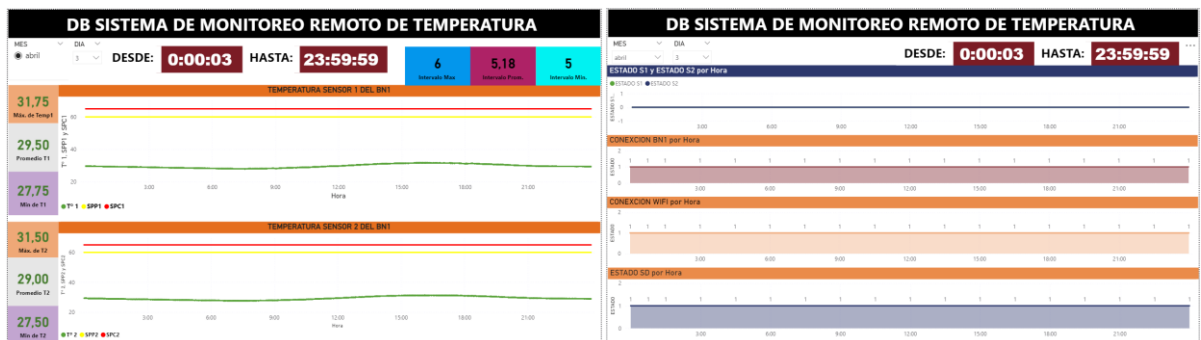


Figura 57

Mediciones del 4/04/2026

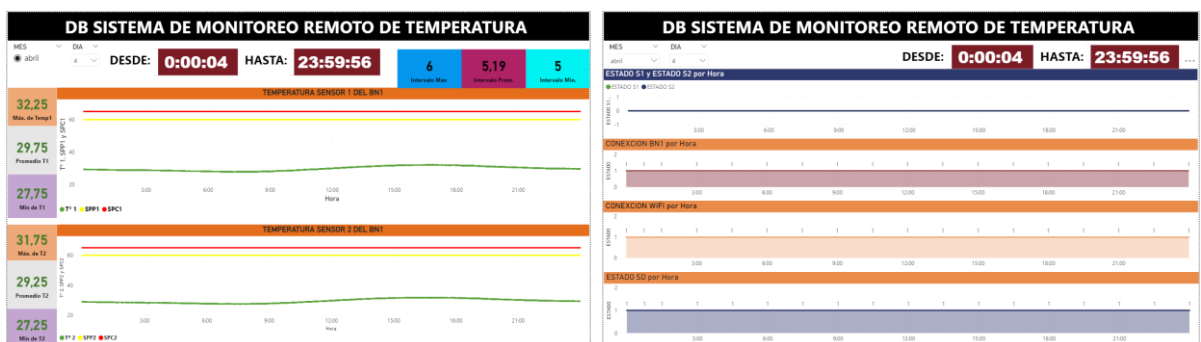


Figura 58

Mediciones del 5/04/2026

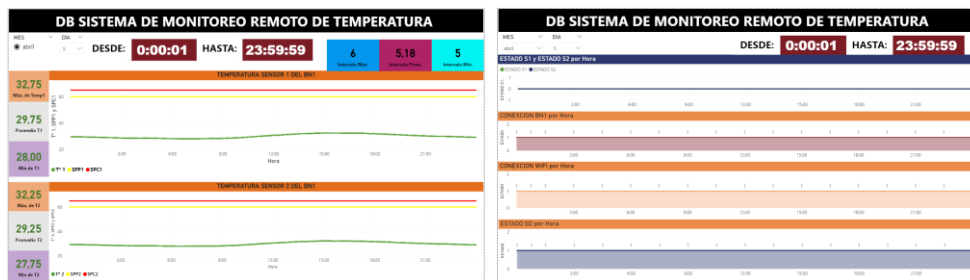


Figura 59

Mediciones del 6/04/2026

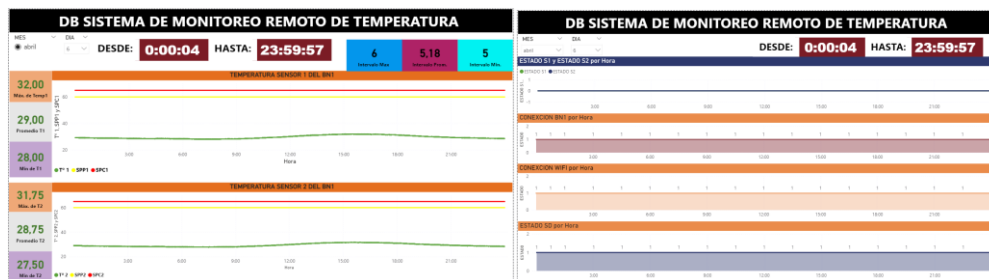


Figura 60

Mediciones del 7/04/2026

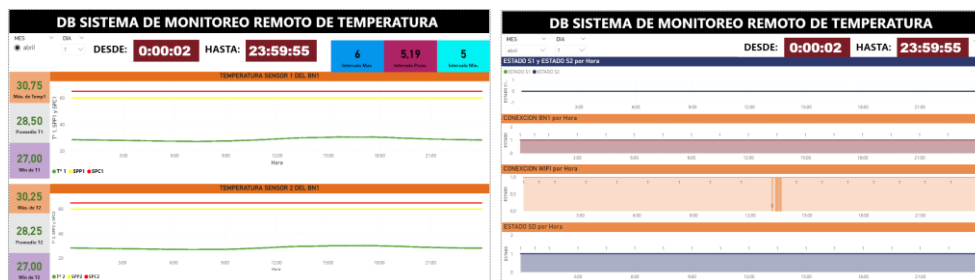


Figura 61

Mediciones del 8/04/2026

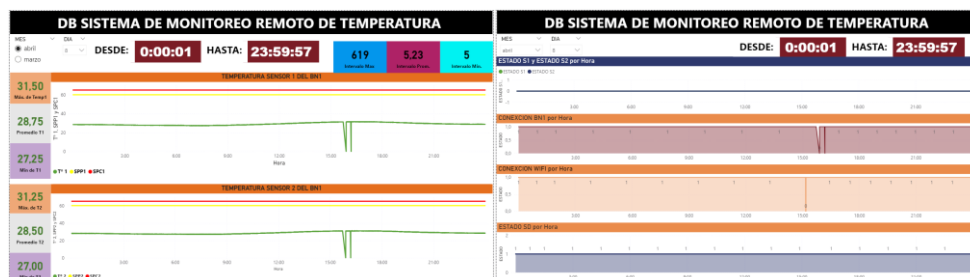
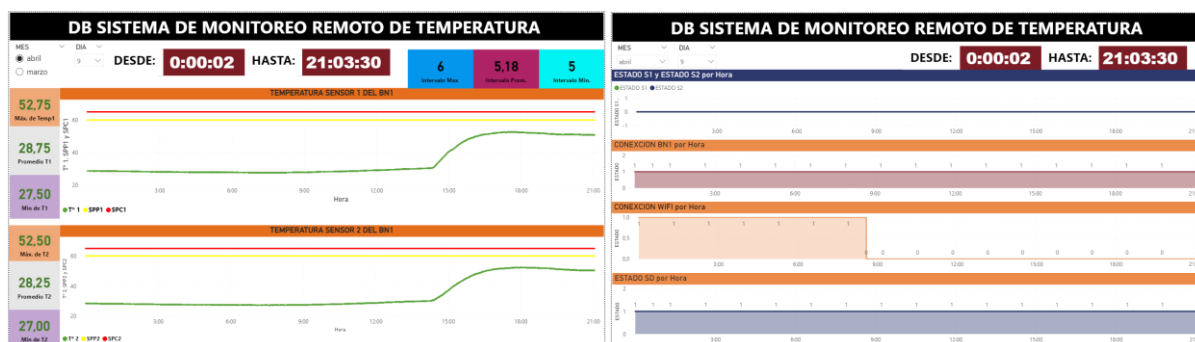


Figura 62

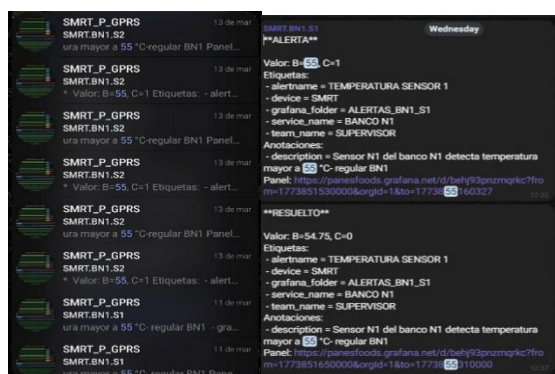
Mediciones del 9/04/2026



En lo que respecta a las alertas automáticas, con el sistema de alertas configurado en Grafana Cloud se establecieron siete reglas distribuidas en tres carpetas: dos para el sensor T1 (temperatura y estado), dos para el sensor T2 (temperatura y estado) y tres para el nodo central (comunicación con el banco N1, almacenamiento local y módulo RTC), todas vinculadas a puntos de contacto de Telegram que enviaban las notificaciones a través de un bot configurado para el sistema (Figura 63), debido a esta configuración, se recibía una notificación de tipo ALERTA cuando la temperatura superaba el umbral configurado o cuando el sistema detectaba ausencia de datos en alguna fuente monitoreada, y de igual manera una notificación de tipo RESUELTO en el momento en que la condición dejaba de presentarse, confirmando el retorno a operación normal sin necesidad de consultar manualmente el panel de monitoreo.

Figura 63

Evidencia de de alerta y resolución enviada mediante Telegram



Durante los 32 días de evaluación, el sistema registró 773 446 datos y permitió identificar 15 eventos de incremento de temperatura que requirieron atención, en siete se superó el umbral de precaución de 55 °C y se activó la baliza; en los ocho restantes, el operador intervino a partir de la información mostrada en pantalla antes de la activación de la baliza. Durante el período evaluado no se superó el setpoint crítico configurado de 60 °C.

La validación del sistema de alarmas y notificaciones se realizó, primero durante la puesta en marcha, se configuró temporalmente una regla de alerta en Grafana a fin de verificar el envío de mensajes de alerta y resolución mediante Telegram (Figura 64); posteriormente, durante la operación normal del banco N1 (Figura 65), se registraron siete eventos en los que la temperatura superó el punto de ajuste de precaución de 55 °C, activándose la baliza. En ese sentido, como evidencia representativa, el 13 de marzo de 2026, a las 14:43:29, el sensor T2 alcanzó el umbral establecido, por lo que el evento quedó registrado y generó una notificación automática mediante Telegram; asimismo, cuando la temperatura descendió, el sistema emitió el mensaje de resolución correspondiente. Por consiguiente, estas evidencias verifican el funcionamiento de la alarma visual y del sistema de notificaciones, tanto en la prueba controlada como en la operación real.

Asimismo, la Tabla 9 resume los siete eventos de activación de la alarma visual registrados durante la operación del banco N1.

Figura 64

Prueba funcional y alertas mediante Telegram

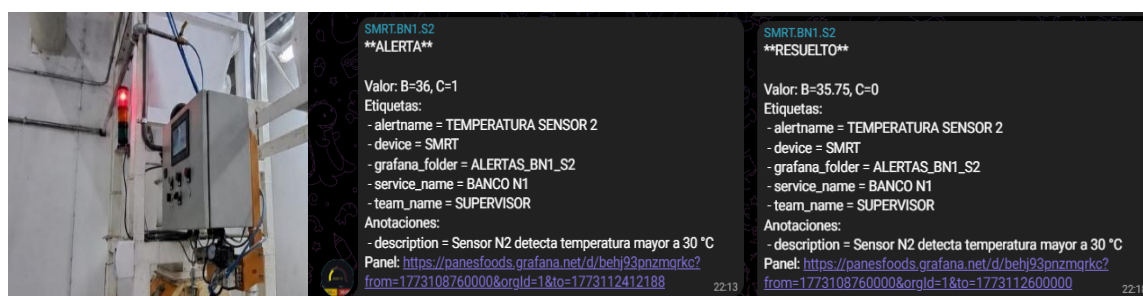


Figura 65

Alerta automática por superación SPP durante la operación

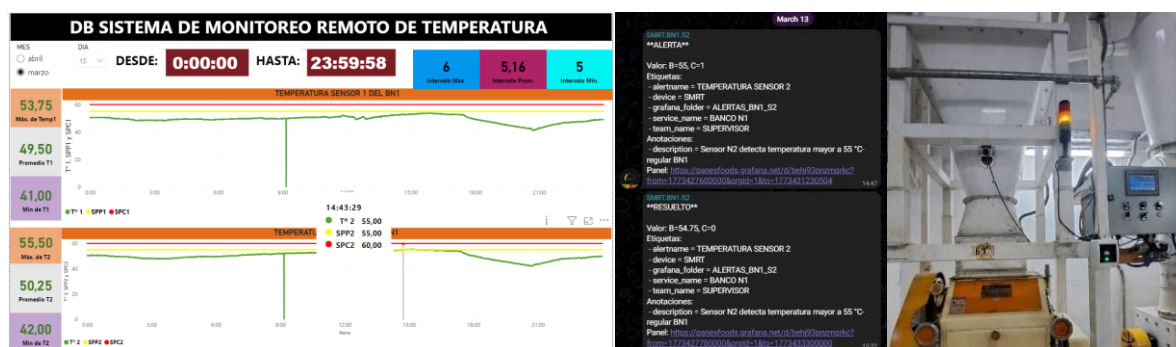


Tabla 9

Activaciones de baliza y alerta en telegram

Fecha	Sensor	Temperatura registrada	Resultado
13/03/2026	T2	55,50 °C	Activación de baliza y alerta en telegram
14/03/2026	T2	55,00 °C	Activación de baliza y alerta en telegram
17/03/2026	T2	55,50 °C	Activación de baliza y alerta en telegram
18/03/2026	T1 y T2	56,75 °C y 56,25 °C	Activación de baliza y alerta en telegram
20/03/2026	T1	55,00 °C	Activación de baliza y alerta en telegram
27/03/2026	T1 y T2	Superior a 55 °C	Activación de baliza y alerta en telegram
31/03/2026	T2	55,00 °C	Activación de baliza y alerta en telegram

Con la finalidad de verificar comparativamente las mediciones de temperatura, se realizaron lecturas en los puntos correspondientes a los sensores S1 y S2 mediante un termómetro infrarrojo (Figura 66). Posteriormente, se compararon las lecturas registradas por el sistema con las obtenidas mediante el termómetro infrarrojo en diferentes momentos del 25 de marzo de 2026, tal como se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10*Comparación de temperaturas en S1 y S2*

Hora	Sistema S1 (°C)	Sistema S2 (°C)	Termómetro infrarrojo S1 (°C)	Termómetro infrarrojo S2 (°C)	Diferencia absoluta S1 (°C)	Diferencia absoluta S2 (°C)
12:15	53,75	53,75	52,5	55	1,25	1,25
12:26	53,75	53,25	54,9	52,2	1,15	1,05
12:40	53,75	53,5	52,2	54,7	1,55	1,2
12:46	54,25	54	55,5	52,6	1,25	1,4
12:53	54,25	54,25	53	55,7	1,25	1,45
13:01	54,25	54,5	55,7	53,2	1,45	1,3
13:07	54,5	54,75	53,2	56,6	1,3	1,85
13:14	54,5	54,5	55,5	53	1	1,5
13:22	54,25	54	52,7	55,2	1,55	1,2
13:28	54,25	54,25	55,7	52,7	1,45	1,55
13:35	54,25	54	53	55,5	1,25	1,5
13:43	54,25	54,25	55,3	52,6	1,05	1,65
13:49	54,25	54	52,6	55,2	1,65	1,2
13:56	54,25	54	55,5	52,7	1,25	1,3
14:04	54,25	54	53,2	55,6	1,05	1,6
14:10	54,25	53,75	55,7	52,5	1,45	1,25
14:15	54,25	53,75	52,5	55,1	1,75	1,35

Figura 66*Medición de temperatura en S1 y S2 a las 12:46 h.*

De acuerdo con los resultados obtenidos, las diferencias absolutas entre las lecturas del sistema y las mediciones realizadas con el termómetro infrarrojo variaron entre 1,00 °C y 1,85 °C. Por tanto, todas las mediciones comparadas se encontraron dentro del criterio de aceptación de ± 2 °C, lo que respalda la consistencia de las lecturas registradas por los sensores S1 y S2 en las condiciones evaluadas.

Con el propósito de complementar la evaluación de las fallas en el banco N1, se analizaron indicadores relacionados con la detección de incrementos de temperatura, la activación de alarmas y el comportamiento de la temperatura respecto al punto crítico configurado.

Tabla 11

Análisis de temperatura del banco N1

Indicador	Resultado
Eventos térmicos identificados	15 eventos
Activaciones de baliza por superar el SPP	7 activaciones
Eventos que alcanzaron el SPC de 60 °C	0 eventos
Tiempo de permanencia por encima del SPC	0 minutos
Temperatura máxima registrada	56,75 °C
Margen respecto al SPC	3,25 °C
Paradas asociadas a sobre temperatura	0 paradas

Los resultados muestran que, aunque se identificaron 15 eventos de incremento de temperatura durante el período de evaluación, ninguno alcanzó el punto crítico de 60 °C ni generó paradas asociadas a sobrettemperatura; asimismo, la temperatura máxima registrada fue de 56,75 °C, manteniéndose un margen de 3,25 °C respecto al valor crítico, estos indicadores evidencian que el sistema permitió detectar oportunamente condiciones térmicas anómalas y generar alertas para la intervención del operador, contribuyendo a reducir el riesgo de fallas térmicas en el banco N1.

3.5 Evaluación comparativa del sistema

Con el objetivo de evaluar el impacto del sistema implementado frente al método de monitoreo previo, la Tabla 12 presentó una comparación estructurada en función de los indicadores definidos en la operacionalización de variables, lo que permitió evidenciar de manera objetiva las diferencias entre el monitoreo manual y el sistema.

Tabla 12

Matriz comparativa de indicadores del monitoreo antes y después de la implementación

Indicador	Monitoreo manual	Sistema implementado	Mejora observada
Intervalo de monitoreo y detección	Inspección cada 30 a 40 minutos; dependía de la presencia del operador	Registro automático cada 5,18 s en promedio	Detección de incrementos de temperatura sin esperar la siguiente ronda manual
Tiempo de notificación	Dependía de la detección y comunicación manual del operador	Activación automática de baliza y envío de mensaje mediante Telegram al superar el umbral establecido	Notificación local y remota automática
Disponibilidad del monitoreo	Limitada a la presencia del operador	Monitoreo continuo durante 32 días de evaluación	Mayor disponibilidad de información
Tiempo de respuesta	No cuantificado; dependía de la inspección manual	El operador contó con información mediante pantalla, baliza y Telegram para intervenir	Soporte para una respuesta oportuna del operador
Alertas configuradas	Sin sistema de alertas	Siete reglas de alerta configuradas	Generación automática de alertas según condiciones configuradas
Eventos de sobretemperatura identificados	Sin registro automático	15 eventos identificados: 7 con baliza y 8 atendidos desde pantalla	Trazabilidad de los eventos y soporte para su gestión
Comportamiento frente al SPC	Sin evidencia documentada	Ningún evento alcanzó el SPC de 60 °C durante la evaluación	Reducción del riesgo de sobretemperatura crítica durante el período evaluado

La matriz comparativa evidencia que el sistema implementado mejoró la frecuencia, disponibilidad y trazabilidad del monitoreo de temperatura, en particular, redujo la dependencia de las inspecciones manuales realizadas cada 30 a 40 minutos, debido a que registró datos con un intervalo promedio de 5,18 s y evaluó automáticamente las reglas de alerta; asimismo, la notificación se realizó mediante baliza y Telegram, mientras que la respuesta correctiva continuó bajo responsabilidad del operador. Durante los 32 días de evaluación se identificaron 15 eventos y ninguno alcanzó el setpoint crítico de 60 °C.

3.6 Presupuesto

A continuación, la Tabla 13 presentó el resumen de costos del sistema de monitoreo remoto de temperatura, comprendiendo el nodo primario instalado sobre el banco N1 y el nodo central ubicado en zona alejada de interferencia electromagnética, además de los materiales complementarios requeridos para su ensamblaje e instalación en las instalaciones de PANESFOODS SAC, siendo importante señalar que la totalidad de la inversión fue asumida íntegramente por el investigador como parte del desarrollo del presente investigación, y cabe destacar que las plataformas de software utilizadas, InfluxDB Cloud 2.0, Grafana Cloud y Power BI en su versión gratuita, no generaron costo de licenciamiento, contribuyendo a reducir la inversión total del sistema.

Tabla 13

Costo del sistema

Descripción	Costo
Nodo primario	S/. 410.00
Nodo central	S/. 765.00
Implementación	S/. 500.00
Plataformas de software	S/. 0.00
Total	S/. 1675.00

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Durante el periodo comprendido entre el 8 de marzo y el 9 de abril de 2026, con el sistema de monitoreo se gestionaron 15 eventos de incremento de temperatura que requirieron atención; de ellos, siete mediante activación de baliza al superar el SPP y ocho fueron atendidos por el operador a partir de la información mostrada en la pantalla del banco. En ningún caso se alcanzó el setpoint crítico (SPC) de 60 °C, lo que evidencia que el sistema permitió el monitoreo continuo y la generación de alertas preventivas para una intervención oportuna del operador, contribuyendo a reducir el riesgo de fallas térmicas durante el período de evaluación.

El período de evaluación de 32 días permitió verificar el funcionamiento continuo del sistema, el registro de datos y la gestión de eventos térmicos durante las condiciones operativas observadas. Sin embargo, este período no permite establecer conclusiones sobre la prevención de fallas a largo plazo ni sobre todas las posibles condiciones de operación del banco N1. Por ello, los resultados se circunscriben al período evaluado y se recomienda mantener el monitoreo durante períodos más prolongados para disponer de una mayor cantidad de eventos y fortalecer el análisis de la contribución del sistema a la reducción del riesgo de fallas.

En cuanto a la selección de la módulos de procesamiento, se optó por el ESP32 para el nodo primario y el ESP32-S3 para el nodo central, el sustento se basó en su arquitectura de doble núcleo, que permitió ejecutar simultáneamente la adquisición de datos, la comunicación Modbus RTU y la transmisión WiFi manteniendo la frecuencia de muestreo, esta elección es consistente con lo realizado por Anggana y Solikin (2025) en Indonesia y por Gómez (2025) en Colombia, quienes emplearon el ESP32 como unidad central en sistemas de monitoreo industrial en tiempo real. De manera similar, Huacho (2022), en Huancayo, empleo el ESP32 para el monitoreo remoto de motores de inducción, validando así la capacidad de esta plataforma en entornos industriales con requerimientos de procesamiento simultáneo.

Para la visualización y almacenamiento en la nube, se optó por Grafana Cloud integrado con InfluxDB Cloud 2.0 en lugar de Node-RED o Ubidots, esto se basó en la capacidad de Grafana para gestionar grandes volúmenes de datos en series temporales, así como en la facilidad de generar paneles interactivos, a diferencia de Farez y Auqui (2024) y Cortijo et al. (2023), quienes emplearon Node-RED como plataforma de gestión en sus sistemas desarrollados en Ecuador, y de Huacho (2022), quien utilizó Ubidots para la visualización de variables en motores de inducción, siendo la integración nativa entre Grafana e InfluxDB lo que permitió procesar los 773,446 registros del período con paneles diferenciados para temperatura y estado del sistema.

En lo que respecta al sistema de notificaciones automáticas, la configuración de siete reglas de alerta en Grafana, las cuales fueron integradas con un bot de Telegram, permitiendo que el sistema enviara notificaciones de tipo ALERTA ante la superación de umbrales o la ausencia de datos, y notificaciones de tipo RESUELTO al retornar a condiciones normales; enfoque similar al implementado por El-Khozondar et al. (2024) en Palestina, quienes desarrollaron un sistema de monitoreo energético con notificaciones automáticas al superar umbrales configurados, con la diferencia de que en el presente estudio el canal de notificación fue Telegram mediante bot y las variables monitoreadas correspondieron a temperatura y estado de los componentes del sistema.

Respecto a los umbrales de temperatura, el setpoint de precaución (SPP) de 55 °C y el setpoint crítico (SPC) de 60 °C fueron establecidos de acuerdo con el criterio técnico indicado por el área de mantenimiento de PANESFOODS SAC, considerando el comportamiento operativo del banco N1, donde el SPP fue configurado como un nivel de advertencia para generar alertas y permitir la intervención del operador, mientras que el SPC se consideró como el límite de referencia; por tanto, los umbrales configurados responden a las condiciones operativas y al criterio de mantenimiento del equipo evaluado.

En cuanto a la comunicación y el respaldo de datos, la implementación del protocolo RS-485 con Modbus RTU para la comunicación entre el nodo central y el primario respondió a las condiciones de operar en entorno industrial, aspecto no abordado en los antecedentes revisados; por otro lado la incorporación de una memoria microSD de 29.8 GB en el nodo central garantizó el almacenamiento local continuo de datos durante los períodos de interrupción de la red WiFi; esto coincide con lo mencionado por Jiménez (2024), quienes destacaron la importancia del almacenamiento local como respaldo ante interrupciones de conectividad, y superando en frecuencia de muestreo al sistema implementado por Chavez (2025), quien transmitía cada 15 segundos frente a los 5.17 segundos alcanzados en la presente investigación.

En conclusión, los resultados obtenidos durante los 32 días de monitoreo evidenciaron que el sistema permitió detectar y gestionar oportunamente incrementos de temperatura mediante el monitoreo continuo y la generación de alertas. De esta manera, el sistema contribuyó a reducir el riesgo de fallas térmicas en el banco N1 durante el período evaluado. Además, integró comunicación industrial RS-485 con Modbus RTU en un entorno industrial y presentó una inversión total de S/ 1 675, lo que respalda su viabilidad técnica y económica para su aplicación.

Asimismo, el sistema implementado depende de la disponibilidad de energía eléctrica y de la conectividad WiFi para transmitir la información hacia la plataforma en la nube y enviar notificaciones remotas. Durante el período de evaluación se registraron interrupciones de conectividad que afectaron la visualización de datos en tiempo real; sin embargo, el almacenamiento local en la memoria microSD permitió mantener el respaldo de los registros. Del mismo modo, ante una interrupción de energía eléctrica, el sistema deja de realizar la adquisición y transmisión de datos hasta el restablecimiento del suministro. Finalmente, las

mediciones dependen de la correcta instalación y funcionamiento de las termocuplas; por ello, se recomienda realizar verificaciones periódicas de los sensores y de las conexiones eléctricas.

CONCLUSIONES

Se estudió el mecanismo actual de medición de temperatura en el banco N1 de PANESFOODS SAC, identificando como principal deficiencia el monitoreo manual realizado cada 30 a 40 minutos sin registro de datos, lo que generaba omisión ante incrementos de temperatura y una respuesta tardía que comprometía tanto la calidad del producto como la integridad del equipo, condiciones que fundamentaron la necesidad de implementar el sistema.

Se revisaron fuentes bibliográficas científicas nacionales e internacionales que sustentaron el marco teórico de la investigación, incluyendo investigaciones sobre comunicación industrial, monitoreo remoto, sensores de temperatura, plataformas y sistemas de alertas, los cuales sirvieron como referencia para la toma de decisiones de diseño e implementación del sistema.

Se elaboró el diseño del sistema de monitoreo remoto, definiendo una arquitectura de dos nodos basada en microcontroladores ESP32 y ESP32-S3 integrados con sensores termocupla tipo K y convertidores MAX31855, estos se comunicaron mediante protocolo RS-485 con Modbus RTU, y vinculados a las plataformas InfluxDB Cloud 2.0 y Grafana Cloud para el almacenamiento, transmisión y visualización de datos en tiempo real, con respaldo local en la memoria microSD y generación de alertas mediante siete reglas configuradas en Grafana.

Se implementó el sistema, evaluando su capacidad mediante 32 jornadas de registro continuo entre el 8 de marzo y el 9 de abril de 2026, durante las cuales se recolectaron 773,446 datos con una frecuencia de lectura de 5.17 segundos, se gestionaron 15 eventos sin que en ningún momento se alcanzara el SPC de 60°C; asimismo, los indicadores de estado mostraron el funcionamiento continuo de los sensores durante el período evaluado, estos resultados respaldan la efectividad del sistema para el monitoreo remoto, la detección oportuna de

incrementos de temperatura y la generación de alertas preventivas, contribuyendo a reducir el riesgo de fallas en el banco N1.

RECOMENDACIONES

Se recomienda extender el sistema de monitoreo remoto de temperatura a los ocho bancos restantes del molino de harina de PANESFOODS SAC. El sistema implementado en el banco N1 permitió realizar el monitoreo continuo de temperatura y generar alertas preventivas durante el período evaluado; por ello, su ampliación permitiría contar con una supervisión más integral del proceso de molienda y mejorar la detección oportuna de incrementos de temperatura en todos los bancos de molienda.

Asimismo, se recomienda mejorar la infraestructura de red WiFi dentro de la planta, dado que durante el período de monitoreo se registraron interrupciones de conectividad que afectaron la transmisión de datos hacia la nube, siendo la interrupción más prolongada de 73 850 segundos entre el 30 y 31 de marzo; si bien la información se respaldó en la memoria microSD, una red más estable mejoraría la disponibilidad de los datos en tiempo real.

Además, se recomienda considerar la migración a un plan de pago de InfluxDB Cloud que permita ampliar el período de retención de datos más allá de los 30 días ofrecidos por el plan gratuito utilizado en esta investigación, con el fin de disponer de un historial térmico completo que permita realizar análisis de tendencias a largo plazo y fortalecer las decisiones del área de mantenimiento basadas en el comportamiento histórico del banco N1.

Finalmente, se recomienda incorporar un sistema de alimentación ininterrumpida (UPS) en el nodo central para garantizar la continuidad del monitoreo ante cortes de energía eléctrica como el registrado el 26 de marzo, que generó una interrupción de 4.2 horas en la transmisión de datos, fortaleciendo la disponibilidad del sistema ante interrupciones del suministro eléctrico.

REFERENCIAS

- Alcántara Ramírez, M. A. (2024). *Modelos matemáticos para el control de la incertidumbre en sensores de internet of things* [Tesis doctoral, Universidad Nacional del Santa].
<https://pure.uns.edu.pe/es/studentTheses/modelos-matem%C3%A1ticos-para-el-control-de-la-incertidumbre-en-sensor/>
- Al-Surmi, A., Bashiri, M., & Koliousis, I. (2022). AI based decision making: Combining strategies to improve operational performance. *International Journal of Production Research*, 60(14), 4464-4486. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1966540>
- Anggana, H. N., & Solikin, M. (2025). Development of a Real-Time Vibration Monitoring System for Drum Tester Machines Using ADXL345 Sensor and ESP32 Microcontroller. *Journal of Automotive and Mechanical Applied Technology*, 2(1), 66-75. <https://doi.org/10.21831/jamat.v2i1.1277>
- Aranda Ortiz, J. A., & De la Cruz Diaz, H. Y. (2024). *Propuesta de mejora del planeamiento para el mantenimiento de equipos electromecánicos* [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte].
[extension://bfdogplmndidlpjfhhoijckpakkdjkkil/pdf/viewer.html?file=https%3A%2F%2Frepositorio.upn.edu.pe%2Fbackend%2Fapi%2Fcore%2Fbitstreams%2F01bf998a-9410-4f1a-903e-6992989eb220%2Fcontent](https://repositorio.upn.edu.pe/backend/fapi/core/bitstreams/01bf998a-9410-4f1a-903e-6992989eb220/content)
- Arnao Salinas, J. G., & Ventura Chiroque, R. J. (2024). *Prototipo de Sistema de Monitoreo Remoto para Evaluar el Bienestar de Abejas Apis Melíferas en una Colmena Artesanal del Fundo Castillo de Túcume* [Tesis de grado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/13534>
- Arratia Zapata, J. R., Nuño Maganda, M. A., Hernández Mier, Y., & Polanco Martagón, S. (2021). Sistema de monitoreo remoto de temperatura y humedad utilizando dispositivos móviles e IoT. *Research in Computing Science*, 150(11), 329-338.

- Asaadi, M., Aslanseefat, K., Izadi, I., & Yang, F. (2024). Adaptive Design of Alarm Systems in Industrial Processes. *IFAC-PapersOnLine, 12th IFAC Symposium on Advanced Control of Chemical Processes ADCHEM 2024*, 58(14), 841-846.
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.08.442>
- Atao Nicolas, Y. A., & Paucar Diego, F. R. (2023). *Sistema de monitoreo remoto de la temperatura ambiental con ESP8266 para con confort térmico en hogares urbanos (Ayacucho, Junín, Huancavelica)*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Huancavelica]. <https://hdl.handle.net/20.500.14597/8382>
- Barreto Fortón, A. (2023). *Análisis y mejora del proceso productivo en la línea de harinas industriales de una planta de molinos aplicando herramientas de Lean Manufacturing* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú].
<http://hdl.handle.net/20.500.12404/24112>
- Basantes Correa, V. A., & Castro Bolaño, J. R. (2024). *Sistema meteorológico con tecnología IoT para la asignatura de energías renovables* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27194>
- Benhanifia, A., Cheikh, Z. B., Oliveira, P. M., Valente, A., & Lima, J. (2025). Systematic review of predictive maintenance practices in the manufacturing sector. *Intelligent Systems with Applications*, 26, 200501. <https://doi.org/10.1016/j.iswa.2025.200501>
- Bojanić, N., Rakić, D., & Fišteš, A. (2024). Effects of Roller Milling Parameters on Wheat-Flour Damaged Starch: A Comprehensive Passage Analysis and Response-Surface Methodology Optimization. *Foods*, 13(21), Article 21.
<https://doi.org/10.3390/foods13213386>
- Cantos Bolaños, W. J., & Abad Parrales, W. M. (2025). *Sistema de microcontroladores programables con tecnología Arduino para brindar seguridad en el departamento de coordinación de tecnologías del campus Los Ángeles en la Universidad Estatal del*

- Sur de Manabí*. [Tesis de grado, Universidad Estatal del Sur de Manabí].
<http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/7883>
- Cappelli, A., Mugnaini, M., & Cini, E. (2020). Improving roller milling technology using the break, sizing, and reduction systems for flour differentiation: 110067. *LWT*, 133.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110067>
- Castillo Badillo, B. B. (2022). *Sistema de detección predictiva de fallas de un motor de baja tensión mediante protocolo MQTT y aplicación IOT* [Tesis de posgrado, Universidad Tecnológica Israel]. <http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/3317>
- Castillo Lindao, A. S. (2024). *Estudio de una propuesta para el mejoramiento de un sistema de automatización, monitoreo y digitalización utilizando tecnologías robustas como PLC, HMI Y SCADA dirigido a las técnicas de medición de las temperaturas de los gases de combustión basándose en el funcionamiento del motor HYUNDAI 9H21/32 de la Central Termoeléctrica Santa Elena II de la Unidad de Negocios Electroguayas Celec Ep*. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/10710>
- Castillo Picado, G. A., & Fuentes Ordoñez, E. G. (2023). Sistema de monitoreo inteligente para motores completamente operativos. *Tecnología en Marcha*, 36(Extra-6), 29-34.
<https://doi.org/10.18845/tm.v36i6.6753>
- Chavez Casiano, E. M. (2025). *Diseño de un Sistema de Monitoreo Inalámbrico para mejorar el mantenimiento en el proceso de centrifugado de la línea de lavado-secado en la empresa Argu's Service S.R.L.* [Tesis de grado, Universidad de Ciencias y Humanidades]. <https://repositorio.uch.edu.pe/handle/20.500.12872/1126>
- Chen, Y., Yin, X., Zhang, R., & Gao, F. (2024). Reinforced convolutional neural network fault diagnosis of industrial production systems. *Chemical Engineering Science*, 299, 120466. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2024.120466>

- Chicaiza Oña, R. M., & González Jiménez, H. (2021). *Sistema de Monitoreo en Nube Para el Diagnóstico Predictivo de Fallos de Motores Eléctricos* [Thesis posgrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral].
<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/54265>
- Chiguano Allauca, W. W. (2020). *Desarrollo de un plan de mantenimiento en el subproceso de molienda en La Industria Harinera S. A.* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica].
<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/31428>
- Chuquitarco Herrera, S. M. (2023). *Desarrollo de un sistema de seguridad en apertura de portones de garaje automáticos mediante datos biométricos e iot* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24569>
- Comisión del Codex Alimentarius. (2023). *Norma del Codex para la Harina de Trigo* (Norma internacional de alimentos CODEX STAN 152-1985; Versión 2023).
<https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/es/>
- Cortijo Leyva, R. E., Mayorga, T., & Criollo, P. (2023). Sistema de monitoreo remoto para mantenimiento predictivo en un motor eléctrico. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, (E55), 128-144.
- Cruz Pascual, G. E. (2025). *Metodología para la calibración de sensores de temperatura basado en la Norma ASTM E-220*. <https://ri.ujat.mx/handle/200.500.12107/6494>
- El-Khozondar, H. J., Mtair, S. Y., Qoffa, K. O., Qasem, O. I., Munyarawi, A. H., Nassar, Y. F., Bayoumi, E. H. E., & Halim, A. A. E. B. A. E. (2024). A smart energy monitoring system using ESP32 microcontroller. *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 9, 100666.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100666>

- Espinosa 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* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20298>
- Farez Chasi, C. O., & Auqui Fajardo, C. H. (2024). *Diseño e implementación de un sistema de monitoreo IoT de Temperatura y Vibración para protección de Motores Eléctricos* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/29087>
- Flores-Iwasaki, M., Guadalupe, G. A., Pachas-Caycho, M., Chapa-Gonza, S., Mori-Zabarburú, R. C., & Guerrero-Abad, J. C. (2025). Internet of Things (IoT) Sensors for Water Quality Monitoring in Aquaculture Systems: A Systematic Review and Bibliometric Analysis. *AgriEngineering*, 7(3), 78. <https://doi.org/10.3390/agriengineering7030078>
- Fonseca, D. A. (2025). *Diseño y prototipado de un sistema de bajo costo basado en ESP32 para el monitoreo en tiempo real de CO2 y ruido en un aula de gamificación de un colegio en Mosquera*. <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/70234>
- Gómez García, J. A. (2025). *Sistema de adquisición y monitoreo en tiempo real para la detección temprana de fallas en motores mediante análisis de señales de vibración y temperatura bajo un ambiente (IoT)* [Tesis de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/69921>
- González, R., & Adrian, F. (2025). *Sistema de monitoreo electrónico de temperatura integrado en motores de combustión interna*. <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/67779>
- Gunasekaran, K., Kumar, V. V., Kaladevi, A. C., Mahesh, T. R., Bhat, C. R., & Venkatesan, K. (2023). Smart Decision-Making and Communication Strategy in Industrial Internet

of Things. *IEEE Access*, 11, 28222-28235.

<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3258407>

Hadi Mohamed, M. M., Martel Carranza, C. P., Huayta Meza, F. T., Rojas León, C. R., & Arias Gonzáles, J. L. (2023). *Metodología de la investigación: Guía para el proyecto de tesis* (Primera edición digital). Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.073>

Hashmani, R. K., Konyushikhin, M., Shan, B., Cai, X., & Demirköz, M. B. (2023). New monitoring interface for the AMS experiment. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 1046, 167704. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2022.167704>

Huacho Ichpas, W. (2022). *Diseño de un módulo de control basado en plataforma IOT para el monitoreo remoto de motores de inducción de baja potencia. Huancayo—2022* [Tesis de grado, Universidad Continental]. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12585>

Huamán Flores, E. J., Anicama Navarrete, E. A., González Zavaleta, E. L., Félix Pachas, H. L., & Chu Estrada, W. E. (2022). *Metodología de la investigación científica. Guía práctica para la elección, diseño y desarrollo de la investigación* (Primera). Fondo editorial de la Universidad Autónoma de Ica. <https://repositorio.autonomadeica.edu.pe/handle/20.500.14441/2558>

Huisa Hanco, E. (2024). *Implementación de un control para el monitoreo de temperatura y velocidad de motores eléctricos trifásicos y sistemas de transmisiones mecánicas*. <https://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/4123>

Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2024). *Harmonization of Internet of Things (IoT) Systems Interactions* (IEEE P1451.99). <https://standards.ieee.org/ieee/1451.99/11634/>

- Jácome Vásquez, D. A., & Hinojoza Yazuma, A. E. (2025). *Diseño de un sistema de monitoreo y control, local y remoto de un motor trifásico, utilizando los protocolos industriales modbus, profinet y wireless hart, con plc* [Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)].
<https://repositorio.utc.edu.ec/handle/123456789/14856>
- Jiménez Sánchez, J. A. (2024). *Diseño de sistema scada para controlar y monitorear un proceso industrial a través de grafana mediante un PLC S7 1215C DC/DC/DC*.
<https://hdl.handle.net/20.500.12371/25066>
- Lozano Tapia, J. A. (2025). *Diseño de una metodología para la realización de pruebas unitarias en sistemas embebidos que emplean el framework de Arduino*.
<http://hdl.handle.net/20.500.12404/32198>
- Medina Romero, M. Á., Rojas León, R., Bustamante Hoces, W., Loaiza Carrasco, R. M., Martel Carranza, C. P., & Castillo Acobo, R. Y. (2023). Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación. En *Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú* (Primera).
<https://doi.org/10.35622/inudi.b.080>
- Mejias Buitrago, J. E. (2024). *Implementación de un sistema de monitoreo de temperatura ambiente, humedad relativa y calidad del ambiente en áreas críticas de una IPS* [Tesis de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia].
<http://repository.unad.edu.co/handle/10596/63381>
- Moammaei, S., Yagoubi, A. S., Kharazi, S. H., Kouhsari, F., & Milani, J. M. (2024). Introducing new wheat milling passages to manage the ultra-fine flours of primary streams: Roles of granulation in starchy content. *Journal of Cereal Science*, 120, 104058. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2024.104058>

- Netinant, P., Pattamasoot, K., & Pukdesree, S. (2023). Real-World Implementation of IoT-based Temperature Detection Helmet Using Thermal Imaging Cameras in Manufacturing. *2023 13th International Conference on Software Technology and Engineering (ICSTE)*, 44-50. <https://doi.org/10.1109/ICSTE61649.2023.00015>
- Nunton Sandoval, J. A. (2025). *Optimización del mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad en el área de mantenimiento en una minera, 2024* [Tesis de grado, Universidad Continental]. <https://repositorio.continental.edu.pe/item/8abfecdc-a4dc-415d-9a67-8de2e2f1cd36>
- Pacheco Figueroa, D. A. (2025). *Desarrollo de un sistema embebido de lectura de medidores electrónicos multifunción de energía eléctrica por medio del protocolo DLMS/COSEM para automatizar el proceso de recolección de información de consumo eléctrico*. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/30815>
- Pérez Arnedo, Á., & Tejeda Alvear, D. E. (2024). *Desarrollo de un sistema de monitoreo de temperaturas con IoT para motores eléctricos Baldor M4108T de la empresa Orbia—Cartagena*. <https://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/11969>
- Ramírez Vásquez, A. A., Orellana Guanuchi, L. M., Tapia, R. C., Teves, R. V., & Tisoc, J. H. (2023). Métodos de investigación científica. En *Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú* (Primera edición digital). Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.094>
- Révolo Acevedo, R., Quispe Reymundo, B., Carhuamaca Castro, F., Jauregui Ofracio, J., López Gutierrez, V., & Ribbeck Hurtado, R. (2023). *Metodología de la investigación: Guía para proyectos de tesis forestales y ambientales*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.114>
- Rincón Gutiérrez, J. H. (2024). *Exploración y visualización de datos de sensores de temperatura y humedad mediante tecnologías de Big Data y analítica* [Tesis de grado,

Universidad Nacional Abierta y a Distancia].

<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/62818>

Salazar Cuicapuza, R. Y. (2025). *Diseño de un sistema de riego automatizado utilizando una red de comunicación inalámbrica para la distribución eficiente del agua en un vivero agroforestal en el distrito de Río Negro—Satipo.*

<https://repositorio.uch.edu.pe/handle/20.500.12872/1155>

Sanchez Perez, D. A., & Galindo Valencia, J. E. (2024). *Desarrollo de un data logger para lectura de temperatura y presión, con materiales de alta resistencia, con lector de datos de manera local y remota, acoplado a un motor CAT C280-12 TIER 4* [Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)].

<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/674686>

Santi, A. A. (2023). *Integración continua en proyectos con microcontroladores* [Tesis, Universidad Nacional de La Plata]. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/149277>

Sepúlveda Fernández, I. L. (2025). *Puesta en marcha y evaluación de un sistema de medición de eficiencia energética en sistemas de bombeo* [Tesis de grado, Universidad de Concepción]. <https://repositorio.udec.cl/handle/11594/13319>

Sucari Turpo, W. G., Sucari Turpo, H. A., Calsin Apaza, M. M., Mamani Condori, J. M., Choque Copari, C. A., & Gil Quispe, I. B. (2024). *Paradigmas y métodos de la investigación científica*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudip.013>

Tapara Apaza, P. R. (2024). *Diseño e implementación de un sistema de monitoreo remoto de temperatura dentro de los congeladores industriales aplicando IOT* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco].

<https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/10175?>

- Tian, X., Wang, X., Ma, S., Sun, B., Qian, X., & Gu, Y. (2022). Effect of different milling mechanical forces on the structures and properties of wheat flour. *International Journal of Food Science and Technology*, 57(4), 1945-1953.
<https://doi.org/10.1111/ijfs.15202>
- Tiboni, M., Remino, C., Bussola, R., & Amici, C. (2022). A Review on Vibration-Based Condition Monitoring of Rotating Machinery. *Applied Sciences*, 12(3), 972.
<https://doi.org/10.3390/app12030972>
- Torero Solano de Martel, N. Z., Suarez Vega, E., & Martel Carranza, C. P. (2023). Pequeños pasos en investigación: Un manual para iniciarse en el campo de la investigación científica. En *Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú* (Primera). Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú.
<https://doi.org/10.35622/inudi.b.085>
- Valverde Tobar, J. V. (2024). *Implementación de un módulo didáctico basado en comunicación industrial utilizando Modbus RTU y TCP/IP para el monitoreo y control de un motor trifásico*. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/11946>
- Zúñiga, P. I. V., Cedeño Cedeño, R. J., & Maldonado Palacios, I. A. (2023). Metodología de la investigación científica: Guía práctica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), Article 4. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7658

ANEXOS

Anexo A: Guía de entrevista

Guía de entrevista

Objetivo:

Recopilar información sobre la percepción del supervisor respecto al monitoreo de temperatura en el banco de molienda N°1, identificar problemas operativos actuales, y explorar la utilidad de implementar un sistema de monitoreo remoto.

Introducción:

• Presentación:

Hola, soy Javier Lescano, y estoy llevando a cabo una investigación sobre la implementación de un sistema de monitoreo remoto de temperatura en el banco de molienda N°1. Agradezco mucho tu tiempo para responder estas preguntas. La información que me brindes será muy útil para mejorar el proceso de monitoreo y prevención de fallas.

• Explicación sobre la confidencialidad:

Las respuestas serán tratadas de manera confidencial y solo se utilizarán para fines de investigación.

Preguntas:

➤ Sobre el sistema actual de monitoreo de temperatura:

1. ¿Cómo describirías el proceso actual de monitoreo de temperatura en el banco de molienda N°1?
 - (¿Con qué frecuencia se realiza la medición de temperatura? ¿Qué herramientas utilizan?)
2. ¿Cuáles son los principales problemas que has observado con el monitoreo de temperatura en este sistema?
 - (¿Hay inconvenientes relacionados con la precisión, frecuencia o confiabilidad de las mediciones?)
3. ¿Existen momentos en los que la temperatura se eleva sin que se pueda detectar a tiempo?
 - (¿Cómo se gestionan esas situaciones?)
4. ¿Qué impacto tiene el monitoreo de temperatura actual sobre la producción?
 - (¿Afecta la eficiencia, la calidad o el tiempo de inactividad?)

➤ Sobre los problemas y las fallas:

5. ¿Qué tipo de fallas o problemas operativos se han producido debido a temperaturas elevadas en los rodillos o componentes del banco de molienda?
 - (¿Cuáles han sido las consecuencias de no detectar la temperatura a tiempo?)
6. ¿Cuánto tiempo generalmente se tarda en detectar y corregir un problema de temperatura?
 - (¿Se pierde tiempo valioso para corregir el problema?)

➤ Sobre la implementación de un sistema de monitoreo remoto de temperatura:

7. ¿Qué opinas sobre la implementación de un sistema de monitoreo remoto de temperatura?
 - (¿Crees que sería útil para mejorar el monitoreo y prevenir fallas?)
8. ¿Qué características o funcionalidades consideras esenciales en un sistema de monitoreo remoto para que sea efectivo?
 - (¿Alerta temprana, monitoreo en tiempo real, acceso remoto, etc.?)
9. ¿Cuál sería el impacto de un sistema de monitoreo remoto en las operaciones diarias del banco de molienda?
 - (¿Cómo crees que afectaría la productividad, la prevención de fallas o el tiempo de respuesta?)

➤ Cierre:

10. ¿Tienes alguna otra sugerencia o recomendación sobre el monitoreo de temperatura en el banco de molienda N°1?
11. ¿Crees que el personal estaría dispuesto a adoptar un sistema de monitoreo remoto?

Agradecimiento:

Gracias por compartir su experiencia y conocimientos. Su participación es valiosa para el éxito de este proyecto y para mejorar el monitoreo y la prevención de fallas en el banco de molienda.

Anexo B: Ficha de recolección de datos

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

1. DATOS GENERALES

- **Título de la investigación:** Sistema de monitoreo remoto de temperatura para prevenir fallas en el banco N1 del molino de harina en la empresa PANESFOODS SAC.
- **Fecha de recolección:** 10 / 10 / 2025
- **Investigador:** Lescano Banda Hammer Javier
- **Lugar de estudio:** Molino de harina de la empresa PANESFOODS SAC, San Juan de Lurigancho, Lima.
- **RUC:** 20545990483

2. INFRAESTRUCTURA DEL BANCO DE MOLIENDA N1

- **Cantidad total de bancos de molienda en la planta:** 09
- **Ubicación del Banco N1 en la línea de producción:**
 - ☒ Inicio
 - ☐ Intermedio
 - ☐ Final
- **Condiciones del área donde se encuentra el Banco N1:**
 - ☒ Ventilación adecuada
 - ☐ Espacio reducido
 - ☒ Presencia de polvo o residuos
 - ☒ Otros: Ruido

3. MONITOREO DE TEMPERATURA DEL BANCO DE MOLIENDA N1

- **Método actual de monitoreo:**
 - ☒ Manual (uso de termómetros portátiles)
 - ☐ Semiautomático (sensores con registro manual)
 - ☐ Automático (sistema en tiempo real con alertas)
- **Frecuencia de monitoreo:**
 - ☐ Cada hora
 - ☐ Cada 2 horas
 - ☒ Otro: 30-40 min
- **Registro de datos de temperatura:**
 - ☐ Anotado en bitácora física
 - ☐ Registro en software
 - ☒ No se lleva un registro constante
- **Temperatura promedio registrada en operación:** 45 °C
- **Temperatura crítica que genera fallas:** 55 °C

4. TIPO DE MANTENIMIENTO REALIZADO

- **Mantenimiento aplicado al Banco N1:**
 - ☒ Correctivo (cuando ocurre una falla)
 - ☐ Preventivo (según cronograma)
 - ☐ Predictivo (monitoreo continuo y alertas)
- **Última fecha de mantenimiento:** / /
- **Frecuencia de mantenimiento:**
 - ☐ Mensual
 - ☒ Trimestral
 - ☐ Anual
 - ☐ Otro:

5. REGISTRO DE FALLAS EN EL BANCO DE MOLIENDA N1

- **¿Se han registrado fallas recientes?**
 - ☐ Sí (especificar cuántas en el último mes:)
 - ☐ No
- **Tipo de fallas más frecuentes:**
 - ☒ Sobrecalentamiento
 - ☒ Desgaste de rodillos
 - ☐ Problemas eléctricos
 - ☐ Otros:
- **Tiempo promedio de inactividad debido a fallas:** 12 horas
- **Registro de fallas en bitácora o sistema:**
 - ☐ Sí (papel)
 - ☐ Sí (digital)
 - ☒ No se lleva registro

6. OBSERVACIONES ADICIONALES

Anexo C: Protocolo de pruebas comparativas

INFORMACIÓN GENERAL

Proyecto: Sistema de monitoreo remoto de temperatura para prevenir fallas en el banco N1 del molino de harina en la empresa PANESFOODS SAC.

Mes de prueba: ____marzo-abril____

Fecha inicio: ____08/03/2026____ **Fecha fin:** ____09/04/2026____

Evaluable: Lescano Banda Hammer Javier

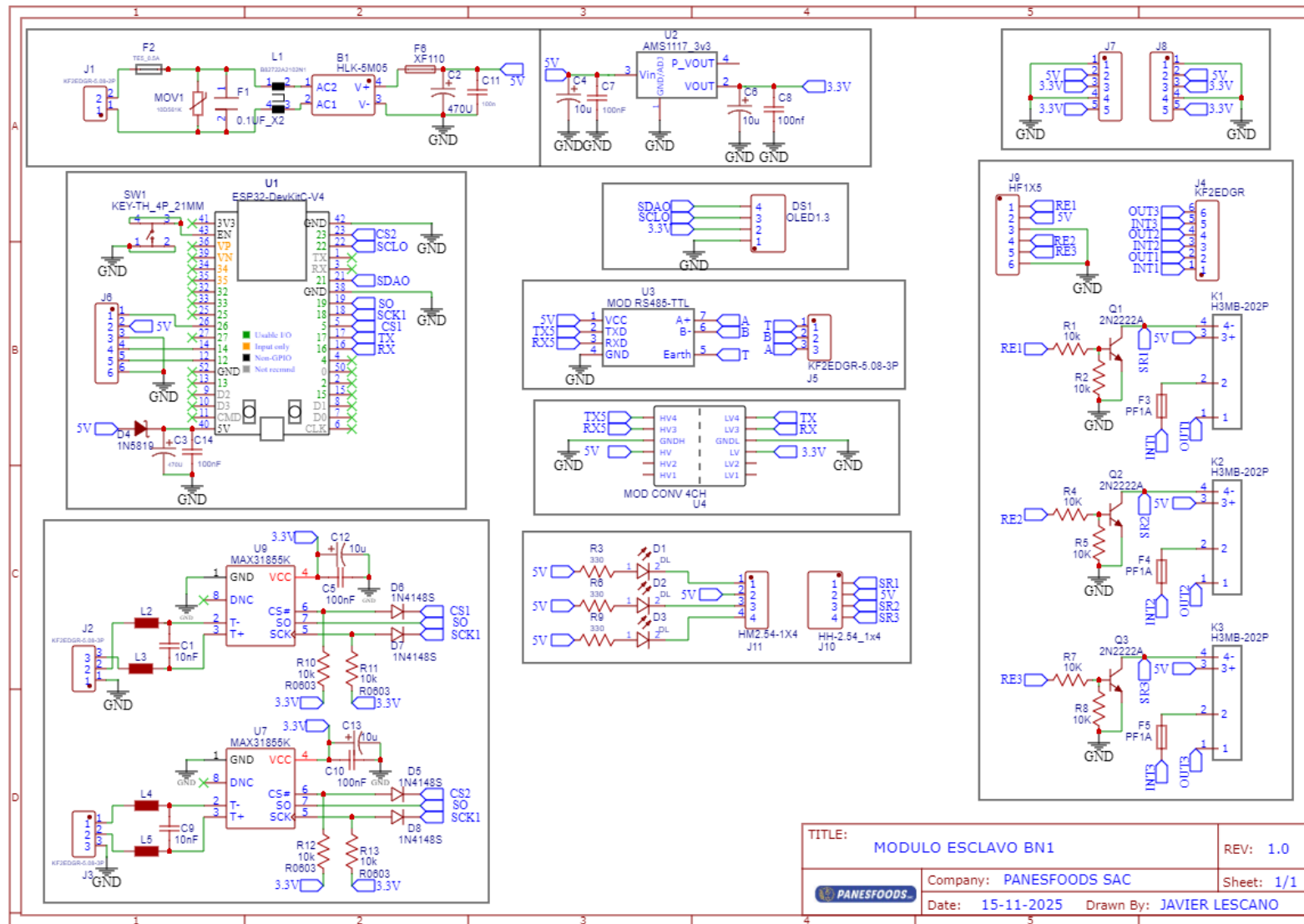
1. Variable Independiente: Sistema de monitoreo remoto de temperatura

Dimensión	Indicador	Métrica	Escala
Capacidad de medición	Precisión	Desviación máxima de la temperatura	$\pm 5^{\circ}\text{C}$
	Rango	Temperaturas máximas y mínimas que puede registrar	0-100 $^{\circ}\text{C}$
	Intervalo	Tiempo promedio entre un dato y el siguiente	0-60 s
Generación de alertas	Tipos de alertas generadas	Número de alertas generadas por tipo	Nº alertas
Almacenamiento de datos	Capacidad	Cantidad máxima de datos que puede guardar	1-100 GB
	Periodo de retención	Tiempo durante el cual los datos permanecen disponibles	1-5 años

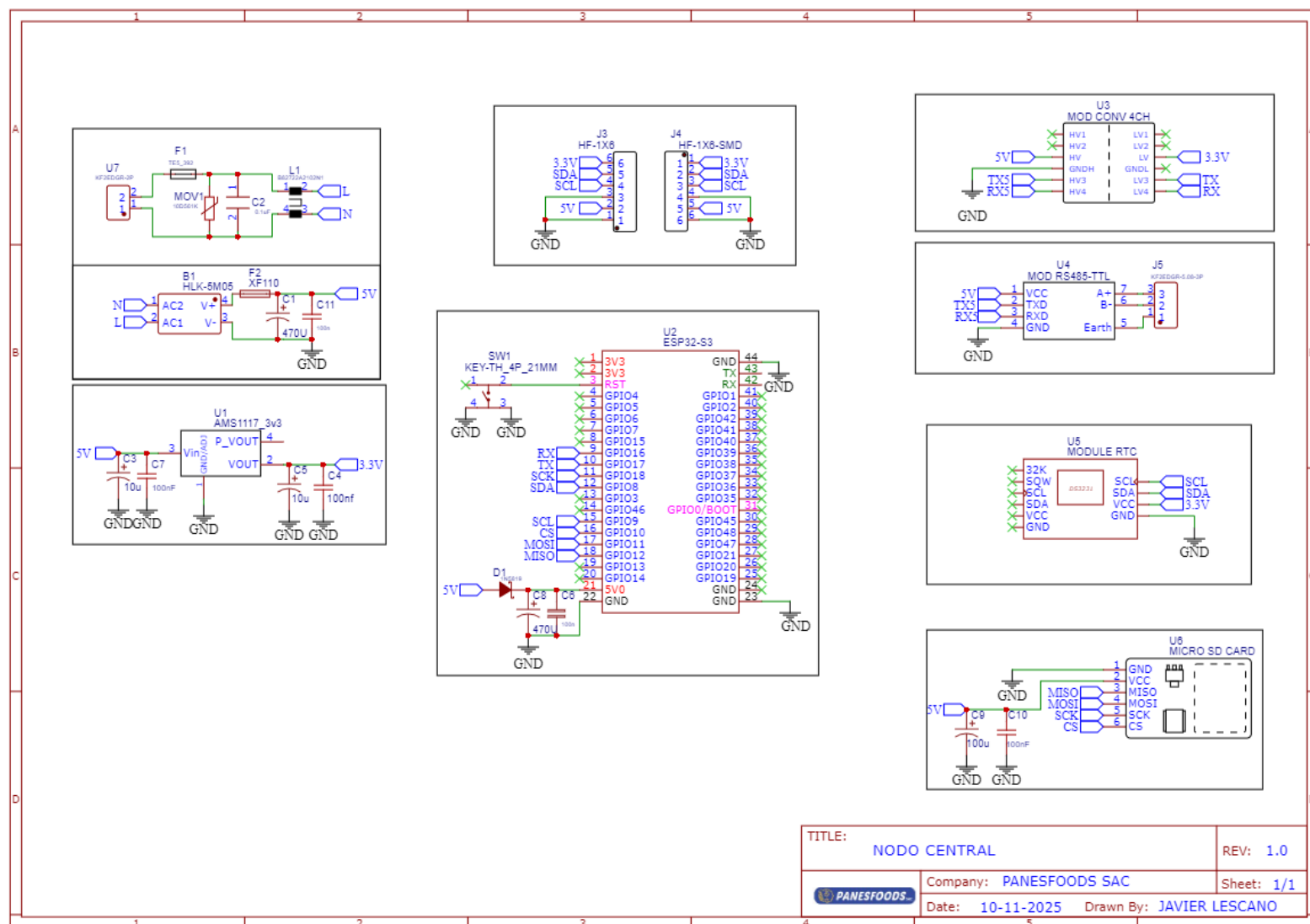
2. Variable dependiente: Fallas en el banco N1

Dimensión	Indicador	Métrica	Escala
Interrupciones operativas	Alertas preventivas	Cantidad de alertas emitidas ante condiciones críticas o inusuales	N.º de alertas
Impacto operativo	Tiempo de inactividad	Duración total de períodos en los que el sistema no estuvo operativo	0 - 24 h

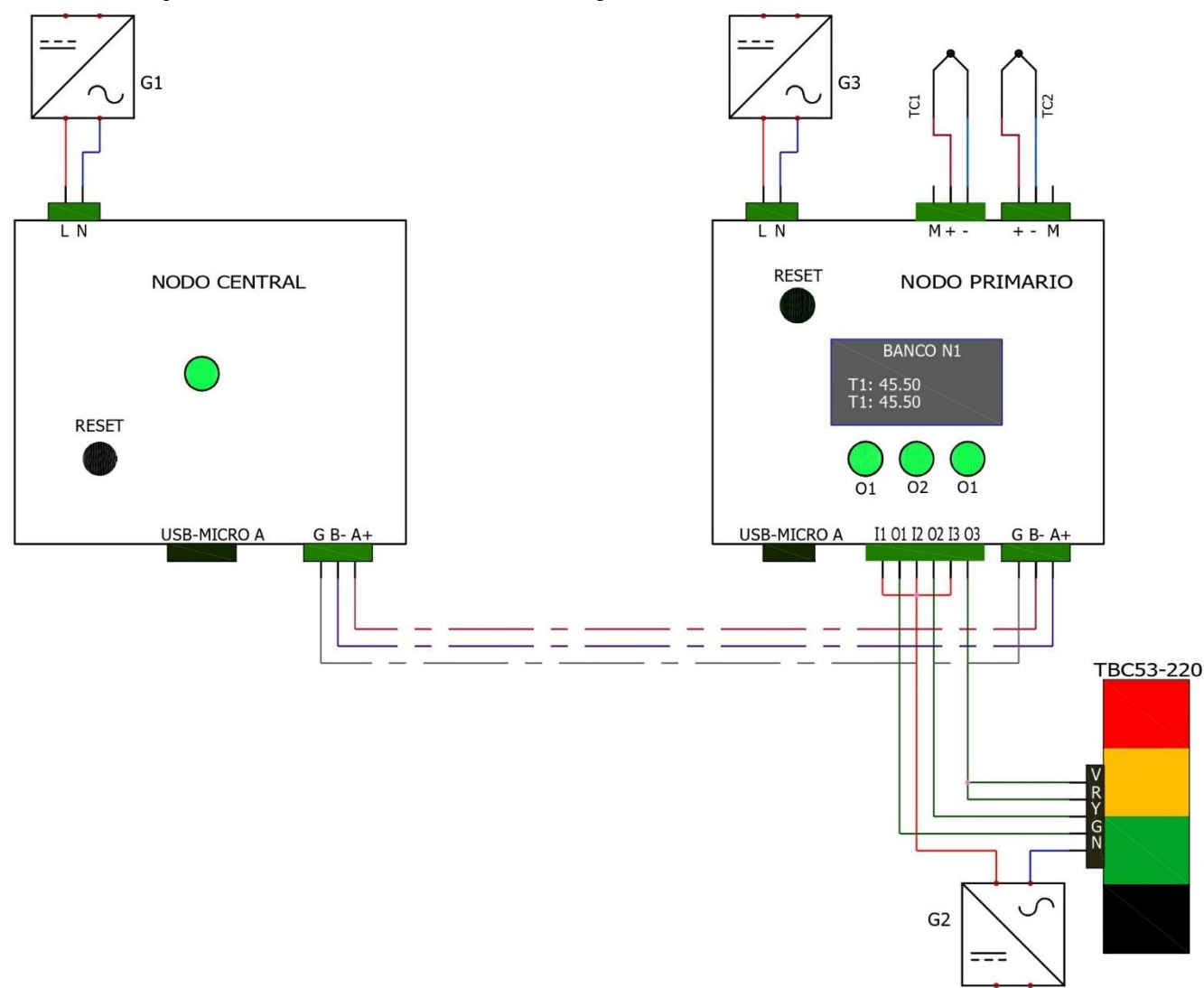
Anexo D: Esquemático Nodo Primario



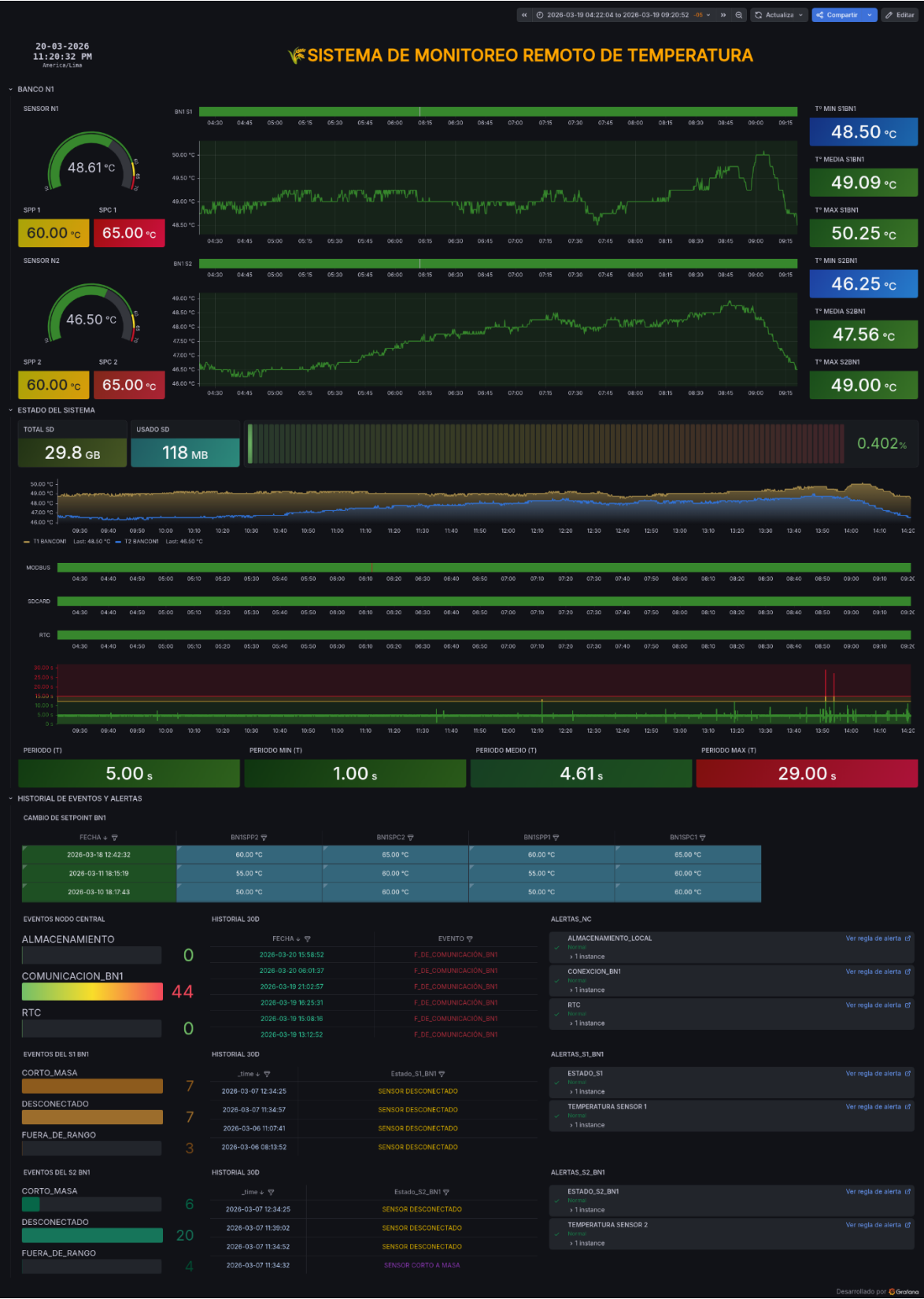
Anexo E: Esquemático Nodo Central



Anexo F: Esquema de conexiones Nodo Central y Primario



Anexo G: Dashboard del sistema de monitoreo en Grafana Cloud



Anexo H: Registro de Asistencia a capacitación

REGISTRO DE ASISTENCIA A CAPACITACIÓN

Empresa: PANESFOODS S.A.C.

Tema: Funcionamiento del Sistema de Monitoreo Remoto de Temperatura

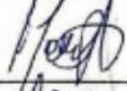
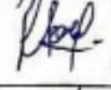
Fecha: 06/03/2026

Hora Inicio: 11:00 am

Hora Fin: 12:30 am

Lugar: San Juan de Lurigancho - Lima

Capacitador: Hammer Javier Lescano Banda

Nº	Nombre Completo	DNI	Área / Puesto	Firma
1	CASTILLO GONZALO LUIS SANTOS	20670460	Producción	
2	CONDORI RAMOS SILVANO	10362875	Producción	
3	CORONEL GARCIA ERI LEADIM	41221272	Producción	
4	CHAPONAN PORRAS MANUEL	25570093	Producción	
5	HUAYHUAPUMA ESPINOZA CARLOS	42650752	Producción	
6	MANDUJAN MURRIETA CORAIMA MARIFE	72385723	Administración	
7	OCHAVANO SHAPIAMA SAMUEL	76436647	Producción	
8	BENITES BARRETO FERNANDO	10431594	Jefe de Almacén	
9	NAPO PANAIFO GABINO	47766072	Ensacador	
10	SANTAMARIA SANCHEZ CATALINA	40061051	Mantenimiento	
11	RENGIFO PEREZ ROGER	45182836	Ensacador	

Observaciones:

Firma del Capacitador: 