



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

**“CONTROL Y MONITOREO REMOTO DEL LAVADO DE TANQUE FRÍO DE LECHE
EN LA ASOCIACIÓN SAN FRANCISCO DEL ABRA”**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en
Telecomunicaciones**

Línea de investigación: Producción industrial y tecnología sostenible

AUTOR:

Jeferson Javier Farinango Guaman

DIRECTOR:

ING. Luis Edilberto Suárez Zambrano, MSC.

Ibarra-Ecuador 2026



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	1004786529	
APELLIDOS Y NOMBRES	Farinango Guaman Jeferson Javier	
DIRECCIÓN	La esperanza, El Abra	
E-MAIL	jjfarinangog@utn.edu.ec / javierfg2248@gmail.com	
TELÉFONO FIJO		TELÉFONO 0986680692

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	CONTROL Y MONITOREO REMOTO DEL LAVADO DE TANQUE FRÍO DE LECHE EN LA ASOCIACIÓN SAN FRANCISCO DEL ABRA
AUTOR (ES):	FARINANGO GUAMAN JEFERSON JAVIER
FECHA: AAAAMMDD	28/01/2026
SOLO PARA TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	
CARRERA/PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES.
DIRECTOR:	MSC. LUIS EDILBERTO SUÁREZ ZAMBRANO
ASESOR	MSC. JAIME ROBERTO MICHILENA CALDERÓN

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 09 días del mes de febrero de 2026

EL AUTOR

.....

Farinango Guaman Jeferson Javier

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 09 de febrero de 2026

MSC. LUIS EDILBERTO SUÁREZ ZAMBRANO

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f).....

Msc. Luis Edilberto Suárez Zambrano

C.C.: 1002304291

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación está dedicado, en primer lugar, a Dios, por ser la fuente de fortaleza, sabiduría y perseverancia a lo largo de todo este camino académico. Gracias por iluminar cada decisión, por sostenerme en los momentos de dificultad y por darme la paz necesaria para continuar cuando el cansancio y la incertidumbre se hicieron presentes.

A mis padres, María y Humberto, quienes han sido una luz constante incluso en los momentos en que todo parecía oscurecerse. Gracias por acompañarme con firmeza en cada etapa del camino, aun cuando muchas veces el mayor esfuerzo recayó sobre ustedes. Por sus silencios llenos de amor; por cada sacrificio y por enseñarme, sin necesidad de palabras, que la verdadera valentía está en seguir adelante pese a las dificultades. Todo lo que soy y todo lo que he logrado tiene su origen en su ejemplo, su esfuerzo y su amor incondicional.

A mi hermana Fanny, por ser una fuente constante de inspiración y el impulso que siempre apareció cuando más lo necesitaba. Gracias por creer en mí en cada paso, por acompañarme en cada idea, cada intento y cada desafío. Ser un ejemplo para ella es un honor que llevaré siempre en el corazón, porque deseo que vea en mí que los sueños no solo se imaginan, sino que se construyen con valentía, perseverancia y amor.

A mi novia, Naida Estefanía, por ser mi refugio y mi apoyo incondicional a lo largo de este proceso. Gracias por su amor, por confiar en mí incluso cuando yo mismo dudaba y por recordarme, una y otra vez, que soy capaz de llegar lejos. Su fe en mí ha sido fuerza en los momentos difíciles y una guía constante para no rendirme y seguir avanzando.

De manera especial, dedico este trabajo a mi querida mamita Rosa María, quien no pudo estar físicamente para ver todo lo que hoy hemos construido como familia, pero cuya presencia y fe siguen vivas en cada uno de nuestros pasos. Este logro también le pertenece, porque su ejemplo, amor y fortaleza continúan guiando mi camino desde el cielo. Asimismo, dedico este trabajo a un gran amigo y hermano de vida, Wilman, quien partió demasiado pronto, pero fue parte fundamental de mis inicios. Gracias por el apoyo sincero, la motivación constante y por creer en mí cuando todo estaba aún por construirse.

Farinango Guaman Jeferson Javier

AGRADECIMIENTO

A Dios, fuente de fortaleza y guía constante, por acompañarme en cada paso de este proceso académico. Gracias por brindarme claridad en los momentos de duda, paciencia en los instantes difíciles y la fe necesaria para no rendirme cuando el camino parecía incierto. Su presencia fue el sostén silencioso que me permitió avanzar con esperanza y convicción hasta alcanzar este objetivo.

A mis padres, por ser el cimiento sobre el cual se ha construido cada uno de mis sueños. Gracias por su amor inquebrantable, por los sacrificios que muchas veces no dijeron en palabras, y por enseñarme, con su ejemplo diario, que la perseverancia y el esfuerzo siempre dan frutos. Este logro es el reflejo de todo lo que sembraron en mí; sin ustedes, nada de esto habría sido posible.

A la Universidad Técnica del Norte, mi profundo agradecimiento por haberme brindado un espacio de formación académica y humana, donde no solo adquirí conocimientos, sino también valores que marcarán mi vida profesional. De manera especial, expreso mi gratitud al Msc. Luis Suárez, por su acompañamiento constante, su paciencia y su orientación oportuna durante el desarrollo de este trabajo. Su compromiso y dedicación fueron clave para concretar este proyecto con responsabilidad y rigor académico.

Asimismo, agradezco al Msc. Jaime Michilena, por compartir no solo su conocimiento técnico, sino también enseñanzas éticas que dejaron una huella significativa en mi formación. Gracias

por su disposición permanente, su apoyo en momentos críticos y por recordarme siempre que la responsabilidad y el compromiso son pilares fundamentales en el ejercicio profesional.

A cada una de las personas que formaron parte de mi etapa universitaria y que hicieron de este recorrido una experiencia más humana y llevadera: Jhon, Brayan, Andrés, Xavier, Anthony, Kim y Fernando. Gracias por la amistad sincera, el compañerismo y los momentos compartidos que quedarán grabados como recuerdos valiosos. De manera especial, agradezco a las amistades forjadas a través del fútbol, por la lealtad, la constancia y por mantenerse presentes incluso en la distancia. A todos mis compañeros de aula, gracias por cada experiencia vivida y por contribuir, de una u otra forma, a este proceso de crecimiento personal y académico.

Finalmente, expreso un agradecimiento especial a la Asociación San Francisco del Abra, por abrir sus puertas y brindar las facilidades necesarias para la ejecución del presente trabajo de titulación. Gracias por permitir la implementación y validación del sistema de control y monitoreo remoto del lavado del tanque frío de leche en sus instalaciones. De igual manera, se reconoce y valora el apoyo de sus directivos y del personal operativo, cuya colaboración, disposición y compromiso fueron determinantes para el cumplimiento de los objetivos planteados.

RESUMEN

El presente trabajo de titulación aborda la problemática asociada al proceso manual de lavado del tanque frío de leche, el cual puede generar inconsistencias en los tiempos de limpieza, un uso ineficiente del agua y riesgos en las condiciones de higiene requeridas para el adecuado almacenamiento de la leche. Ante esta situación, el objetivo general de la investigación fue diseñar e implementar un sistema de control y monitoreo remoto para automatizar el proceso de lavado del tanque frío de leche en la Asociación San Francisco del Abra, garantizando eficiencia, seguridad y trazabilidad del proceso.

La metodología empleada contempló el diseño e integración de un sistema tecnológico basado en nodos con microcontroladores ESP32, sensor y actuadores, conectados a un servidor local implementado en una Raspberry Pi. La arquitectura del sistema permite la comunicación entre nodos mediante protocolos de red, el procesamiento de datos en la plataforma Node-RED y el almacenamiento de registros en una base de datos local, facilitando la visualización en tiempo real y el control remoto del proceso de lavado.

Los resultados obtenidos permitieron validar el correcto funcionamiento del sistema automatizado, evidenciando un control preciso de los tiempos correspondientes a las etapas de pre-enjuague, enjabonado y enjuague final, así como la correcta activación de electroválvulas, bomba de agua y motor de drenaje. Adicionalmente, el sistema demostró una alta confiabilidad operativa, alcanzando un 98 % de funcionamiento efectivo durante las pruebas realizadas. La solución implementada constituye una herramienta tecnológica que mejora las condiciones de

higiene, optimiza el uso de recursos y fortalece el control operativo en los procesos de la industria láctea.

Palabras clave: Automatización, Tanque frío de leche, Control remoto, Node-RED, ESP32, Sistema de lavado

ABSTRACT

This research addresses the issues associated with the manual washing process of the milk cooling tank, which may lead to inconsistencies in cleaning times, inefficient water usage, and potential risks to the hygienic conditions required for proper milk storage. In response to this problem, the main objective of the study was to design and implement a remote control and monitoring system to automate the washing process of the milk cooling tank at the San Francisco del Abra Association, ensuring efficiency, safety, and process traceability.

The methodology included the design and integration of a technological system based on ESP32 microcontroller nodes, sensors, and actuators, connected to a local server implemented on a Raspberry Pi. The system architecture enables communication between nodes through network protocols, data processing via the Node-RED platform, and local database storage, allowing real-time visualization and remote control of the washing process.

The results validated the correct operation of the automated system, demonstrating precise control over the pre-rinse, soaping, and final rinse stages, as well as proper activation of solenoid valves, water pump, and drainage motor. Additionally, the system showed high

operational reliability, achieving a 98% effective performance during testing. The implemented solution represents a valuable technological tool that improves hygiene conditions, optimizes resource usage, and enhances operational control in dairy industry processes.

Keywords: Automation, Milk cooling tank, Remote control, Node-RED, ESP32, Washing system.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.....	21
1.1. Tema.....	21
1.2. Planteamiento del Problema	21
1.3. Objetivos	24
1.3.1. Objetivo general	24
1.3.2. Objetivos específicos	24
1.4. Alcance	24
1.5. Justificación.....	27
CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	30
1.1 Industria alimentaria.....	30
1.2 Automatización y monitoreo	32
1.2.1 Concepto de automatización industrial.....	32
1.2.2 Historia y evolución de la automatización en la industria alimentaria.....	33
1.2.3 Aplicaciones de la automatización en procesos lácteos.....	33
1.2.3.1 Sistemas de Ordeño Robotizado	34
1.2.3.2 Procesamiento Automatizado.....	34
1.2.3.3 Limpieza en Sitio (CIP - Cleaning in Place).....	35
1.2.3.4 Control de Almacenamiento	36
1.2.3.5 Ejemplos.....	36
1.2.3.5.1 Control de Temperatura	36
1.2.3.5.2 Agitación Automática	36
1.2.3.5.3 Monitoreo de Nivel y Calidad	36
1.2.3.5.4 Limpieza Automática (CIP)	37
1.2.4 Importancia del monitoreo remoto.....	37
1.3 Tecnologías IoT y sensores	37
1.3.1 Introducción al Internet de las Cosas (IoT).....	38
1.3.2 Funcionamiento de IoT en sistemas automatizados.....	38
1.3.2.1 Sensores y Actuadores.....	39
1.3.2.2 Tecnologías de Conectividad	40
1.3.2.3 Computación en la Nube	40
1.3.2.4 Análisis de Datos	40
1.3.2.5 Tecnologías de Seguridad y Privacidad.....	40
1.3.3 Sensores aplicados a la limpieza automatizada:.....	41
1.3.3.1 Sensores de Temperatura	41
1.3.3.2 Sensores Ópticos (IR y UV).....	41

1.3.3.3	Sensores de Conductividad.....	42
1.3.3.4	Sensores de Nivel.....	42
1.3.4	Protocolos de comunicación IoT:.....	42
1.3.4.1	MQTT.....	43
1.3.4.2	HTTP.....	43
1.3.4.3	Modbus/TCP.....	44
1.3.5	Microcontroladores y hardware	46
1.3.5.1	Arduino	46
1.3.5.2	ESP32	47
1.3.5.3	Raspberry Pi.....	48
1.4	Fases del proceso de limpieza.....	49
1.4.1	Preenjuague	49
1.4.2	Enjabonado.....	50
1.4.3	Enjuague final	51
1.5	Importancia y beneficios del proceso de limpieza.....	52
1.5.1	Importancia de la limpieza.....	52
1.5.2	Normas y estándares de higiene aplicables (ISO 22000, HACCP).	53
1.5.2.1	ISO 22000.....	53
1.5.2.2	HACCP	53
1.5.2.3	Cumplimiento de normas sanitarias y de calidad.	55
1.5.2.4	Reglamento de control y regulación de cadena de producción de leche	55
1.5.3	Problemas comunes en procesos manuales de limpieza.....	56
1.5.4	Impacto de la falta de higiene en la calidad de la leche.	57
1.5.5	Beneficios de la automatización en el proceso de limpieza:.....	58
1.5.5.1	Optimización del tiempo en el proceso de limpieza.	58
1.5.5.2	Reducción de costos operativos y uso de recursos.....	58
1.5.5.3	Mejora en la eficiencia del proceso:	59
1.5.5.4	Impacto en la productividad del centro de acopio.	59
1.5.5.5	Beneficios para la seguridad y salud del operador	59
1.6	Programación y desarrollo tecnológico.....	60
1.6.1	Diseño del sistema automatizado de limpieza.....	60
1.6.2	Programación de microcontroladores	60
1.6.2.1	Lógica de programación y secuencialidad.	61
1.6.2.2	Lenguajes de programación: Arduino IDE.	61
1.6.3	Desarrollo de la interfaz gráfica de usuario (GUI):.....	62
1.6.3.1	Herramientas para diseño de interfaces.	63

1.6.3.2	Configuración de la interfaz gráfica de usuario (GUI) para el monitoreo remoto.	64
1.6.4	Bases de Datos	65
2	CAPÍTULO III. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	66
2.1	Metodología	67
2.2	Etapa de Análisis	69
2.2.1	Situación actual	69
2.3	Etapa de Planificar	71
2.3.1	Determinación de Stakeholders	71
2.3.2	Nomenclatura de Requerimientos	72
2.3.2.1	Priorización de los Requerimientos del Sistema	73
2.3.2.2	Requerimientos operacionales y de usuario	74
2.3.3	Requerimiento de Stakeholders	76
2.3.4	Requerimientos del sistema	77
2.3.5	Requerimientos de Arquitectura (SRSR)	81
2.3.6	Selección de Hardware	84
2.3.6.1	Selección de Sensores	84
2.3.6.2	Selección de Microcontrolador o Microprocesador	86
2.3.6.3	Selección de boquilla	91
2.3.6.4	Selección de bomba de agua (Centrífuga), Almacenamiento de agua y Calefón	93
2.3.6.5	Selección de Tecnología Inalámbrica de Baja Potencia (WLAN)	96
2.3.6.6	Selección de Tecnología de Comunicación	97
2.3.6.7	Selección Fuente de Alimentación	100
2.3.7	Selección del Software	103
2.3.7.1	Selección de Software para el nodo sensor	104
2.3.7.2	Selección de Software para el Gateway	105
2.3.7.3	Software para el entrenamiento del Árbol de decisión	106
2.3.7.4	Selección del software de la base de datos	106
2.3.7.5	Selección software de Visualización	107
2.3.8	Enlace inalámbrico con tecnología WiFi	107
2.3.8.1	Análisis espectral de la transmisión WLAN	108
2.4	Etapa de diseño	109
2.4.1	Diagrama de bloques del Sistema	110
2.4.2	Diseño y Descripción del Sistema de Control y monitoreo remoto del lavado de tanque frío de leche	111
2.4.3	Diagrama de conexión de Gateway	112

2.4.3.1	Diagrama de flujo del Gateway	114
2.4.4	Diagrama de conexión del Nodo Sensor.....	116
2.4.5	Diagrama de flujo del nodo sensor	117
2.4.6	Calibración y lectura de datos mediante Sensores	118
2.4.6.1	Programación y Calibración DS18B20	119
2.4.7	Desarrollo de la Programación del Sistema (Software)	119
2.4.7.1	Lectura de Datos para Nodo Secundario 1	121
2.4.7.2	Lectura de Datos de sensor de Temperatura para Nodo Secundario 2	122
2.5	Almacenamiento de Datos (Local).....	126
2.5.1	Envío de datos a InfluxDB.....	127
2.6	Análisis de Datos	132
2.6.1	Selección.....	133
2.6.2	Transformación	134
2.7	Bloque de Visualización	135
3	CAPÍTULO IV. IMPLEMENTACIÓN, PRUEBAS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	137
3.1.1	Implementación Estructural del sistema	138
3.2	Implementación Electrónica del sistema.....	144
3.3	Implementación de Sistema tecnológico.....	145
3.4	Pruebas de Hardware/Software.....	146
3.4.1	Pruebas de Hardware/ Software.....	146
3.4.1.1	Pruebas de Acoplamiento de los Componentes	148
3.4.1.2	Prueba de Funcionamiento del Nodo Central	150
3.4.1.3	Prueba de Comunicación entre Nodos	152
3.4.1.4	Prueba de Funcionamiento de Aplicación.....	156
3.4.1.5	Seguridad de conexión de dispositivos a la red.....	161
3.5	Etapa de Evaluar Resultados	162
3.5.1	Análisis del Lavado Tradicional.....	163
3.5.1.1	Control y supervisión del proceso.....	163
3.5.1.2	Registro y trazabilidad	163
3.5.1.3	Evaluación de valor Higiénico.....	164
3.5.1.4	Evaluación de operación del tiempo	166
3.5.1.5	Evaluación de la cantidad de agua utilizada.....	169
3.5.2	Análisis del Lavado Automático	171
3.5.2.1	Registro y trazabilidad del proceso	171
3.5.2.2	Evaluación de comandos y estados del sistema de lavado	172
3.5.2.3	Evaluación de valor Higiénico.....	177

3.5.2.4	Evaluación de operación del tiempo.....	179
3.5.2.5	Evaluación de la cantidad de agua utilizada.....	181
3.6	Costos del Sistema.....	183
3.6.1	Costo de Hardware	183
3.6.2	Costo de Infraestructura	184
3.6.3	Costos de Software	186
3.6.4	Costos de Software	187
3.6.5	Costo Global del Sistema.....	188
3.7	Beneficios del Sistema.....	189
4	Conclusiones	190
5	Recomendaciones	191
6	REFERENCIAS.....	192
ANEXOS	195

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Árbol de problemas	23
Figura 2 Metodología.....	25
Figura 3 Arquitectura.....	26
Figura 4 Automatización y monitoreo	32
Figura 5 Sistemas de Ordeño Robotizado.....	34
Figura 6 Procesamiento automatizado	34
Figura 7 Limpieza de tanque	35
Figura 8 Conectividad inalámbrica IoT de dispositivos de sensores y actuadores	37
Figura 9 Etapas de arquitectura IoT.....	38
Figura 10 Arduino uno.....	46
Figura 11 ESP32	48
Figura 12 Raspberry Pi 3B.....	48
Figura 13 Logo software Arduino.....	61
Figura 14 Metodología de Cascada Adaptado de(Velázquez, 2015).....	67
Figura 15 Centro de acopio de Asociación San Francisco del Abra imagen adaptada de [GOOGLE EARTH]	70
Figura 16 Sensor DS18B20	86
Figura 17 Raspberry Pi 5 Modelo B (4GB de RAM)	88
Figura 18 ESP32 (Versión 3)	90
Figura 19 Boquilla de pulverización rotativa de 3/4 grados y 360°.....	92
Figura 20 Bomba de agua (Céntrica)	94
Figura 21 Calefón	95
Figura 22 Batería recargable Li-ion de 5 V	103
Figura 23 Diagrama de Bloques del Sistema.....	110
Figura 24 Topología del Sistema de Control y monitoreo remoto del lavado de tanque frío de leche.	111
Figura 25 Diagrama Gateway	113
Figura 26 Vista del nodo de Gateway	113
Figura 27 Interfaz Gráfica del Gateway.....	114
Figura 28 Diagrama de Flujo (Gateway)	115
Figura 29 Diagrama de Flujo Gateway en Raspberry Pi	116
Figura 30 Diagrama de conexión del Nodo Sensores	117
Figura 31 Diagrama de flujo del Nodo Sensor	118
Figura 32 Conexión del nodo 1a la temperatura DS18B20	119
Figura 33 Diagramas de Flujos de Nodos Secundarios	120
Figura 34 Funciones y conexión hacia el servidor.....	121
Figura 35 Etapas y estados de funcionamiento.....	122
Figura 36 Conexión de Nodo 1 para los dispositivos.	122
Figura 37 Código Sensor DS18B20.....	123
Figura 38 Código de lectura de temperatura con sensor DS18B20	123
Figura 39 Lectura Sensor DS18B20	124
Figura 40 Circuito del motor	125
Figura 41 Instalación y comprobación del servicio InfluxDB.....	127
Figura 42 Nodo MQTT de salida para control del proceso	128
Figura 43 Nodo de función para la generación de fecha y hora del servidor.....	128
Figura 44 Nodo MQTT de entrada para registro final	129

Figura 45	Función de generación de marca temporal en Node-RED	130
Figura 46	Estructuración de campos para InfluxDB.....	130
Figura 47	Generación de consulta limitada	131
Figura 48	Datos guardados en Bases de Datos local.	132
Figura 49	Proceso de Transformación	134
Figura 50	Diagrama de flujo del funcionamiento del bloque de visualización.....	135
Figura 51	Pantalla de inicio de la aplicación Lavado Automático.....	137
Figura 52	Tanque de Frío de leche.....	138
Figura 53	Tanque de almacenamiento Rotoplast	139
Figura 54	a) Conexión calefón b) Caldero de depósito	140
Figura 55	a) Electroválvula del jabón b) Recipiente o depósito del jabón	142
Figura 56	Tanque de almacenamiento Rotoplast	143
Figura 57	a) Conexión al tanque b) Boquilla de 360°.....	144
Figura 58	a) Electroválvulas del agua b) Electroválvulas para jabón goteo	144
Figura 59	Implementación de Sistema tecnológico	145
Figura 60	Acoplamiento de nodo 1 y 2 para el funcionamiento	148
Figura 61	Creación de bases de datos del lavado.....	152
Figura 62	Parte del Código donde se observa la dirección del servidor del nodo 1	154
Figura 63	Parte del Código donde se observa la dirección del servidor del nodo 2	154
Figura 64	Representación del flujo funcional al control del lavado	155
Figura 65	Representación del flujo funcional del guardado de datos	156
Figura 66	Inicialización del proceso INICIAR.....	158
Figura 67	Visualización para la opción de PAUSA	159
Figura 68	Proceso del enjabonado del lavado.....	159
Figura 69	Visualización del enjuague final.....	160
Figura 70	Proceso Final del lavado.....	160
Figura 71	Visualización de bases de datos local	161
Figura 72	Configuración de las direcciones.....	162
Figura 73	Tabla de clientes conectados.....	162
Figura 74	Promedio de la calidad de higiene.....	166
Figura 75	Evaluación de la operación manual del tiempo	168
Figura 76	Evaluación de la cantidad de agua utilizado.....	171
Figura 77	Evaluación de comandos de control y actuadores	176
Figura 78	Promedio de calidad higiénico automático.....	178
Figura 79	Evaluación de la operación automático del tiempo	180
Figura 80	Evaluación de la cantidad de agua utilizado.....	182

Índice de Tablas

Tabla 1 Comparación entre ISO 22000 y HACCP.....	54
Tabla 2 Lista de Stakeholders.....	72
Tabla 3 Nomenclatura de Requerimientos	72
Tabla 4 Priorización de los Requerimientos del Sistema	73
Tabla 5 Requerimientos Operacionales.....	74
Tabla 6 Requerimientos del Usuario	75
Tabla 7 Requerimiento de Stakeholders.....	76
Tabla 8 Requerimientos del sistema.....	77
Tabla 9 Requerimientos Técnicos	81
Tabla 10 Requerimientos de Arquitectura (SySR).....	82
Tabla 11 Sensores de Temperatura de agua, Conductividad, Nivel de Agua	84
Tabla 12 Selección de Sensores de Temperatura de agua	85
Tabla 13 Selección de Microcontrolador o Microprocesador	86
Tabla 14 Características del Raspberry Pi 5 Modelo B (4GB de RAM).....	87
Tabla 15 Selección de microprocesador Nodo	89
Tabla 16 Características del ESP32 (Versión 3).....	89
Tabla 17 Selección de boquilla.....	91
Tabla 18 Selección de bomba de agua	93
Tabla 19 Selección de calefón.....	95
Tabla 20 Selección de WLAN.....	96
Tabla 21 Selección de Tecnología de Comunicación	97
Tabla 22 Características de MQTT para el Sistema de Monitoreo y Control Remoto.....	98
Tabla 23 Consumo Eléctrico Nodo Sensor y componentes de sistema.....	101
Tabla 24 Selección de lenguaje de nodo	104
Tabla 25 Selección de lenguaje de Gateway	105
Tabla 26 Cálculo de pérdida de propagación Wi-Fi con modelo Okumura-Hata (adaptado).....	108
Tabla 27 Parámetros de frecuencia inicial y final.....	109
Tabla 28 Cronograma de Actividades para el Funcionamiento del Sistema	146
Tabla 29 Prueba de acoplamiento y funcionamiento de componentes del sistema.	149
Tabla 30 Prueba de Funcionamiento del Nodo Central.....	151
Tabla 31 Prueba de Comunicación entre Nodos.....	153
Tabla 32 Prueba de Comunicación entre App Y Nodos	157
Tabla 33 Evaluación del Lavado Tradicional	164
Tabla 34 Calidad y cuidado higiénico.....	165
Tabla 35 Operación manual el tiempo	167
Tabla 36 Cantidad de agua utilizada	170
Tabla 37 Evaluación del Lavado Automático.....	172
Tabla 38 Evaluación de los comandos de control y estados de actuadores del sistema de lavado.....	172
Tabla 39 Calidad y cuidado higiénico.....	177
Tabla 40 Operación automática del tiempo	179
Tabla 41 Cantidad de agua utilizada	181
Tabla 42 Costos de Hardware	184
Tabla 43 Costos de Infraestructura.....	185
Tabla 44 Costos de Ingeniería	187

Tabla 45 <i>Costos de Software</i>	187
Tabla 46 <i>Costo total del sistema</i>	188

ANEXOS

ANEXO 1 Hoja de ayuda técnica del sistema del lavado	195
ANEXO 2 Certificado del lugar de trabajo del Sistema	196
ANEXO 3 Hoja Técnica del Contactador HGC	197
ANEXO 4 Hoja Técnica del Heltec LoRa 32 V3	198
ANEXO 5 Código fuente del Nodo 1 – Heltec WiFi LoRa V3	199
ANEXO 6 Código fuente del Nodo 2 – Heltec WiFi LoRa V3 (Control de temperatura y motor centrifuga).....	201

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. Tema

Control y monitoreo remoto del lavado de tanque frío de leche en la Asociación San Francisco del Abra.

1.2. Planteamiento del Problema

En Ecuador se producen aproximadamente 6,15 millones de litros diarios de leche cruda, según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) (datos 2022), el 16% de las unidades de producción agropecuaria (UPA) dedicadas a la producción de leche eran pequeñas, el 21% medianas, el 9% grandes y el 55% muy grandes. Esta distribución ha variado en los últimos años, con un ligero aumento en la proporción de UPA pequeñas y medianas, y una disminución en las grandes y muy grandes(INEC, 2022.). La industria láctea representa alrededor del 4% del PIB Agroalimentario del país, teniendo un gran impacto económico y un alto potencial de exportación.

El consumo promedio de leche es de aproximadamente 110 litros por habitante al año, una cantidad aún baja en comparación con el consumo recomendado de 180 litros por persona al año. Según datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)(Cil Ecuador, 2022), el sector industrial lácteo genera aproximadamente 1.400 millones de USD anuales a través de la producción e industrialización de la leche. Además, el precio oficial del litro de leche para el productor es de 0,42 USD, lo que resalta la importancia económica de este sector en el país y su potencial de crecimiento al aumentar el consumo per cápita hacia el nivel recomendado.

Orbe señala que el sector lácteo en Ecuador enfrenta diversos desafíos, entre los cuales destaca la alta informalidad. Esta situación hace necesario un trabajo coordinado con el Gobierno, orientado a promover la formalización de la actividad y a asegurar que los productos que llegan al consumidor cumplan con estándares adecuados de calidad e inocuidad. De

acuerdo con estimaciones del CIL, cerca del 48,2 % de la producción de leche en el país se comercializa en el mercado informal (Revista Gestión, 2024), lo que no solo representa un riesgo para la salud pública, sino que también genera condiciones de competencia desleal para las empresas que operan dentro del marco legal. Además, es necesario impulsar la tecnificación y la mejora de la calidad tanto en la industria como en el ordeño y la recolección de la materia prima. La falta de infraestructura adecuada, como sistemas de enfriamiento y almacenamiento, puede afectar la calidad de la leche y generar pérdidas para los productores. (Cil Ecuador, 2023.)

El uso de tecnología en la producción láctea en Ecuador ha crecido exponencialmente durante los últimos diez años; sin embargo, es un tema del cual los pequeños productores de leche aún desconocen y desconfían de sus verdaderos beneficios en las prácticas agrícolas (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2020.).

Es importante destacar que esta falta de adopción tecnológica hace que los procesos de lavado de los tanques y de enfriamiento de leche deban ser realizados de manera manual durante casi toda la cadena productiva, incrementando los riesgos de contaminación al no ser realizados de manera adecuada.

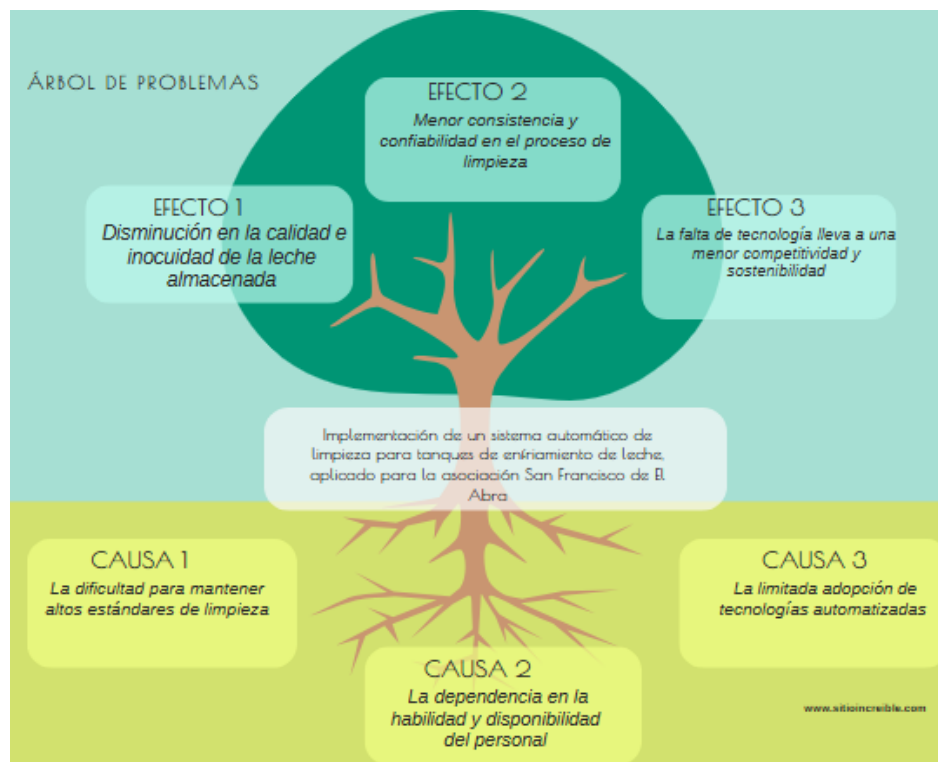
A pesar del alto nivel de penetración tecnológica el centro de acopio de la Asociación Agropecuaria "San Francisco del Abra" cuenta con una infraestructura integral que incluye un laboratorio y un tanque de frío con capacidad para almacenar hasta dos mil litros de leche, beneficiando a aproximadamente 30 familias de la comunidad.

A pesar el alto volumen de acopio en la actualidad el proceso de recogida y limpieza del tanque está a cargo de una sola persona el cual lo realiza de manera manual cada dos días después de haber transportado el producto; para lo cual, cuenta con implementos de bioseguridad, como guantes, mascarilla, overol, lentes y gorro.

Para el lavado de los tanques, el encargado desarrolla las siguientes actividades: 1) Calentar el agua hasta que la misma alcance una temperatura adecuada para el enjuague inicial, 2) Aplicación de un detergente especializado; y, 3) Enjuague final para eliminar los residuos de jabón, lo que en su conjunto demanda un alto nivel de precisión y estricto cumplimiento de protocolos de salubridad que eviten la proliferación de bacterias que ponen en riesgo la seguridad del producto.

Figura 1

Árbol de problemas



Nota. En la Figura 1 se presentan los problemas y sus efectos: Autoría

La figura 1 describe el "Árbol de Problemas" que se enfoca en evidenciar los obstáculos asociados con la limpieza manual de los tanques de enfriamiento de leche, las causas principales que incluyen la dificultad para mantener altos estándares de limpieza, la dependencia de la habilidad y disponibilidad del personal, y la limitada adopción de tecnologías automatizadas.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Desarrollar un sistema de control y monitoreo remoto para optimizar el proceso de lavado de tanque frío de leche en la Asociación San Francisco del Abra, asegurando eficiencia, higiene y cumplimiento de estándares de calidad mediante el uso de tecnologías de comunicación remota.

1.3.2. Objetivos específicos

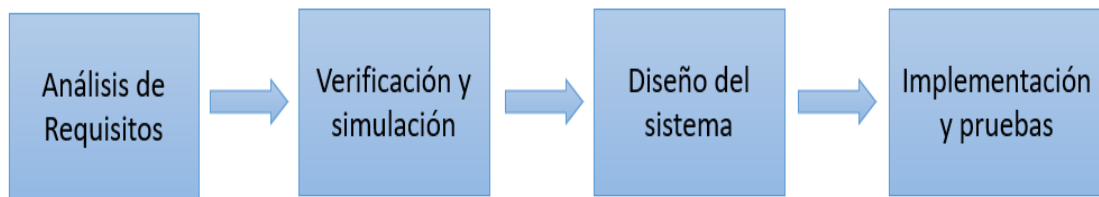
- Recopilar información bibliográfica relevante para consolidar la base teórica y sustentar el desarrollo del proyecto.
- Definir los requerimientos de diseño del sistema de control y monitoreo remoto para el lavado de tanque frío de leche, mediante una revisión de los procesos tradicionales empleados en la Asociación.
- Desarrollo de un sistema de control remoto para gestionar el encendido y la secuencia automática de los procesos de lavado, asegurando su monitoreo en tiempo real y cumpliendo con los requerimientos establecidos.
- Realizar pruebas del sistema de lavado desarrollado utilizando datos reales para evaluar tiempos y calidad en comparación con métodos tradicionales.

1.4. Alcance

El diseño e implementación de un sistema de lavado del tanque frío representa un avance significativo en la optimización de los procesos agrícolas en la Asociación Agropecuaria de San Francisco del Abra. Con el objetivo de reducir el tiempo y mejorar la eficiencia en el lavado e higiene. Esta innovación tecnológica no solo beneficiará a la asociación al agilizar el proceso de lavado, sino que también contribuirá a la reducción de costos al disminuir la dependencia de la mano de obra humana.

Para el desarrollo del proyecto, se aplicará la metodología en cascada, la cual, como se muestra en la Figura 2, se basa en un modelo lineal y secuencial. Este enfoque organiza el proceso en diferentes fases claramente definidas, permitiendo un avance estructurado y lógico en cada etapa del proyecto (Aguirre Barrera et al., 2021). A continuación, se detallan las fases que conforman esta metodología.

Figura 2 Metodología



Nota. Modelo en cascada Fuente: Autoría

En la fase inicial, se llevará a cabo un análisis exhaustivo de los requisitos generales del prototipo y su sistema de clasificación, el cual incluirá una revisión meticulosa de referencias bibliográficas actualizadas y confiables con el objetivo de establecer un criterio técnico sólido que guíe el desarrollo de cada etapa del proyecto (Lucidchart, 2020) y permita una estructuración adecuada del diseño del prototipo.

En la fase de ciclo de verificación y simulación, en relación con lo obtenido en la fase anterior, se establecen los requerimientos del sistema de control y monitoreo remoto (Quintero, 2021) para el lavado de tanque frío de leche en la Asociación San Francisco del Abra. Este sistema permitirá optimizar los procesos tradicionales de limpieza mediante una solución automatizada que garantice eficiencia y calidad en el procedimiento. Los requerimientos seleccionados estarán fundamentados en una base teórica que respalde el rendimiento y la mejora de los estándares higiénicos del sector lácteo.

En la fase de integración de bloques, se desarrolla el diseño del sistema de control y monitoreo remoto para el lavado de tanque frío de leche, utilizando herramientas de software

libre y tecnologías de comunicación remota que permitan la recolección y análisis de datos en tiempo real, así como el diseño de una interfaz gráfica de usuario (GUI) (Pacienza, 2015) interactiva para gestionar y supervisar los procesos de limpieza; además, se implementarán aplicaciones que faciliten la evaluación del desempeño del sistema, optimizando los estándares de calidad e higiene.

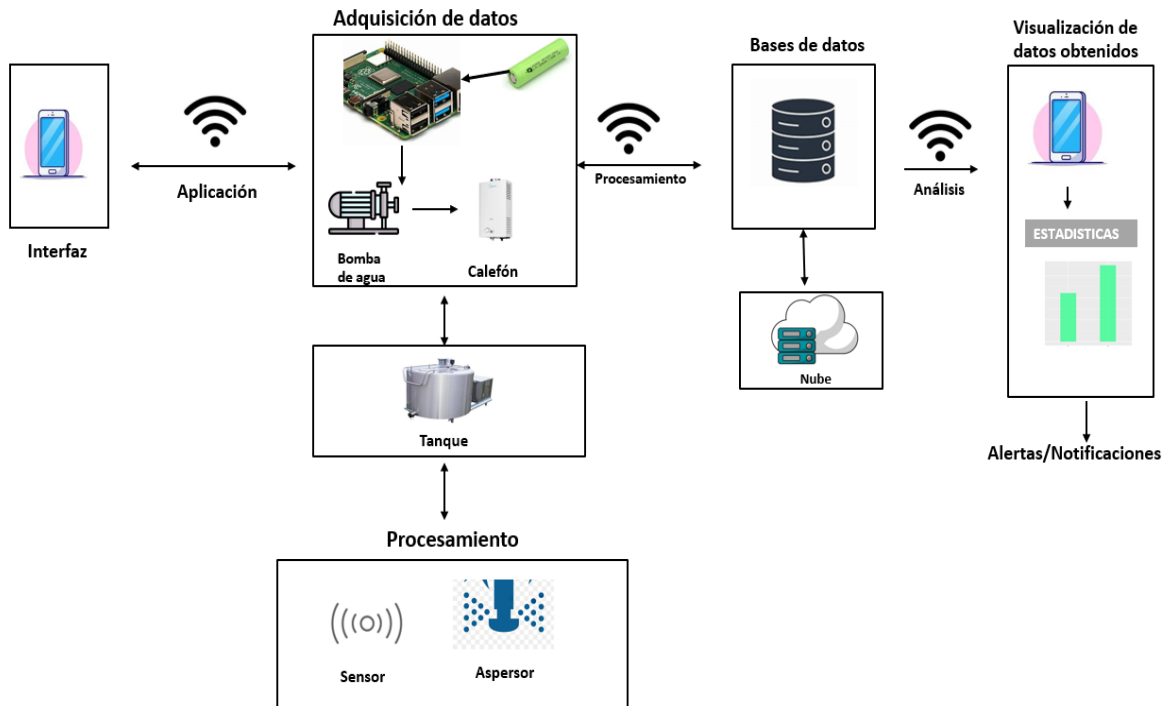
Al momento de realizar la programación, se estructura el sistema en base a la secuencia de cada proceso, asegurando que los elementos y equipos involucrados actúen de forma sincronizada desde el inicio hasta la finalización del ciclo con el objetivo de garantizar un funcionamiento consistente del sistema, optimizando el rendimiento y asegurando un control estricto en cada etapa del proceso de limpieza.

Finalmente, se llevará a cabo la implementación y las pruebas correspondientes para evaluar el funcionamiento del sistema automático de limpieza en comparación con métodos manuales tradicionales. Se medirán tiempos de limpieza y efectividad en la remoción de residuos. Los datos obtenidos de los sensores serán analizados para verificar que se alcanzan los estándares de higiene y se implementará un plan de mantenimiento para asegurar la operatividad y durabilidad del sistema en el tiempo.

En la figura 3 se presenta la arquitectura del sistema, que incluye una interfaz de usuario diseñada para iniciar la captura de información sobre el estado del tanque, controlada por un microcontrolador. A través de este sistema, el lavado del tanque se realiza de forma automática, permitiendo además verificar los pasos ejecutados y las estadísticas generales mediante una aplicación móvil. Esto facilita la presentación de los resultados al usuario, optimizando la gestión del proceso de manera eficiente.

Figura 3

Arquitectura



Nota: El centro de acopio cuenta con un generador industrial que garantiza un suministro continuo de energía para mantener la leche a una temperatura adecuada y asegurar la operatividad constante del sistema de enfriamiento, control y monitoreo

1.5. Justificación

El control y monitoreo remoto del lavado de tanque frío de leche responde a la necesidad de modernizar y optimizar los procesos agrícolas, en línea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 9, que promueve la industria, la innovación y la infraestructura sostenible (*ODS 9 Industria, Innovación e Infraestructura | Pacto Mundial ONU · Pacto Mundial, n.d.*). Este proyecto busca no solo mejorar la eficiencia operativa y reducir costos mediante la automatización, sino también fomentar la innovación tecnológica en el sector agrícola. Al adoptar tecnologías avanzadas como la visión por computadora y el aprendizaje automático, se contribuye a la construcción de infraestructuras resilientes y al desarrollo de una industria más inclusiva y sostenible. Esta modernización es crucial para aumentar la competitividad, garantizar una mayor calidad del producto y promover prácticas agrícolas más eficientes y sostenibles, alineándose así con las metas del ODS 9.

De acuerdo con el Plan de creación de Oportunidades ejecutada por la Secretaria Nacional de Planificación correspondiente al período 2021 – 2025; el sector agrícola rural en la cual no se ha tenido una normativa legal que regule sobre temas de inclusión, producción y comercialización de productos agrícolas, por lo consiguiente este proyecto pertenece al eje 1, Económico y Generación de Empleo, el objetivo el cual determina que: "Fomentar la productividad y competitividad en los sectores agrícola, industrial, acuícola y pesquero, bajo el enfoque de la economía circular", también con el eje 2, Social, el objetivo donde menciona que: "Generar nuevas oportunidades y bienestar para las zonas rurales, con énfasis en pueblos y nacionalidades"(Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025 – Secretaría Nacional de Planificación, n.d.) . Con la mención expuesta es por lo cual el presente proyecto pretende aportar a la integración de equipos tecnológicos en temas de producción agrícola con lo que permitirá al pequeño productor optimizar el tiempo empleado en la comercialización de la producción.

Esta evolución tecnológica ha permitido que el uso del Internet de las cosas (IoT) en la producción agrícola y ganadera presente claras ventajas, como el aumento de la productividad y la reducción de costos mediante la integración de dispositivos conectados, orientados a objetivos comunes, como el monitoreo automático de la leche para garantizar su calidad e higiene; sin embargo, en el Ecuador la mayoría de las actividades relacionadas con la agricultura y la producción láctea aún se realizan manualmente, lo que limita la eficiencia y optimización de recursos.

Según (Guangyu, 2013)La implementación de tecnologías de automatización en el sector agrícola productivo de Ecuador, especialmente en el sector lácteo, enfrenta obstáculos debido al desconocimiento de las nuevas tendencias agronómicas y tecnológicas lo que trae consigo una producción menos rentable y expone los productos a riesgos de calidad; para lo cual, es necesario, impulsar la automatización en el sector agrícola y lácteo ecuatoriano para mejorar

la eficiencia, reducir los riesgos y aprovechar al máximo los recursos disponibles (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca, 2018).

Según (Quiñonez Muñoz, 2019), el Internet de las cosas (IoT) es una red inteligente de objetos capaces de acceder a información, capturar, almacenar y procesar datos para interactuar tanto con personas como con otros sistemas, creando entornos inteligentes. En este sentido, (Salazar, 2016.) señalan que el IoT también puede funcionar como una plataforma donde múltiples dispositivos se comunican electrónicamente y comparten información de forma continua. Este concepto abarca objetos cotidianos equipados con sensores, circuitos integrados y conectividad, lo cual les permite recolectar e intercambiar datos entre sí. Estos dispositivos, conocidos como “dispositivos inteligentes”, son capaces de realizar tareas de monitoreo, control, optimización y automatización de manera autónoma, contribuyendo así a la eficiencia de diferentes procesos.

En la actualidad en áreas de agricultura no se ha tenido un desarrollo importante en cuanto a tecnología ya que este campo presenta diferentes tipos de ambientes en los que el agricultor trabaja, con la inclusión de tecnología en el agro no solo se tendría buenos resultados en los productos, sino que también se optimizaría el tiempo empleado en su producción y comercialización (Lenco et al., 2017).

CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En el presente capítulo se analizarán los fundamentos y tecnologías asociadas al diseño e implementación de un sistema automatizado de limpieza para tanques fríos de leche, enfocado en la Asociación Agropecuaria "San Francisco del Abra", el cual tiene como objetivo principal optimizar los procesos de limpieza mediante la integración de herramientas avanzadas como sensores IoT, microcontroladores y protocolos de comunicación; para lo cual, se abordarán aspectos clave como las normativas de higiene y calidad aplicables, la importancia del monitoreo remoto en la industria láctea y los beneficios que la automatización puede aportar en términos de eficiencia, reducción de costos operativos y cumplimiento de estándares sanitarios.

Además, se explorarán tecnologías de interfaz gráfica de usuario (GUI) para el monitoreo y control del sistema, y se analizarán bases de datos que permitan almacenar y procesar la información generada por los sensores en tiempo real con el propósito de garantizar la seguridad alimentaria, la trazabilidad y la sostenibilidad de los procesos que contribuyan al fortalecimiento de la industria láctea en zonas rurales.

1.1 Industria alimentaria

La industria alimentaria es uno de los sectores más relevantes para la economía mundial (Deborah, 2018), dado que garantiza la transformación, conservación y distribución de alimentos de manera eficiente y segura. Su importancia radica en el impacto directo que tiene en la seguridad alimentaria, el empleo y el desarrollo económico de las comunidades. Dentro de este sector, el ámbito lácteo juega un papel crucial debido a la demanda constante de productos derivados como leche, quesos y yogures, los cuales son esenciales en la dieta diaria de las personas.

En Ecuador, la industria alimentaria ha experimentado avances significativos en las últimas décadas; sin embargo, en zonas rurales y comunidades como San Francisco del Abra, los procesos de industrialización y tecnificación de la producción aún enfrentan desafíos como la falta de acceso a tecnologías avanzadas y el manejo manual de ciertos procesos limitan la eficiencia y calidad de los productos.

Es importante considerar que la comunidad de San Francisco del Abra depende en gran medida de la producción láctea como fuente principal de ingresos para las familias; para lo cual, el centro de acopio cuenta con una infraestructura básica que incluye tanques fríos para el almacenamiento de leche, un laboratorio y un generador industrial para garantizar la conservación del producto; sin embargo.

A pesar de estas limitaciones, la comunidad busca impulsar la industrialización de sus productos lácteos mediante la implementación de sistemas automatizados que mejoren la eficiencia y calidad del producto final con el objetivo de fortalecer la competitividad de los pequeños productores y de:

- **Mejorar la calidad del producto:** La adopción de procesos automatizados garantiza el cumplimiento de normas sanitarias y aumenta la durabilidad de los productos.
- **Reducción de costos y tiempos de producción:** La adopción de tecnologías modernas permite optimizar el uso de los recursos, lo que se traduce en procesos más eficientes y en la posibilidad de que los productores se enfoquen en la diversificación de su oferta.
- **Generación de empleo y desarrollo económico:** La implementación de tecnología impulsa la creación de nuevas fuentes de trabajo, especialmente en áreas técnicas y administrativas, contribuyendo así al crecimiento económico local.

- **Incremento de la competitividad:** Al garantizar productos de calidad, la comunidad fortalece su posición en el mercado, lo que facilita el acceso a nuevos segmentos y permite competir en mejores condiciones con grandes empresas del sector lácteo.

1.2 Automatización y monitoreo

La automatización industrial se refiere a la aplicación de tecnología para controlar y supervisar procesos industriales sin la intervención humana directa. Estos procesos pueden abarcar desde líneas de producción en fábricas hasta sistemas de distribución y logística. La automatización tiene como objetivo mejorar la productividad, eficiencia y calidad. Todo ellos a través de reducir costes y minimizando el riesgo de accidentes laborales.

Figura 4

Automatización y monitoreo



Nota: Interfaz de control IoT para la automatización del hogar, permitiendo la gestión remota de dispositivos inteligentes a través de una aplicación móvil.

1.2.1 Concepto de automatización industrial.

La automatización industrial se define como la aplicación de tecnologías avanzadas, como sistemas de control, sensores, actuadores y software, para gestionar y operar procesos industriales de forma eficiente y con mínima intervención humana enfocadas a optimizar tareas repetitivas y críticas, mejorando la calidad del producto, reduciendo los costos operativos y aumentando la seguridad en las operaciones.

Según (Deborah, 2018), la industria alimentaria, y particularmente en el sector lácteo, la automatización desempeña un papel fundamental debido a la necesidad de cumplir con estrictos estándares de higiene y seguridad alimentaria que al automatizar procesos como la pasteurización, el envasado o la limpieza de tanques, se logra una producción más uniforme, segura y eficiente.

1.2.2 Historia y evolución de la automatización en la industria alimentaria.

La automatización en la industria alimentaria comenzó a principios del siglo XX, con la mecanización de tareas simples como el transporte de materiales y la manipulación de productos (Montcada, 2023). Con el tiempo, se incorporaron sistemas automáticos para controlar variables críticas como la temperatura, la humedad y la presión durante el procesamiento de alimentos.

En las décadas de 1970 y 1980, la introducción de los controladores lógicos programables (PLC) marcó un hito en la automatización, permitiendo el control centralizado de sistemas complejos, los cuáles posteriormente estuvieron en la capacidad de integrarse con sensores más sofisticados, sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) y herramientas de análisis de datos.

Los grandes avances tecnológicos, permiten que en la actualidad la automatización en la industria alimentaria se complementa con inteligencia artificial (IA), aprendizaje automático (machine learning) e Internet de las Cosas (IoT), que permiten una producción más inteligente y conectada.

1.2.3 Aplicaciones de la automatización en procesos lácteos.

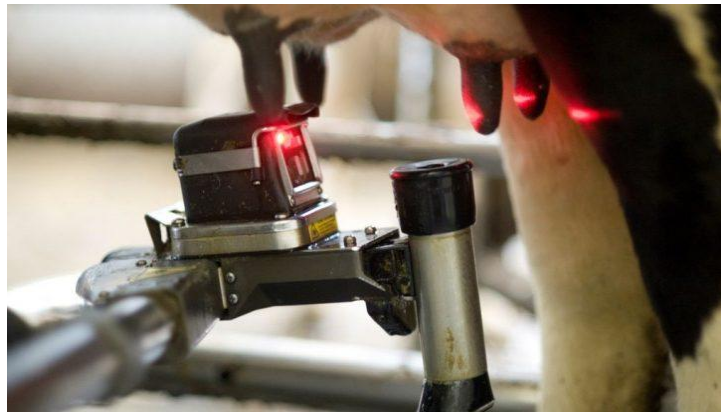
El sector lácteo, por su naturaleza sensible y la necesidad de mantener altos estándares de calidad e inocuidad, se ha beneficiado enormemente de la automatización. Algunas de las aplicaciones más destacadas incluyen:

1.2.3.1 Sistemas de Ordeño Robotizado

Los robots de ordeño permiten realizar el proceso de ordeño de manera automática, reduciendo el estrés en los animales y garantizando una recolección uniforme de la leche. Además, estos sistemas analizan la calidad de la leche en tiempo real, identificando posibles contaminantes o desviaciones en la composición.(Mejía et al., 2010)

Figura 5

Sistemas de Ordeño Robotizado



Nota: Sistema automatizado de ordeño con sensores láser que optimizan la recolección de leche y garantizan la higiene. Fuente: Agrocolun(Muñoz, 2022)

1.2.3.2 Procesamiento Automatizado

Procesos como la pasteurización, homogeneización y fermentación se realizan mediante sistemas automatizados que controlan variables como temperatura, presión y tiempo. Esto asegura productos consistentes y de alta calidad.

Figura 6

Procesamiento automatizado



Nota: Sistema de automatización en la industria alimentaria con robots colaborativos que optimizan el procesamiento y envasado, garantizando higiene y eficiencia. Fuente: Universal Robots (Peynet, 2020)

1.2.3.3 Limpieza en Sitio (CIP - Cleaning in Place)

Los sistemas CIP automatizan la limpieza de tanques, tuberías y otros equipos sin necesidad de desmontarlos(Anrango, 2018). Utilizan sensores para monitorear el flujo, la temperatura y la conductividad, asegurando una limpieza eficiente y cumpliendo con las normas sanitarias.

Figura 7

Limpieza de tanque



Nota: Supervisión y mantenimiento de tanques en una planta de procesamiento lácteo para garantizar higiene y calidad. Fuente: LD Facility (LD, 2020)

1.2.3.4 Control de Almacenamiento

Los tanques fríos automatizados mantienen la leche a temperaturas óptimas para evitar el crecimiento bacteriano. Además, sistemas de agitación automática y monitoreo remoto aseguran la homogeneidad del producto y su calidad.

1.2.3.5 Ejemplos

Los tanques fríos son un componente esencial en la cadena de producción láctea, ya que garantizan la conservación de la leche cruda antes de su procesamiento. Algunos ejemplos de automatización en estos sistemas incluyen:

1.2.3.5.1 Control de Temperatura

El control de temperatura en sistemas automatizados es esencial para garantizar la calidad y seguridad de productos perecederos como la leche. Estos sistemas emplean sensores avanzados para monitorear las condiciones internas del tanque en tiempo real y utilizan controladores programables que regulan el enfriamiento de manera precisa. Al mantener un ambiente constante y adaptarse a las variaciones en la carga del producto (Flores, 2015), se previene el deterioro de la leche, asegurando su frescura y cumpliendo con los estándares sanitarios establecidos. Estos mecanismos no solo mejoran la eficiencia operativa, sino que también reducen el riesgo de pérdida del producto debido a fallos en el almacenamiento.

1.2.3.5.2 Agitación Automática

Previenen la separación de la crema y aseguran una composición uniforme de la leche.

1.2.3.5.3 Monitoreo de Nivel y Calidad

Sensores que detectan el nivel de llenado del tanque y analizan la calidad de la leche, proporcionando datos en tiempo real al operador.

1.2.3.5.4 Limpieza Automática (CIP)

Los sistemas CIP garantizan una limpieza completa y eficiente después de cada uso, minimizando el riesgo de contaminación y reduciendo la necesidad de intervención manual.

1.2.4 Importancia del monitoreo remoto

El monitoreo remoto es una herramienta clave para garantizar la calidad y seguridad en los procesos de limpieza. Este sistema permite supervisar y controlar variables críticas desde ubicaciones externas mediante el uso de sensores conectados a plataformas IoT. En el contexto del sector lácteo, esto incluye:

- **Temperatura:** Monitoreo constante para asegurar que se alcancen niveles óptimos durante la limpieza.
- **Conductividad:** Verificación de residuos de detergente o contaminantes.
- **Caudal:** Control del flujo de agua para evitar desperdicios.

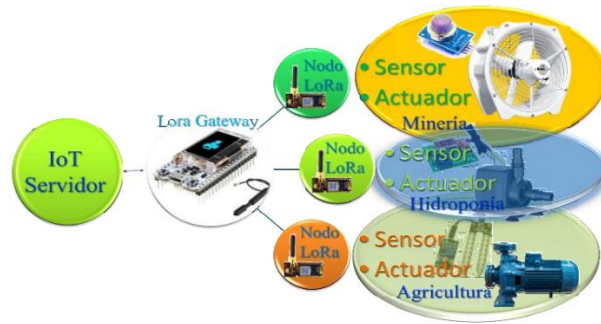
El monitoreo remoto asegura el cumplimiento de protocolos de limpieza, reduce los tiempos de inactividad y optimiza el uso de recursos, como agua y detergentes. Además, facilita la trazabilidad y genera reportes automáticos que pueden ser utilizados para auditorías o análisis de rendimiento.

1.3 Tecnologías IoT y sensores

Las tecnologías IoT han revolucionado la automatización y el monitoreo remoto en diversos sectores industriales al permitir la integración de sensores capaces de recopilar datos en tiempo real.

Figura 8

Conectividad inalámbrica IoT de dispositivos de sensores y actuadores



Nota: Esquema de IoT con tecnología LoRa para la comunicación y monitoreo en minería, hidroponía y agricultura. Fuente: ResearchGate

1.3.1 Introducción al Internet de las Cosas (IoT).

El Internet de las Cosas (IoT) se refiere a una red de objetos físicos equipados con componentes electrónicos que les permiten recopilar e intercambiar datos que, aunque comparte ciertas similitudes con la comunicación máquina a máquina (M2M), su principal diferencia se basa en la capacidad para integrar tecnologías generales de Internet y establecer conexiones más amplias entre sistemas y sensores.

En la última década, los avances en hardware, software y conectividad han impulsado significativamente la expansión del IoT (Vivas, 2022) lo que ha generado un alto incremento de la demanda por arquitecturas de sistema más eficientes, capaces de procesar y consolidar grandes volúmenes de datos generados por estos dispositivos.

A pesar de su rápido desarrollo, el IoT sigue siendo una tecnología emergente con un enorme potencial, aunque aún no ha alcanzado una adopción masiva a nivel global principalmente debido por sus altos costos de inversión inicial y la necesidad de personal calificado para su configuración y mantenimiento.

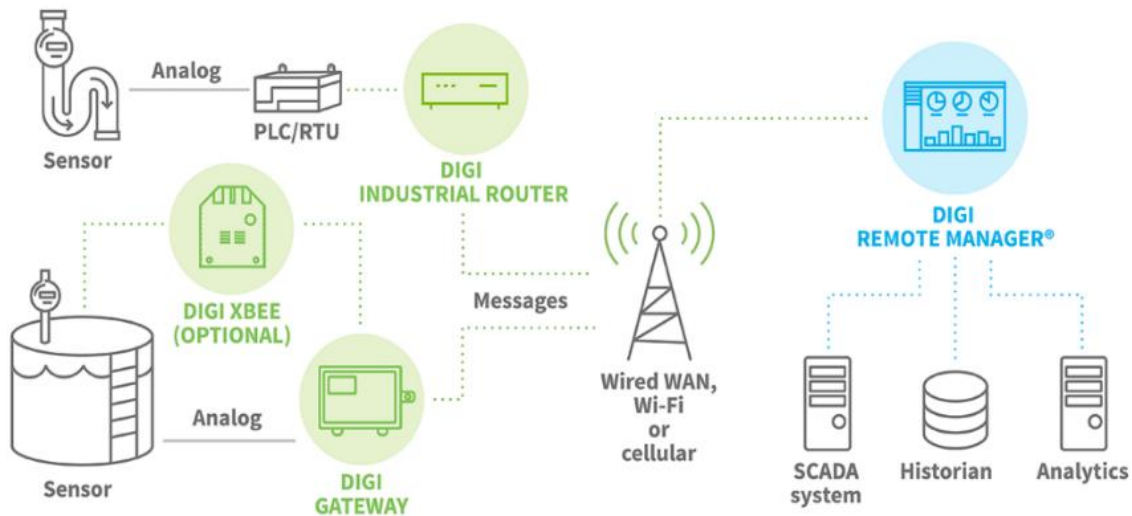
1.3.2 Funcionamiento de IoT en sistemas automatizados.

El Internet de las Cosas (IoT) se refiere a los sistemas automatizados que permiten la interconexión y comunicación de dispositivos para la supervisión y control remoto de procesos,

cuya aplicación para los procesos de limpieza de tanques fríos de leche permitirá el monitoreo de variables como temperatura, tiempo y calidad del enjuague, con el propósito de optimizar la eficiencia del proceso y asegurar el cumplimiento de estándares sanitarios.

Figura 9

Etapas de arquitectura IoT



Nota: La imagen representa un sistema IoT para monitoreo y control remoto de procesos industriales mediante sensores y redes de comunicación. Fuente: (Dusun, 2024)

1.3.2.1 Sensores y Actuadores

Los sensores son dispositivos diseñados para captar cambios en el entorno, tales como variaciones de temperatura, luz, movimiento o presión. Por otro lado, los actuadores son elementos que permiten generar modificaciones físicas en el ambiente, como abrir o cerrar una válvula o activar un motor. Estos componentes son fundamentales en el ámbito del Internet de las Cosas (IoT) (IBM, 2018), ya que posibilitan la interacción entre las máquinas y el mundo físico. La automatización se logra cuando sensores y actuadores trabajan en conjunto para resolver tareas sin necesidad de intervención humana.

1.3.2.2 Tecnologías de Conectividad

Para que los datos recopilados por sensores y actuadores puedan transmitirse a la nube, los dispositivos IoT requieren conectividad a Internet. Existen diversas tecnologías que permiten esta conexión, como Wi-Fi, Bluetooth, redes celulares, Zigbee y LoRaWAN(IBM, 2018). Cada una de estas opciones se elige según las necesidades específicas del sistema, como alcance, consumo de energía o capacidad de transmisión.

1.3.2.3 Computación en la Nube

La computación en la nube proporciona el espacio donde se almacenan, procesan y analizan los grandes volúmenes de datos generados por los dispositivos IoT(Azure, 2021). Las plataformas de nube ofrecen las herramientas e infraestructuras necesarias para gestionar estos datos, permitiendo también el desarrollo e implementación de aplicaciones relacionadas con IoT. Este ecosistema garantiza que los datos recopilados sean accesibles y utilizables en tiempo real.

1.3.2.4 Análisis de Datos

Para interpretar las extensas cantidades de información generada por los dispositivos IoT, se emplean herramientas de análisis avanzadas que facilitan la identificación de patrones y tendencias. Estas herramientas incluyen algoritmos de aprendizaje automático, técnicas de visualización de datos y modelos de análisis predictivo, los cuales permiten tomar decisiones informadas y optimizar procesos.

1.3.2.5 Tecnologías de Seguridad y Privacidad

Según(Azure, 2021) , el creciente uso de implementaciones IoT, la seguridad y privacidad de los datos se han convertido en aspectos prioritarios. Para proteger los dispositivos y la información generada, se aplican tecnologías como la encriptación, sistemas de control de

acceso y mecanismos de detección de intrusiones. Estas medidas buscan garantizar la integridad y confidencialidad de los datos frente a posibles amenazas cibernéticas.

1.3.3 Sensores aplicados a la limpieza automatizada:

Los sensores son dispositivos esenciales en los procesos de limpieza automatizada, ya que proporcionan datos precisos y en tiempo real que permiten supervisar y controlar diversas variables críticas. Estos sensores son fundamentales para garantizar que los procedimientos de limpieza cumplan con los estándares sanitarios establecidos, optimizando recursos y mejorando la eficiencia operativa. A continuación, se explican en detalle los tipos de sensores más utilizados en la limpieza automatizada:

1.3.3.1 Sensores de Temperatura

Los sensores de temperatura son fundamentales para garantizar que las soluciones limpiadoras, como agua o detergentes, alcancen y mantengan la temperatura adecuada para una limpieza efectiva. La temperatura juega un papel crucial en la eliminación de residuos y contaminantes, ya que muchos detergentes requieren una temperatura específica para activar sus propiedades químicas.

Ejemplo: Sensor DS18B20. Este sensor es ampliamente utilizado debido a su precisión y facilidad de integración con microcontroladores como Arduino o Raspberry Pi. Puede medir temperaturas en un rango amplio y transmitir datos en tiempo real.

1.3.3.2 Sensores Ópticos (IR y UV)

Estos sensores son utilizados para detectar suciedad o residuos en superficies mediante la emisión y reflexión de luz. Los sensores infrarrojos (IR) funcionan captando la intensidad de la luz reflejada, mientras que los sensores ultravioletas (UV) pueden identificar contaminantes invisibles a simple vista.

Ejemplo: Keyence UV-SS02. Este sensor es específico para aplicaciones industriales donde la detección de residuos o contaminantes es crítica. Es capaz de trabajar en entornos húmedos y con alta variabilidad de condiciones.

1.3.3.3 Sensores de Conductividad

Los sensores de conductividad miden la concentración de soluciones químicas, como detergentes o desinfectantes, durante el proceso de limpieza. Esto asegura que las concentraciones sean óptimas y que los residuos de detergente se eliminen adecuadamente durante el enjuague.

Ejemplo: Sensores de conductividad Honeywell. Estos dispositivos son robustos y precisos, ideales para entornos industriales. Ofrecen datos en tiempo real sobre la calidad de las soluciones químicas.

1.3.3.4 Sensores de Nivel

Los sensores de nivel se utilizan para monitorear los volúmenes de líquido en tanques y tuberías. Ayudan a evitar desbordes, insuficiencias o interrupciones en el suministro de soluciones limpiadoras.

Ejemplo: Sensor ultrasónico HC-SR04. Este sensor es económico y fácil de implementar, adecuado para medir niveles de líquidos en tanques pequeños y medianos.

1.3.4 Protocolos de comunicación IoT:

La comunicación entre dispositivos IoT se basa en protocolos específicos diseñados para garantizar una transmisión de datos eficiente y segura. Estos protocolos permiten la integración de sensores, actuadores y microcontroladores en redes complejas, facilitando el monitoreo y control remoto de sistemas automatizados.

1.3.4.1 MQTT.

El protocolo MQTT es un estándar de mensajería ampliamente utilizado en dispositivos IoT debido a su eficiencia en el uso de recursos y ancho de banda, lo que facilita la transmisión de datos provenientes de sensores inteligentes y dispositivos portátiles de manera sencilla y eficaz desde dispositivos a la nube y viceversa.

El modelo denominado publicador/suscriptor, permite que los dispositivos envíen mensajes a un "broker" que es el encargado de distribuir la información a los suscriptores interesados, eliminando la necesidad de conexiones directas y mejorando la escalabilidad de la red (AWS, 2024). Esta arquitectura lo convierte en una opción ideal para aplicaciones IoT que requieren un bajo consumo de recursos y una comunicación confiable.

- **Ventajas:**

- Baja latencia, ideal para sistemas que requieren datos en tiempo real.
- Consumo reducido de energía, lo que lo hace adecuado para dispositivos con batería limitada.
- Soporte para redes inestables, asegurando la entrega de mensajes.

- **Aplicaciones:**

- Monitoreo remoto de variables ambientales en sistemas de limpieza automatizada.
- Transmisión de datos desde sensores de temperatura y nivel hacia un sistema centralizado.

- **Limitaciones:**

- Menor soporte para datos complejos o aplicaciones web.

1.3.4.2 HTTP.

Se trata del protocolo más utilizado en la web, conocido por su arquitectura cliente/servidor, donde el cliente solicita información o acciones y el servidor responde, el cual

a pesar de ser ampliamente compatible con servidores e interfaces web, su uso en aplicaciones IoT es menos común debido a su alto consumo de energía y ancho de banda, especialmente cuando se compara con protocolos más ligeros como MQTT o CoAP; sin embargo, HTTP sigue siendo una opción válida para proyectos que requieren una comunicación directa y una alta interoperabilidad.

Para su funcionamiento, el protocolo HTTP opera en la capa de aplicación del modelo OSI (Parra, 2021) mediante protocolos de transporte y de red que le permiten transmitir datos de manera flexible y funcional que la convierten en una arquitectura pesada lo cual la convierte en una opción menos ideal para dispositivos IoT; no obstante, sigue siendo una herramienta esencial en la transferencia y el intercambio de datos.

- **Ventajas:**

- Ampliamente compatible con navegadores y servidores.
- Facilidad de implementación, especialmente en proyectos con integración web.
- Soporte para datos estructurados, como JSON o XML.

- **Aplicaciones:**

- Integración de sistemas IoT con dashboards en navegadores.
- Enlace entre dispositivos IoT y plataformas en la nube para almacenamiento de datos.

- **Limitaciones:**

- Consumo de mayor ancho de banda y energía, lo que lo hace menos eficiente para dispositivos con recursos limitados.

1.3.4.3 Modbus/TCP.

Es un protocolo de comunicación ampliamente utilizado en entornos industriales debido a su versatilidad, confiabilidad y capacidad para la interconexión de sensores,

actuadores y sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), lo que facilita el monitoreo y control de procesos en tiempo real.

Una de sus principales fortalezas es la gestión flexible de conexiones ya que opera sobre TCP/IP lo que permite garantizar una alta compatibilidad con diversos dispositivos y plataformas, lo que lo convierte en una solución ideal para sistemas complejos que requieren comunicación estable y eficiente.

Modbus/TCP permite identificar cada conexión a nivel de protocolo y admite múltiples transacciones independientes dentro de una misma conexión; además, su capacidad para manejar numerosas conexiones simultáneas brinda al iniciador la opción de reutilizar conexiones persistentes o establecer nuevas según las necesidades del sistema, optimizando así los recursos de comunicación en aplicaciones industriales exigentes.

- **Ventajas:**

- Confiabilidad probada en aplicaciones industriales.
- Escalabilidad para redes con múltiples dispositivos.
- Soporte para la transmisión de datos críticos en tiempo real.

- **Aplicaciones:**

- Control y monitoreo de equipos en sistemas de limpieza automatizada.
- Supervisión de sensores de conductividad y actuadores de válvulas en plantas industriales.

- **Limitaciones:**

- Diseñado para redes cableadas; menos eficiente en aplicaciones IoT basadas en redes inalámbricas.

1.3.5 Microcontroladores y hardware

Los microcontroladores son el corazón de los sistemas IoT, ya que procesan los datos recopilados por los sensores y ejecutan comandos a los actuadores. Algunos de los microcontroladores y hardware más utilizados en limpieza automatizada incluyen:

1.3.5.1 Arduino

La placa Arduino combina un microcontrolador con un entorno de desarrollo integrado (IDE) que permite programarla de manera intuitiva. Su arquitectura incluye componentes clave como pines digitales y analógicos, un puerto USB para alimentación y comunicación, y un microcontrolador central, lo que la hace altamente versátil para integrar sensores, actuadores y otros dispositivos electrónicos.

Arduino ofrece la posibilidad de desarrollar proyectos multidisciplinarios mediante el uso de hardware y software libre, proporcionando a los usuarios la libertad de modificar, distribuir y adaptar sus diseños. Además, la plataforma admite múltiples modelos de placas, como Arduino Uno, Mega, y Leonardo (Carrillo, 2021), cada una diseñada para cumplir con necesidades específicas según el número de pines o capacidades de memoria y procesamiento.

Esta tecnología ha democratizado el acceso a la electrónica hasta llegar a convertirse en una herramienta esencial en la educación y la innovación tecnológica ya que ha permitido a estudiantes entusiastas y profesionales crear desde prototipos simples hasta soluciones industriales avanzadas que integran sensores de temperatura, motores y sistemas interactivos.

Figura 10

Arduino uno



Nota: La figura 10 muestra una placa Arduino, una de las plataformas de desarrollo más populares en el ámbito de la electrónica y la programación.

1.3.5.2 ESP32

El ESP32 es un microcontrolador avanzado que combina Wi-Fi y Bluetooth en un solo chip, diseñado con tecnología de ultra bajo consumo energético. Este dispositivo destaca por su alto rendimiento, robustez y versatilidad, características que lo convierten en una solución ideal para una amplia gama de aplicaciones en el ámbito del Internet de las Cosas (IoT) y sistemas embebidos. Gracias a su diseño eficiente, el ESP32 puede operar en entornos exigentes y escenarios variados, como el control remoto de dispositivos, la automatización del hogar, la monitorización en tiempo real y proyectos industriales.

La integración de Wi-Fi y Bluetooth permite una conectividad dual, facilitando la comunicación con otros dispositivos y plataformas. Esta característica lo hace especialmente útil en sistemas que requieren interacciones rápidas y fiables entre múltiples nodos (Toaza, 2021). En la figura se ilustra el ESP32, el cual ha ganado popularidad entre desarrolladores y entusiastas debido a su capacidad de soportar tareas complejas, mantener un consumo energético reducido y ofrecer un precio accesible. Este microcontrolador es ampliamente utilizado en prototipos, soluciones comerciales y proyectos educativos, destacándose como una herramienta clave para la innovación tecnológica

Figura 11*ESP32*

Nota: La figura 11 muestra un módulo ESP32, un microcontrolador de alta eficiencia diseñado para proyectos de IoT y automatización. Este dispositivo incluye conectividad Wi-Fi y Bluetooth, permitiendo la comunicación inalámbrica en tiempo real.

1.3.5.3 Raspberry Pi

La Raspberry Pi es una microcomputadora compacta, comparable en tamaño a una tarjeta de crédito o un documento personal. Esta placa base incluye componentes esenciales para su funcionamiento, como un procesador, un chip gráfico y memoria RAM, integrados en un diseño minimalista y eficiente. Fue lanzada en 2016 por la Fundación Raspberry Pi (Toaza, 2021), con el objetivo de democratizar el acceso a la informática y las tecnologías digitales, brindando una herramienta asequible y versátil para el aprendizaje, la experimentación y el desarrollo de proyectos tecnológicos.

En la figura 6 se presenta la Raspberry Pi 3B, una de las versiones más populares de esta familia de dispositivos, conocida por su capacidad para ejecutar múltiples aplicaciones, desde proyectos educativos hasta soluciones de IoT e industria ligera que ha permitido acercar la tecnología avanzada a estudiantes, desarrolladores y entusiastas de todo el mundo, promoviendo la innovación a bajo costo.

Figura 12*Raspberry Pi 3B*



Nota: La Figura 12 muestra una Raspberry Pi, un microordenador de placa única ampliamente utilizado en proyectos de IoT, automatización.

1.4 Fases del proceso de limpieza

La limpieza es un proceso fundamental en la industria alimentaria, especialmente en sistemas que manejan productos lácteos como tanques fríos. Este procedimiento asegura que los equipos estén libres de residuos físicos, químicos y biológicos, garantizando así la calidad y seguridad del producto final. La limpieza no solo ayuda a cumplir con normativas sanitarias estrictas, sino que también prolonga la vida útil de los equipos y optimiza los costos operativos. Las principales fases del proceso de limpieza son el preenjuague, el enjabonado y el enjuague final, cada una con un papel crítico en la eliminación de contaminantes.

1.4.1 Preenjuague

El preenjuague es la etapa inicial y fundamental en el proceso de limpieza, destinada a eliminar los residuos más grandes y visibles acumulados en las superficies del sistema antes de la aplicación de detergentes. Se lleva a cabo utilizando agua en circulación o a alta presión, asegurando que las partículas más evidentes sean removidas de manera efectiva.

Esta fase es crucial, ya que no solo elimina los residuos sólidos visibles como restos de leche u otros contaminantes, sino que también prepara las superficies para que los detergentes actúen de manera más eficiente (Anrango, 2018) al disminuir la carga orgánica inicial, se logra un proceso de limpieza más rápido y efectivo.

Consideraciones:

- La temperatura del agua debe mantenerse entre 35°C y 45°C para garantizar una limpieza efectiva sin provocar la coagulación de las proteínas. Si se utiliza agua más caliente, con temperaturas cercanas a los 55°C, es posible remover grasas de manera más eficiente, pero siempre evitando daños en las proteínas presentes.
- La uniformidad en la distribución del agua dentro del tanque es esencial para cubrir todas las superficies y evitar áreas sin limpiar.

1.4.2 Enjabonado

El enjabonado es una etapa crucial en el proceso de limpieza, ya que asegura la desinfección y remoción de microorganismos, así como la eliminación de residuos orgánicos, grasas, proteínas y depósitos minerales adheridos a las superficies internas del depósito.

El objetivo principal de esta fase es descomponer y eliminar residuos orgánicos, grasas y minerales acumulados en las superficies del equipo generando una barrera que evita la proliferación de microorganismos que puedan comprometer la seguridad del producto en futuros ciclos de producción.

Tipos de Detergentes:

- **Alcalinos:** Eficaces contra grasas y proteínas. Generalmente se utilizan detergentes con base de hidróxido de sodio.
- **Ácidos:** Ideales para remover incrustaciones de calcio y otros depósitos minerales.

Método:

- Se recircula la solución detergente a través del sistema, asegurando un contacto continuo con todas las superficies.
- La temperatura del detergente suele mantenerse entre 50°C y 60°C para maximizar su eficacia.

Consideraciones:

- La duración del enjabonado varía dependiendo de la cantidad y tipo de suciedad, pero generalmente oscila entre 10 y 15 minutos.
- Es esencial monitorear la concentración del detergente mediante sensores de conductividad.

1.4.3 Enjuague final

El enjuague final es la última y una de las etapas más importantes del proceso de limpieza, diseñada para eliminar cualquier residuo de detergente o contaminante químico que pueda haber quedado en el equipo tras las fases previas (Anrango, 2018); es decir, se asegura que el sistema esté completamente limpio y preparado para su próximo uso, minimizando los riesgos de contaminación cruzada y garantizando el cumplimiento de los estándares de calidad e higiene alimentaria exigidos por la industria.

El objetivo principal de esta fase es doble ya que no solo fortalece la seguridad alimentaria, sino que también optimiza la operación al garantizar un equipo libre de contaminantes; para lo cual.

- En primer lugar, busca remover por completo los restos de detergentes y agentes químicos utilizados durante el proceso de limpieza, protegiendo la calidad del producto que se procesará posteriormente.
- En segundo lugar, asegura que el equipo quede en condiciones óptimas para un nuevo ciclo de producción, sin comprometer los estándares sanitarios.

Beneficios

- Cumplimiento de Estándares Sanitarios: Elimina cualquier posibilidad de que residuos químicos afecten la inocuidad del producto final, asegurando que los equipos cumplan con normativas internacionales de seguridad alimentaria.

- **Protección de la Calidad del Producto:** Evita que los restos de detergente alteren el sabor, olor o calidad del producto almacenado en el siguiente ciclo de producción.
- **Prevención de Contaminación Cruzada:** Al eliminar completamente los residuos químicos y biológicos, esta etapa reduce significativamente el riesgo de contaminación entre ciclos de producción.

1.5 Importancia y beneficios del proceso de limpieza

La limpieza es una práctica fundamental en la industria alimentaria, especialmente en el sector lácteo, donde garantizar equipos higiénicos asegura la calidad del producto y cumple con normativas internacionales.

1.5.1 Importancia de la limpieza.

Dado que la leche es un alimento altamente perecedero y susceptible a la contaminación, cualquier fallo en los procesos de limpieza puede comprometer no solo el producto, sino también la salud del consumidor y la reputación del productor; razón por la cual, la limpieza en la industria láctea es un pilar fundamental para garantizar la calidad e inocuidad de los productos finales.

La contaminación cruzada ocurre cuando los residuos de un lote de producción afectan a los siguientes, esto sucede por la presencia de residuos de leche, grasa o bacterias en los equipos que no han sido correctamente limpiados; razón por la cual, una limpieza adecuada asegura que:

- Los restos de lotes anteriores se eliminen completamente.
- Se reduzcan los riesgos de proliferación de bacterias.
- Los equipos estén listos para un nuevo ciclo de producción.

1.5.2 Normas y estándares de higiene aplicables (ISO 22000, HACCP).

En la industria alimentaria, las normas y estándares de higiene son esenciales para garantizar la calidad, seguridad y confianza del producto final, para el caso específicos de la industria láctea, estas regulaciones son particularmente importantes debido a la alta susceptibilidad de la leche y sus derivados a la contaminación.

1.5.2.1 ISO 22000

La ISO 22000 es un estándar internacional que especifica los requisitos para un sistema de gestión de la seguridad alimentaria en toda la cadena de suministro (Patricia et al., 2013). Esta norma tiene como objetivo garantizar que los productos alimenticios sean seguros para el consumo humano.

Componentes principales de ISO 22000:

- **Gestión de riesgos:** La norma exige identificar y controlar los riesgos potenciales en todas las etapas del proceso, desde la producción hasta la distribución.
- **Trazabilidad:** Permite rastrear el origen de cada producto, facilitando la identificación de problemas y la retirada eficiente en caso de contaminación.
- **Mejora continua:** ISO 22000 promueve la revisión y mejora constante de los sistemas de inocuidad alimentaria para adaptarse a nuevas exigencias y tecnologías.

1.5.2.2 HACCP

El HACCP es un sistema preventivo que identifica, evalúa y controla los peligros que pueden afectar la seguridad de los alimentos (Patricia et al., 2013). Es ampliamente utilizado en la industria láctea para garantizar la calidad e inocuidad de los productos a lo largo de toda la cadena de producción.

Principios:

1. **Identificación de peligros:** Analiza los posibles riesgos químicos, biológicos y físicos que podrían comprometer la seguridad del producto.
2. **Determinación de puntos críticos de control (PCC):** Identifica los pasos clave en el proceso y donde se deben implementar controles para prevenir, eliminar o reducir los riesgos.
3. **Establecimiento de límites críticos:** Define los valores que deben cumplirse en cada PCC para garantizar la seguridad del producto.
4. **Monitoreo y verificación:** Asegura que los controles establecidos se implementen de manera efectiva y que los procesos se mantengan por debajo de los límites críticos.

Aplicación:

- **Identificación de riesgos:** Presencia de residuos lácteos, bacterias como Salmonella o Listeria, y contaminación química por detergentes.
- **Puntos críticos de control:** Temperatura adecuada del agua, concentración de detergentes y duración de cada etapa de limpieza.
- **Verificación:** Uso de sensores para monitorear los parámetros clave durante el proceso.

Comparación entre ISO 22000 y HACCP

Tabla 1

Comparación entre ISO 22000 y HACCP

Aspecto	ISO 22000	HACCP
Enfoque	Sistema integral de gestión.	Control preventivo de peligros.
Cobertura	Toda la cadena de suministro.	Proceso de producción específico.

Obligatoriedad	Depende del país y mercado.	Requisito obligatorio en muchos mercados internacionales.
-----------------------	-----------------------------	---

Nota: La Tabla 1 presenta una comparación entre las normativas ISO 22000 y HACCP, ambas esenciales para garantizar la inocuidad alimentaria. *Fuente.* Elaboración propia

1.5.2.3 Cumplimiento de normas sanitarias y de calidad.

Los sistemas automatizados garantizan el cumplimiento de normativas internacionales como ISO 22000 y HACCP, fundamentales para asegurar la inocuidad alimentaria mediante la integración de sensores avanzados que monitorean parámetros críticos en tiempo real, como temperatura, pH y concentración de detergentes, para validar que los procesos se ejecuten correctamente; adicionalmente, tienen la capacidad de registrar datos detallados de cada ciclo proporcionando trazabilidad completa para posteriores procesos de auditorías y certificaciones

Cumplir con estas normativas internacionales aseguran la calidad del producto final, refuerza la confianza del consumidor, protege la reputación del productor y le permiten ampliar sus oportunidades comerciales a través del acceso a mercados internacionales donde estas regulaciones son obligatorias.

Un factor importante que considerar es la trazabilidad implementada en los sistemas automatizados que no solo garantizan transparencia en la producción, sino que también facilita la identificación de fallos y la pronta resolución de problemas, asegurando un producto seguro y competitivo en el mercado.

1.5.2.4 Reglamento de control y regulación de cadena de producción de leche

Según (Ministerial et al., n.d.), la recolección de leche es una etapa crítica dentro de la cadena de producción láctea, ya que influye directamente en la calidad e inocuidad del producto final; razón por la cual, en este capítulo se describen las regulaciones y procedimientos que deben

cumplirse para asegurar que la leche cruda recolectada en las fincas llegue a los centros de acopio y plantas procesadoras en óptimas condiciones sanitarias y de calidad.

- **Artículo 12:** La leche cruda debe cumplir con determinados requisitos técnicos antes de ser recibida en los centros de acopio o plantas procesadoras. Para ello, se verifican aspectos como el contenido de grasa y proteína, el nivel de carga bacteriana y la ausencia de residuos químicos, con el fin de asegurar su calidad e inocuidad.
- **Artículo 13:** Se establece que la leche debe almacenarse a una temperatura controlada, específicamente a $4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, utilizando tanques de enfriamiento. Esta medida busca evitar la proliferación de microorganismos y preservar las condiciones óptimas del producto.
- **Artículo 14:** En el caso de fincas que no cuentan con sistemas de refrigeración, se exige el uso de recipientes de acero inoxidable y el traslado inmediato de la leche a los centros de acopio. Además, se prohíbe el uso de envases plásticos u otros materiales inadecuados, con el propósito de prevenir el deterioro del producto.

1.5.3 Problemas comunes en procesos manuales de limpieza.

La limpieza manual presenta diversas limitaciones y problemas que pueden comprometer la eficiencia del proceso, la calidad del producto y la seguridad del operador (Euston, 2023):

- **Mayor consumo de recursos:** Los métodos manuales consumen más agua, detergente y tiempo, aumentando los costos operativos y generando un impacto ambiental significativo.
- **Riesgos para el operador:** La exposición a químicos y movimientos repetitivos puede causar irritaciones, lesiones musculares y enfermedades respiratorias que al largo plazo afectan la productividad.

- **Acceso limitado a áreas complejas:** Los equipos con zonas de difícil acceso pueden quedar parcialmente sucios, incrementa el riesgo de contaminación cruzada.
- **Tiempos prolongados:** Los procesos manuales al ser lentos afectan la disponibilidad de los equipos y reducen la capacidad de producción.
- **Errores humanos:** La intervención manual puede dar lugar a fallas en el proceso de limpieza, provocando contaminación química o biológica y generando costos adicionales debido al rechazo de lotes de producción.

1.5.4 Impacto de la falta de higiene en la calidad de la leche.

La leche, siendo un producto altamente perecedero, es particularmente susceptible a la contaminación física, química y biológica(De Los et al., 2010), por lo que la falta de higiene en la industria láctea tiene efectos negativos significativos en la calidad y seguridad alimentaria.

Efectos Principales:

- **Proliferación de Microorganismos:** La presencia de residuos orgánicos en tanques y equipos no desinfectados fomenta el crecimiento de bacterias.
- **Alteraciones Organolépticas:** La contaminación puede cambiar el sabor, olor y textura de la leche, haciéndola inaceptable para su comercialización.
- **Pérdida de Lotes de Producción:** Los lotes contaminados son frecuentemente rechazados, generando pérdidas económicas significativas y afectando la reputación del productor.
- **Reducción de la Vida Útil:** La falta de higiene acelera el deterioro de la leche, reduciendo su tiempo de almacenamiento seguro y comercialización.

1.5.5 Beneficios de la automatización en el proceso de limpieza:

La automatización de los procesos de limpieza en la industria láctea ofrece ventajas significativas frente a los métodos manuales, resolviendo problemas de eficiencia, calidad y costos operativos.

1.5.5.1 Optimización del tiempo en el proceso de limpieza.

Los sistemas automatizados permiten realizar ciclos de limpieza más rápidos, minimizando los tiempos de inactividad de los equipos (CAC, 2018). Esto mejora la eficiencia general de la producción al asegurar que los equipos estén disponibles para nuevos ciclos en el menor tiempo posible.

Ventajas:

- Reducción significativa en el tiempo dedicado a cada etapa de limpieza (preenjuague, enjabonado y enjuague final).
- Mayor rapidez en la preparación de los tanques para su uso en ciclos consecutivos

1.5.5.2 Reducción de costos operativos y uso de recursos.

La automatización permite un control preciso de los recursos utilizados, como agua, detergentes y energía, lo que se traduce en una disminución de los costos operativos y en un menor impacto ambiental.

Beneficios:

- **Ahorro de agua:** Los sistemas automatizados controlan la cantidad exacta necesaria para cada etapa, evitando desperdicios.
- **Uso eficiente de detergentes:** Mediante sensores de conductividad, se optimiza la concentración de detergentes en cada ciclo.
- **Menor consumo de energía:** Al realizar ciclos de limpieza más rápidos y eficientes, se reduce el uso de electricidad.

1.5.5.3 Mejora en la eficiencia del proceso:

La automatización en los procesos de limpieza representa una mejora significativa al optimizar cada etapa, desde el preenjuague hasta el enjuague final con el objetivo de garantizar resultados uniformes, reducir los tiempos de operación y eliminar la variabilidad inherente a los métodos manuales; por lo tanto, una de las principales ventajas es la capacidad de limpiar de manera uniforme todas las áreas, incluidas aquellas de difícil acceso, minimizando el riesgo de residuos que podrían comprometer la higiene y calidad del equipo.

Además, los sistemas automatizados integran sensores y actuadores que permiten un control preciso de parámetros críticos como la temperatura, la presión y la concentración de detergentes, que aportan a incrementar la eficacia de cada etapa del proceso mediante el uso eficiente de todos los recursos.

1.5.5.4 Impacto en la productividad del centro de acopio.

La automatización del proceso de limpieza mejora significativamente la productividad al reducir los tiempos de inactividad de los equipos y liberar recursos para otras actividades productivas.

Puntos importantes:

- **Aumento de la capacidad operativa:** Con ciclos de limpieza más rápidos, los tanques están disponibles para uso continuo, maximizando la producción.
- **Reducción de tiempos:** Los procesos automatizados minimizan las interrupciones en las operaciones del centro de acopio.

1.5.5.5 Beneficios para la seguridad y salud del operador

La automatización reduce significativamente los riesgos laborales asociados con los métodos manuales de limpieza, mejorando las condiciones de trabajo.

- Reducción de la exposición a químicos: Los operadores no tienen contacto directo con detergentes o desinfectantes, disminuyendo riesgos de irritaciones o lesiones.
- Ergonomía mejorada: Los sistemas automatizados eliminan tareas repetitivas y físicamente demandantes, reduciendo la incidencia de lesiones musculoesqueléticas.

1.6 Programación y desarrollo tecnológico

Según(Bolívar et al., 2015), la programación y el desarrollo tecnológico son componentes esenciales para garantizar que un sistema automatizado funcione de manera eficiente, segura y confiable. En la industria láctea, estos sistemas integran sensores, actuadores, microcontroladores, interfaces gráficas de usuario y bases de datos para monitorear y optimizar los procesos de limpieza.

1.6.1 Diseño del sistema automatizado de limpieza.

El diseño de este tipo de sistemas como el denominado Clean In Place (CIP)(Anrango, 2018), es esencial para optimizar los procesos de saneamiento en la industria, garantizando eficiencia y calidad en la producción al permitir realizar limpiezas internas de equipos sin necesidad de desarmarlos, reduciendo tiempos de inactividad y minimizando la intervención humana.

1.6.2 Programación de microcontroladores

Se trata de un proceso fundamental en la automatización de sistemas de limpieza, ya que permite controlar y coordinar los diferentes componentes involucrados en el proceso:

- **Tanques de soluciones:** Almacenan detergentes y agentes desinfectantes necesarios para el proceso de limpieza.
- **Bombas y válvulas:** Controlan el flujo y la presión de las soluciones limpiadoras a través del sistema.

- **Sensores:** Monitorean parámetros críticos como temperatura, flujo y concentración química.
- **Unidad de Control (PLC):** Gestiona y automatiza las secuencias de limpieza, garantizando la correcta ejecución de cada etapa del proceso.

1.6.2.1 Lógica de programación y secuencialidad.

Según (Cuasqui, 2020), la lógica de programación se basa en la creación de algoritmos que definen el comportamiento del sistema, estableciendo una secuencia de operaciones que el microcontrolador debe ejecutar.

- **Secuencialidad:**

Establece el orden en que se ejecutan las tareas, garantizando que cada etapa del proceso de limpieza se realice en el momento adecuado.

- **Condicionales:**

Permiten que el sistema tome decisiones basadas en las lecturas de los sensores, adaptándose a diferentes situaciones.

- **Bucles:**

Facilitan la repetición de tareas hasta que se cumplan ciertas condiciones, asegurando la completa ejecución de cada etapa.

1.6.2.2 Lenguajes de programación: Arduino IDE.

El Arduino IDE (Integrated Development Environment) (Tapia, 2013), es un entorno de desarrollo integrado ampliamente utilizado para programar y controlar microcontroladores. Su popularidad radica en su simplicidad, versatilidad y el respaldo de una gran comunidad global de desarrolladores, lo que lo convierte en una herramienta ideal tanto para principiantes como para expertos en programación de sistemas embebidos.

Figura 13

Logo software Arduino



Nota: Fuente: <http://arduino.cc>

Características Principales:

- **Simplicidad de Uso:** El entorno de Arduino IDE está diseñado para ser intuitivo, con una interfaz gráfica amigable que permite a los usuarios escribir, compilar y cargar código en los microcontroladores con unos pocos clics.
- **Lenguaje Basado en C/C++:** Arduino IDE utiliza un lenguaje de programación basado en C/C++ que facilita la programación de sensores, actuadores y de otros componentes electrónicos.
- **Compatibilidad con Múltiples Placas:** El IDE admite una amplia gama de placas que permiten controlar microcontroladores de diferentes capacidades y especificaciones.
- **Bibliotecas Predefinidas:** El entorno de desarrollo (IDE) es compatible con una amplia variedad de placas, lo que facilita el control de microcontroladores con distintas capacidades y especificaciones técnicas.

1.6.3 Desarrollo de la interfaz gráfica de usuario (GUI):

La Interfaz Gráfica de Usuario (GUI)(Tapia, 2013) es una herramienta clave en los sistemas automatizados, ya que permite a los usuarios interactuar visualmente con el sistema, supervisar parámetros críticos y controlar procesos en tiempo real. Su desarrollo incluye el diseño de elementos visuales claros e intuitivos, así como la integración con hardware y

sistemas de comunicación para lograr un monitoreo y control eficiente, especialmente en aplicaciones industriales como la limpieza de tanques fríos.

1.6.3.1 Herramientas para diseño de interfaces.

El diseño de una GUI funcional requiere herramientas específicas que permitan crear entornos interactivos y visualmente claros. Estas herramientas varían en complejidad y capacidades, dependiendo de las necesidades del sistema.

- **Node-RED:**

Node-RED es una plataforma de desarrollo de código abierto diseñada específicamente para integrar hardware y aplicaciones IoT de manera eficiente. Su enfoque visual, basado en bloques predefinidos, permite a los desarrolladores crear flujos de trabajo e interfaces gráficas conectadas a sensores y actuadores sin necesidad de programación compleja. Esta herramienta es ideal para proyectos que requieren monitoreo remoto en tiempo real, ya que facilita la visualización de datos críticos, la gestión de alertas y el control de dispositivos de manera intuitiva y rápida.

- **MIT App Inventor:**

MIT App Inventor es una herramienta intuitiva diseñada para el desarrollo de aplicaciones móviles con interfaces gráficas funcionales (GUI). Permite a los usuarios, incluso sin conocimientos avanzados de programación, crear aplicaciones personalizadas para interactuar con dispositivos IoT. Su diseño visual y facilidad de uso la convierten en una opción ideal para proyectos que requieren monitoreo y control remoto desde dispositivos móviles.

- **PyQt:**

PyQt es una biblioteca basada en Python que permite desarrollar interfaces gráficas sofisticadas y altamente personalizables. Ofrece herramientas avanzadas para diseñar aplicaciones visualmente atractivas y funcionales, adaptándose a proyectos que requieren un

alto grado de personalización. Es especialmente útil en entornos donde se necesitan GUIs profesionales que gestionen múltiples parámetros y dispositivos de manera eficiente.

- **Blynk:**

Blynk es una plataforma diseñada específicamente para aplicaciones IoT que permite crear aplicaciones móviles de manera sencilla y eficiente. Su enfoque está en facilitar el monitoreo y control de sistemas remotos mediante widgets personalizables y una interfaz intuitiva. Es compatible con microcontroladores populares como ESP32 y Arduino, lo que la convierte en una herramienta ideal para gestionar dispositivos IoT desde cualquier lugar con acceso a internet.

1.6.3.2 Configuración de la interfaz gráfica de usuario (GUI) para el monitoreo remoto.

La Configuración de la Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) para monitoreo remoto es una etapa clave en los sistemas automatizados que permite supervisar y controlar los procesos desde cualquier ubicación con acceso a internet, lo que resulta especialmente útil en la industria alimenticia en la cual es crucial verificar el estado de los sistemas en tiempo real.

- **Conexión con Sensores y Actuadores:**

La GUI se configura para recibir datos de sensores que monitorean variables críticas como temperatura, presión y nivel de líquido. Los actuadores, como válvulas y bombas, pueden ser controlados remotamente desde la GUI.

- **Protocolos de Comunicación:**

Protocolos como MQTT, HTTP y Modbus/TCP son utilizados para establecer la comunicación entre los dispositivos y la GUI, asegurando una transmisión eficiente de datos.

- **Visualización de Datos:**

La GUI debe presentar información en gráficos, tablas e indicadores visuales que permitan una rápida interpretación de los parámetros del sistema.

- **Gestión de Alertas:**

Configuración de notificaciones automáticas para advertir al operador sobre fallos o anomalías detectadas por los sensores.

- **Acceso Seguro:**

Se implementan mecanismos de seguridad como autenticación de usuarios y encriptación de datos para proteger la información transmitida.

1.6.4 Bases de Datos

Las bases de datos desempeñan un papel crucial en los sistemas automatizados, ya que almacenan y gestionan los datos generados por sensores y dispositivos conectados, lo cuales son esenciales para el análisis, la trazabilidad y la optimización de los procesos.

- **Funciones**

- **Almacenamiento de Datos:** Registra información de las lecturas de temperatura, tiempos de ciclo y parámetros de limpieza.
- **Trazabilidad:** Permite rastrear cada ciclo de limpieza, mediante el acceso a información para auditorías y cumplimiento de normativas.
- **Análisis de Datos:** Facilita la identificación de patrones y tendencias que pueden mejorar la eficiencia operativa.
- **Integración con la GUI:** La base de datos se conecta con la GUI para mostrar información en tiempo real y generar informes automáticos.

- **Tipos de Bases de Datos**

- **Relacionales (SQL):** Eficaces para gestionar datos estructurados y realizar consultas complejas.
- **NoSQL:** Diseñadas para aplicaciones IoT que requieren actualización instantánea de datos.

CAPÍTULO III. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

En este capítulo se detalla el proceso de diseño e implementación del sistema automatizado de limpieza para tanques fríos de leche, que forma parte fundamental de la solución propuesta en esta investigación, la cual se basa en los principios teóricos y tecnológicos analizados en el capítulo anterior, orientados a optimizar el proceso de saneamiento del tanque; así también, se alinea con las normativas sanitarias vigentes en el país, como el Reglamento de Producción Primaria y Recolección de Leche Cruda, además de estándares internacionales como la ISO 22000 y HACCP.

Frente a este escenario, el diseño del sistema busca reemplazar el procedimiento manual mediante una arquitectura que integre sensores, microcontroladores, electroválvulas y elementos de comunicación que permitan ejecutar de manera automática y controlada las etapas de preenjuague, enjabonado y enjuague final con el objetivo de garantizar una limpieza más uniforme, eficiente y segura que optimicen tanto el tiempo como el uso de insumos.

Adicionalmente, se contempla el desarrollo de una GUI que permita supervisar en tiempo real el estado del sistema y de los principales parámetros de funcionamiento, como nivel de soluciones, estado de válvulas y duración de cada ciclo en tiempo real para la implementación de correctivos inmediatos en caso de fallas del sistema.

A lo largo del capítulo se explicará la selección del hardware y software, la lógica de programación implementada para la automatización del proceso, y la integración del sistema en el entorno físico real de la asociación. Con este desarrollo, se busca entregar una solución funcional, adaptable y sostenible, que contribuya a la mejora del control higiénico y operativo en el proceso de acopio de leche.

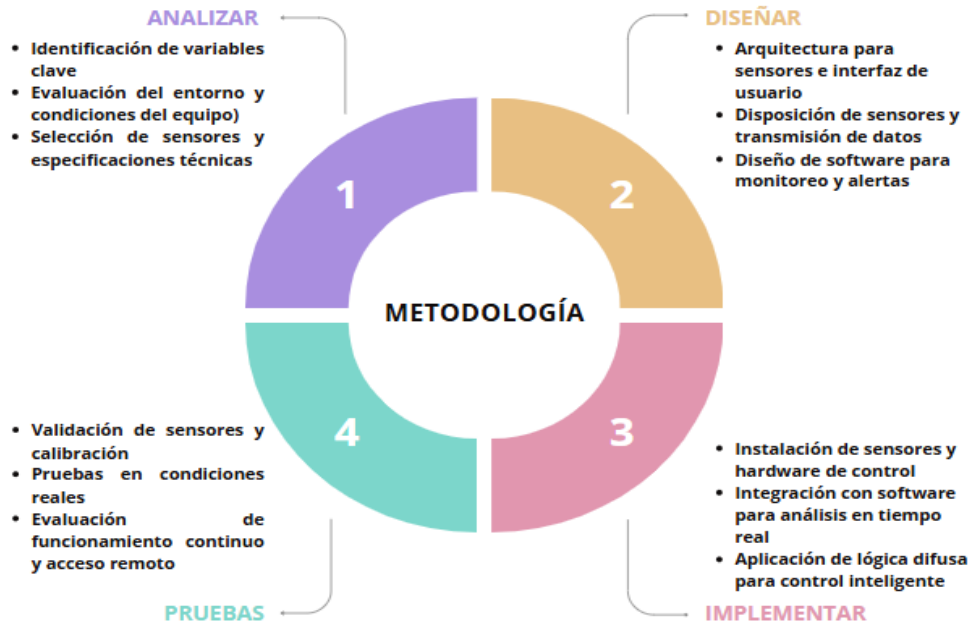
2.1 Metodología

Se siguió la metodología en cascada (también conocida como Waterfall) (Velázquez, 2015), un enfoque de desarrollo de proyectos que se caracteriza por su secuencia lineal y estructurada de fases. Cada etapa del proceso debe completarse de manera definitiva antes de pasar a la siguiente, lo que asegura que cada fase se realice con el nivel de detalle necesario antes de avanzar. Las fases típicas de este modelo incluyen el análisis de requisitos, el diseño, la implementación, la verificación y el mantenimiento. En este enfoque, los requisitos del proyecto se definen al inicio y se busca que el producto final cumpla con ellos sin necesidad de realizar modificaciones significativas durante el proceso y es ideal para proyectos donde los requerimientos son claros desde el principio y no se esperan cambios importantes durante el ciclo de desarrollo.

El modelo Waterfall (Velázquez, 2015) es particularmente útil cuando se requiere una gestión del proyecto clara y predecible, ya que el progreso sigue una ruta bien definida, lo que permite a los equipos gestionar cada fase de manera eficiente. Sin embargo, uno de los desafíos del modelo en cascada es su rigidez, ya que no es tan flexible para adaptarse a cambios inesperados que puedan surgir durante el desarrollo. En la Figura 15, se puede observar de forma detallada las fases de la metodología en cascada aplicadas en este trabajo, abarcando el análisis de requisitos, el diseño del sistema, la implementación de hardware y software, la verificación y pruebas. Cada una de estas etapas se describe con mayor detalle en las secciones posteriores, lo que permite entender cómo cada fase contribuye al desarrollo del sistema automatizado de limpieza.

Figura 14

Metodología de Cascada Adaptado de (Velázquez, 2015)



Nota: Esta imagen ilustra el ciclo metodológico utilizado para el diseño e implementación del sistema de monitoreo y control del lavado de tanques en la industria láctea, destacando las fases clave: análisis, diseño, implementación y pruebas. Fuente: Autor

Este ciclo de cuatro fases se adapta perfectamente a la implementación del sistema de limpieza automatizado para el tanque de enfriamiento de leche, garantizando una transición ordenada y eficiente en cada etapa, desde el análisis de requerimientos hasta las pruebas del sistema para asegurar su efectividad y cumplimiento con los estándares de higiene.

Análisis de Requisitos: Se identifican las variables clave que afectan al proceso de limpieza del tanque de leche, como la temperatura, el pH de la solución y la cantidad de residuos; para lo cual, se analizan las condiciones del entorno y se seleccionan los componentes más adecuados.

Diseñar: Se establece la manera en que se transmitirán los datos entre los sensores, el sistema de control y la interfaz, además se definirán los mecanismos para la generación de alertas sobre cualquier desviación en los parámetros del proceso.

Implementar: Se instala el hardware necesario que permita integrar los sensores y sistemas de control, se configura el software que permitirá analizar los datos y aplicar la lógica difusa para optimizar el proceso de limpieza en tiempo real.

Pruebas: Se evalúa el desempeño del sistema de limpieza y se ajustan los parámetros de los sensores y software para asegurar un funcionamiento continuo y la capacidad de operación remota del sistema.

2.2 Etapa de Análisis

En esta etapa, se realiza un análisis de la situación actual del proceso de limpieza de tanques de enfriamiento de leche en la Asociación Agropecuaria "San Francisco del Abra", identificando los desafíos y las condiciones que afectan la eficacia de la limpieza manual. Este análisis permite establecer los requerimientos del sistema automatizado de limpieza, delimitando el alcance del proyecto y sentando las bases para el diseño e implementación de una solución tecnológica que optimice los procesos y garantice la calidad e higiene de la leche.

2.2.1 Situación actual

Actualmente, el proceso de limpieza de los tanques fríos de leche en la Asociación Agropecuaria "San Francisco del Abra" enfrenta importantes limitaciones debido al manejo manual de las actividades que afectan negativamente la eficiencia y calidad del proceso productivo.

Durante la fase diagnóstica, uno de los principales problemas identificados es la falta de un sistema automatizado que controle y monitoree variables como la temperatura, el nivel de detergentes y el tiempo de cada ciclo, factores esenciales para asegurar una limpieza adecuada y cumplir con los estándares sanitarios.

El proyecto se implementará en el centro de acopio de la Asociación, como se observa en la Figura 16, donde una parte específica de las instalaciones ha sido destinada para la

implementación del sistema automatizado. Este entorno presenta desafíos operativos debido a las variaciones en los procesos manuales, lo que refuerza la necesidad de contar con una solución tecnológica que optimice la eficiencia del sistema de limpieza y garantice la seguridad alimentaria en tiempo real.

Uno de los problemas principales es la falta de un sistema automatizado que controle y monitoree variables como la temperatura, el nivel de detergentes y el tiempo de cada ciclo, factores esenciales para asegurar una limpieza adecuada y cumplir con los estándares sanitarios. El proyecto se implementará en el centro de acopio de la Asociación, como se observa en la Figura 15, donde una parte específica de las instalaciones ha sido destinada para la implementación del sistema automatizado. Este entorno presenta desafíos operativos debido a las variaciones en los procesos manuales, lo que refuerza la necesidad de contar con una solución tecnológica que optimice la eficiencia del sistema de limpieza y garantice la seguridad alimentaria en tiempo real.

Figura 15

Centro de acopio de Asociación San Francisco del Abra imagen adaptada de [GOOGLE EARTH]



Nota: Muestra la ubicación geográfica de la "Asociación San Francisco del Abra", que es el centro de acopio donde se lleva a cabo el proceso de recolección y procesamiento de leche en el contexto del proyecto de monitoreo y control automatizado del lavado de tanques fríos.

2.3 Etapa de Planificar

Como parte del proceso de análisis dentro de la metodología en cascada, se definen los requerimientos técnicos y operativos que guiarán el diseño e implementación del sistema automatizado de limpieza de tanques fríos de leche; para ello, se adopta un enfoque basado en normativas internacionales y mejores prácticas del sector lácteo, como las normas ISO 22000 y HACCP, que facilitan la organización y redacción estructurada de los requisitos del sistema de limpieza.

Con esta base, se procede a identificar las necesidades específicas del entorno de acopio de leche y de los operadores del sistema, lo que orienta la posterior selección de sensores de temperatura, sensores de conductividad y actuadores necesarios para automatizar el proceso de limpieza; además, se define la infraestructura de software que permitirá monitorear y controlar el sistema de forma remota, garantizando su operatividad y facilidad de uso.

La correcta ejecución de esta etapa de planificación permite asegurar una implementación exitosa del sistema automatizado que se enfoque en mejorar la eficiencia operativa y cumplir con los estándares de calidad e higiene requeridos en la industria láctea.

2.3.1 Determinación de Stakeholders

Para el diseño e implementación del sistema se identificaron los principales actores que tienen un papel directo o indirecto en el desarrollo del proyecto, entre los cuales se incluyen a los operadores de la Asociación Agropecuaria "San Francisco del Abra" quienes serán los usuarios finales del sistema, los especialistas técnicos responsables del desarrollo y

mantenimiento del sistema, así como los supervisores administrativos que velarán por la correcta ejecución del proceso.

La adecuada identificación de estos actores es esencial para garantizar una comunicación efectiva, entender sus expectativas, sus necesidades, y asegurar que el sistema cumpla con los objetivos planteados; a continuación, se presenta la tabla que detalla los stakeholders involucrados en este proyecto.

Tabla 2

Lista de Stakeholders

Nº	Rol	Nombres
1	Presidente	Sr. Asencio Farinango
2	Encargado	Sr. Néstor Túquerres
3	Tutor	Msc. Luis Suárez
4	Asesor	Msc. Edgar Jaramillo
5	Desarrollador	Sr. Javier Farinango

Nota: La tabla presenta la lista de stakeholders involucrados en el proyecto, incluyendo sus roles y nombres. Fuente: Autor

2.3.2 Nomenclatura de Requerimientos

Para asegurar la organización y trazabilidad de los requerimientos técnicos establecidos en el desarrollo del sistema automatizado de limpieza, se ha implementado una nomenclatura que clasifica los requerimientos según su origen y naturaleza. Esta codificación facilita la distinción entre los requerimientos planteados por los stakeholders, los requisitos específicos del sistema de limpieza automatizado, y aquellos vinculados con la arquitectura general del sistema. A continuación, se presenta la tabla 3, que detalla la nomenclatura utilizada para organizar y clasificar los requerimientos en este proyecto.

Tabla 3

Nomenclatura de Requerimientos

Nº	Abreviatura	Descripción
1	R_S	Requerimientos planteados por los stakeholders.
2	R_Sys	Requerimientos técnicos del sistema.
3	R_Arch	Requerimientos relacionados con la arquitectura general del sistema.

Nota: Nomenclatura de Requerimientos para ser utilizado. *Fuente:* Autoría

2.3.2.1 Priorización de los Requerimientos del Sistema

Una vez definidos los requerimientos del sistema, es fundamental asignar una prioridad a cada uno para garantizar que se aborden adecuadamente aquellos aspectos más críticos para el funcionamiento del sistema. La priorización permite optimizar los recursos y tiempos disponibles, tomando decisiones informadas durante el proceso de desarrollo. Este enfoque es especialmente útil en situaciones donde los recursos son limitados, ya que facilita centrar los esfuerzos en las tareas que impactan directamente en la operatividad del sistema. En la siguiente tabla se describe cómo se clasifican los requerimientos según su nivel de importancia (véase la Tabla 4).

Tabla 4

Priorización de los Requerimientos del Sistema

Nº	Prioridad	Descripción
1	Alta	Indispensable para el funcionamiento adecuado del sistema. Su ausencia impactaría directamente el rendimiento general del sistema.
2	Media	Puede posponerse en determinadas circunstancias. En caso de no implementarse, podría afectar de forma parcial la eficiencia del sistema, aunque no compromete su funcionamiento básico.
3	Baja	Su ausencia no compromete de manera significativa el funcionamiento del sistema, por lo que puede considerarse un componente opcional o implementarse en una etapa posterior.

Nota: La tabla muestra la priorización de los requerimientos del sistema, clasificándolos en alta, media y baja según su impacto en el funcionamiento general del sistema. Fuente: Autoría

2.3.2.2 *Requerimientos operacionales y de usuario*

Antes de proceder con el diseño y la implementación del sistema, se llevó a cabo una fase de identificación de los requerimientos necesarios para asegurar su funcionamiento adecuado, los cuales abarcan tanto las necesidades técnicas del sistema como las expectativas de los usuarios finales que se encargarán de operar el sistema.

La identificación de estos requerimientos se basó en un análisis detallado del entorno agrícola y las condiciones específicas de la asociación, cuyo detalle se encuentra descrito en la siguiente tabla 5 y 6 en el que se enlistan los requerimientos clave para el sistema, tanto operacionales como de usuario.

Tabla 5

Requerimientos Operacionales

Nº	Requerimiento	Descripción	Alta	Media	Baja
1	Control automático de temperatura	El sistema debe regular y mantener la temperatura óptima para el cultivo de papas en el invernadero.	x		
2	Monitoreo de humedad	El sistema debe medir y controlar la humedad del suelo de manera continua.	x		
3	Sistema de riego automatizado	Debe integrar un sistema de riego que responda a las condiciones de humedad del suelo.	x		
4	Conectividad a red de datos	El sistema debe permitir la conexión a Internet para monitoreo remoto.		x	

5	Almacenamiento de datos	Los datos de condiciones ambientales deben ser almacenados de forma segura y accesible.	x
6	Actualización de software	El sistema debe ser capaz de actualizarse automáticamente para mejorar su desempeño y seguridad.	x

Nota: Requerimientos fundamentales para su desarrollo e implementación Fuente: Autoría

Tabla 6

Requerimientos del Usuario

No	Requerimiento	Descripción	Alta	Media	Baja
1	Interfaz gráfica intuitiva	El sistema debe contar con una interfaz fácil de usar que permita monitorear y controlar los parámetros del invernadero.	x		
2	Alertas y notificaciones	Los usuarios deben recibir alertas en tiempo real sobre condiciones críticas del ambiente o fallas del sistema.	X		
3	Acceso remoto	El sistema debe permitir el monitoreo a distancia, idealmente desde dispositivos móviles.	X		
4	Personalización del sistema	Los usuarios deben poder configurar parámetros de acuerdo a las necesidades específicas de la finca.		X	
5	Soporte técnico y mantenimiento	Debe haber un sistema de soporte para los usuarios en caso de problemas con el sistema.		X	
6	Capacitación del usuario final	El sistema debe incluir material formativo para garantizar que los usuarios comprendan su funcionamiento y mantenimiento.			x

Nota: La tabla presenta los requerimientos del usuario, detallando las necesidades y expectativas específicas que deben cumplirse para garantizar una experiencia óptima con el sistema. *Fuente:* Autoría

2.3.3 *Requerimiento de Stakeholders*

El sistema propuesto debe alinearse con los requerimientos establecidos por las partes interesadas, considerando de forma prioritaria las necesidades de los usuarios finales. Estos requerimientos, detallados en la Tabla 7, abarcan aspectos operativos clave y expectativas funcionales, siendo elementos esenciales para la evaluación del dispositivo. Su cumplimiento permitirá determinar si la solución desarrollada responde de manera efectiva al problema identificado.

Tabla 7

Requerimiento de Stakeholders

StSR				
Requerimiento del Stakeholders				
#	Requerimiento	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
REQUERIMIENTOS DE FUNCIONAMIENTO				
StSR1	El sistema debe instalarse dentro de un entorno con condiciones sanitarias estrictas y exposición a humedad.	X		
StSR2	El sistema debe registrar y transmitir datos sobre temperatura, nivel y detergentes utilizados en cada etapa.	X		
StSR3	El sistema debe asegurar una conexión estable entre los nodos de limpieza y el servidor de monitoreo remoto.	X		
StSR4	El sistema debe utilizar tecnologías inalámbricas para la comunicación entre nodos y Gateway.	X		

StSR5	El sistema debe optimizar el consumo de energía durante los ciclos de limpieza automatizada	X
StSR6	El sistema debe generar alertas en caso de fallos en temperatura o nivel de detergente fuera de lo requerido.	X

REQUERIMIENTO DE USUARIO

StSR7	La interfaz debe mostrar los datos de limpieza (etapas, tiempo y temperatura) de forma clara y comprensible.	X
StSR8	El sistema debe ser sostenible en cuanto a mantenimiento y costos de operación.	X
StSR9	Los sensores y módulos electrónicos deben estar disponibles en el mercado local.	X
StSR10	Los equipos y módulos deben ser fácilmente integrables y transportables en caso de reubicación o mantenimiento.	X

Fuente: Autor

2.3.4 Requerimientos del sistema

Los requerimientos del sistema abarcan las funcionalidades y especificaciones técnicas necesarias para que el sistema funcione de manera eficiente en la Asociación San Francisco del Abra, los cuales incluyen aspectos relacionados con la interfaz del usuario, la facilidad de uso del sistema, su capacidad para operar de manera continua, la ubicación y disposición de los sensores y actuadores, así como las condiciones de seguridad para los operadores y el equipo.

En la Tabla 8 se describen los requerimientos operacionales y de usuario, los cuales son clave para asegurar una correcta implementación y un funcionamiento adecuado del sistema.

Tabla 8

Requerimientos del sistema

SySR		
Requerimientos del Sistema		
#	Requerimiento	Prioridad

		Alta
REQUERIMIENTO DE USO		
SySR1	El sistema debe permitir visualizar los datos de los parámetros de limpieza (temperatura, tiempo de lavado) en tiempo real.	X
SySR2	El sistema debe contar con comunicación remota entre los sensores, el controlador del sistema y el servidor de monitoreo.	X
SySR3	El sistema debe garantizar una fuente de energía continua y estable para su funcionamiento durante el proceso de limpieza	X
SySR4	La instalación y operación del sistema debe ser sencilla, con mínima intervención del operador y sin requerir conocimientos técnicos avanzados.	X
SySR5	El sistema debe ser compatible con diferentes dispositivos y plataformas para facilitar el monitoreo remoto (smartphones, computadoras, etc.).	X
SySR6	El sistema debe operar de forma continua durante el proceso de limpieza sin necesidad de intervención frecuente del usuario.	X
SySR7	Los sensores deben estar ubicados estratégicamente en el tanque de enfriamiento para obtener mediciones precisas de temperatura y nivel de líquidos.	X
SySR8	Los dispositivos y sensores deben estar protegidos contra la humedad y otros elementos que puedan afectar su funcionamiento en el ambiente del tanque.	X
SySR9	Los componentes eléctricos deben estar protegidos contra sobrecargas, cortocircuitos y otros fallos en el sistema eléctrico.	X
SySR10	El sistema debe contar con mecanismos de respaldo ante cortes de energía para garantizar la continuidad del proceso.	X
REQUERIMIENTO DE PERFORMANCE		
SySR11	El sistema debe permitir monitoreo remoto de los valores de limpieza, como temperatura y nivel de detergente.	X
SySR12	El sistema debe garantizar que los datos de los sensores se transmitan de forma continua y sin interrupciones.	X
SySR13	El sistema debe avisar al operador mediante una alerta visual o auditiva si el proceso de limpieza no cumple con los parámetros predefinidos.	X
SySR14	El sistema debe proporcionar informes sobre los ciclos de limpieza y su efectividad.	X

REQUERIMIENTOS DE INTERFACES

SySR15	El diseño del sistema debe permitir visualizar los datos recolectados en tiempo real desde una aplicación.	X
SySR16	El sistema debe garantizar la adecuada incorporación de cada sensor y módulos de transmisión.	X
SySR17	La comunicación inalámbrica debe cumplir con las regulaciones y frecuencias asignadas por las autoridades competentes.	X

REQUERIMIENTOS FÍSICOS

SySR18	El nodo sensor debe tener dimensiones adecuadas que faciliten su instalación y extracción dentro de las superficies internas del tanque de leche.	X
SySR19	Carcasa protectora que se adapta a cualquier ambiente dentro del tanque de leche para asegurar su operatividad.	X
SySR20	Los sensores y módulos deben estar ubicados estratégicamente dentro del tanque para mejorar la captura y transmisión de datos de limpieza.	X
SySR21	El sistema debe ejecutar pruebas de operatividad y depuración de errores previo a la implementación.	X
SySR22	El tanque y área de limpieza deben estar listos para la instalación del sistema, asegurando que no haya obstrucciones en el proceso.	X

REQUERIMIENTOS DE MODOS Y ESTADOS

SySR23	El nodo gateway debe alertar si no recibe datos del nodo sensor durante un tiempo configurable, indicando posible falla o pérdida de alimentación.	X
SySR24	El nodo sensor debe reiniciarse automáticamente cuando se restaure la fuente de alimentación.	X

Nota: La tabla muestra los requerimientos esenciales para el funcionamiento eficiente del sistema, cubriendo aspectos técnicos y operacionales clave para su implementación y éxito.

Fuente: Autoría

El sistema propuesto ha sido diseñado en función de las necesidades operativas reales de la Asociación Agropecuaria “San Francisco del Abra”, donde actualmente el proceso de limpieza del tanque frío se realiza de manera manual, con altos niveles de esfuerzo físico,

riesgos de exposición a sustancias químicas y consumo ineficiente de tiempo y recursos. Para dar respuesta a estas problemáticas, se establecieron una serie de requerimientos técnicos y funcionales, orientados a garantizar un proceso de limpieza automatizado, seguro, eficiente y conforme a los estándares de la industria láctea.

Uno de los principales requerimientos es la implementación de un sistema de lavado automático, el cual deberá estar compuesto por elementos eléctricos, electrónicos y mecánicos que permitan ejecutar de forma secuencial las etapas de preenjuague, enjabonado con detergente alcalino, enjuague intermedio, aplicación de solución ácida y enjuague final. Para cumplir con esto, se incorporan sensores de temperatura, electroválvulas, bombas de agua, microcontroladores y actuadores que controlan cada etapa del proceso según los parámetros definidos.

Dado que la limpieza requiere el uso de soluciones químicas, se considera un sistema de dosificación automática tanto de detergente alcalino como de solución ácida, asegurando que las concentraciones sean adecuadas y que el contacto humano con estos productos se minimice.

Para el calentamiento del agua (otro requerimiento clave) se contempla el uso de un calentador a gas (como caldero o marmita) que es controlado mediante sensores que permiten mantener la temperatura adecuada en cada etapa, especialmente en el enjabonado, donde la acción del detergente depende en gran medida del calor.

En cuanto a la calidad del lavado, el sistema debe ser capaz de realizar una limpieza integral del tanque, incluyendo la cobertura de superficies internas, válvulas, tuberías y otras zonas críticas, replicando los procesos de limpieza de sistemas industriales CIP (Clean-In-Place). Para facilitar el uso del sistema por parte del operador, se planteará un control automático mediante aplicación que permita gestionar el proceso de limpieza de manera remota

y segura. La aplicación incluirá indicadores visuales, botones de encendido/apagado, parada de emergencia y supervisión en tiempo real. En la Tabla 8 se pueden observar los requerimientos técnicos necesarios para garantizar el correcto funcionamiento del sistema, cubriendo tanto aspectos operacionales como de seguridad y control.

Tabla 9

Requerimientos Técnicos

Necesidad Identificada	Requerimiento Técnico
Automatizar el proceso de lavado	Implementación de elementos eléctricos, electrónicos y mecánicos integrados
Uso de detergentes químicos	Sistema de dosificación automática de soluciones alcalinas y ácidas
Agua a temperatura adecuada para limpieza	Calentador a gas (caldero o marmita) con control por sensores de temperatura
Eficiencia y calidad en la limpieza	Implementación de las cinco etapas de limpieza requeridas por normas de la industria
Seguridad y facilidad de uso para el operario	Instalación de un gabinete de control eléctrico y panel de supervisión
Supervisión y control remoto	Desarrollo de una interfaz gráfica (GUI) conectada a una base de datos IoT
Minimizar contacto humano con químicos	Automatización de válvulas, bombas y ciclos de limpieza mediante microcontrolador

Nota: La tabla presenta los requerimientos técnicos fundamentales para asegurar el correcto funcionamiento del sistema, detallando las especificaciones de hardware, software y conectividad necesarias. *Fuente:* Autor

2.3.5 Requerimientos de Arquitectura (SRSH)

Los requerimientos de arquitectura definen las condiciones técnicas necesarias para que el sistema automatizado de limpieza de tanques fríos de leche funcione de manera eficiente y coherente. Estos requisitos incluyen aspectos relacionados con el software, hardware,

componentes eléctricos y diseño, y guían la selección de dispositivos, herramientas de desarrollo e infraestructura para el sistema. La Tabla 9 y tabla 10 muestra los requerimientos establecidos para el sistema de monitoreo y control remoto del proceso de limpieza, asegurando que cada componente cumpla con los estándares operacionales y de seguridad necesarios para garantizar una limpieza efectiva y un manejo seguro del equipo.

Tabla 10

Requerimientos de Arquitectura (SySR)

SSH		
Requerimiento del Arquitectura		
#	Requerimiento	Prioridad
		Alta Media Baja
REQUERIMIENTOS LÓGICOS		
SySR1	El nodo sensor debe contar con entradas lógicas y digitales para la conexión de los diferentes componentes del sistema, como sensores y actuadores	X
SySR2	Comunicación entre el nodo sensor y la puerta de enlace o Gateway, asegurando la transmisión de datos en tiempo real.	X
SySR3	El sistema debe permitir la calibración de cada uno de los sensores para garantizar la precisión en la medición de los parámetros (temperatura, nivel de detergente).	X
SySR4	Utilizar el protocolo MQTT para el envío de datos, asegurando una transmisión eficiente y de bajo consumo energético.	X
REQUERIMIENTO DE DISEÑO		
SySR5	El diseño del sistema debe ser modular, permitiendo futuras expansiones y adaptaciones a otros sistemas de limpieza.	X

SySR6	El sistema debe ser fácil de integrar con otras tecnologías de monitoreo remoto como plataformas basadas en la nube.	X
SySR7	Elegir la tecnología LPWAN más adecuada para la transmisión de datos de acuerdo con la ubicación geográfica de la Asociación San Francisco del Abra, asegurando conectividad remota confiable.	X
SySR8	El sistema debe ser portátil, permitiendo que los sensores y módulos sean fácilmente instalados y desplazados según sea necesario, garantizando flexibilidad y operatividad en distintas áreas del centro de acopio.	X

REQUERIMIENTO DE HARDWARE

SySR9	Los sensores deben medir parámetros como temperatura, y la concentración de detergentes en las soluciones de limpieza.	X
SySR10	Los actuadores deben ser capaces de controlar la apertura de válvulas, la circulación del agua y el flujo de detergente de forma automatizada.	X
SySR11	El microcontrolador debe poder soportar múltiples entradas analógicas y digitales para la conexión de sensores y actuadores.	X
SySR12	Los componentes del sistema deben ser compactos y resistentes, capaces de operar en ambientes industriales y en contacto con agentes de limpieza.	X
SySR13	El sistema debe incluir módulos de comunicación para integrarse con redes locales o sistemas en la nube.	X

REQUERIMIENTO DE SOFTWARE

SySR14	El sistema debe utilizar lenguajes de programación flexibles y accesibles para integrar sensores de temperatura, y otras variables	X
---------------	--	----------

SySR15	Debe ser compatible con bibliotecas que faciliten la integración con bases de datos y herramientas de análisis en la nube para el monitoreo remoto	X
SySR16	El software debe incluir una interfaz de usuario gráfica (GUI) para visualizar en tiempo real los datos de limpieza del tanque.	X
SySR17	El sistema debe permitir la integración con algoritmos de inteligencia artificial para predecir y optimizar los ciclos de limpieza en función de las condiciones del tanque.	X
SySR18	El sistema debe ser capaz de enviar alertas automáticas al operador en caso de mal funcionamiento o desajustes en los parámetros de limpieza.	X

REQUEMIENTO ELÉCTRICOS

SySR19	Contar con alimentación eléctrica y un respaldo de baterías por los nodos y Gateway.	X
---------------	--	---

Nota: La tabla presenta los requerimientos de arquitectura necesarios para el sistema, incluyendo las funcionalidades clave que deben ser implementadas para asegurar un monitoreo efectivo y control remoto del proceso de limpieza. *Fuente:* Autor

2.3.6 Selección de Hardware

La selección de hardware incluye la selección de componentes esenciales para el funcionamiento del sistema, como sensores, microcontroladores y sistemas de comunicación. La correcta elección de estos elementos es crucial para garantizar la efectividad y durabilidad del sistema.

2.3.6.1 Selección de Sensores

Los sensores seleccionados deben ser capaces de medir parámetros como temperatura del agua. La precisión y la resistencia a condiciones industriales son características esenciales.

- **Sensor de Temperatura de agua**

Sensores de Temperatura de agua, Conductividad, Nivel de Agua

Tipo de Sensor	Parámetro Medido	Función
Sensor de Temperatura	Temperatura del agua y soluciones.	Mantiene la temperatura óptima en cada fase.
Sensor de Nivel de Agua	Niveles de agua en los tanques.	Previene el desbordamiento de los tanques y prevenir niveles de vaciado insuficiente.

Fuente: Autor

Tabla 12*Selección de Sensores de Temperatura de agua*

Sensor	Requerimientos					Valoración Total
	StR2	StSR2	SySR2	SySR11	SRS3H3	
DS18B20	1	1	1	1	1	5
LM35	1	1	0	1	0	3
NTC	1	1	1	1	0	4
Elección	DS18B20					

Fuente: Autor

Después de analizar los datos presentados en la Tabla 11 y 12, se determinó que el sensor DS18B20 será la opción más adecuada para medir la temperatura en el sistema de monitoreo automatizado de la limpieza de tanques de leche en la Asociación San Francisco del Abra. Adicionalmente se ilustra en la Figura 16, ofrece una alta precisión en la medición de la temperatura proporcionando lecturas digitales, garantizando una mayor fiabilidad que lo hace ideal para entornos IoT; además, su compatibilidad con una amplia gama de plataformas de

microcontroladores, como Arduino y Raspberry Pi, lo convierte en una opción flexible y económica.

Figura 16

Sensor DS18B20



Fuente: Autor

2.3.6.2 Selección de Microcontrolador o Microprocesador

El microcontrolador es el cerebro del sistema, encargado de procesar las señales de los sensores y controlar los actuadores. La selección de microcontrolador debe basarse en su capacidad para manejar múltiples entradas y salidas, así como su compatibilidad con los sensores y la interfaz gráfica.

Tabla 13

Selección de Microcontrolador o Microprocesador

Sensor	Requerimientos					Valoración Total
	StSR8	StSR9	SySR13	SySR11	SRSR1	
Raspberry Pi 5	1	1	1	1	1	5

Requerimientos						Valoración Total
Sensor	StSR8	StSR9	SySR13	SySR11	SRS11	
Arduino Mega	1	1	0	1	0	3
Arduino Uno	1	0	1	1	0	3

Elección Raspberry Pi 5

Fuente: Autor

De acuerdo con lo descrito en la Tabla 13, se considera que Raspberry Pi 5 es el microcontrolador más adecuado ya que cumple con los requerimientos de interfaz, uso, estado, y seguridad de manera eficiente, lo que lo convierte en la opción ideal el desarrollo de este proyecto.

Además, la capacidad de conectividad a través de Wi-Fi y Ethernet le permite integrarse fácilmente en la red de monitoreo y control, lo que garantiza que los usuarios puedan supervisar y ajustar los parámetros del proceso de limpieza desde cualquier dispositivo conectado con acceso a la red.

Tabla 14

Características del Raspberry Pi 5 Modelo B (4GB de RAM)

Característica	Descripción	Ventajas
Procesador	Quad-core Cortex-A72, 1.5GHz	Potente rendimiento para aplicaciones más exigentes.

Característica	Descripción	Ventajas
Memoria RAM	4GB LPDDR4-3200 SDRAM	Ideal para procesar grandes cantidades de datos y despliegue del GUI.
Conectividad	Ethernet, Wi-Fi 802.11ac, Bluetooth 5.0	Permite la conectividad remota y rápida para monitoreo en tiempo real.
Puertos USB	2x USB 3.0, 2x USB 2.0	Conexión de dispositivos adicionales, como sensores o sistemas de almacenamiento.
Puertos de video	2x micro HDMI (hasta 4K), soporte para 2 monitores	Permite la conexión con pantallas para visualizar datos y utilizar interfaces gráficas de forma clara e intuitiva.
Almacenamiento	Tarjeta microSD para almacenamiento y sistema operativo.	Ofrece flexibilidad para el almacenamiento de datos y la ejecución de aplicaciones.

Fuente: Autor

Figura 17

Raspberry Pi 5 Modelo B (4GB de RAM)



Fuente: Autor

Se seleccionará el microprocesador o módulo más adecuado para los nodos del sistema, considerando aspectos clave como procesamiento de datos, conectividad y compatibilidad con sensores. Como se mostrará en la Tabla 15, esta elección garantizará la eficiencia del sistema, permitiendo una integración fluida con la interfaz gráfica y asegurando el monitoreo y control en tiempo real del proceso de limpieza.

Tabla 15

Selección de microprocesador Nodo

Microcontrolador	Requerimientos					Valoración Total
	StSR8	StSR9	SySR10	SySR13	SRSR5	
ESP32	1	1	1	1	1	5
ESP8266	1	1	0	1	0	3
ESP32 V3 Heltec	1	1	1	1	1	5
ESP32 V2 Heltec	1	1	1	1	0	4
Elección ESP32 V3 Heltec						

Fuente: Autor

El ESP32 v3 es perfecto para proyectos más sencillos o aquellos que requieren un bajo consumo de energía. Su conectividad Wi-Fi y Bluetooth le permite establecer comunicación eficiente con los sensores y actuadores. Además, la memoria RAM y los puertos GPIO permiten una fácil integración con múltiples dispositivos y sensores, facilitando el monitoreo remoto sin sacrificar el rendimiento, como se observa en la tabla 16.

Tabla 16

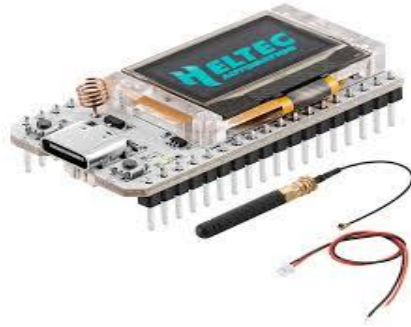
Características del ESP32 (Versión 3)

Característica	Descripción	Ventajas
Conectividad	Wi-Fi 802.11 b/g/n, Bluetooth 4.2	Conectividad eficiente para sistemas IoT y monitoreo remoto.
Procesador	Dual-core Xtensa 32-bit LX6 microprocessor, 160 MHz/240 MHz	Destaca por su bajo consumo de energía y buen rendimiento, lo que lo hace especialmente adecuado para aplicaciones de IoT.
Memoria RAM	520 KB SRAM	Cuenta con la capacidad suficiente para gestionar tareas simples y transmitir datos en tiempo real de manera eficiente.
Puertos GPIO	34 pines GPIO, I2C, SPI, UART, ADC, DAC	Permite una integración directa con sensores y actuadores necesarios para el funcionamiento del sistema de limpieza.
Alimentación	3.3V DC	Su eficiencia energética lo convierte en una opción ideal para sistemas autónomos que requieren un consumo reducido.
Sensores Integrados	Sensor de temperatura, sensor de hall, sensor de voltaje	Facilita la medición de diversos parámetros sin necesidad de incorporar sensores adicionales.

Fuente: Autor

Figura 18

ESP32 (Versión 3)



Fuente: Autor

2.3.6.3 Selección de boquilla

Las boquillas de limpieza de tanques son elementos clave dentro de los sistemas automáticos de higiene industrial, especialmente en sectores como el lácteo, donde la calidad y la seguridad del producto son prioritarias. Estas boquillas, también denominadas cabezales de limpieza o jets, están diseñadas para llegar a áreas de difícil acceso dentro de los tanques de almacenamiento, asegurando una limpieza completa y eficiente de las superficies interiores.

Para la selección de la boquilla, se debe considerar el diseño y tamaño del tanque, el tipo de residuos que se deben eliminar, así como las condiciones operativas del sistema, tales como la presión y el flujo de agua disponible, todos estos factores juntos resultan crucial para asegurar que el sistema funcione de manera óptima, cumpliendo con los rigurosos estándares de higiene que permitan garantizar que la calidad del producto final no se vea comprometida.

Tabla 17

Selección de boquilla

Boquillas	Requerimientos					Valoración Total
	StSR2	StSR8	SySR11	SRSR3	SRSR10	
Boquillas rotativas	1	1	1	1	1	5
Boquillas de bola	1	1	0	0	0	2
Boquillas de chorro múltiple	1	1	0	1	1	4

Boquillas	Requerimientos					Valoración Total
	StSR2	StSR8	SySR11	SRSR3	SRSR10	
Boquillas de chorro único	0	1	0	0	0	1
Boquillas de espuma	0	0	0	0	0	0
Elección Boquillas rotativas						

Fuente: Autor

El análisis comparativo en la tabla 17, realizado en la tabla de las boquillas permitió determinar que la mejor opción es la boquilla rotativa por su capacidad para generar un chorro rotativo que distribuye el agua de manera uniforme sobre toda la superficie del tanque, lo que la hace ideal para tanques con paredes interiores curvas o de difícil acceso.

En este sentido, se optó por la boquilla de pulverización rotativa de 3/4 grados y 360°, complementada con una botella de tanque IBC de acero inoxidable 316 y un tambor de limpieza, el cual se distingue por su durabilidad y resistencia, lo que lo hace ideal para su uso en entornos industriales exigentes como el de la industria láctea.

La boquilla rotativa, combinada con estos componentes, asegura una cobertura eficiente y completa en todo el proceso de limpieza, maximizando la eliminación de residuos y garantizando que se cumplan los estándares de calidad e higiene necesarios en la producción de leche, tal como se observa en la figura 19, este sistema de limpieza proporciona una solución robusta y eficaz para el manejo adecuado de los tanques de almacenamiento de leche.

Figura 19

Boquilla de pulverización rotativa de 3/4 grados y 360°.



Fuente: Autor

2.3.6.4 Selección de bomba de agua (Centrífuga), Almacenamiento de agua y Calefón

- **Selección de bomba de agua (Centrífuga)**

Para el sistema automatizado de limpieza de tanques fríos de leche en la Asociación San Francisco del Abra, se seleccionarán bombas centrífugas que cumplan con los requerimientos de caudal y presión necesarios para una limpieza eficiente. La bomba de alta presión es ideal para eliminar residuos de leche de las superficies internas del tanque, garantizando una limpieza profunda. Se tomará la decisión final en la tabla 18, considerando los requerimientos técnicos del sistema, como caudal, presión y espacio disponible.

Tabla 18

Selección de bomba de agua

Bombas	Requerimientos					Valoración Total
	StSR2	StSR8	SySR11	SRS3	SRS10	
Bomba Centrífuga Modelo CPM 1000	1	0	1	0	1	3
Bomba centrífuga modelo CPM 610	1	1	1	1	1	5
Bomba Centrífuga Modelo SP 400	1	1	0	1	1	4
Bomba Centrífuga Modelo CRN	0	1	1	0	0	2

Bombas	Requerimientos					Valoración Total
	StSR2	StSR8	SySR11	SRS3	SRS10	
Elección Bomba centrífuga modelo CPm 610						

Fuente: Autor

La bomba centrífuga CPm 610 de la figura 20, es una excelente opción para el sistema automatizado de limpieza de tanques de leche en la Asociación San Francisco del Abra. Su capacidad para manejar altos caudales y altas presiones hace que sea ideal para asegurar que el proceso de limpieza sea eficiente y completo. Además, su resistencia a la corrosión y su compatibilidad con productos químicos aseguran que la bomba será duradera y confiable para el entorno industrial del sector láctea. La capacidad de ajustar la presión y el caudal también garantiza que se pueda personalizar el proceso de limpieza según las necesidades específicas de los tanques de leche, optimizando así el tiempo y los recursos.

Figura 20

Bomba de agua (Céntrica)



Fuente: Autor

- **Selección de Calefón**

Para el sistema automatizado de limpieza de los tanques de leche, el calefón a gas o el calefón de alta eficiencia son las opciones más adecuadas. Ambos proporcionan agua caliente rápidamente, lo que es crucial para mantener la temperatura adecuada durante las etapas de

preenjuague y enjabonado, optimizando el uso de detergentes y asegurando una limpieza eficaz.

Tabla 19

Selección de calefón

Calefón	Requerimientos					Valoración Total
	StSR2	StSR8	SySR11	SRSH3	SRSH10	
Calefón solar	0	0	1	0	0	1
Calefón eléctrico	1	1	0	1	0	3
Calefón a gas	1	1	1	1	1	5

Elección Calefón a gas

Fuente: Autor

Después de realizar la clasificación de las opciones disponibles, se seleccionó en la tabla 19, el calefón a gas Yang como la opción más adecuada para el sistema debido a su alta eficiencia en el calentamiento de grandes volúmenes de agua, lo cual es crucial para las etapas de preenjuague y enjabonado del proceso de limpieza.

Adicionalmente, el calefón seleccionado se distingue por:

- Su capacidad de calefacción de 6L/min a 24L/min que asegura que el sistema mantenga un flujo constante de agua caliente a temperaturas constantes entre 50°C y 70°C, lo que es esencial para la disolución efectiva de detergentes y la remoción de residuos en las superficies internas de los tanques.
- Baja demanda energética en comparación con modelos eléctricos, lo que lo convierte en una opción más económica para un funcionamiento continuo en el proceso de limpieza.

Figura 21

Calefón



Fuente: Autor

2.3.6.5 Selección de Tecnología Inalámbrica de Baja Potencia (WLAN)

Este tipo de tecnologías, representan una solución eficiente y práctica para la comunicación en el sistema al permitir la interconexión inalámbrica de sensores, microcontroladores y dispositivos de visualización, facilitando una transmisión de datos rápida y confiable sin necesidad de cableado físico.

Para garantizar la mejor elección tecnológica, en la tabla 20 se realizó una evaluación comparativa con el objetivo de seleccionar la opción que mejor se adapte a los requisitos técnicos y operativos del sistema, asegurando un equilibrio óptimo entre alcance, consumo energético, estabilidad y costo, y así optimizar el desempeño del sistema automatizado.

Tabla 20

Selección de WLAN

	Requerimientos					Valoración Total
	StSR4	SySR5	SySR13	SRSH2	SRSH3	
LoRa	0	0	1	0	0	1
Bluetooth	1	1	0	1	0	3
WiFi	1	1	1	1	1	5
Elección WiFi						

Fuente: Autor

En el contexto del sistema de limpieza, la tecnología WiFi se presenta como una solución eficiente para la conexión entre los nodos sensores Heltec ESP32 V3 y el servidor Gateway (Raspberry Pi 5) por su capacidad para operar en las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz, lo que le permite alcanzar velocidades de transferencia elevadas y una cobertura suficiente en entornos interiores como los centros de acopio.

Su principal ventaja es que no requiere cableado físico, lo que facilita su implementación y mantenimiento; además, es altamente compatible con plataformas IoT y protocolos como MQTT y HTTP, que son fundamentales para el envío de datos en tiempo real hacia el servidor de monitoreo.

2.3.6.6 Selección de Tecnología de Comunicación

En el desarrollo del sistema automatizado de limpieza de tanques de leche, la elección de la tecnología de comunicación es crucial para garantizar una transmisión eficiente de datos entre los diferentes componentes del sistema. En este caso, se ha evaluado tres protocolos de comunicación: MQTT, HTTP y Modbus/TCP, los cuales se comparan según su desempeño en distintos requerimientos técnicos esenciales para el proyecto. La tabla 21 muestra la comparación de estos protocolos en términos de interfaz, facilidad de uso, estado del sistema, requerimientos físicos y seguridad.

Tabla 21

Selección de Tecnología de Comunicación

Protocolo	Requerimientos					Valoración Total
	SR1	SR2	SR3	SR4	SR5	
MQTT	1	1	1	1	1	5
HTTP	1	1	1	0	0	3

Requerimientos						
Protocolo	SR1	SR2	SR3	SR4	SR5	Valoración Total
Modbus/TCP	1	1	1	1	1	5
Elección MQTT						

Fuente: Autor

El sistema automatizado de limpieza de tanques fríos de leche debe ser capaz de comunicarse de manera eficiente tanto en entornos locales como remotos; para ello, se selecciona el protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) para la transmisión de datos entre dispositivos con recursos limitados, permitiendo una comunicación efectiva entre los sensores de temperatura, nivel de agua y concentración de detergente, y el sistema de monitoreo remoto.

En la siguiente tabla 22, se presentan las características clave de MQTT que lo hacen adecuado para este sistema, incluyendo sus ventajas y aplicaciones en el contexto del monitoreo remoto y el control eficiente del proceso de limpieza.

Tabla 22

Características de MQTT para el Sistema de Monitoreo y Control Remoto

Característica	Descripción	Aplicación en el Proyecto
Bajo consumo de energía	MQTT está diseñado para utilizar recursos mínimos, ideal para dispositivos IoT con capacidad limitada de procesamiento y consumo energético.	Permite el funcionamiento continuo del sistema de monitoreo sin afectar significativamente la batería o el consumo energético de los sensores y microcontroladores.

Característica	Descripción	Aplicación en el Proyecto
Modelo de publicador/suscriptor	Facilita la comunicación entre los dispositivos del sistema sin necesidad de establecer conexiones directas, gracias al uso de un broker centralizado.	Permite que los sensores publiquen sus datos y que el servidor central los reciba y procese en tiempo real.
Alta fiabilidad y escalabilidad	MQTT es capaz de gestionar un gran número de dispositivos conectados, manteniendo una comunicación estable y eficiente.	Resulta ideal para administrar múltiples sensores dentro del proceso de limpieza, permitiendo que el sistema se expanda sin afectar la eficiencia en la transmisión de datos.
Baja latencia y alta velocidad	La transmisión de mensajes se realiza de forma rápida y eficiente, lo que permite que los datos se entreguen casi en tiempo real.	Esto resulta fundamental para el monitoreo continuo de las variables del proceso de limpieza, como la temperatura y el nivel de detergente, en tiempo real.
Persistencia de mensajes	Si un dispositivo se desconecta de manera temporal, los mensajes no entregados quedan almacenados en el broker hasta que la conexión se restablezca.	Esto garantiza que los datos del proceso de limpieza no se pierdan durante interrupciones momentáneas, asegurando un historial de información completo.

Característica	Descripción	Aplicación en el Proyecto
Seguridad y autenticación	MQTT admite el uso de encriptación TLS/SSL y mecanismos de autenticación de dispositivos para garantizar comunicaciones seguras.	Esto protege los datos del sistema de limpieza, asegurando que únicamente los dispositivos autorizados puedan acceder y transmitir información sensible.

Fuente: Autor

2.3.6.7 Selección Fuente de Alimentación

En el sistema de limpieza automatizada de los tanques de leche propuesto, uno de los requisitos esenciales es que el nodo sensor debe mantenerse en movimiento constante para monitorear de manera eficiente el proceso de limpieza y garantizar el cumplimiento de los estándares sanitarios.

Dado que el proceso de limpieza abarca diversas áreas y requiere monitoreo en tiempo real, el nodo sensor debe ser móvil y adaptable a diferentes partes del sistema, lo cual se convierte en un reto significativo en cuanto al suministro eléctrico, ya que se debe asegurarse el funcionamiento continuo del sistema durante todo el proceso de limpieza.

Para resolver este desafío, se ha optado por el uso de baterías recargables, que permiten mantener el sistema en funcionamiento sin interrupciones; para lo cual, la selección se la realizará considerando la cantidad de dispositivos, el número de sensores de temperatura, el nivel de detergente, el número de actuadores y los requerimientos energéticos específicos de cada componente.

En la Tabla 23, se detalla el consumo de cada dispositivo, lo que permitirá realizar un cálculo preciso y elegir la batería adecuada para garantizar un funcionamiento eficiente y continuo del sistema automatizado de limpieza.

Tabla 23

Consumo Eléctrico Nodo Sensor y componentes de sistema

CONSUMO ELÉCTRICO DEL GATEWAY		
Elemento	Consumo en Funcionamiento	Consumo en modo Sleep
Raspberry Pi 5	350 mA	25 mA
CONSUMO ELÉCTRICO DEL SENSOR		
Elemento	Consumo en Funcionamiento	Consumo en modo Sleep
Heltec ESP32 LoRa	170 mA	25 mA
Sensor DS18B20	2 mA	0.05 mA
TOTAL	522mA	50.05mA

Fuente: Autor

De acuerdo con el amperaje para alimentar del nodo sensor es de 522 mA, que corresponde a los componentes integrados en dicho nodo. Para el cálculo del consumo de batería se utiliza la ecuación (1).

$$Consumo\ Total = \frac{(T_{cn} * I_{cn}) + (T_{cd} * I_{cd})}{T_{cn} + T_{cd}} \quad (1)$$

Donde:

T_{cn} = Tiempo de consumo de funcionamiento

I_{cn} = Intensidad de consumo de corriente en funcionamiento

T_{cd} = Tiempo de consumo de corriente en nodo sleep

I_{cd} = Intensidad de consumo de corriente en modo sleep

Los parámetros seleccionados para estos nodos se basan en las necesidades específicas del proyecto y se detallan a continuación:

$$T_{cn} = 20 \text{ min} = 1200 \text{ s}$$

$$I_{cn} = 522 \text{ mA}$$

$$T_{cd} = 10 \text{ min} = 600 \text{ s}$$

$$I_{cd} = 50.05 \text{ mA}$$

A continuación, se sustituyen estos valores en la ecuación (1) para calcular el consumo de energía requerido por el nodo en el entorno de aplicación.

$$\text{Consumo Total} = \frac{(1200 * 522) + (600 * 50.05)}{1200 + 600}$$

$$\text{Consumo Total} = 364.68 \text{ mA}$$

Utilizando el cálculo de consumo energético de 364.68 mA, se opta por una batería recargable de 5 voltios y 7000 mAh. A partir de estos valores, podemos determinar la duración estimada de la batería aplicando la fórmula indicada en la ecuación (2).

$$\text{Tiempo de Vida de Batería} = \frac{\text{Capacidad de la batería}}{\text{Consumo Total}} \quad (2)$$

Donde:

Capacidad de la batería: 7000 mAh

Consumo Total: 364.68 mA

Realizando la sustitución correspondiente en la ecuación (2) se obtiene lo siguiente:

$$\textit{Tiempo de Vida de la Batería} = \frac{7000 \textit{ mAh}}{364.68 \textit{ mA}}$$

$$\textit{Tiempo de Vida de la Batería} = \mathbf{19.13 \textit{ h}}$$

La imagen 22, muestra una batería recargable Li-ion de 5 V, una de las opciones comunes para alimentar dispositivos electrónicos. En el contexto del sistema automatizado de limpieza de tanques de leche, las baterías de litio pueden ser utilizadas para proporcionar una fuente de energía confiable, especialmente en sistemas que requieren una autonomía de operación sin estar constantemente conectados a la red eléctrica. Estas baterías son eficaces debido a su alta capacidad de carga, su ligereza y la durabilidad prolongada, lo que las hace ideales para sistemas que necesitan operar de forma continua en entornos industriales.

Figura 22

Batería recargable Li-ion de 5 V



Fuente: Autor

2.3.7 Selección del Software

La selección de la tecnología de comunicación representa una decisión fundamental que influye directamente en el rendimiento y la fiabilidad del proyecto; para lo cual, se considerarán criterios clave como la compatibilidad con los sensores y microcontroladores utilizados, la eficiencia energética, el alcance de la señal, y la facilidad de integración con las plataformas de monitoreo.

Una selección adecuada asegura una comunicación estable y continua, facilitando el control en tiempo real del proceso de limpieza y optimizando los recursos disponibles para garantizar la efectividad y sostenibilidad del sistema a largo plazo.

2.3.7.1 Selección de Software para el nodo sensor

Para garantizar el funcionamiento eficiente del nodo sensor, es fundamental contar con un entorno de desarrollo adecuado que permita programar y gestionar el comportamiento del microcontrolador Heltec ESP32 V3; para lo cual, se considera necesario seleccionar un software que facilite la escritura, carga y depuración del código, así como de la adquisición y transmisión de datos como temperatura del agua y estados de los ciclos de limpieza.

Tras un análisis preliminar de software existente en el mercado se ha considerado a Arduino IDE y a Python como las alternativas idóneas por su compatibilidad con la placa Heltec ESP32 y su amplia gama de bibliotecas útiles, cuya comparación se encuentra desarrollada en la Tabla 24.

Tabla 24

Selección de lenguaje de nodo

Requerimientos				
	SySR11	SRS13	SRS14	Valoración Total
Python	1	0	1	2
Arduino IDE	1	1	1	3

Elección Arduino IDE

Fuente: Autor

Para la transmisión de datos se optó por utilizar la tecnología Wi-Fi como medio de comunicación principal por tratarse de una tecnología inalámbrica ampliamente conocida y

utilizada que permite la transmisión de datos a alta velocidad dentro de un rango adecuado para entornos cerrados o semi-abiertos, como los centros de acopio de leche.

La elección de Wi-Fi responde a su alta compatibilidad con microcontroladores y dispositivos IoT, además de su capacidad para integrarse fácilmente con aplicaciones móviles, sistemas de monitoreo en la nube y por su infraestructura estable con un ancho de banda suficiente para manejar el flujo constante de datos generado por sensores del sistema.

2.3.7.2 Selección de Software para el Gateway

La elección de la tecnología de comunicación para el sistema de limpieza y monitoreo remoto de tanques fríos de leche en la Asociación San Francisco del Abra es clave para garantizar eficiencia y fiabilidad. Se evaluarán criterios como compatibilidad, consumo energético y alcance de señal para asegurar un control en tiempo real efectivo. En la siguiente tabla 25, se compararán lenguajes y tecnologías para el gateway, con el fin de seleccionar la mejor opción para optimizar el sistema.

Tabla 25

Selección de lenguaje de Gateway

	Requerimientos			Valoración Total
	SySR11	SRS13	SRS14	
Python	1	1	1	3
Arduino IDE	1	0	1	2
Elección Python				

Fuente: Autor

2.3.7.3 Software para el entrenamiento del Árbol de decisión.

Para el desarrollo de los procesos de análisis y control del sistema automatizado de limpieza de tanques fríos de leche, se seleccionó Visual Studio Code como entorno de desarrollo que cuenta con compatibilidad con el lenguaje Python y por su capacidad para gestionar el envío, recepción y procesamiento de datos provenientes de los sensores del sistema.

Además, Visual Studio Code ofrece una amplia gama de extensiones útiles para la depuración del código, el manejo de entornos virtuales y la integración con bases de datos o interfaces web, optimizando así el flujo de trabajo, lo que lo convierte en una herramienta adecuada para implementar la lógica de control y monitoreo del sistema propuesto.

2.3.7.4 Selección del software de la base de datos

El almacenamiento de los datos recopilados es esencial para garantizar su análisis en tiempo real y la toma de decisiones informadas; para lo cual, considerando los requerimientos del proyecto, se analizaron distintas alternativas de plataformas de almacenamiento y visualización, optando finalmente por InfluxDB la cual se caracteriza por ser una herramienta basada en la nube que ofrece una solución eficiente, accesible y visualmente intuitiva e ideal para aplicaciones IoT.

Así también, es importante destacar que InfluxDB permite una integración directa con dispositivos mediante protocolos MQTT, lo que facilita la transmisión segura y continua de datos desde los nodos sensores hacia el servidor y su interfaz gráfica personalizable permite monitorear variables clave del sistema, como temperatura, nivel de detergente y tiempos de proceso.

2.3.7.5 Selección software de Visualización

Aunque la visualización de los datos no constituye el objetivo principal del sistema automatizado, resulta fundamental para supervisar en tiempo real el funcionamiento del proceso de limpieza de los tanques fríos de leche. Por esta razón, se selecciona InfluxDB como plataforma de visualización, debido a su compatibilidad con protocolos como MQTT y su facilidad de integración con sistemas IoT. Esta herramienta permite acceder a los datos recolectados por los nodos sensores de forma remota y en tiempo real, facilitando el seguimiento de variables como la temperatura del agua, el nivel de detergente y el estado de cada fase del proceso (preenjuague, enjabonado y enjuague final). Su interfaz intuitiva y altamente personalizable permite presentar la información de manera clara y comprensible, mejorando así la toma de decisiones y la eficiencia operativa del sistema.

2.3.8 Enlace inalámbrico con tecnología WiFi

Para asegurar una comunicación eficiente en el sistema automatizado de limpieza y monitoreo remoto de tanques fríos de leche en la Asociación San Francisco del Abra observamos en la tabla 26, se requiere un enlace inalámbrico confiable entre los nodos sensores (basados en Heltec ESP32 V3) y el nodo Gateway (Raspberry Pi 5), utilizando tecnología Wi-Fi bajo estándar IEEE 802.11n/ac.

Dado que el entorno de implementación corresponde a una instalación rural semiabierta, como lo es el centro de acopio de la Asociación, resulta fundamental evaluar las pérdidas de propagación que podrían afectar la calidad del enlace Wi-Fi aplicando el modelo de propagación como Okumura-Hata (ajustado para entornos rurales) para estimar las pérdidas de señal y garantizar una cobertura óptima.

Para este análisis, se consideran los siguientes parámetros operativos:

- **Frecuencia de transmisión (f_c):** 2.4 GHz (Wi-Fi 802.11n)

- **Altura del nodo sensor (hm):** 1.5 m
- **Altura del Gateway (hb):** 2.5 m
- **Distancia estimada del enlace (d):** 0.035 km (35 m)
- **Factor de corrección de altura (a(hm)):** Calculado con ecuación adaptada al entorno.

Tabla 26

Cálculo de pérdida de propagación Wi-Fi con modelo Okumura-Hata (adaptado)

Parámetro	Valor
Frecuencia (fc)	2400 MHz
Altura nodo sensor (hm)	1.5 m
Altura Gateway (hb)	2.5 m
Distancia del enlace (d)	0.035 km
Factor de corrección a(hm)	3.55 dB (calculado con fórmula adaptada)
Pérdida en entorno urbano (Lu)	~104.67 dB
Pérdida en entorno rural (Lo)	~78.45 dB

Fuente: Autor

2.3.8.1 Análisis espectral de la transmisión WLAN

Para garantizar una transmisión eficiente de los datos entre los nodos sensores y la unidad central (Raspberry Pi), se realiza un análisis espectral del canal de comunicación Wi-Fi, con el objetivo de observar el comportamiento de la señal dentro del rango de frecuencia permitido; para lo cual, se utilizó un analizador de espectro que permite evaluar la estabilidad de la señal emitida por los módulos ESP32 conectados a la red inalámbrica local (WLAN).

El analizador de espectro opera en un rango de frecuencias entre 9 kHz y 7 GHz, cubriendo adecuadamente la banda de 2.4 GHz utilizada por los módulos Wi-Fi empleados en el sistema; para lo cual, durante la prueba se establecieron parámetros que incluyen una frecuencia inicial de 2.401 GHz y una frecuencia final de 2.483 GHz, como se muestra en la Tabla 27.

Tabla 27

Parámetros de frecuencia inicial y final

Parámetros	Valor
Frecuencia Inicial	2401 MHz
Frecuencia Final	2483 MHz

Fuente: Autor

Según los resultados obtenidos, el módulo ESP32 utilizado en los nodos sensores transmite dentro del rango especificado por la normativa para redes Wi-Fi. Se observa una señal estable, con un ancho de banda (BW) configurado en 20 MHz, adecuado para la transmisión de datos de monitoreo como temperatura y tiempos de limpieza. La potencia de transmisión medida en -15.5 dBm indica que la señal es suficiente para operar en interiores, garantizando conectividad confiable entre los módulos y el Gateway en el entorno de la planta de acopio de la Asociación San Francisco del Abra.

2.4 Etapa de diseño

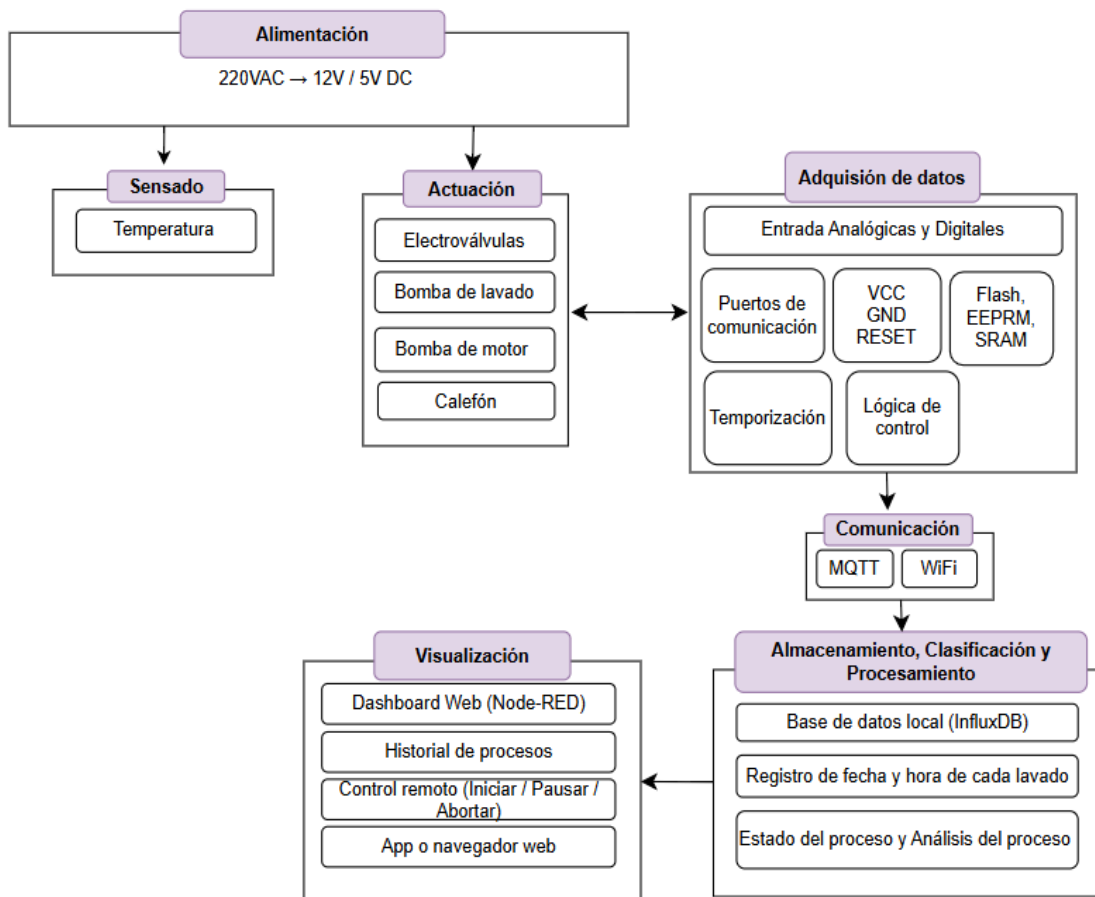
En esta fase, se abordan todos los aspectos relacionados con el diseño del sistema automatizado de limpieza de tanques fríos de leche. Este proceso incluye la creación de la arquitectura general, la integración de hardware y la programación del flujo de datos, asegurando que el sistema sea funcional, eficiente y seguro.

2.4.1 Diagrama de bloques del Sistema

En este apartado se presenta el diagrama de bloques del sistema desarrollado. En la Figura 23, se muestra la estructura general del sistema, donde se detallan los diferentes bloques que lo componen. Cada uno de estos bloques cumple una función específica y esencial dentro del funcionamiento global del sistema, integrando los componentes necesarios para asegurar su correcta operatividad.

Figura 23

Diagrama de Bloques del Sistema



Fuente: Autor

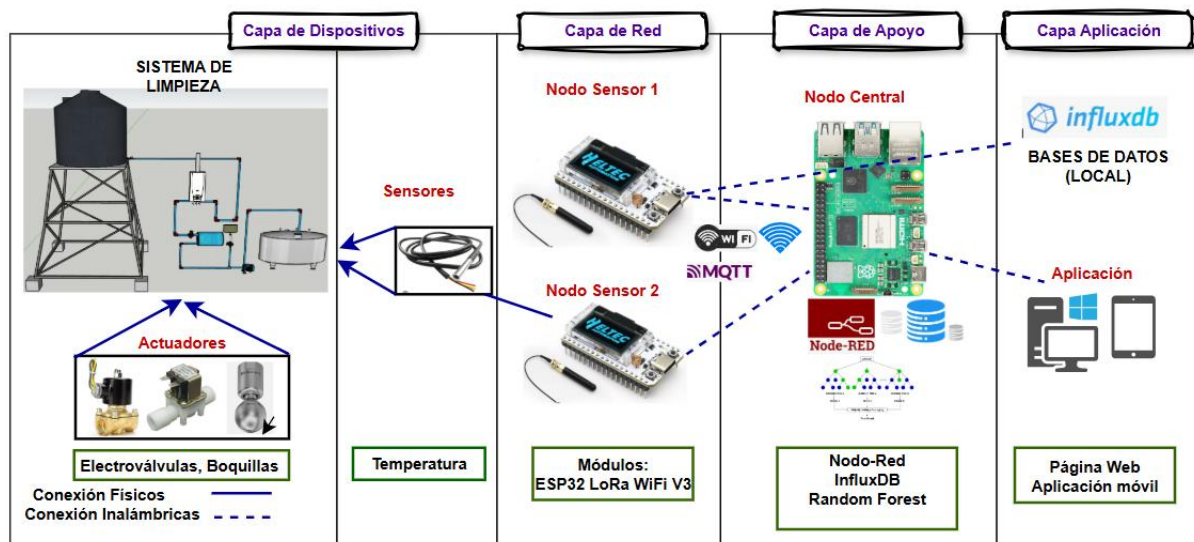
2.4.2 Diseño y Descripción del Sistema de Control y monitoreo remoto del lavado de tanque frío de leche.

La finalidad del sistema de control y monitoreo remoto es la de permitirles a los usuarios contar con una herramienta para una supervisión eficiente y en tiempo real de los sensores que miden los parámetros críticos como la temperatura del agua, el nivel de detergente y otros indicadores relevantes para garantizar la calidad del lavado.

Los datos recopilados por los sensores son procesados por microcontroladores y microprocesadores, que actúan como el cerebro del sistema, encargándose de digitalizar, analizar y transmitir la información mediante tecnologías Wifi que se encargan de brindar acceso remoto y continuo a los datos a través de interfaces gráficas accesibles desde dispositivos móviles o computadores.

Figura 24

Topología del Sistema de Control y monitoreo remoto del lavado de tanque frío de leche.



Fuente: Autor

En la Figura 24 se presenta la arquitectura funcional del sistema automatizado de limpieza y monitoreo remoto de tanques fríos de leche, diseñada bajo un enfoque IoT que permite una operación eficiente, centralizada y en tiempo real. El sistema está compuesto por

nodos sensores distribuidos en los puntos clave del tanque, donde se encargan de recolectar variables críticas como temperatura del agua y tiempos de ciclo de preenjuague, enjabonado y enjuague final.

Cada nodo sensor está basado en una placa Heltec ESP32 LoRa V3, la cual se comunica mediante WiFi (WLAN) con un Gateway central que actúa como unidad receptora, la cual permite que los datos sean enviados directamente al Gateway (una Raspberry Pi configurada como servidor local) que se encuentra conectado a una red de área local y se encarga del envío de datos a la nube mediante el protocolo MQTT.

Una vez que los datos son recopilados, se procesan y almacenan en una base de datos alojada en la nube, permitiendo su acceso en tiempo real desde diferentes dispositivos mediante el panel de control visual de Node-RED que permite acceder a un dashboard personalizado, donde se visualizan gráficas de temperatura, tiempos de limpieza y alertas en caso de fallos o parámetros fuera de rango.

De esta manera, el sistema no solo garantiza la eficiencia del proceso higiénico, sino que también mejora la trazabilidad, reduce los tiempos de operación y asegura el cumplimiento de los estándares sanitarios en el manejo de leche.

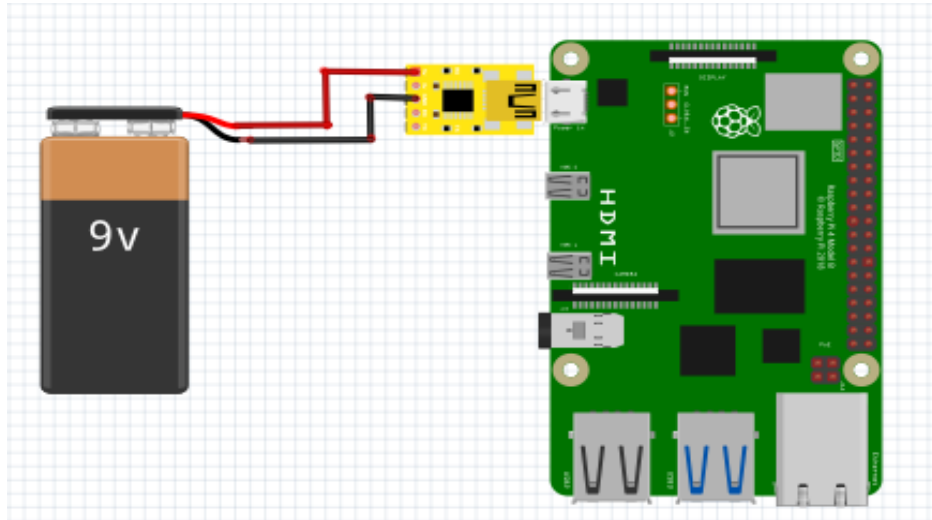
2.4.3 Diagrama de conexión de Gateway

El diagrama de la figura 25, conexión del Gateway muestra la integración de una Raspberry Pi 5 con los módulos de comunicación necesarios para recibir y procesar los datos enviados por los nodos sensores instalados en el sistema automatizado de limpieza de tanques fríos de leche. A través de la conexión Wi-Fi, la Raspberry Pi 5 actúa como centro de procesamiento, recolectando la información transmitida por los nodos como la temperatura del agua, el tiempo de cada etapa del lavado y el estado del sistema. Esta información es organizada

y enviada a una base de datos, permitiendo su análisis y visualización en tiempo real mediante una interfaz gráfica accesible para los operadores del sistema.

Figura 25

Diagrama Gateway



Fuente: Autor

El nodo central del sistema se implementa utilizando una Raspberry Pi 5 como se observa la figura 26 y 27, el cual se encuentra alojado en un gabinete de protección con dimensiones aproximadas de 10 cm × 7 cm × 3 cm, cuyo principal objetivo es el de resguardar los componentes electrónicos frente a la acumulación de polvo y posibles descargas electrostáticas.

Figura 26

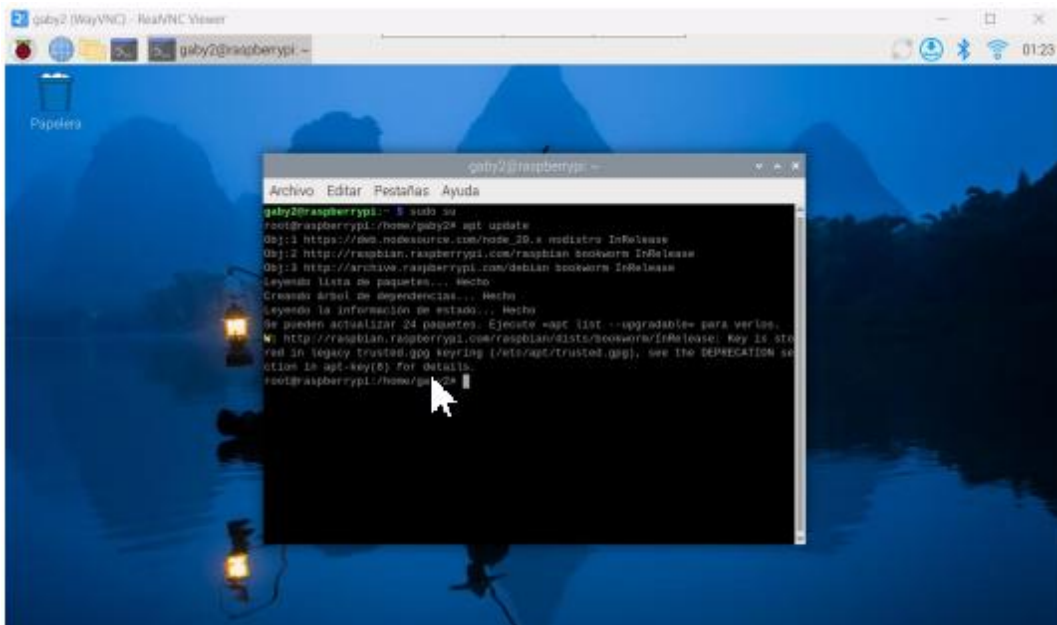
Vista del nodo de Gateway



Fuente: Autor

Figura 27

Interfaz Gráfica del Gateway



Fuente: Autor

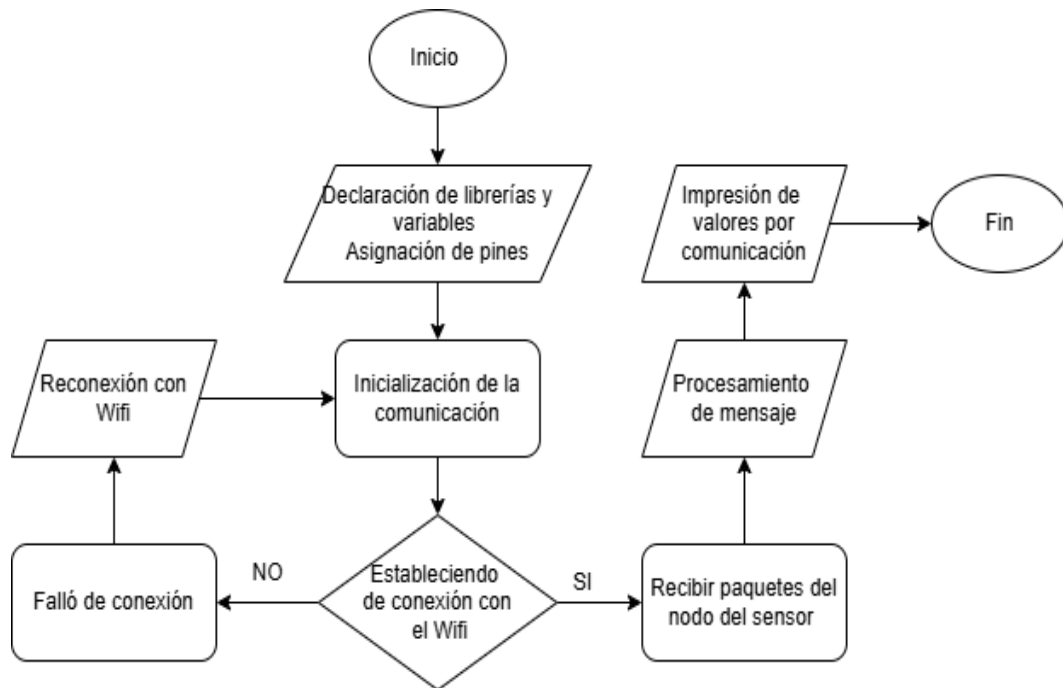
2.4.3.1 Diagrama de flujo del Gateway

Como se muestra en la Figura 28 correspondiente, el diagrama de flujo de la programación del Gateway inicia con la declaración de librerías, variables y la asignación de pines esenciales que permiten dar paso a la inicialización de la comunicación para la correcta operación del sistema.

Para los casos en los que no se logre establecer conexión con la red Wi-Fi, el sistema entra en una rutina de reconexión y si el problema persiste se notifica una pérdida de conexión, y para cuando se establezca la conexión, el Gateway comienza a recibir los paquetes de datos enviados desde los nodos sensores, los cuales se encargan de procesarlos para su posterior visualización por medio de una interfaz de comunicación, asegurando así que el operador tenga acceso constante a los valores relevantes para controlar y monitorear el proceso de limpieza.

Figura 28

Diagrama de Flujo (Gateway)



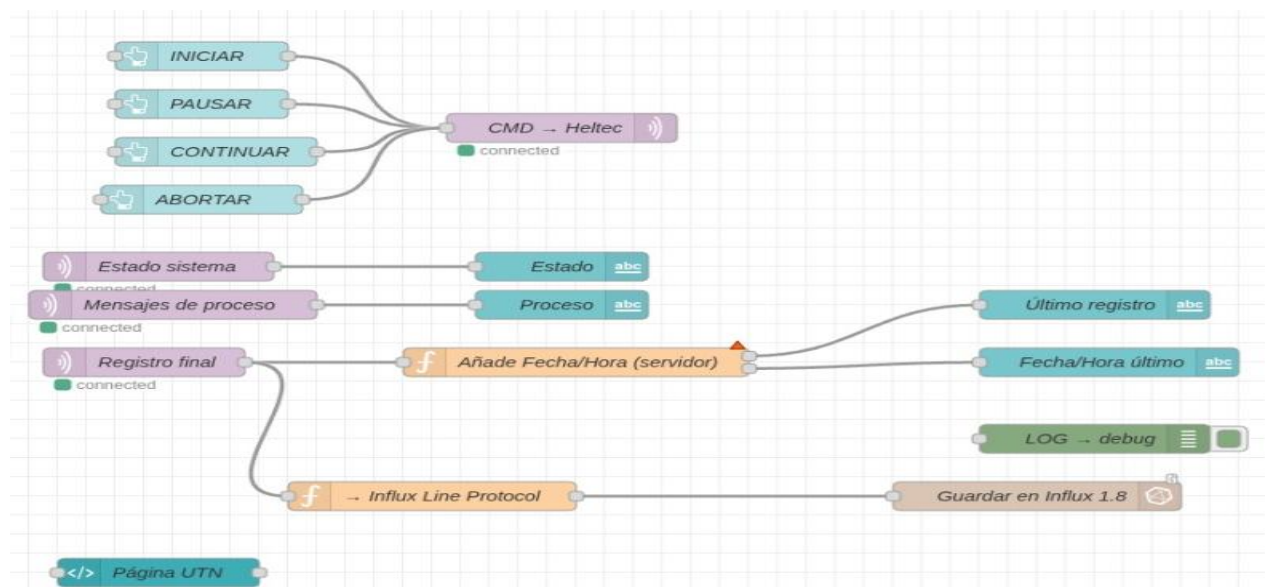
Fuente: Autor

Ahora, la Figura 29 correspondiente describe el proceso ejecutado por la Raspberry Pi, la cual actúa como Gateway principal dentro del sistema automatizado de limpieza. En este caso, se utiliza la plataforma Node-RED, que mediante nodos específicos recibe los datos enviados por los sensores conectados a los nodos Heltec ESP32 V3 a través de la red Wi-Fi. Estos datos incluyen información como la temperatura del agua, el estado del ciclo (preenjuague, enjabonado o enjuague final) y el tiempo transcurrido en cada fase.

Una vez recibida la información, los datos son procesados y derivados a un nodo que permite su almacenamiento en la base de datos InfluxDB a la vez que se visualizan en un panel gráfico, lo que facilita al operador el monitoreo remoto del proceso de limpieza en tiempo real, el cual cuando detecte una anomalía como temperaturas fuera del rango establecido hace que se active una alerta mediante una notificación automatizada configurada desde Node-RED, garantizando así una respuesta oportuna y eficiente.

Figura 29

Diagrama de Flujo Gateway en Raspberry Pi



Fuente: Autor

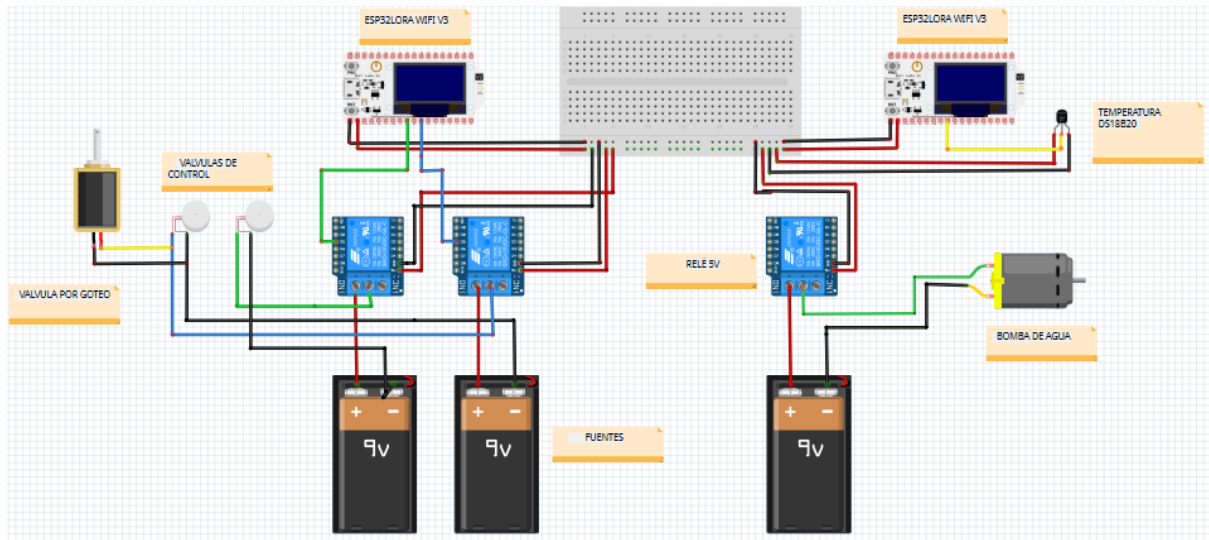
2.4.4 Diagrama de conexión del Nodo Sensor

El diagrama de conexión del nodo sensor corresponde a la integración del microcontrolador Heltec ESP32 V3 con los sensores utilizados en el sistema automatizado de limpieza de tanques fríos de leche. Este módulo actúa como el núcleo del nodo, encargado de recopilar datos esenciales como la temperatura del agua a través del sensor DS18B20, y los niveles de líquidos mediante sensores específicos, permitiendo así supervisar cada etapa del proceso de limpieza (preenjuague, enjabonado y enjuague final). Las conexiones están

organizadas para facilitar la instalación y el mantenimiento, y el sistema está programado con tiempos definidos para cada fase. La comunicación con el gateway (Raspberry Pi) se realiza a través de la red Wi-Fi, permitiendo el envío continuo de datos hacia el servidor de monitoreo para su posterior visualización en tiempo real como se observa la figura30.

Figura 30

Diagrama de conexión del Nodo Sensores



Fuente: Autor

2.4.5 Diagrama de flujo del nodo sensor

El diagrama de la figura 31, da a conocer el flujo del nodo sensor representa el proceso integral desde la captura de datos hasta su envío hacia el Gateway; para lo cual, el microcontrolador Heltec ESP32 V3 cumple el rol principal, iniciando con la declaración de librerías esenciales para la compatibilidad con los sensores y la red Wi-Fi, así como la asignación de los pines necesarios. Posteriormente, se establece la comunicación con la red inalámbrica.

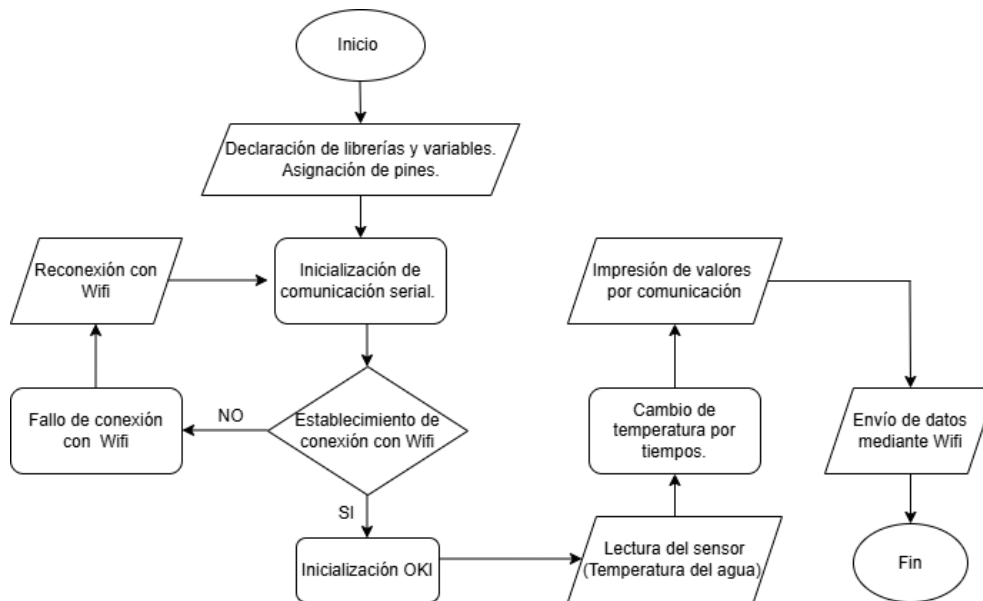
En caso de que la conexión Wi-Fi falle, el sistema ejecuta un intento de reconexión y una vez que se efectiviza la conexión se lleva a cabo la lectura de los sensores instalados en el tanque (sensor de temperatura DS18B20 y sensores de nivel o conductividad) cuyos datos son

organizados y preparados para su transmisión mediante el protocolo MQTT hacia Raspberry Pi, que actúa como Gateway.

El flujo antes descrito incluye el control del tiempo de ejecución para cada etapa del proceso de limpieza (preenjuague, enjabonado y enjuague final) así como la verificación de condiciones operativas y el manejo de posibles errores que permitan garantizar una operación eficiente del sistema.

Figura 31

Diagrama de flujo del Nodo Sensor



Fuente: Autor

2.4.6 Calibración y lectura de datos mediante Sensores

Cada sensor utilizado en el sistema presenta una sensibilidad específica al momento de captar los datos, lo cual depende directamente del fabricante y de las especificaciones técnicas detalladas en su hoja de datos (datasheet), las cuales son fundamentales para realizar los cálculos que permiten convertir correctamente las lecturas en unidades del Sistema Internacional, asegurando así una interpretación adecuada de las variables medidas.

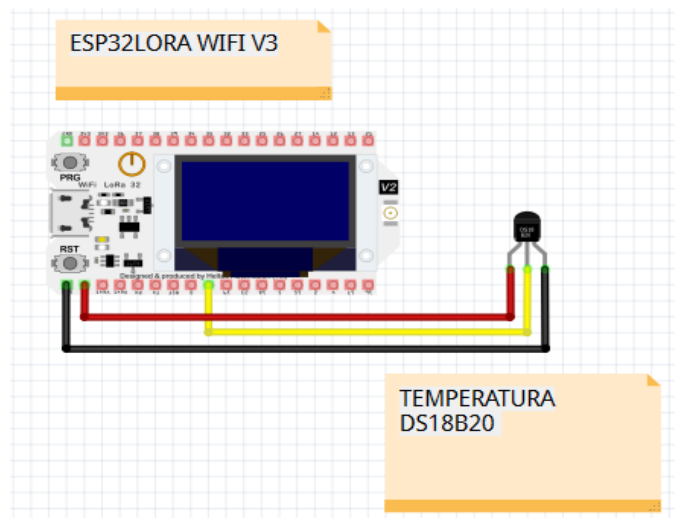
Además, es importante destacar que contar con datos precisos facilita su validación frente a plataformas confiables o valores de referencia, lo que incrementa la fiabilidad del sistema de monitoreo y garantiza resultados consistentes durante todo el proceso de automatización.

2.4.6.1 Programación y Calibración DS18B20

En el caso del sensor de temperatura DS18B20, su calibración no requiere ajustes manuales, ya que este dispositivo incluye un sistema de conversión digital interno que entrega lecturas directamente en grados Celsius el cual, gracias a de la figura 32, se puede observar su diseño digital hace que la señal se transmita de manera precisa y confiable sin necesidad de circuitos adicionales para la conversión de datos.

Figura 32

Conexión del nodo 1 a la temperatura DS18B20



Fuente: Autor

2.4.7 Desarrollo de la Programación del Sistema (Software)

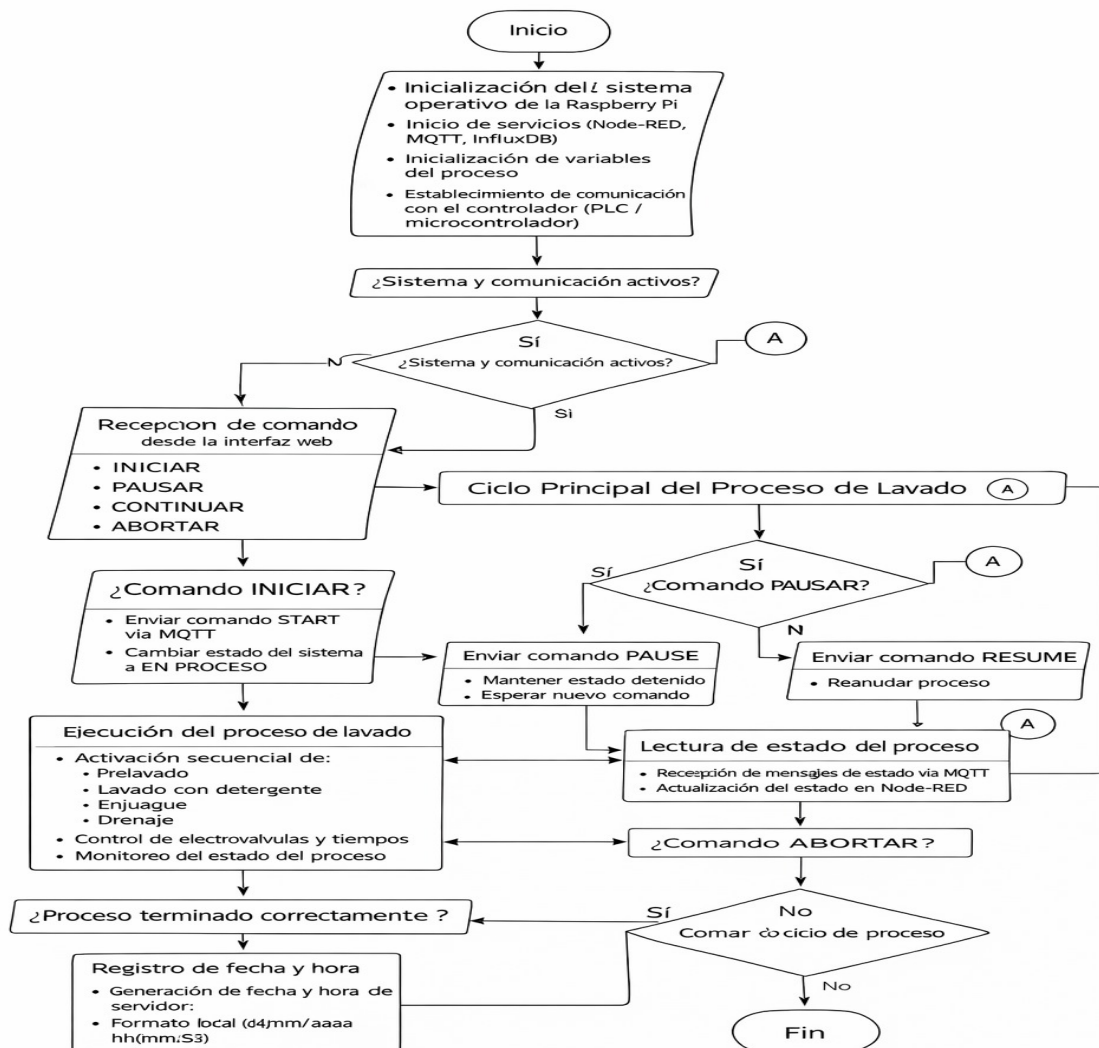
El sistema se basa en la Raspberry Pi como unidad principal, encargada de ejecutar los servicios de Node-RED, InfluxDB y el protocolo MQTT, permitiendo la comunicación con el

controlador del proceso mediante la interfaz web que le permite al usuario enviar comandos de operación como iniciar, pausar, continuar o abortar el proceso de lavado.

Durante la ejecución, el sistema gestiona de forma secuencial las etapas del proceso, supervisa su estado en tiempo real y registra automáticamente la fecha y hora de finalización cuando el ciclo concluye correctamente, lo que se representa mediante un diagrama de flujo que facilita la comprensión de la lógica de control, la toma de decisiones y la interacción entre los distintos módulos del sistema.

Figura 33

Diagramas de Flujos de Nodos Secundarios



Fuente: Autor

A continuación, en la figura 33, se describen los aspectos fundamentales relacionados con la programación y control del sistema de lavado automatizado, describiendo de manera detallada la lógica de funcionamiento del sistema, desde la recepción de comandos enviados a través de la interfaz web hasta la ejecución secuencial del proceso de lavado.

2.4.7.1 Lectura de Datos para Nodo Secundario 1

Por otra parte, en la figura 34, el nodo 1 basado en la placa Heltec cumple una función esencial al gestionar el control del ciclo automático de lavado del tanque frío de leche. Este nodo se comunica con el servidor MQTT ubicado en 192.168.0.101, desde donde recibe las órdenes de operación y ejecuta el accionamiento de las electroválvulas de agua y jabón según los tiempos programados.

Figura 34

Funciones y conexión hacia el servidor

```
const char* ssid = "Red ADM";
const char* pass = "ADM25UTN@";

const char* mqtt_host = "192.168.0.101";
const int mqtt_port = 1883;
const char* mqtt_id = "heltec-proceso";

const char* T_CMD = "proceso/cmd"; // START/PAUSE/RESUME/AB
const char* T_LOG = "proceso/registro"; // JSON final
const char* T_SISTEMA = "valvulas/sistema"; // ONLINE/OFFLINE/READY/
const char* T_EST_AGUA = "valvulas/agua/estado";
const char* T_EST_JAB = "valvulas/jabon/estado";
const char* T_STATUS = "proceso/status"; // Mensajes SOLO en even
```

Fuente: Autor

De forma complementaria, esta estructura de la figura 35, permite organizar la lógica interna del sistema al definir claramente las etapas del lavado y los estados de funcionamiento, lo que facilita el control secuencial del proceso, la toma de decisiones ante eventos como pausas o abortos y la correcta transición.

Figura 35*Etapas y estados de funcionamiento*

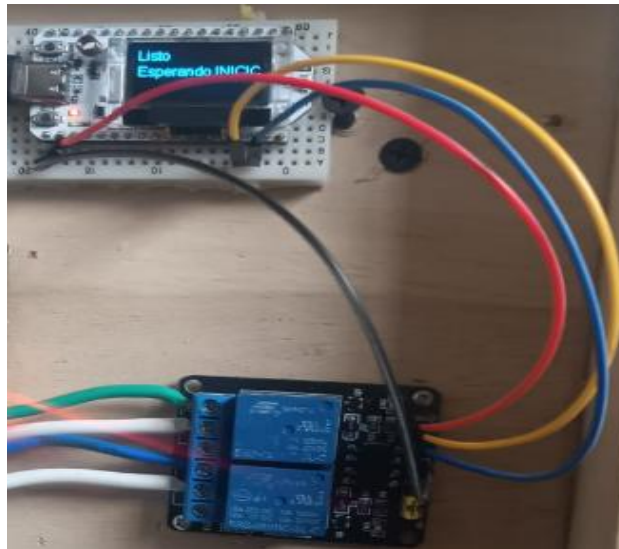
```

enum Fase {F_NONE, F_PRE_AGUA, F_JABON, F_FINAL_AGUA};
enum Estado {BOOT, IDLE, RUNNING, PAUSADO, GUARDAR, FIN, ABORTADO};
Estado estado = BOOT;
Fase fase = F_NONE;

```

Fuente: Autor

El Heltec 1 se encuentra interconectado con el módulo de relé como se puede observar 36, proporcionando tanto la alimentación eléctrica como la referencia de tierra, lo que permite su correcta operación. Desde este nodo se envían las señales de control que activan el relé, el cual funciona como un elemento intermedio para el accionamiento de las electroválvulas de agua y de jabón.

Figura 36*Conexión de Nodo 1 para los dispositivos.**Fuente: Autor***2.4.7.2 Lectura de Datos de sensor de Temperatura para Nodo Secundario 2**

Una de las principales ventajas de este sensor es su calibración de fábrica, que garantiza lecturas estables y exactas en un amplio rango de temperaturas, lo cual resulta ideal para

sistemas automatizados de limpieza donde se requiere controlar y supervisar la temperatura del agua en diferentes etapas del proceso.

Figura 37

Código Sensor DS18B20

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// Pin donde está conectado el sensor DS18B20
#define ONE_WIRE_BUS 4

// Inicialización del bus OneWire y del sensor DS18B20
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);
```

Fuente: Autor

Para obtener correctamente los datos de temperatura del sensor DS18B20, se implementó el código mostrado en la Figura 37 y 38 correspondiente, el cual incluyen las librerías OneWire.h y DallasTemperature.h que permiten la comunicación adecuada con sensores digitales de temperatura como el DS18B20 mediante el protocolo OneWire y finalmente se define el pin digital al que está conectado el sensor (en este caso, el pin 4) el cual se inicializa tanto el bus de comunicación OneWire como el objeto del sensor.

Figura 38

Código de lectura de temperatura con sensor DS18B20

```

void setup() {
  Serial.begin(115200);      // Inicializa la comunicación serial
  sensors.begin();          // Inicializa el sensor DS18B20
}

void loop() {
  sensors.requestTemperatures(); // Solicita la lectura de temperatura
  float temperatura = sensors.getTempCByIndex(0); // Obtiene la temperatura en °C

  if (temperatura == DEVICE_DISCONNECTED_C) { // Verifica si el sensor está conectado
    Serial.println("Error al leer el sensor DS18B20!");
    return;
  }

  Serial.print("Temperatura: ");
  Serial.print(temperatura);
  Serial.println(" °C");

  delay(5000); // Espera 5 segundos antes de la siguiente lectura
}

```

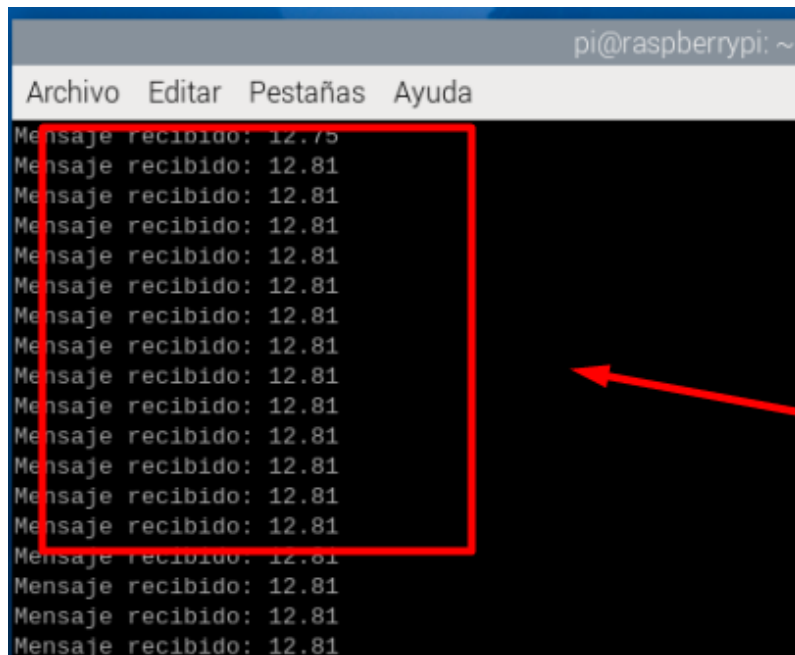
Fuente: Autor

En la función `setup()`, se configura la comunicación serial para visualizar los datos en el monitor serial y se activa el sensor DS18B20 para comenzar con las lecturas. Luego, en el ciclo principal `loop()`, se solicita al sensor la temperatura con la función `requestTemperatures()` y se almacena el resultado utilizando `getTempCByIndex(0)`, lo cual permite obtener el valor en grados Celsius del primer sensor conectado.

Además, el código incluye una verificación de errores mediante una condición que compara si el valor de temperatura recibido equivale al estado `DEVICE_DISCONNECTED_C` el cual indica que el sensor no está conectado correctamente o ha fallado en la lectura, en el momento en que este error ocurre, se imprime un mensaje de advertencia y se interrumpe la lectura y en el caso en que la lectura sea válida, se imprime la temperatura por el monitor serial y se repite el ciclo cada cinco segundos.

Figura 39

Lectura Sensor DS18B20



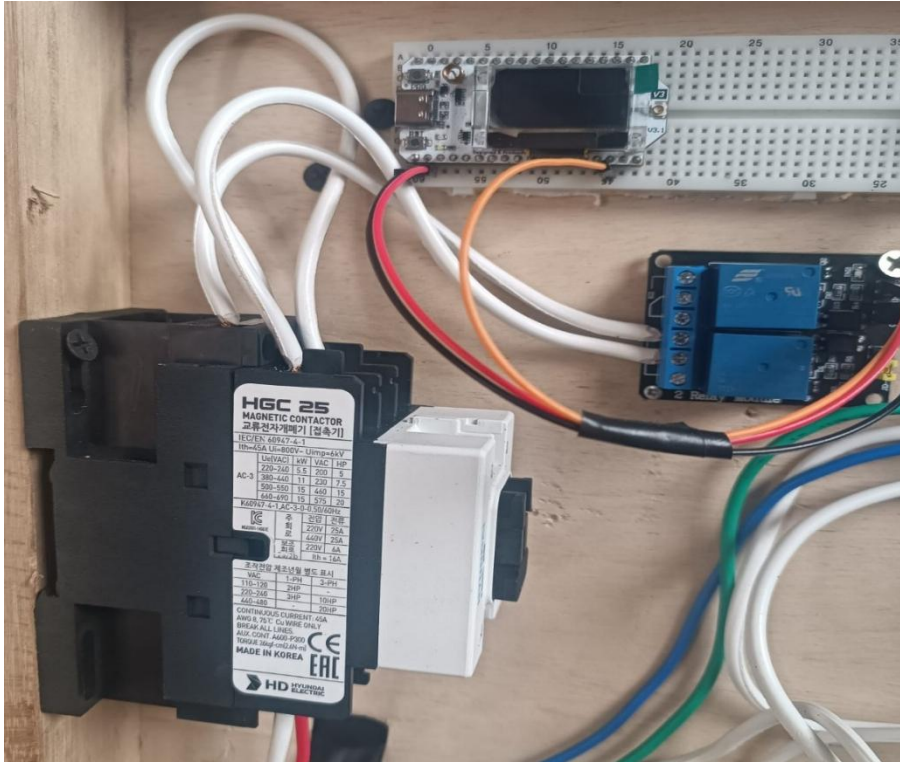
```
pi@raspberrypi: ~  
Archivo Editar Pestañas Ayuda  
Mensaje recibido: 12.75  
Mensaje recibido: 12.81  
Mensaje recibido: 12.81  
Mensaje recibido: 12.81  
Mensaje recibido: 12.81  
Mensaje recibido: 12.81  
Mensaje recibido: 12.81  
Mensaje recibido: 12.81  
Mensaje recibido: 12.81  
Mensaje recibido: 12.81  
Mensaje recibido: 12.81  
Mensaje recibido: 12.81  
Mensaje recibido: 12.81  
Mensaje recibido: 12.81  
Mensaje recibido: 12.81  
Mensaje recibido: 12.81  
Mensaje recibido: 12.81  
Mensaje recibido: 12.81  
Mensaje recibido: 12.81  
Mensaje recibido: 12.81
```

Fuente: Autor

El sistema de control en la figura 40, se implementa a partir del nodo Heltec, el cual actúa como unidad de mando de bajo voltaje y se encarga de enviar las señales de activación hacia el módulo de relé. Desde el nodo, las conexiones de positivo (Vcc) y tierra (GND) se distribuyen correctamente hacia el relé, permitiendo que este opere de forma segura como elemento de aislamiento entre la electrónica de control y los dispositivos de potencia. De esta manera, el relé funciona como un intermediario que recibe la orden del nodo y conmuta el circuito de mayor tensión sin exponer directamente al microcontrolador.

Figura 40

Circuito del motor



Fuente: Autor

2.5 Almacenamiento de Datos (Local)

La visualización de los datos obtenidos por el sensor de temperatura es una fase fundamental dentro del sistema de control del proceso de limpieza la figura 41, ya que permite acceder en tiempo real a información clave sobre la etapa en ejecución, la temperatura actual y los tiempos de cada fase. Este mecanismo facilita a los usuarios del sistema como operadores o administradores, supervisar y verificar que cada etapa del proceso (preenjuague, enjabonado y enjuague final) se desarrolle dentro de los parámetros establecidos. De esta manera, se mejora la eficiencia del proceso, se garantiza la calidad del lavado y se permite tomar decisiones correctivas de forma oportuna.

2.5.1 Envío de datos a InfluxDB

Para habilitar el almacenamiento de los datos provenientes del nodo sensor, se realiza la instalación de la base de datos InfluxDB directamente en la Raspberry Pi, junto con los paquetes y dependencias necesarias que garanticen su correcto desempeño e integración para aceptar peticiones y almacenar la información recibida, garantizando que Raspberry Pi esté preparada para recibir los registros enviados por el nodo Heltec durante cada etapa del proceso de limpieza.

Figura 41

Instalación y comprobación del servicio InfluxDB

```

pi@raspberrypi:~ $
pi@raspberrypi:~ $ sudo apt install influxdb
Leyendo lista de paquetes... Hecho
Creando árbol de dependencias... Hecho
Leyendo la información de estado... Hecho
influxdb ya está en su versión más reciente (1.6.7-rc0-1+b1).
0 actualizados, 0 nuevos se instalarán, 0 para eliminar y 59 no actualizados.
pi@raspberrypi:~ $ sudo systemctl status influxdb
● influxdb.service - InfluxDB is an open-source, distributed, time series database
   Loaded: loaded (/lib/systemd/system/influxdb.service; enabled; preset: enabled)
   Active: active (running) since Tue 2025-07-15 22:56:26 -05; 13h ago
     Docs: man:influxd(1)
    Main PID: 747 (influxd)
      Tasks: 10 (limit: 4700)
         CPU: 2.804s
    CGroup: /system.slice/influxdb.service
           └─747 /usr/bin/influxd -config /etc/influxdb/influxdb.conf

jul 15 22:56:32 raspberrypi influxd[747]: ts=2025-07-16T03:56:32.601391Z lvl=info msg=
jul 15 22:56:32 raspberrypi influxd[747]: ts=2025-07-16T03:56:32.601398Z lvl=info msg=
jul 15 22:56:32 raspberrypi influxd[747]: ts=2025-07-16T03:56:32.601406Z lvl=info msg=
jul 15 22:56:32 raspberrypi influxd[747]: ts=2025-07-16T03:56:32.601412Z lvl=info msg=
jul 15 22:56:32 raspberrypi influxd[747]: ts=2025-07-16T03:56:32.601508Z lvl=info msg=
jul 15 22:56:32 raspberrypi influxd[747]: ts=2025-07-16T03:56:32.601526Z lvl=info msg=

```

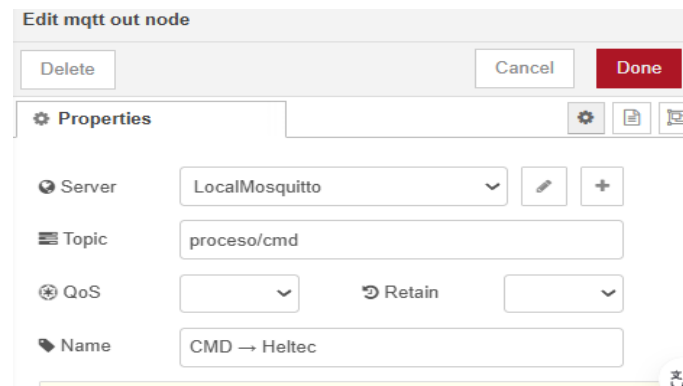
Fuente: Autor

Cabe destacar que, con el propósito de asegurar una comunicación confiable entre la plataforma de control desarrollada en Node-RED y el dispositivo IoT Heltec, se implementa un nodo MQTT de salida configurado sobre un broker local denominado *LocalMosquitto*. Tal como se aprecia en la figura 42, correspondiente, dicho nodo utiliza el tópico proceso/cmd para el envío de los comandos que gobiernan la ejecución del proceso, tales como iniciar, pausar o abortar. Esta configuración permite una transmisión directa y en tiempo real de las órdenes, evitando la retención de mensajes y garantizando que las acciones se ejecuten únicamente cuando son solicitadas por el usuario. Si bien este nodo no realiza el almacenamiento de datos

de forma directa, su función resulta esencial dentro del sistema, ya que a partir de los comandos enviados se genera la información del proceso que posteriormente es procesada en el servidor y almacenada en la base de datos InfluxDB implementada de manera local mediante Node-RED, permitiendo así el registro y análisis histórico del funcionamiento del sistema.

Figura 42

Nodo MQTT de salida para control del proceso



Fuente: Autor

Con el fin de garantizar la coherencia temporal de la información registrada, se implementa un nodo de función que obtiene la fecha y hora directamente desde el servidor en el que se ejecuta Node-RED. Tal como se aprecia en la figura 43, esta marca temporal es generada en el momento exacto en que se procesa el mensaje, lo que permite independizar el registro de posibles desajustes en el reloj del dispositivo IoT. La fecha y hora obtenidas son posteriormente formateadas de manera legible y añadidas al contenido del mensaje, tanto para su visualización en la interfaz del sistema como para su uso en el almacenamiento de datos en InfluxDB. De este modo, cada registro almacenado en el entorno local cuenta con una referencia temporal precisa, lo que facilita la trazabilidad del proceso y el análisis histórico de la información recopilada.

Figura 43

Nodo de función para la generación de fecha y hora del servidor

```

  Setup | On Start | On Message | On Stop
  1 // Añade Fecha/Hora (servidor)
  2
  3 // 1. Obtener fecha/hora actual del servidor
  4 let ahora = new Date();
  5
  6 // 2. Formato legible (ej: 05/12/2025, 14:23:45)
  7 let texto = ahora.toLocaleString('es-EC', {
  8     year: 'numeric',
  9     month: '2-digit',
 10    day: '2-digit',
 11    hour: '2-digit',
 12    minute: '2-digit',
 13    second: '2-digit'
 14 });
 15
 16 // 3. Guardar en el mensaje
 17 msg.fechaHora = texto; // para Influx / otros nodos
 18 msg.payload = texto; // para que se vea en el dashboard
 19
 20 return msg;

```

Fuente: Autor

Este nodo MQTT de entrada se utiliza para recibir los datos finales del proceso enviados por el dispositivo IoT a través del broker local LocalMosquitto. Mediante la suscripción al tópico proceso/registro, Node-RED obtiene la información generada al finalizar la ejecución, la cual es posteriormente procesada y almacenada en la base de datos InfluxDB local, permitiendo el registro y análisis histórico del sistema.

Figura 44

Nodo MQTT de entrada para registro final

The screenshot shows the configuration interface for an MQTT input node in Node-RED. The title is "Edit mqtt in node". At the top, there are buttons for "Delete", "Cancel", and "Done". Below this is a "Properties" section with a gear icon and a refresh icon. The configuration includes:

- Server:** LocalMosquitto (with edit and add icons)
- Action:** Subscribe to single topic
- Topic:** proceso/registro
- QoS:** 0
- Output:** auto-detect (string or buffer)
- Name:** Registro final

A yellow warning box is visible under the "Output" field, stating: "This option is deprecated. Please use the new auto-detect mode."

Fuente: Autor

Este fragmento de la figura 45, corresponde a un nodo de función en Node-RED cuya finalidad es añadir la fecha y hora actuales del servidor al mensaje que circula por el flujo. La marca temporal se genera utilizando el reloj del sistema y se formatea en un formato legible, lo que permite su correcta visualización en la interfaz y su posterior uso en el almacenamiento de datos. De esta manera, se asegura que cada registro enviado a la base de datos InfluxDB local cuente con una referencia temporal precisa, facilitando la trazabilidad y el análisis del proceso.

Figura 45

Función de generación de marca temporal en Node-RED



```

1 // Añade Fecha/Hora (servidor)
2
3 // 1. Obtener fecha/hora actual del servidor
4 let ahora = new Date();
5
6 // 2. Formato legible (ej: 05/12/2025, 14:23:45)
7 let texto = ahora.toLocaleString('es-EC', {
8   year: 'numeric',
9   month: '2-digit',
10  day: '2-digit',
11  hour: '2-digit',
12  minute: '2-digit',
13  second: '2-digit'
14 });
15
16 // 3. Guardar en el mensaje
17 msg.fechaHora = texto; // para Influx / otros nodos
18 msg.payload = texto; // para que se vea en el dashboard
19
20 return msg;

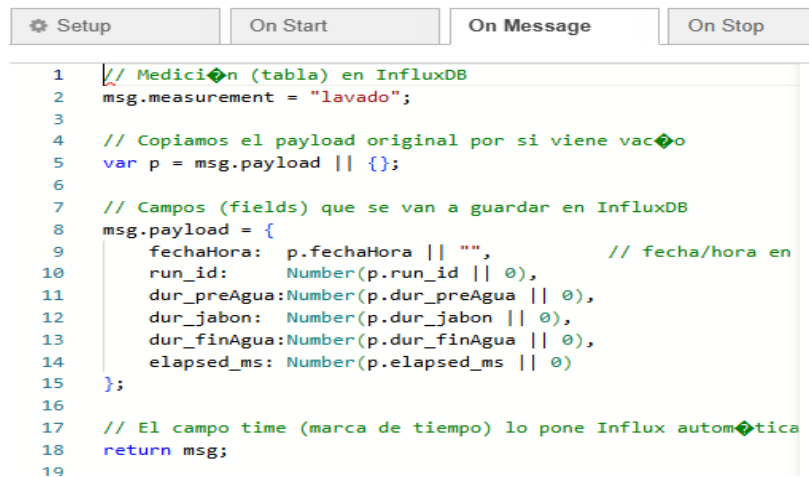
```

Fuente: Autor

Este nodo de función de la figura 46, se encarga de preparar los datos para su almacenamiento en InfluxDB, definiendo la medición denominada lavado y estructurando los campos que serán registrados. A partir del contenido recibido en el mensaje, se organizan valores como el identificador de ejecución, las duraciones de cada etapa del proceso y el tiempo total transcurrido, asegurando que todos los datos sean convertidos a formato numérico. De este modo, la información queda correctamente formateada para ser almacenada en la base de datos local, permitiendo un registro ordenado y coherente de cada ciclo del proceso.

Figura 46

Estructuración de campos para InfluxDB



```

1  // Medición (tabla) en InfluxDB
2  msg.measurement = "lavado";
3
4  // Copiamos el payload original por si viene vacío
5  var p = msg.payload || {};
6
7  // Campos (fields) que se van a guardar en InfluxDB
8  msg.payload = {
9    fechaHora: p.fechaHora || "",          // fecha/hora en
10   run_id:    Number(p.run_id || 0),
11   dur_preAgua: Number(p.dur_preAgua || 0),
12   dur_jabon: Number(p.dur_jabon || 0),
13   dur_finAgua: Number(p.dur_finAgua || 0),
14   elapsed_ms: Number(p.elapsed_ms || 0)
15 };
16
17 // El campo time (marca de tiempo) lo pone Influx automática
18 return msg;
19

```

Fuente: Autor

Esta función de la figura 47, se encarga de construir la consulta que será ejecutada en InfluxDB para recuperar los datos almacenados del proceso. Su función más importante es definir un límite en la cantidad de registros a consultar y generar una instrucción que priorice los datos más recientes de la medición lavado, permitiendo así un acceso ordenado y eficiente a la información histórica para su posterior visualización y análisis.

Figura 47

Generación de consulta limitada



```

Name Build query (limit)
Setup On Start On Message On Stop
1  var n = msg.limit || 50; // número de registros a mostrar
2
3  msg.query = 'SELECT time, "fechaHora" FROM "lavado" ORDER BY
4
5  return msg;
6

```

Fuente: Autor

Resultado de la recepción y almacenamiento de datos en la Raspberry Pi como se observa en la figura 48, que actúa como gateway en el sistema. En este caso, el valor de temperatura captado por el sensor es recibido y confirmado como correctamente almacenado en la base de datos InfluxDB, con un mensaje de confirmación en cada ciclo.

InfluxDB es una base de datos especializada para series temporales, y su implementación permite registrar de forma ordenada y cronológica los datos enviados desde el nodo IoT.

Figura 48

Datos guardados en Bases de Datos local.

```

SELECT * FROM lavados
name: lavados
time                value
-----
1764555043126000000 lavados fecha="2025-12-01T02:10:43.115Z"
1764646833740000000 lavados fecha="2025-12-02T03:40:33.723Z"
1764646981291000000 lavados fecha="2025-12-02T03:43:01.279Z"
1764647088717000000 lavados fecha="2025-12-02T03:44:48.702Z"
1764647823483000000 lavados fecha="2025-12-02T03:57:03.477Z"
1764652847980000000 lavados fecha="2025-12-02T05:20:47.965Z"
1764653597889000000 lavados fecha="2025-12-02T05:33:17.886Z"
1764687036969000000 lavados fecha="2025-12-02T14:50:36.956Z"
1764696108915000000 lavados fecha="2025-12-02T17:21:48.904Z"
1764994079909000000 lavados fecha="2025-12-06T04:07:59.902Z"
1764994818599000000 lavados fecha="2025-12-06T04:20:18.596Z"
1764995375936000000 lavados fecha="2025-12-06T04:29:35.929Z"
1764996106681000000 lavados fecha="2025-12-06T04:41:46.678Z"
1764996342754000000 lavados fecha="2025-12-06T04:45:42.741Z"
1765141697465000000 lavados fecha="2025-12-07T21:08:17.452Z"
1765205342980000000 lavados fecha="2025-12-08T14:49:02.967Z"
1765214017608000000 lavados fecha="2025-12-08T17:13:37.603Z"
1765224898308000000 lavados fecha="2025-12-08T20:14:58.303Z"
1765225273309000000 lavados fecha="2025-12-08T20:21:13.300Z"
1765226019244000000 lavados fecha="2025-12-08T20:33:39.240Z"
1765226283122000000 lavados fecha="2025-12-08T20:38:03.109Z"
1765227291818000000 lavados fecha="2025-12-08T20:54:51.812Z"
1765227690033000000 lavados fecha="2025-12-08T21:01:30.028Z"
SELECT * FROM lavados

```

Fuente: Autor

2.6 Análisis de Datos

El análisis de los datos generados por el sistema de control y monitoreo remoto del lavado del tanque frío de leche se realizó siguiendo los lineamientos generales del proceso de Descubrimiento de Conocimiento en Bases de Datos (KDD), el cual permite organizar y analizar la información obtenida de manera sistemática. Los datos analizados corresponden a los registros generados durante cada ciclo de lavado, los cuales incluyen marcas temporales, tiempos de duración de las distintas etapas del proceso y estados finales de ejecución. La información es capturada y almacenada de forma automática en una base de datos InfluxDB implementada localmente, lo que permite conservar los registros en su estado original y

ordenados cronológicamente. Esta estructura facilita la consulta y revisión histórica del comportamiento del sistema, permitiendo verificar la correcta ejecución del proceso de lavado y detectar posibles irregularidades o variaciones en los tiempos de operación.

A partir de los datos almacenados, se selecciona las variables más relevantes para el análisis del proceso, enfocándose en aquellas que permiten evaluar el desempeño y la repetitividad del lavado del tanque frío de leche, cuya interpretación contribuye a una mejor supervisión del sistema y proporciona información útil para la toma de decisiones.

2.6.1 Selección

El proceso de selección de datos se realizó considerando un número determinado de registros correspondientes a los ciclos de lavado del tanque frío de leche, tomando como referencia un período de varias semanas, hasta contar con un volumen de información suficiente y representativo del funcionamiento normal del sistema. Este procedimiento permitió analizar de manera adecuada el comportamiento del proceso en condiciones reales de operación dentro de la Asociación. Para facilitar esta tarea, se implementó un mecanismo de extracción automática de datos desde la base de datos InfluxDB, el cual permite seleccionar y filtrar la información relevante de cada ciclo de lavado.

Dicho proceso se ejecuta en el entorno de procesamiento donde se encuentra alojado el sistema, encargado de realizar las operaciones de organización y selección de los registros. Es importante señalar que los datos iniciales almacenados en la base de datos fueron considerados como datos de referencia, ya que resultó necesario contar con un patrón representativo del proceso de lavado que permitiera evaluar de manera confiable el desempeño y la repetitividad del sistema de control y monitoreo implementado.

2.6.2 Transformación

Concluida la etapa de preprocesamiento, se da inicio al proceso de transformación de los datos, el cual consiste en organizar y estructurar la información previamente depurada para facilitar su análisis y almacenamiento. En esta etapa, los datos obtenidos del sistema de control y monitoreo del lavado del tanque frío de leche son adaptados a un formato uniforme, asegurando que únicamente se consideren registros válidos y consistentes.

Figura 49

Proceso de Transformación



Fuente: Autor

La manera ordenada el flujo de la figura 49, de tratamiento de los datos generados durante el control y monitoreo remoto del lavado del tanque frío de leche. En una primera etapa, correspondiente a Datos, se recopila la información proveniente del proceso, la cual incluye estados operativos y tiempos de ejecución registrados durante cada ciclo de lavado. Estos datos son capturados en su forma original, con el fin de conservar la información real del funcionamiento del sistema.

Posteriormente, en la fase de Preprocesamiento y validación de datos, se realiza una verificación de los registros obtenidos, asegurando que la información sea completa y coherente; para lo cual, se descartan posibles datos inconsistentes que evitan que la información errónea continúe en las siguientes fases del proceso.

A continuación, en la etapa de Conversión y asignación de fecha y hora, los datos son transformados a un formato adecuado para su almacenamiento, incorporando una marca temporal generada en el servidor que permite garantizar la correcta trazabilidad de cada registro.

Una vez finalizada la transformación, la información es enviada a la base de datos InfluxDB (que actualmente se encuentra implementada de forma local) la cual se encarga de organizar los registros como series temporales, lo que facilita su conservación y consulta a lo largo de la vida útil del sistema.

Finalmente, en la etapa de Visualización de datos, la información almacenada es utilizada para analizar el comportamiento del proceso de lavado, permitiendo verificar su correcto funcionamiento y apoyar la supervisión del sistema

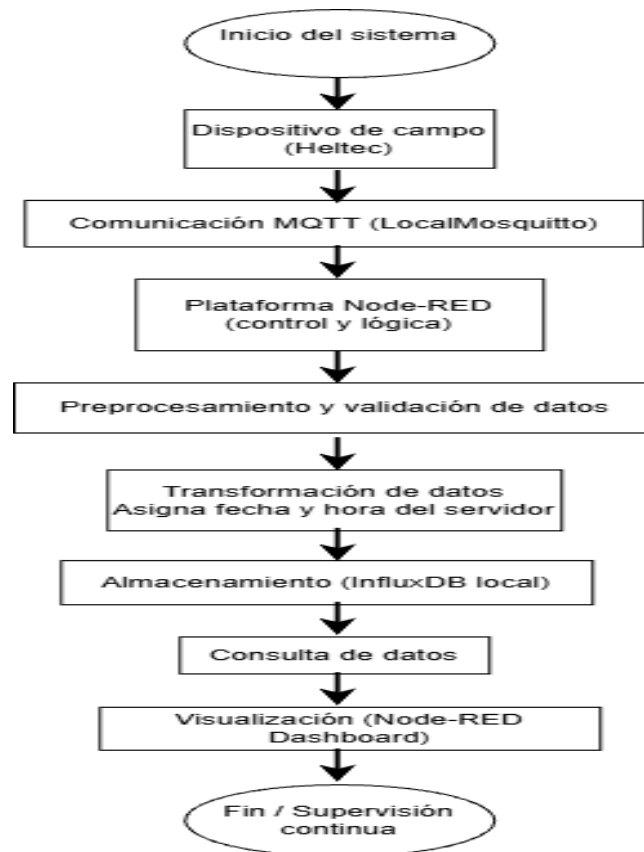
2.7 Bloque de Visualización

A continuación, en la etapa de Conversión y asignación de fecha y hora, los datos son transformados a un formato adecuado para su almacenamiento, incorporando una marca temporal generada en el servidor que permite garantizar la correcta trazabilidad de cada registro.

Una vez finalizada la transformación, la información es enviada a la base de datos InfluxDB (que actualmente se encuentra implementada de forma local) la cual se encarga de organizar los registros como series temporales, lo que facilita su conservación y consulta a lo largo de la vida útil del sistema.

Figura 50

Diagrama de flujo del funcionamiento del bloque de visualización



Fuente: Autor

La secuencia de funcionamiento correspondiente al bloque de visualización del sistema de control y monitoreo remoto del lavado del tanque frío de leche se presenta en la figura 50 correspondiente, donde se describe de manera general la interacción entre los distintos módulos del sistema y la interfaz de usuario desarrollada en Node-RED como se puede observar en la figura 51. Este flujo permite observar cómo la información generada durante el proceso de lavado es presentada al operador de forma clara y accesible.

La vista principal del sistema cumple la función de presentación y control del proceso, la cual desde el punto de vista del diseño presenta un diseño intuitivo y amigable para el usuario, incorporando botones de control claramente identificados que permiten iniciar, pausar, continuar o abortar el proceso de lavado de manera remota y en la parte inferior de la pantalla

muestran indicadores de estado que informan sobre la condición del sistema, el estado actual del proceso y el último registro generado, junto con su respectiva fecha y hora.

Figura 51

Pantalla de inicio de la aplicación Lavado Automático



Fuente: Autor

CAPÍTULO IV. IMPLEMENTACIÓN, PRUEBAS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los análisis e interpretaciones relacionados con el funcionamiento del sistema de monitoreo y control aplicado al proceso de limpieza del tanque frío de leche en la Asociación San Francisco del Abra; para lo cual, se describe el comportamiento general del sistema, haciendo énfasis en la comunicación establecida entre el nodo Heltec ESP32 y la Raspberry Pi mediante el protocolo MQTT para la transmisión y recepción de la información generada durante el proceso.

De igual manera, se exponen los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas en tiempo real, en las cuales se evaluó la respuesta del sistema frente a cada una de las etapas del proceso de lavado, correspondientes al preenjuague, enjabonado y enjuague final cuyos resultados permitieron verificar la correcta visualización de la información tanto en la pantalla integrada del Heltec como en la interfaz web desarrollada para la supervisión remota.

Finalmente, se analizó la integración con la base de datos, así como la validación de los registros almacenados, considerando aspectos como la precisión de los datos, los tiempos de respuesta y la estabilidad de la comunicación en la red.

3.1.1 Implementación Estructural del sistema

La implementación estructural del sistema se realizó sobre un tanque frío de leche con capacidad aproximada de 1500 litros, con una altura de 1,60 m y un ancho de 2,0 m, utilizado para el almacenamiento y conservación de la leche a temperatura controlada. El tanque, construido en acero inoxidable, ofrece condiciones adecuadas de higiene y resistencia para su operación en el entorno de la Asociación.

Figura 52

Tanque de Frío de leche



Fuente: Autor

Como parte de la infraestructura complementaria del sistema, se incorporó un tanque de almacenamiento Rotoplast con capacidad de 600 litros, el cual fue instalado a una altura aproximada de 4 metros sobre la edificación, tal como se observa en la figura 53 correspondiente. Esta ubicación estratégica permite aprovechar la gravedad para garantizar un suministro continuo de agua hacia el sistema de lavado, incluso en condiciones de baja presión o ausencia del servicio de agua potable.

Figura 53

Tanque de almacenamiento Rotoplast



Fuente: Autor

La infraestructura hidráulica del sistema de lavado del tanque frío de leche como se observa en la figura 54, fue diseñada para garantizar un suministro controlado y eficiente de agua caliente y fría durante cada etapa del proceso de acuerdo con el siguiente detalle:

- El ingreso de agua fría se realiza a través de una tubería de 1/2 pulgada, la cual alimenta directamente al calefón, permitiendo el calentamiento del agua según los requerimientos del lavado.
- La salida del calefón se conecta igualmente a una tubería de 1/2 pulgada, en la cual se integra una electroválvula encargada del control automático del encendido y apagado del flujo de agua, gestionado desde el sistema de control.
- Posteriormente, el agua es conducida hacia un tanque metálico de almacenamiento con dimensiones aproximadas de 1,5 metros de longitud por 75 centímetros de altura, donde se mantiene disponible para su distribución.

- Finalmente, la salida del tanque se conecta a un conducto plástico de 3/4 de pulgada, el cual dirige el agua hacia el sistema de lavado del tanque frío, asegurando un caudal adecuado y una operación continua del proceso.

Figura 54

a) Conexión calefón b) Caldero de depósito



Fuente: Autor

Como parte del sistema hidráulico del proceso de lavado del tanque frío de leche, se implementó una infraestructura que permite el control automático del ingreso de agua y la dosificación de detergente. En una primera etapa, se utiliza una conexión tipo “T” de 3/4 de pulgada, la cual actúa como punto de distribución del flujo principal de agua, permitiendo tanto la entrada como la salida del caudal hacia el sistema. En la derivación de esta conexión se instaló una electroválvula adicional, destinada al control del suministro de detergente, la cual se activa de manera controlada durante la fase de enjabonado del proceso.

Asimismo, el sistema incorpora un depósito auxiliar de detergente, desde el cual el jabón es conducido mediante una tubería flexible hacia una electroválvula de goteo. Este mecanismo permite regular con precisión el caudal de detergente, asegurando una dosificación

uniforme antes de su mezcla con el flujo de agua. La integración de estas electroválvulas, junto con las conexiones hidráulicas de 1/2 y 3/4 de pulgada, garantiza un control eficiente del proceso de lavado, optimizando el consumo de agua y detergente, y asegurando la correcta ejecución de cada etapa del ciclo de limpieza, se observa en la figura 55.

Figura 55

a) *Electroválvula del jabón* b) *Recipiente o depósito del jabón*



Fuente: Autor

La siguiente etapa del sistema corresponde a la impulsión del fluido de lavado hacia el tanque frío de leche; para lo cual, la mezcla de agua y detergente proveniente de las líneas de salida previamente controladas que ingresa a una bomba centrífuga a través de una tubería de 3/4 de pulgada.

Es importante indicar que la bomba cumple la función de generar la presión y el caudal necesarios para transportar el fluido de manera continua y uniforme hasta el interior del tanque, garantizando un adecuado arrastre de residuos durante el proceso de limpieza.

Su operación es controlada automáticamente desde el sistema de control, permitiendo sincronizar el encendido y apagado con las distintas etapas del proceso de lavado, lo que asegura eficiencia operativa y repetibilidad en la limpieza del equipo.

Figura 56

Tanque de almacenamiento Rotoplast



Fuente. Autor

El sistema hidráulico de lavado, el fluido resultante de la mezcla de agua y detergente es conducido hacia una a) bomba centrífuga mediante tubería de 3/4", cuya función principal es proporcionar la presión y el caudal necesarios para el proceso de limpieza, la cual una vez activada impulsa el fluido a través de la red de tuberías hasta la parte superior del tanque frío de leche, donde el conducto es direccionado mediante codos a 90° instalados en el tumbado, permitiendo un ingreso adecuado al interior del tanque.

En el extremo final del sistema se incorpora b) una boquilla rotativa de 360°, la cual aprovecha la presión del agua para generar un movimiento giratorio continuo que garantiza una distribución uniforme del fluido sobre las superficies internas del tanque, asegurando así un lavado automático eficiente

Figura 57

a) Conexión al tanque b) Boquilla de 360°



Fuente: Autor

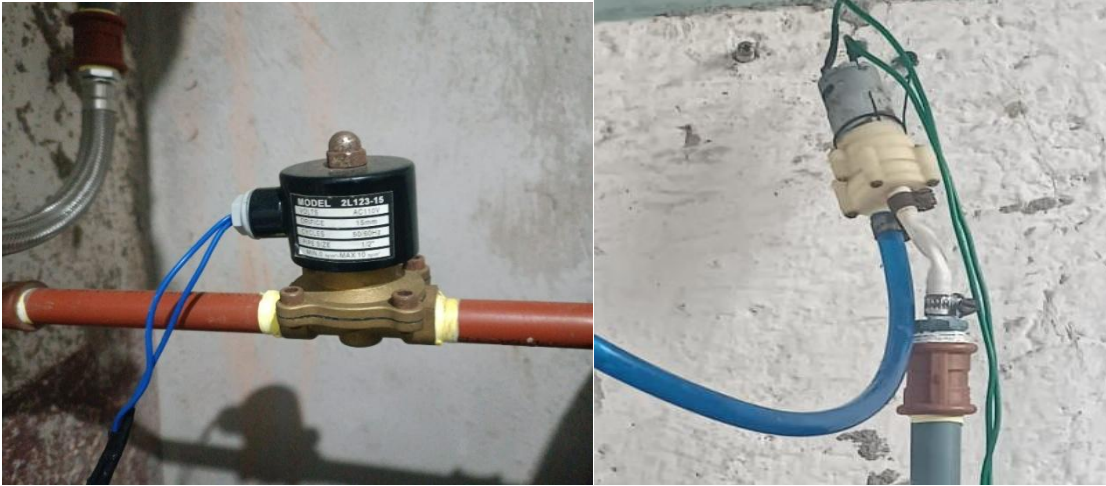
3.2 Implementación Electrónica del sistema

El sistema hidráulico del proceso de lavado del tanque frío de leche incorpora electroválvulas estratégicamente ubicadas para garantizar un control automatizado y preciso del flujo de agua y detergente; para lo cual, en la línea principal se instala una electroválvula de paso que permite habilitar o interrumpir el suministro de agua de manera remota, sincronizando su operación con las distintas etapas del lavado.

De forma complementaria, se integra un sistema de dosificación de detergente compuesto por una electroválvula de bajo caudal conectada a un depósito auxiliar, cuya función es regular la salida controlada del jabón hacia la tubería principal, permitiendo su mezcla adecuada con el agua.

Figura 58

a) Electroválvulas del agua b) Electroválvulas para jabón goteo



Fuente: Autor

3.3 Implementación de Sistema tecnológico

La implementación del sistema tecnológico de la figura 59, se realizó mediante una infraestructura de red dedicada exclusivamente al funcionamiento del sistema de control y monitoreo del lavado del tanque frío de leche, con el fin de garantizar estabilidad y seguridad en la comunicación. Para ello, se instaló un router independiente, el cual se encuentra conectado de forma cableada mediante UTP a la red principal, evitando interferencias con otros servicios y asegurando un canal de comunicación confiable.

Este router se utiliza únicamente para el sistema, permitiendo un control adecuado del tráfico de datos generado por los nodos y la plataforma de supervisión; asimismo, el servidor central basado en una Raspberry Pi 5 fue conectado directamente al router mediante cable de red, priorizando una conexión física sobre inalámbrica para mejorar la seguridad, reducir latencias y garantizar una operación continua y estable del sistema tecnológico implementado.

Figura 59

Implementación de Sistema tecnológico



Fuente: Autor

3.4 Pruebas de Hardware/Software

En esta sección se presentan las pruebas realizadas para verificar el correcto funcionamiento integral del sistema, considerando tanto los elementos de hardware como los componentes de software. Durante este proceso se evaluó el desempeño conjunto de los módulos implementados, asegurando una comunicación adecuada entre el sensor, los actuadores, los nodos de control y la plataforma de visualización. Estas pruebas permitieron comprobar la correcta adquisición de datos, su procesamiento y visualización, así como la estabilidad del sistema durante su operación en condiciones reales.

3.4.1 Pruebas de Hardware/ Software

En este apartado se expone el cronograma de actividades correspondiente a la etapa de pruebas del sistema de control y monitoreo remoto del lavado del tanque frío de leche. En dicho cronograma se describen de manera organizada las actividades desarrolladas, las fechas programadas para su ejecución, el hardware empleado y el lugar donde se llevaron a cabo las pruebas. Asimismo, se detallan los resultados esperados y el tiempo estimado para cada actividad, información que se encuentra resumida en la Tabla 28, permitiendo una mejor comprensión del proceso de validación del sistema.

Tabla 28

Cronograma de Actividades para el Funcionamiento del Sistema

Cronograma de pruebas de funcionamiento del sistema						
Nº de Prueba	Detalle de la prueba	Involucrados	Hardware /Software	Lugar de pruebas	Resultados a esperar	Duración
1	Verificación del funcionamiento de los sensores y dispositivos del sistema durante el proceso de lavado.	Autor	Nodo secundario (Heltec + actuadores)	Plataforma de pruebas	Dispositivos operativos y respuesta correcta durante el ciclo de lavado.	Del 01 al 05 de noviembre
2	Prueba de comunicación y recepción de comandos desde el nodo central hacia el nodo secundario.	Autor	Nodo central (Node-RED) y nodo secundario	Red local del sistema	Recepción correcta de comandos de inicio, pausa, continuación y aborto.	Del 06 al 10 de noviembre
3	Validación de la comunicación entre nodo central, nodo secundario y base de datos.	Autor	Node-RED, MQTT, InfluxDB local	Sistema de monitoreo	Flujo correcto de datos y almacenamiento exitoso en la base de datos.	Del 11 al 16 de noviembre
4	Prueba del sistema de control de actuadores durante las distintas fases del lavado.	Autor	Nodo secundario y actuadores	Área de lavado	Activación y desactivación correcta de válvulas según el proceso.	Del 17 al 21 de noviembre
5	Verificación del registro y almacenamiento de los datos del proceso de lavado.	Autor	Node-RED e InfluxDB local	Servidor local	Registros completos con marcas de tiempo correctas.	Del 22 al 30 de noviembre
6	Prueba de visualización del estado del sistema y del proceso de lavado en la interfaz.	Autor	Node-RED Dashboard	Plataforma de visualización	Visualización clara de estados, controles y último registro.	Del 01 al 06 de diciembre
7	Prueba integral del sistema en operación continua.	Autor	Sistema completo	Asociación San Francisco del Abra	Funcionamiento estable del sistema durante ciclos completos de lavado.	Del 07 al 12 de diciembre

Fuente: Autor

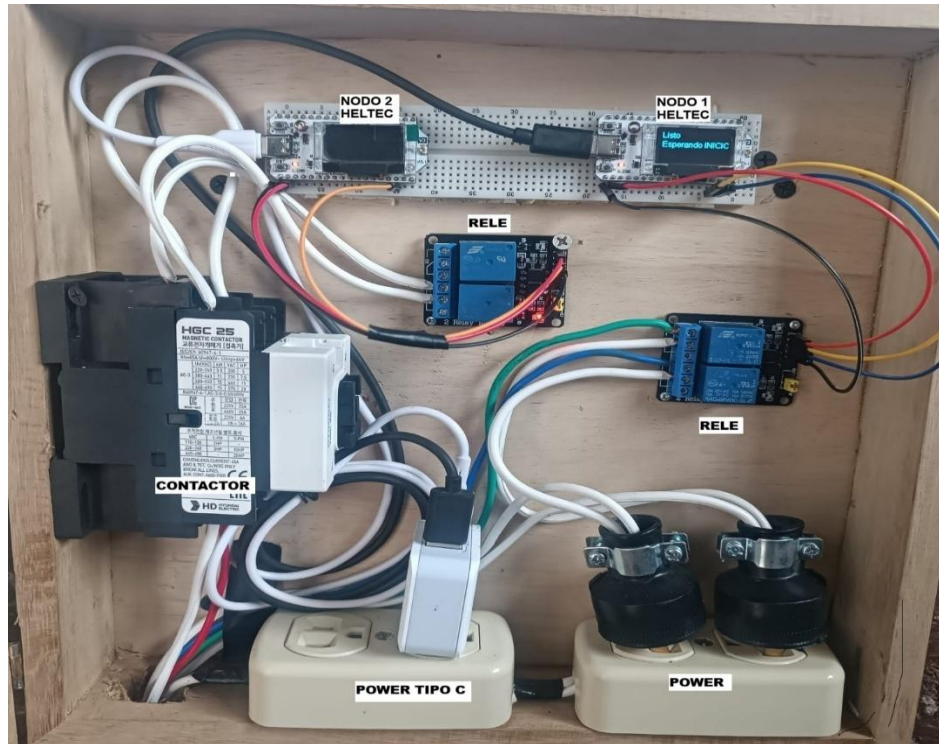
3.4.1.1 Pruebas de Acoplamiento de los Componentes

Para la ejecución de las pruebas finales del sistema, se realizó inicialmente la verificación de la correcta integración del nodo secundario con los dispositivos y actuadores involucrados en el proceso de lavado del tanque frío de leche, directamente en el entorno de instalación. Esta prueba forma parte del bloque de control y adquisición de datos, y tuvo como objetivo validar el funcionamiento adecuado del sistema durante la ejecución de cada fase del lavado, así como la correcta recepción de la información generada. En caso de detectarse comportamientos fuera de lo esperado, se procedió a realizar los ajustes necesarios en la configuración del sistema, garantizando una operación estable y confiable del proceso.

La Figura 60 muestra el montaje preliminar del sistema de control implementado para el proceso de lavado del tanque frío de leche, donde se observa la integración de los nodos Heltec, los módulos de relé, el contactor y los elementos de alimentación dentro de la caja de control, lo cual corresponde a una etapa previa a la instalación de la cubierta de protección definitiva que permitió verificar la correcta interconexión eléctrica y funcional de los componentes antes de su puesta en operación.

Figura 60

Acoplamiento de nodo 1 y 2 para el funcionamiento



Fuente: Autor

Una vez concluida la integración física de los nodos de control y el acoplamiento de los dispositivos y actuadores involucrados en el proceso de lavado del tanque frío de leche, se llevaron a cabo pruebas orientadas a verificar el correcto funcionamiento del sistema en su conjunto. Estas pruebas tuvieron como finalidad validar la adecuada operación de los nodos Heltec, los módulos de relé, el contactor y la comunicación entre los distintos componentes del sistema. La evaluación se realizó mediante una lista de cotejo que permitió obtener una valoración objetiva y estructurada del desempeño de cada elemento. Este procedimiento fue identificado como “Prueba de acoplamiento y funcionamiento de los componentes del sistema”, y sus resultados se detallan en la tabla 29 que se presenta a continuación.

Tabla 29

Prueba de acoplamiento y funcionamiento de componentes del sistema.

Prueba de acoplamiento y funcionamiento de componentes			
N°	Descripción de la prueba	Valoración	
		Sí	No

1	Verificación del correcto montaje de los nodos Heltec y módulos de relé dentro de la caja de control.	X
2	Inspección del aseguramiento del cableado eléctrico y de comunicación dentro de la caja de control.	X
3	Validación del correcto funcionamiento del microcontrolador y la comunicación con el nodo central mediante MQTT.	X
4	Comprobación de la activación y desactivación adecuada de los actuadores durante el proceso de lavado.	X

Fuente: Autor

Los resultados obtenidos en la Tabla 29 evidencian el correcto acoplamiento y funcionamiento de los componentes electrónicos que conforman el sistema de control y monitoreo remoto del lavado del tanque frío de leche. Las pruebas realizadas permitieron verificar la adecuada integración de los nodos Heltec, los módulos de relé, el contactor y el cableado eléctrico dentro de la caja de control, garantizando una operación segura y confiable del sistema. Asimismo, se comprobó el correcto funcionamiento de la comunicación entre el nodo central y los nodos secundarios, así como la respuesta adecuada de los actuadores durante la ejecución de las distintas fases del proceso de lavado. Estas validaciones aseguran la estabilidad del sistema frente a posibles fallos eléctricos y contribuyen a la correcta operación del proceso en el entorno real.

3.4.1.2 Prueba de Funcionamiento del Nodo Central

En esta sección se presentan las pruebas realizadas al nodo central del sistema, encargado de coordinar las tareas de control, el almacenamiento de la información generada y la visualización de los datos del proceso. Estas pruebas permitieron comprobar el correcto funcionamiento de los distintos componentes que intervienen en el manejo y distribución de la información, asegurando un flujo de datos estable desde los nodos secundarios hasta la interfaz de supervisión. En la Tabla 30 se resumen las verificaciones efectuadas para validar el desempeño del nodo central durante la operación del sistema.

Tabla 30*Prueba de Funcionamiento del Nodo Central*

Prueba de Funcionamiento del Nodo Central			Valoración	
N°	Descripción de la prueba	Sí	No	
1	Creación y configuración de la base de datos local para el almacenamiento de los registros del proceso de lavado, así como la gestión de operaciones básicas de consulta y actualización de datos.	X		
2	Prueba de recepción, procesamiento y organización de los datos enviados por los nodos secundarios durante las distintas fases del proceso de lavado.	X		
3	Verificación del correcto control del proceso desde el nodo central, incluyendo el envío de comandos de inicio, pausa, continuación y aborto hacia los nodos secundarios.	X		
4	Validación de la visualización de la información en tiempo real y del historial de registros del proceso de lavado a través de la interfaz desarrollada en Node-RED.	X		

Fuente: Autor

Con base en los resultados obtenidos y expuestos en la Tabla 30, se confirma el adecuado funcionamiento del nodo central del sistema de control y monitoreo remoto del lavado del tanque frío de leche. Las pruebas efectuadas demuestran una correcta gestión del almacenamiento local de datos, así como un procesamiento y organización eficientes de la información recibida desde los nodos secundarios. De igual manera, se constató la correcta ejecución de las acciones de control y la visualización en tiempo real de los estados y registros del proceso, lo cual respalda la estabilidad operativa y la fiabilidad del nodo central durante el funcionamiento del sistema.

La figura 61 correspondiente presenta una consulta realizada sobre la base de datos InfluxDB que permite visualizar los registros almacenados del proceso de lavado del tanque

frío de leche donde cada fila representa un ciclo de lavado ejecutado por el sistema, incluyendo información relevante como la duración de las distintas fases del proceso, el tiempo total de ejecución, el identificador del ciclo y la marca temporal asociada.

La correcta visualización de estos registros permite comprobar que el sistema almacena la información de manera estructurada y ordenada cronológicamente, garantizando la trazabilidad de cada operación realizada para el análisis histórico del proceso y permitiendo validar el correcto funcionamiento del sistema de control y monitoreo remoto implementado.

Figura 61

Creación de bases de datos del lavado

```

> SELECT * FROM lavado
name: lavado
time          dur_finAgua dur_jabon dur_preAgua elapsed_ms fechaHora run_id value
-----
1763430701873000000          lavado,resultado=OK run_id
=3i,dur_preAgua=60i,dur_jabon=60i,dur_finAgua=60i,elapsed_ms=180031i 1763430701853000000
1763430749038000000          lavado,resultado=OK run_id
=3i,dur_preAgua=60i,dur_jabon=60i,dur_finAgua=60i,elapsed_ms=180031i 1763430749030000000
1763579067253000000          lavado,resultado=OK run_id
=3i,dur_preAgua=60i,dur_jabon=60i,dur_finAgua=60i,elapsed_ms=180031i 1763579065820000000
1763580965688000000          lavado,resultado=OK run_id
=1i,dur_preAgua=60i,dur_jabon=60i,dur_finAgua=60i,elapsed_ms=180031i 1763580965679000000
1763581846618000000          lavado,resultado=OK run_id
=3i,dur_preAgua=60i,dur_jabon=60i,dur_finAgua=60i,elapsed_ms=180024i 1763581846613000000
1763589983481000000          lavado,resultado=OK run_id
=4i,dur_preAgua=60i,dur_jabon=60i,dur_finAgua=60i,elapsed_ms=180032i 1763589983476000000
1763653184026000000          lavado,resultado=OK run_id
=4i,dur_preAgua=60i,dur_jabon=60i,dur_finAgua=60i,elapsed_ms=180032i 1763653182588000000
1763656711905000000          lavado,resultado=OK run_id
=2i,dur_preAgua=60i,dur_jabon=60i,dur_finAgua=60i,elapsed_ms=180029i 1763656711900000000
1763664883987000000          lavado,resultado=OK run_id
=2i,dur_preAgua=360i,dur_jabon=180i,dur_finAgua=180i,elapsed_ms=720024i 1763664883985000000
1763669580689000000          lavado,resultado=OK run_id
=1i,dur_preAgua=360i,dur_jabon=180i,dur_finAgua=180i,elapsed_ms=720030i 1763669580686000000
1763674978140000000          lavado,resultado=OK run_id
=2i,dur_preAgua=360i,dur_jabon=180i,dur_finAgua=180i,elapsed_ms=720030i 1763674978136000000
1763685044547000000          lavado,resultado=OK run_id
=3i,dur_preAgua=360i,dur_jabon=180i,dur_finAgua=180i,elapsed_ms=720029i 1763685044545000000

```

Fuente: Autor

3.4.1.3 Prueba de Comunicación entre Nodos

Posteriormente, concluida la verificación del funcionamiento de los componentes de hardware y software que conforman el sistema, se procedió a realizar las pruebas del enlace de comunicación entre el nodo central y los nodos secundarios con el objetivo de validar la correcta transmisión de comandos y datos relacionados con el proceso de lavado del tanque

frío de leche, así como comprobar la estabilidad de la comunicación en condiciones reales de operación.

Las validaciones realizadas permitieron verificar la integridad de los mensajes intercambiados a través del protocolo de comunicación implementado, asegurando que las órdenes enviadas desde el nodo central fueran correctamente recibidas y ejecutadas por los nodos secundarios, cuyos resultados se encuentran descritos en la Tabla 31.

Tabla 31

Prueba de Comunicación entre Nodos

Prueba de Comunicación entre Nodos			Valoración	
Nº	Descripción de la prueba	Sí	No	
1	Envío de comandos y datos desde el nodo central hacia el nodo secundario mediante el protocolo MQTT durante el proceso de lavado.	X		
2	Confirmación de la recepción de los mensajes por parte del nodo secundario y visualización del estado del proceso en la interfaz de Node-RED.	X		

Fuente: Autor

La figura 62 presentada da da paso a la configuración del Nodo 1 del sistema, donde se establece la conexión con el servidor de control ubicado en la red local, identificado mediante la dirección IP 192.168.0.101 que le permite al nodo secundario comunicarse de manera directa con el servidor que aloja la plataforma Node-RED, garantizando la recepción de los comandos de control y el envío de información.

A partir de esta conexión, el Nodo 1 ejecuta la lógica de control del proceso de lavado, gestionando de forma precisa los tiempos de activación de las electroválvulas correspondientes a cada fase del ciclo, mientras que a la par el sistema controla el suministro de agua durante el

prelavado y el enjuague final, así como el tiempo asignado al proceso de enjabonado, respetando los valores establecidos para cada etapa.

Este control temporizado evita la superposición de funciones, optimiza el uso de los recursos y garantiza la correcta ejecución del proceso de lavado bajo las condiciones definidas por el sistema de control y monitoreo remoto implementado.

Figura 62

Parte del Código donde se observa la dirección del servidor del nodo 1

```
const char* ssid = "Red ADM";  
const char* pass = "ADM25UTN@";  
const char* mqtt_host = "192.168.0.101";  
const int mqtt_port = 1883;  
const char* mqtt_id = "heltec-proceso";  
..
```

Fuente: Autor

Por otro lado, la figura 63 muestra la configuración del Nodo 1, en la cual se establece la conexión con el servidor MQTT ubicado en la red local, identificado mediante la dirección IP 192.168.0.101, la cual permite que el nodo envíe y reciba información relevante para el control y monitoreo del proceso de lavado del tanque frío de leche, asegurando una comunicación.

A partir de esta configuración, el nodo integra la lectura del sensor de temperatura que se encarga de monitorear las condiciones térmicas durante el proceso de lavado, y controla la activación de la bomba de acuerdo con los tiempos establecidos para cada etapa, garantizando un flujo adecuado de agua y un funcionamiento seguro del proceso que contribuye a mantener condiciones operativas controladas y confiables.

Figura 63

Parte del Código donde se observa la dirección del servidor del nodo 2

```
const char* ssid      = "Red ADM";  
const char* password  = "ADM25UTN@";  
const char* mqttServer = "192.168.0.101";  
const int   mqttPort  = 1883;  
  
// Tópicos (ajusta si lo deseas)  
const char* TOPIC_TELE = "proceso/temperatura";
```

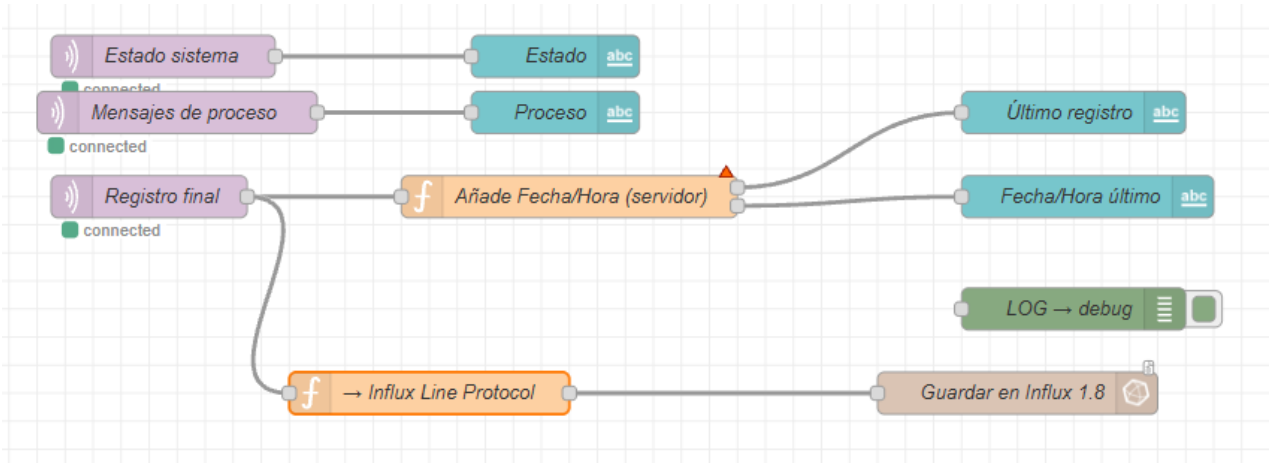
Fuente: Autor

Una vez establecida la comunicación entre el nodo central y los nodos secundarios, se implementó el flujo de procesamiento en Node-RED encargado de gestionar los datos generados durante el proceso de lavado del tanque frío de leche y de recibir los mensajes correspondientes al estado del sistema, los eventos del proceso y el registro final del ciclo de lavado, garantizando una correcta integración entre el control del proceso y el almacenamiento de la información.

El flujo de la figura 64 contempla nodos de entrada para la recepción de estados y mensajes del proceso, funciones de procesamiento que añaden la fecha y hora del servidor, así como la estructuración de los datos para su posterior almacenamiento. Finalmente, la información es convertida al formato requerido y almacenada en la base de datos InfluxDB local.

Figura 64

Representación del flujo funcional al control del lavado

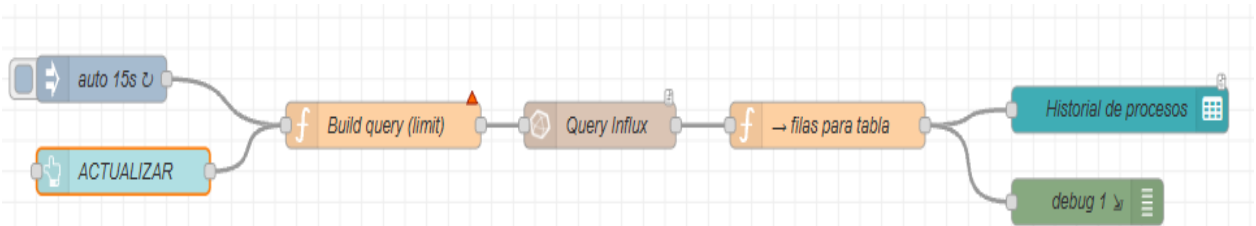


Fuente: Autor

El flujo descrito en la Figura 65 muestra el flujo de consulta hacia la base de datos, establece un límite de registros para optimizar el rendimiento del sistema y procesa la información obtenida para presentarla en una tabla dentro de la interfaz de visualización, permitiendo al operador acceder de manera clara y ordenada al historial de los ciclos de lavado, facilitando el seguimiento del proceso y el análisis del funcionamiento del sistema de control y monitoreo remoto del lavado.

Figura 65

Representación del flujo funcional del guardado de datos



Fuente: Autor

3.4.1.4 Prueba de Funcionamiento de Aplicación

Con el objetivo de verificar el correcto funcionamiento del bloque de visualización del sistema tabla 32, se realizaron pruebas orientadas a evaluar la interacción entre la plataforma

Node-RED, la base de datos InfluxDB local y la interfaz de supervisión desarrollada. El sistema fue diseñado para almacenar los datos generados durante el proceso de lavado del tanque frío de leche en una base de datos local y permitir su posterior consulta y visualización en tiempo real. Durante las pruebas se validó la correcta recepción de la información, la actualización de los estados del sistema y la visualización de los registros históricos del proceso. Asimismo, se comprobó que la interfaz permite al operador supervisar el funcionamiento del sistema y ejecutar acciones de control de manera remota, garantizando una operación estable y acorde a los objetivos del sistema de control y monitoreo implementado.

Tabla 32

Prueba de Comunicación entre App Y Nodos

<i>Prueba de Comunicación entre App Y Nodos</i>			
N°	Descripción de la prueba	Valoración	
		Sí	No
1	Comunicación entre la plataforma Node-RED y los nodos secundarios mediante el protocolo MQTT.	X	
2	Envío y recepción de datos del proceso de lavado en tiempo real.	X	
3	Recepción y visualización de los estados del sistema y del proceso de lavado en la interfaz de Node-RED.	X	
4	Actualización del historial de registros del proceso de lavado a partir de los datos almacenados en InfluxDB local.	X	
5	Representación ordenada de los registros históricos del proceso de lavado en la interfaz de visualización.	X	
6	Ejecución de comandos de control del proceso de lavado desde la interfaz hacia los nodos secundarios.	X	

Fuente: Autor

Inicialmente, el operador interactúa con la interfaz de la figura 66 de supervisión presionando el botón INICIAR, acción que da paso al arranque del proceso automático de lavado del tanque frío de leche cambiando su estado a START_SEQUENCE, indicando que el ciclo ha comenzado correctamente.

De manera inmediata, el sistema activa la primera fase del proceso, correspondiente al pre-enjuague, durante la cual se habilita la electroválvula de agua por un tiempo previamente programado de seis minutos permitiendo el ingreso de agua caliente proveniente del calefón hacia el depósito, garantizando el llenado adecuado y el acondicionamiento inicial del tanque; para lo cual, durante esta etapa, la interfaz muestra en tiempo real el estado del sistema y el nombre de la fase activa, permitiendo al operador verificar visualmente que el proceso se esté ejecutando

Figura 66

Inicialización del proceso INICIAR



Fuente: Autor

En la siguiente figura 67, el sistema permite pausar el proceso de lavado mediante el botón PAUSAR, opción que puede ser utilizada cuando se presenta cualquier inconveniente en los dispositivos o en el suministro de agua. Al activar esta función, el proceso se detiene de forma segura y el sistema cambia a estado PAUSED, conservando la información del ciclo para que el operador pueda revisar la situación y continuar posteriormente sin afectar la secuencia del lavado.

Figura 67

Visualización para la opción de PAUSA



Fuente: Autor

Una vez transcurridos los seis minutos correspondientes a la fase de pre-enjuague, el sistema avanza automáticamente a la siguiente etapa del proceso. En este punto, se desactiva la electroválvula de agua y se habilitan las electroválvulas destinadas al suministro de detergente, dando inicio a la fase de enjabonado. En la figura 68 es la etapa se ejecuta de manera controlada durante un tiempo previamente establecido de tres minutos, periodo en el cual se asegura la correcta aplicación del jabón para la limpieza interna del tanque frío de leche.

Figura 68

Proceso del enjabonado del lavado



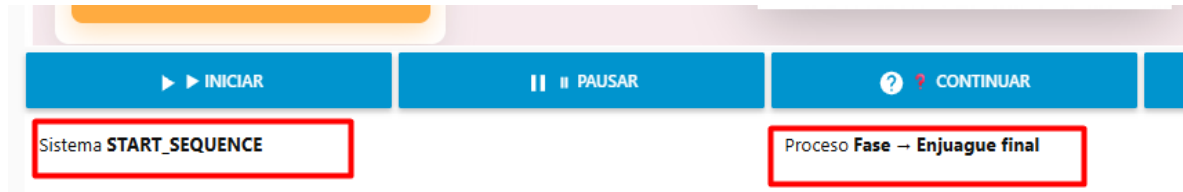
Fuente: Autor

Concluida la etapa de enjabonado, el sistema inicia la fase de enjuague final, activando la electroválvula de agua durante tres minutos para retirar los residuos de detergente. Esta fase

se ejecuta de forma automática y su estado es visualizado en la interfaz de la figura 69, confirmando la correcta continuidad del proceso de lavado.

Figura 69

Visualización del enjuague final



Fuente: Autor

Al finalizar la fase de enjuague final, el sistema concluye el ciclo de lavado y cambia su estado a PROG_END, indicando que el proceso ha terminado correctamente. En este punto, se cierra la electroválvula principal, deteniendo el ingreso de agua al sistema, y se mantiene activo el motor durante un período aproximado de tres minutos, con el fin de vaciar completamente el agua restante del depósito. Esta etapa final garantiza que el tanque quede libre de residuos líquidos, asegurando el cierre adecuado del proceso de lavado y dejando el sistema listo para un nuevo ciclo de operación.

Figura 70

Proceso Final del lavado



Fuente: Autor

Por finalizar, se puede observar la figura 71, que el sistema almacena de manera automática los registros del proceso de lavado en la base de datos local, guardando información como la fecha y hora de cada ciclo ejecutado. Estos datos quedan disponibles en la sección de historial, lo que permite consultar los registros recientes, actualizar la lista de procesos y exportar la información cuando sea necesario, facilitando así el seguimiento y la trazabilidad del funcionamiento del sistema.

Figura 71

Visualización de bases de datos local



Fecha/Hora
10/1/2026, 18:33:43
6/1/2026, 16:52:36
6/1/2026, 16:13:23
4/1/2026, 10:25:07
24/12/2025, 11:22:08
16/12/2025, 18:56:12

Fuente: Autor

3.4.1.5 Seguridad de conexión de dispositivos a la red

En la configuración de seguridad de conexión de dispositivos, se establece una red controlada en la que únicamente se permite la conexión de dos equipos autorizados. El primero corresponde a la Raspberry Pi, la cual actúa como servidor principal del sistema, encargada de gestionar los servicios, la asignación de direcciones IP y el control general de la red.

Como se observa la figura 72, la interfaz de configuración del servidor DHCP, se utiliza la asignación de direcciones IP estáticas asociadas a direcciones MAC específicas, lo que garantiza que solo los dispositivos previamente registrados puedan acceder a la red. Mediante

esta configuración, se evita la conexión de equipos no autorizados, reforzando la seguridad del sistema.

Figura 72

Configuración de las direcciones

Esta página muestra la dirección IP estática asignada por el Servidor DHCP y le permite ajustar estas configuraciones dando clic en los campos correspondientes.

The screenshot shows a web interface for DHCP configuration. At the top, there is a text box explaining that it displays static IP addresses assigned by the DHCP server and allows for adjustments. Below this is a table with the following columns: a checkbox, 'Dirección MAC', 'Dirección IP', 'Estado', and 'Editar'. Underneath the table, there are four buttons: 'Agregar Nuevo' (highlighted with a mouse cursor), 'Habilitar Seleccionado', 'Deshabilitar Seleccionado', and 'Borrar Seleccionado'. At the bottom center, there is an 'Actualizar' button.

Fuente: Autor

Como se observa en la figura 73, cada dispositivo autorizado en la red cuenta con una dirección MAC específica asociada a una dirección IP asignada de forma fija. Esta relación entre la dirección MAC y la IP garantiza que únicamente los dispositivos registrados puedan establecer conexión en la red. La asignación directa de direcciones IP a direcciones MAC permite un control preciso de los accesos, fortaleciendo la seguridad de la comunicación y asegurando que solo los equipos autorizados.

Figura 73

Tabla de clientes conectados

ID	Nombre del Cliente	Dirección MAC	IP Asignado	Tiempo de Arrendamiento
1	raspberrypi	2C:CF:67:66:CC:5D	192.168.0.101	01:51:06
2	DESKTOP-JILAUCF	C4:03:A8:2B:E0:E9	192.168.0.100	01:59:02

Fuente: Autor

3.5 Etapa de Evaluar Resultados

Finalizada la etapa de implementación y validación del sistema, tanto a nivel de hardware como de software, se dio inicio a la fase de evaluación de resultados a partir de los datos

generados durante la ejecución del proceso de lavado del tanque frío de leche, con el propósito de responder a los objetivos planteados en el proyecto, permitiendo analizar el comportamiento del sistema en condiciones reales de operación.

La evaluación se realizó mediante el análisis de los registros almacenados en la base de datos local, considerando aspectos como la correcta ejecución de cada fase del proceso, el cumplimiento de los tiempos establecidos y la estabilidad del sistema durante su funcionamiento, cuyos resultados permitieron verificar el desempeño del sistema de control y monitoreo remoto para confirmar su efectividad para supervisar de manera confiable el proceso de lavado.

3.5.1 Análisis del Lavado Tradicional

El lavado tradicional del tanque frío de leche se lleva a cabo de forma manual, siendo el operador responsable de iniciar y finalizar cada etapa del proceso. En este método, la apertura y cierre de válvulas, la activación de la bomba de agua y la aplicación del detergente se realizan según el criterio y experiencia del personal encargado. No existe una secuencia rígida ni tiempos estandarizados, lo que puede ocasionar variaciones significativas entre un ciclo de lavado y otro.

3.5.1.1 Control y supervisión del proceso

El control manual limita la capacidad de supervisión remota y dificulta la detección de inconsistencias en la ejecución del lavado. La ausencia de indicadores en tiempo real impide conocer con precisión el estado del proceso, lo que puede afectar la eficiencia del lavado y la correcta utilización de los recursos disponibles.

3.5.1.2 Registro y trazabilidad

Uno de los principales inconvenientes del lavado tradicional es la falta de trazabilidad. Al no contar con registros automáticos, no es posible realizar un análisis histórico del proceso

ni verificar si los tiempos de lavado se cumplieron de manera adecuada como se observa en la tabla 33. Esto dificulta la evaluación objetiva del desempeño del sistema y la toma de decisiones basadas en datos.

Tabla 33

Evaluación del Lavado Tradicional

Criterio evaluado	Descripción
Tipo de control	Manual
Inicio y fin del proceso	Dependiente del operador
Control de tiempos	Aproximado y variable
Repetibilidad del proceso	Baja
Registro de datos	No disponible
Supervisión remota	No
Seguridad operativa	Media
Trazabilidad	Inexistente

Fuente: Autor

3.5.1.3 Evaluación de valor Higiénico

En el Ecuador, según (INEN, 2022), la calidad de la leche cruda se encuentra regulada por protocolos y normas técnicas oficiales, entre las que destaca la NTE INEN 9:2022, la cual establece los requisitos que debe cumplir la leche cruda destinada al consumo y procesamiento industrial. Esta norma considera principalmente parámetros de carácter microbiológico, la presencia de contaminantes y residuos, así como condiciones generales de higiene, constituyéndose en un instrumento fundamental para el control de la calidad sanitaria de la leche.

Si bien la normativa vigente (Ministerio de Agricultura, 2013), no fija valores específicos obligatorios para el contenido, este componente es reconocido como un indicador importante del estado higiénico y fisiológico de la leche mostrando unos valores de calidad comprendidos entre 4.5 y 5.0 % que se consideran como normales y deseables, ya que reflejan una leche fresca, no adulterada y proveniente de animales con buena salud de la glándula mamaria.

Así también es importante destacar que los rangos aplicados en este sistema guardan relación con los criterios técnicos utilizados por entidades como Agrocalidad y el Ministerio de Salud Pública, los cuales promueven buenas prácticas de ordeño, manejo higiénico y control sanitario en la producción lechera.

Tabla 34

Calidad y cuidado higiénico

Calidad y cuidado higiénico		
Productor	Fecha	Promedio
Asociación San Francisco del Abra	01-08-2025	4.45%
Asociación San Francisco del Abra	01-09-2025	4.91 %
Asociación San Francisco del Abra	01-10-2025	4.97 %
Asociación San Francisco del Abra	01-11-2025	4.79 %

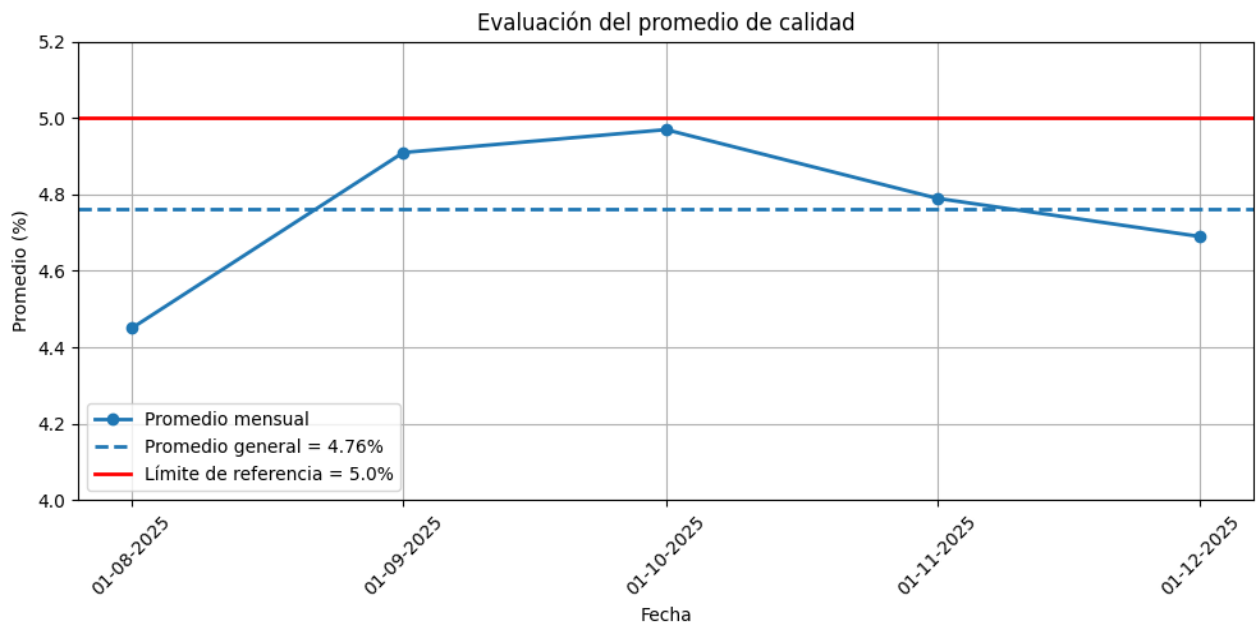
del Abra

Fuente: Autor

A partir del análisis de los promedios registrados en la tabla 34, se evaluó la calidad de la leche en diferentes fechas de muestreo. Como se observa en el gráfico 74, los valores presentan una variación moderada a lo largo del periodo evaluado, con un promedio general de 4.76 %. Este comportamiento indica una calidad de leche estable y dentro de rangos aceptables, evidenciando un adecuado manejo higiénico

Figura 74

Promedio de la calidad de higiene

*Fuente: Autor*

3.5.1.4 Evaluación de operación del tiempo

Durante la operación manual del proceso, las actividades se realizaron en distintos y variados tiempos de ejecución. En la tabla 35 se muestra cómo esta variabilidad influyó en el

desarrollo de las operaciones, generando en algunos casos inconvenientes, como demoras o condiciones no óptimas de funcionamiento. Estos resultados evidencian que la falta de uniformidad en los tiempos de operación manual afectó la eficiencia del proceso durante el periodo evaluado.

Tabla 35*Operación manual el tiempo*

Operador	Inicio	Finalización	Fecha	Total, duración	Observación
Néstor Túquerres	11:20 am	12:40 pm	06-11-2025	1:20	Limpieza realizada por 2 personas
Néstor Túquerres	15:10 pm	16:35 pm	08-11-2025	1:25	Mas rápido la limpieza
Néstor Túquerres	12:10 pm	13:30 pm	10-11-2025	1:20	Limpieza de 2 personas
Néstor Túquerres	17:40 pm	19:15 pm	12-11-2025	1:35	No se calentó el agua.
Néstor Túquerres	14:00 pm	15:35 pm	14-11-2025	1:35	No se calentó el agua.
Néstor Túquerres	15:10 pm	16:40 pm	16-11-2025	1:30	Ninguna
Néstor Túquerres	11:30 am	12:50 pm	18-11-2025	1:20	Limpieza de 2 personas
Néstor Túquerres	11:00 am	12:25 pm	21-11-2025	1:25	Ninguno
Néstor Túquerres	16:20 pm	17:50 pm	23-11-2025	1:30	Ninguno

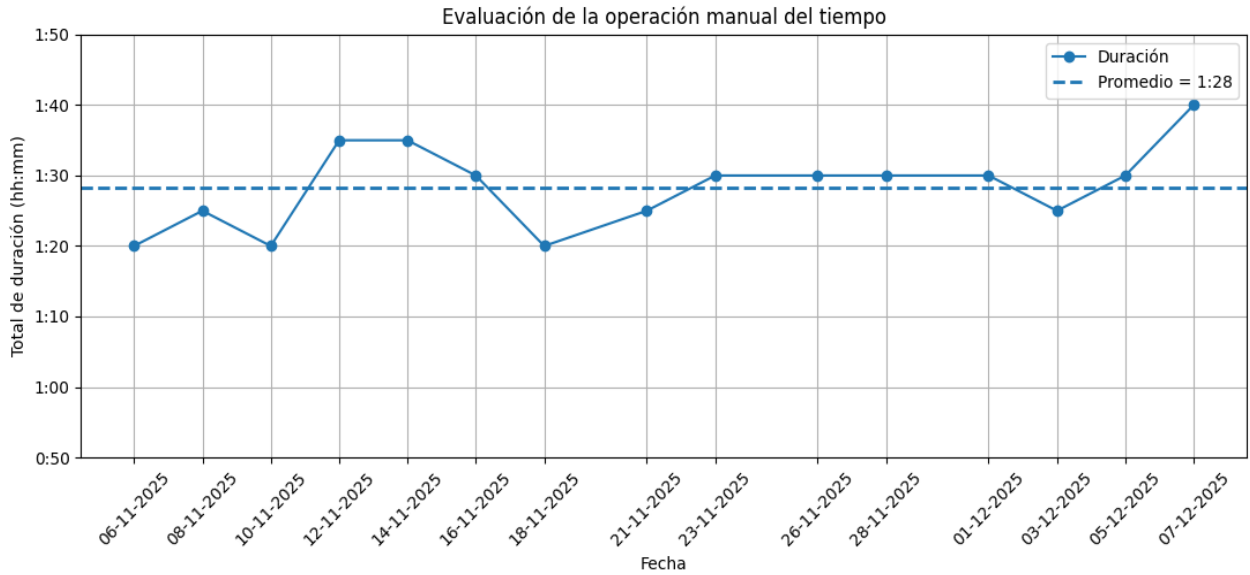
Néstor	12:30 pm	14:00 pm	26-11-2025	1:30	Ninguno
Túquerres					
Néstor	15:15 pm	16:45 pm	28-11-2025	1:30	Ninguno
Túquerres					
Néstor	14:40 pm	16:10 pm	01-12-2025	1:30	Ninguno
Túquerres					
Néstor	17:10 pm	18:35 pm	03-12-2025	1:25	Ninguno
Túquerres					
Néstor	19:10 pm	20:45 pm	05-12-2025	1:30	Ninguno
Túquerres					
Néstor	15:30 pm	17:10 pm	07-12-2025	1:40	No se calentó el agua.
Túquerres					

Fuente: Autor

A través de la evaluación presentada, se analiza el comportamiento del tiempo del proceso realizado de manera manual durante el periodo de estudio. Como se puede observar en la figura 75, la línea continua con marcadores representa los tiempos individuales registrados en cada fecha, mientras que la línea discontinua indica el tiempo promedio del proceso manual, el cual es de 1 hora con 28 minutos. Esta representación permite identificar las variaciones respecto al valor medio y evaluar la estabilidad y desempeño del proceso ejecutado manualmente.

Figura 75

Evaluación de la operación manual del tiempo



Fuente: Autor

3.5.1.5 Evaluación de la cantidad de agua utilizada

Durante el periodo de evaluación, la cantidad de agua utilizada presentó una variación considerable, debido a que el consumo depende directamente del tipo de proceso realizado y de la cantidad de agua suministrada en cada operación, lo cual se encuentra descrito en la tabla 36 correspondiente donde se puede observar que no existe un estándar adecuado de uso, lo que ocasiona diferencias significativas entre los valores registrados.

Para calcular la cantidad de agua utilizada, expresada en litros, se utiliza la ecuación (1), la cual permite determinar el volumen de agua que fluye durante un intervalo de tiempo determinado, considerando que el volumen es directamente proporcional al caudal y al tiempo de flujo.

$$V = Q \times t \quad (\text{Ec. 1})$$

Datos

- V = volumen de agua (litros)

- Q = caudal (litros/minuto)
- t = tiempo (minutos)

Tabla 36*Cantidad de agua utilizada*

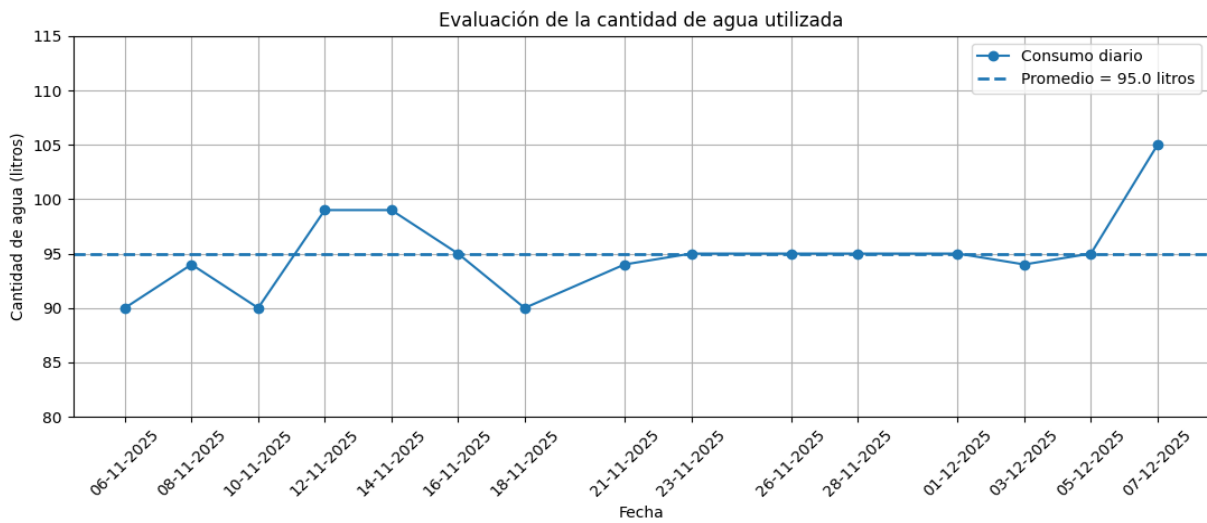
Operador	Fecha	Total, duración	Cantidad de Agua
Néstor Túquerres	06-11-2025	1:20	90 litros
Néstor Túquerres	08-11-2025	1:25	94 litros
Néstor Túquerres	10-11-2025	1:20	90 litros
Néstor Túquerres	12-11-2025	1:35	99 litros
Néstor Túquerres	14-11-2025	1:35	99 litros
Néstor Túquerres	16-11-2025	1:30	95 litros
Néstor Túquerres	18-11-2025	1:20	90 litros
Néstor Túquerres	21-11-2025	1:25	94 litros
Néstor Túquerres	23-11-2025	1:30	95 litros
Néstor Túquerres	26-11-2025	1:30	95 litros
Néstor Túquerres	28-11-2025	1:30	95 litros
Néstor Túquerres	01-12-2025	1:30	95 litros
Néstor Túquerres	03-12-2025	1:25	94 litros
Néstor Túquerres	05-12-2025	1:30	95 litros
Néstor Túquerres	07-12-2025	1:40	105 litros

Fuente: Autor

Mediante el análisis del consumo de agua, se evalúa la cantidad de agua utilizada durante el proceso realizado de manera manual a lo largo del periodo de estudio. Como se puede observar en la figura 76, los valores registrados presentan variaciones en distintas fechas; sin embargo, la línea discontinua indica que el consumo promedio de agua es de 95 litros. Este valor representa el uso medio del recurso hídrico en la operación manual, permitiendo comparar cada registro individual con el promedio y evidenciar la falta de uniformidad en el consumo de agua durante el proceso.

Figura 76

Evaluación de la cantidad de agua utilizado



Fuente: Autor

3.5.2 Análisis del Lavado Automático

El lavado automático del tanque frío de leche se realiza mediante el sistema de control y monitoreo remoto desarrollado, el cual integra nodos Heltec, comunicación MQTT, la plataforma Node-RED y una base de datos InfluxDB local. El proceso se encuentra dividido en fases claramente definidas: prelavado con agua, etapa de enjabonado y enjuague final, cada una con tiempos previamente configurados y controlados de manera automática.

El sistema permite al operador iniciar, pausar, continuar o abortar el proceso desde una interfaz de visualización, garantizando una ejecución ordenada y segura del ciclo de lavado. Las electroválvulas y la bomba de agua son controladas de acuerdo con la lógica programada, evitando la superposición de etapas y asegurando el cumplimiento de los tiempos establecidos.

3.5.2.1 Registro y trazabilidad del proceso

Cada ciclo de lavado automático genera un registro que es almacenado en la base de datos InfluxDB local. Dicho registro incluye información como el identificador del ciclo, la

duración de cada fase, el tiempo total de ejecución y la marca temporal correspondiente. Esta información de la tabla 37 permite realizar análisis históricos, detectar posibles anomalías y evaluar el desempeño del sistema de forma objetiva.

Tabla 37

Evaluación del Lavado Automático

Criterio evaluado	Descripción
Tipo de control	Automático
Inicio y fin del proceso	Mediante interfaz de control
Control de tiempos	Preciso y programado
Repetibilidad del proceso	Alta
Registro de datos	Automático (InfluxDB)
Supervisión remota	Sí
Seguridad operativa	Alta
Trazabilidad	Completa

Fuente: Autor

3.5.2.2 *Evaluación de comandos y estados del sistema de lavado*

Durante la ejecución de las pruebas funcionales, se evaluó el comportamiento del sistema mediante una secuencia controlada de 52 procesos, aplicando de forma repetitiva los comandos de iniciar, pausar, continuar y abortar. Cada proceso permitió verificar la correcta activación de las electroválvulas de agua, de jabón y del motor de drenaje, representadas mediante banderas binarias como se puede observar en la tabla 38.

Tabla 38

Evaluación de los comandos de control y estados de actuadores del sistema de lavado.

#	Comando	Proceso	VA	VJ	BM	Código	Resultado
1	INICIAR	Pre-enjuague	1	0	1	101	Correcto
2	PAUSAR	Detenido	0	0	0	000	Correcto
3	CONTINUAR	Pre-enjuague	1	0	1	101	Correcto
4	ABORTAR	Cancelado	0	0	0	000	Correcto
5	INICIAR	Enjabonado	0	1	0	010	Correcto
6	PAUSAR	Detenido	0	0	0	000	Correcto
7	CONTINUAR	Enjabonado	0	1	0	010	Correcto
8	ABORTAR	Cancelado	0	0	0	000	Correcto
9	INICIAR	Enjuague final	1	0	0	100	Correcto
10	PAUSAR	Detenido	0	0	0	000	Correcto
11	CONTINUAR	Enjuague final	1	0	0	100	Correcto
12	ABORTAR	Cancelado	0	0	0	000	Correcto
13	INICIAR	Drenaje	0	0	1	001	Correcto
14	PAUSAR	Detenido	0	0	0	000	Correcto
15	CONTINUAR	Drenaje	0	0	1	001	Correcto
16	ABORTAR	Cancelado	0	0	0	000	Correcto
17	INICIAR	Pre-enjuague	1	0	0	100	Correcto
18	PAUSAR	Detenido	0	0	0	000	Correcto
19	CONTINUAR	Pre-enjuague	1	0	0	100	Correcto
20	ABORTAR	Cancelado	0	0	0	000	Correcto
21	INICIAR	Enjabonado	0	1	0	010	Correcto
22	PAUSAR	Detenido	0	0	0	000	Correcto
23	CONTINUAR	Enjabonado	0	1	0	010	Correcto
24	ABORTAR	Cancelado	0	0	0	000	Correcto
25	INICIAR	Enjuague final	1	0	0	100	Correcto

#	Comando	Proceso	VA	VJ	BM	Código	Resultado
26	PAUSAR	Detenido	0	0	0	000	Correcto
27	CONTINUAR	Enjuague final	1	0	0	100	Correcto
28	ABORTAR	Cancelado	0	0	0	000	Correcto
29	INICIAR	Drenaje	0	0	1	001	Correcto
30	PAUSAR	Detenido	0	0	0	000	Correcto
31	CONTINUAR	Drenaje	0	0	1	001	Correcto
32	ABORTAR	Cancelado	0	0	0	000	Correcto
33	INICIAR	Pre-enjuague	1	0	0	100	Correcto
34	PAUSAR	Detenido	0	0	0	000	Correcto
35	CONTINUAR	Pre-enjuague	1	0	0	100	Correcto
36	ABORTAR	Cancelado	0	0	0	000	Correcto
37	INICIAR	Enjabonado	0	1	0	010	Correcto
38	CONTINUAR	Enjabonado	0	0	0	000	Error
39	ABORTAR	Cancelado	0	0	0	000	Correcto
40	INICIAR	Enjuague final	1	0	0	100	Correcto
41	PAUSAR	Detenido	0	0	0	000	Correcto
42	CONTINUAR	Enjuague final	1	0	0	100	Correcto
43	ABORTAR	Cancelado	0	0	0	000	Correcto
44	INICIAR	Drenaje	0	0	1	001	Correcto
45	PAUSAR	Detenido	0	0	0	000	Correcto
46	CONTINUAR	Drenaje	0	0	1	001	Correcto
47	ABORTAR	Cancelado	0	0	0	000	Correcto
48	INICIAR	Pre-enjuague	1	0	0	100	Correcto
49	PAUSAR	Detenido	0	0	0	000	Correcto
50	CONTINUAR	Pre-enjuague	1	0	0	100	Correcto

#	Comando	Proceso	VA	VJ	BM	Código	Resultado
51	ABORTAR	Cancelado	0	0	0	000	Correcto
52	FIN	Proceso finalizado	0	0	0	000	Correcto

Fuente: Autor

Con el propósito de evaluar el desempeño del sistema, se implementa una ecuación (2) y (3) que permite calcular los porcentajes de resultados correctos y de error, la cual se basa en la relación entre el número de ejecuciones obtenidas y el total de pruebas realizadas, lo que facilita la cuantificación del nivel de eficiencia y confiabilidad del sistema.

Los resultados obtenidos permiten analizar de manera objetiva el comportamiento de los comandos de control y el correcto funcionamiento de los actuadores durante todos los procesos de lavado que se ejecuten con el sistema.

$$\text{Porcentaje de Correcto (\%)} = \left(\frac{N_c}{N_t}\right) * 100 \quad \text{(Ec. 2)}$$

$$\text{Porcentaje de Error (\%)} = \left(\frac{N_e}{N_t}\right) * 100 \quad \text{(Ec. 3)}$$

Donde:

N_c es el número de resultados correctos,

N_e el número de resultados con error,

N_t es el número total de pruebas realizadas.

Aplicando las ecuaciones al sistema evaluado.

Datos:

- Total de pruebas: $N_t = 52$
- Resultados correctos: $N_c = 51$
- Resultado con error: $N_e = 1$

Porcentajes correctos (1)

$$Correctos = \left(\frac{51}{52}\right) * 100$$

$$Correctos = 98.1 \%$$

Porcentajes de error (2)

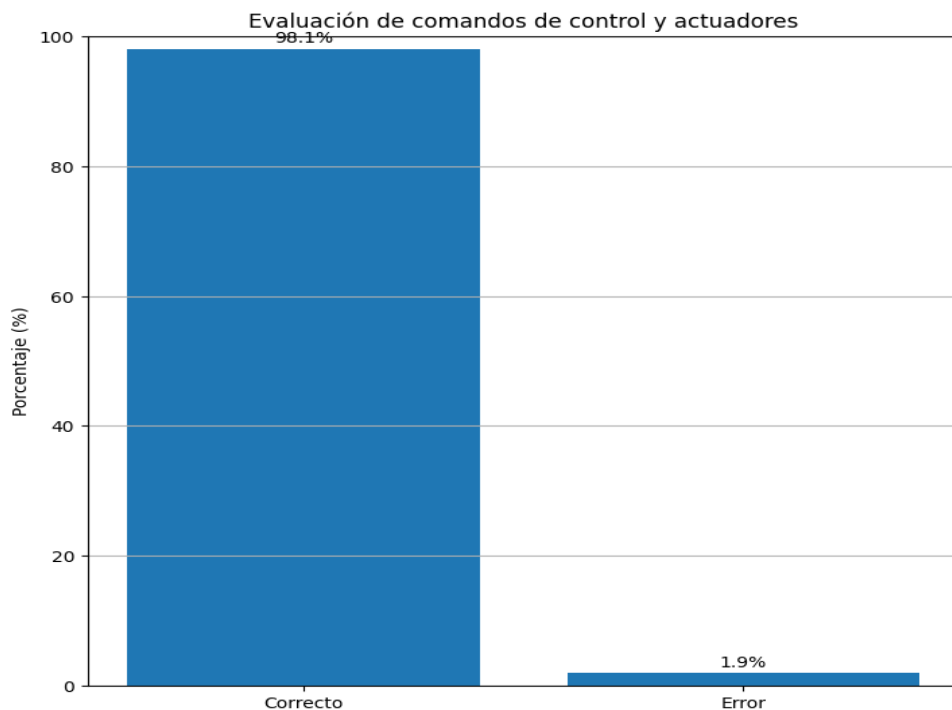
$$Error = \left(\frac{1}{52}\right) * 100$$

$$Error = 1.90 \%$$

A partir de los cálculos realizados, se presenta en la figura 77, la evaluación de los comandos de control y los actuadores del sistema de lavado. Como se puede observar en la figura 82, el 98.1 % de las ejecuciones obtuvo un resultado correcto, mientras que solo el 1.9 % correspondió a errores.

Figura 77

Evaluación de comandos de control y actuadores



Fuente: Autor

3.5.2.3 *Evaluación de valor Higiénico*

Después de la implementación del sistema, se evaluó en la tabla 39, el comportamiento de la calidad de la leche mediante el análisis de los valores promedio registrados en diferentes fechas. Como se observa en la tabla, los promedios obtenidos presentan una ligera disminución en comparación con los valores registrados previamente, lo que evidencia una mayor estabilidad y control en el proceso de limpieza. Esta reducción del promedio indica una mejora en el cuidado higiénico durante el manejo y lavado, contribuyendo a una leche más uniforme y acorde a los parámetros de calidad establecidos.

Tabla 39

Calidad y cuidado higiénico

Cuidado higiénico		
Productor	Fecha	Promedio
Asociación San Francisco del Abra	13-01-2026	4.43%
Asociación San Francisco del Abra	14-01-2026	4.18 %
Asociación San Francisco del Abra	15-01-2026	4.35 %
Asociación San Francisco del Abra	17-01-2026	4.28 %

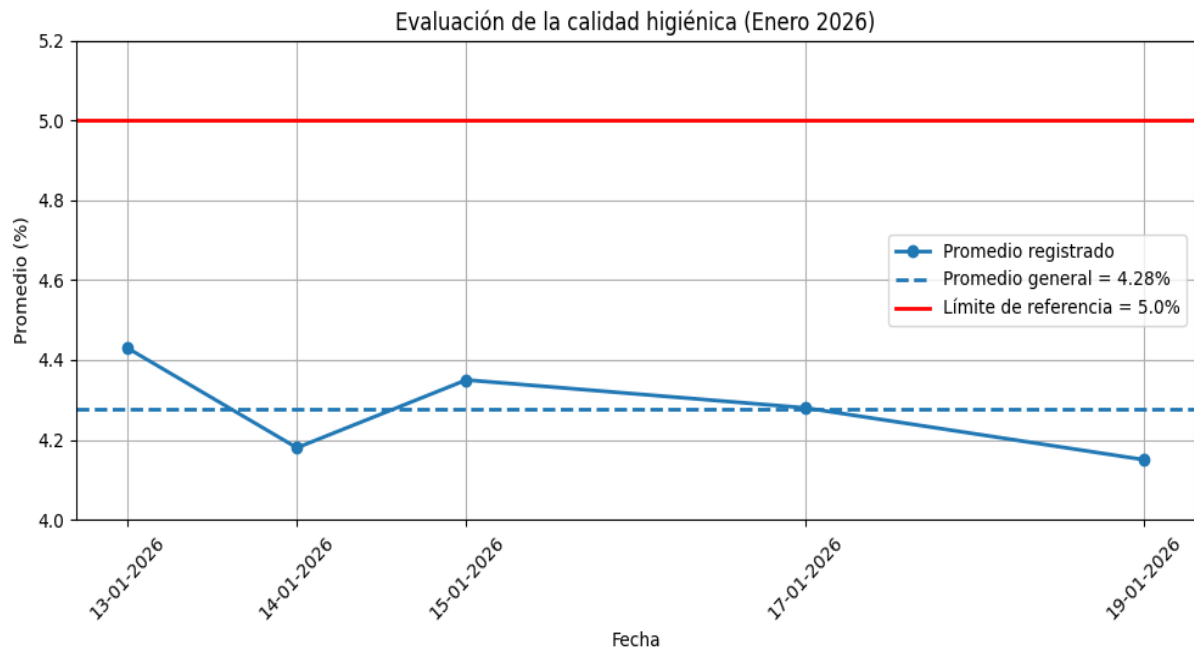
del Abra

Fuente: Autor

A partir del análisis de los resultados obtenidos, se determina en la figura 78, que el promedio de calidad registrado durante el periodo evaluado es de 4.28 %. Este valor, junto con la tendencia a la disminución observada en los registros posteriores, evidencia que la implementación del sistema de lavado automático contribuyó de manera significativa a la mejora de la calidad higiénica de la leche. La reducción del promedio refleja un mayor control en los procesos de limpieza y manejo sanitario, permitiendo obtener una leche más uniforme, estable y acorde a los criterios de higiene establecidos.

Figura 78

Promedio de calidad higiénico automático

*Fuente: Autor*

3.5.2.4 Evaluación de operación del tiempo

Presenta en la tabla 40, el registro de la operación automática del tiempo durante diferentes fechas, indicando los horarios de inicio y finalización de cada proceso. Los resultados muestran una duración constante de 12 minutos por operación, lo que evidencia la correcta programación y funcionamiento del sistema. Asimismo, la ausencia de observaciones refleja la estabilidad y confiabilidad del proceso durante el periodo evaluado.

Tabla 40

Operación automática del tiempo

Operador	Inicio	Finalización	Fecha	Total, duración	Observación
Néstor	17:40 pm	18:54 pm	09-12-2025	12 min	Ninguno
Túquerres					
Néstor	14:00 pm	21:14 pm	09-12-2025	12 min	Ninguno
Túquerres					
Néstor	15:10 pm	22:04 pm	09-12-2025	12 min	Ninguno
Túquerres					
Néstor	11:30 am	18:00 pm	13-12-2025	12 min	Ninguno
Túquerres					
Néstor	11:00 am	16:08 pm	13-12-2025	12 min	Ninguno
Túquerres					
Néstor	11:20 am	11:32 am	15-12-2025	12 min	Ninguno
Túquerres					
Néstor	18:44 pm	18:56 pm	16-12-2025	12 min	Ninguno
Túquerres					

Néstor	16:33 pm	16:45 pm	24-16-2025	12 min	Ninguno
Túquerres					
Néstor	10:13 am	10:25 am	04-01-2026	12 min	Ninguno
Túquerres					
Néstor	16:40 pm	16:52 pm	06-01-2026	12 min	Ninguno
Túquerres					
Néstor	18:21 pm	18:33 pm	10-01-2026	12 min	Ninguno
Túquerres					
Néstor	07:20 am	07:32 am	14-01-2026	12 min	Ninguno
Túquerres					

Fuente: Autor

Durante la evaluación del proceso automático, se analiza el comportamiento del tiempo de operación a lo largo del periodo de estudio. Como se puede observar en la figura 79, la duración del proceso se mantiene constante en 12 minutos para todas las fechas registradas, lo que evidencia la correcta programación del sistema automático.

Figura 79

Evaluación de la operación automático del tiempo



Fuente: Autor

3.5.2.5 Evaluación de la cantidad de agua utilizada

Para la evaluación de la cantidad de agua utilizada, se considera el caudal suministrado por la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (EMAPA), según (Caicedo, 2022), corresponde a un valor aproximado de 7 litros por minuto en la parroquia La Esperanza, cantón Ibarra. Este caudal se mantiene constante durante el tiempo de operación del sistema, permitiendo realizar un cálculo preciso del volumen total de agua utilizada.

Se evalúa la cantidad de agua utilizada durante el proceso de operación, considerando un tiempo de funcionamiento constante. El análisis se basa en la relación entre el caudal y el tiempo de uso, lo que permite determinar de manera precisa el consumo de agua.

$$\text{Ecuación} \quad V = Q \times t$$

Datos

- V = volumen de agua (litros) =V
- Q = caudal (litros/minuto) = 7L/min
- t = tiempo (minutos) = 12 min

$$V = \frac{7 \text{ Litros}}{\text{min}} * 12 \text{ min}$$

$$V = 84 \text{ Litros}$$

La tabla 41, muestra el registro de la cantidad de agua utilizada por el operador en diferentes fechas. Los resultados evidencian un consumo constante de 84 litros por cada operación realizada. Esta información permite verificar la uniformidad del caudal aplicado durante el periodo de evaluación.

Tabla 41

Cantidad de agua utilizada

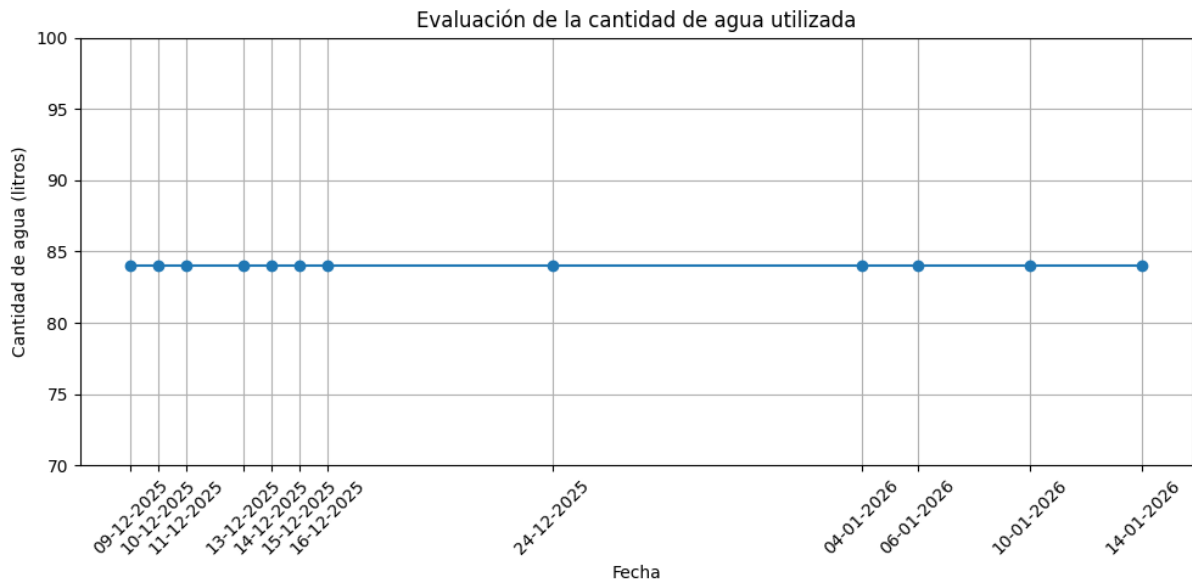
Operador	Fecha	Total, duración	Cantidad de Agua
Néstor Túquerres	06-11-2025	12 min	84 litros
Néstor Túquerres	08-11-2025	12 min	84 litros
Néstor Túquerres	10-11-2025	12 min	84 litros
Néstor Túquerres	12-11-2025	12 min	84 litros
Néstor Túquerres	14-11-2025	12 min	84 litros
Néstor Túquerres	16-11-2025	12 min	84 litros
Néstor Túquerres	18-11-2025	12 min	84 litros
Néstor Túquerres	21-11-2025	12 min	84 litros
Néstor Túquerres	23-11-2025	12 min	84 litros
Néstor Túquerres	26-11-2025	12 min	84 litros
Néstor Túquerres	28-11-2025	12 min	84 litros
Néstor Túquerres	01-12-2025	12 min	84 litros
Néstor Túquerres	03-12-2025	12 min	84 litros
Néstor Túquerres	05-12-2025	12 min	84 litros
Néstor Túquerres	07-12-2025	12 min	84 litros

Fuente: Autor

Con base en el análisis realizado, se evalúa la cantidad de agua utilizada durante el proceso de lavado automático a lo largo del periodo de estudio. Como se puede observar en la figura 80, el consumo de agua se mantiene constante en 84 litros para todas las fechas registradas, lo que evidencia un uso uniforme y controlado del recurso hídrico.

Figura 80

Evaluación de la cantidad de agua utilizado



Fuente: Autor

3.6 Costos del Sistema

En esta sección se presenta el análisis de los costos asociados a la implementación del sistema de control y monitoreo remoto del lavado del tanque frío de leche. Para este estudio se consideran todos los recursos necesarios para el desarrollo y operación del sistema, abarcando los componentes de hardware, las herramientas de software empleadas, la infraestructura requerida y el trabajo de ingeniería realizado. A continuación, se describen cada uno de estos elementos, detallando su función dentro del sistema y su incidencia en el costo total del proyecto.

3.6.1 Costo de Hardware

En lo siguiente tabla 42, se detalla el conjunto de componentes de hardware empleados en la implementación del sistema de control y monitoreo remoto del lavado del tanque frío de leche, incluyendo el nodo central y los nodos secundarios, junto con los dispositivos y actuadores integrados en cada uno de ellos. Los costos presentados en la Tabla 47 corresponden a valores referenciales obtenidos a partir de la plataforma MercadoLibre, medio a través del

cual se realizó la adquisición de la mayoría de los componentes necesarios para el desarrollo e implementación del sistema.

Tabla 42

Costos de Hardware

Equipos	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Subtotal (USD)
- Raspberry pi 5	1	\$220	\$220
- Heltec WiFi LoRa 32(V3)	2	\$35	\$70
- Cargador Raspberry pi 5	1	\$15	\$15
- Cargadores Esp32	2	\$10	\$20
- Electroválvulas	3	\$32	\$96
- Router	1	\$25	\$25
- Contactor 110v	1	\$40	\$40
- Modulo Relé	2	\$3.50	\$7
- Tablet	1	\$80	\$80
		TOTAL	\$573

Fuente: Mercado Libre Ecuador

3.6.2 Costo de Infraestructura

En la sección tabla 43, que se presenta a continuación se expone el análisis del costo correspondiente a la infraestructura física requerida para la implementación del sistema de control y monitoreo remoto del lavado. Esta sección contempla los elementos externos necesarios para el montaje y la instalación del sistema, tales como estructuras de soporte, materiales de sujeción, cajas de protección para los nodos y demás componentes

complementarios. Dichos elementos permiten garantizar la correcta instalación, estabilidad operativa, seguridad eléctrica y funcionamiento adecuado del sistema en el entorno de trabajo.

Tabla 43*Costos de Infraestructura*

Equipos	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Subtotal (USD)
- Bomba de Agua Céntrica CPm610	1	\$180	\$180
- Boquilla de 360°	1	\$82	\$82
- Calefón	1	\$280	\$280
- Deposito Caldero	1	\$350	\$350
- Tanque depósito Rotoplas	1	\$180	\$180
- Válvula Check	1	\$48	\$48
- Tubo de ½ pulgada	4	\$6	\$24
- Tubo de ¾ pulgadas	2	\$12	\$24
- Tubo de 1 pulgada	2	\$5	\$10
- Llave de paso ½ pulgada	2	\$4	\$8
- Universal ¾ pulgada	2	\$2.50	\$5
- Universal ½ pulgada	5	\$1.25	\$6.25
- Universal 1 pulgada	1	\$2.50	\$2.50
- Tee 1 pulgada	3	\$2.25	\$6.75
- Tee ½ pulgada	3	\$2.25	\$6.75

- Tee ¾ pulgada	1	\$2.25	\$2.25
- Codo 90° de ½ pulgada	3	\$2	\$6
- Codo 90° de ¾ pulgada	2	\$2	\$4
- Codo 90° de 1 pulgada	3	\$2	\$2
- Niple perdido ½ pulgada	3	\$1	\$1
- Acople de manguera de tubo	1	\$0.30	\$0.30
- Manguera de gas	1 m	\$80	\$80
- Teflón amarillo	15	\$0.50	\$7.50
- Reducción ¾ a ½ pulgada	2	\$1.10	\$2.20
- Codo 45° de 1 pulgada	1	\$2	\$2
- Tanque de gas	1	\$50	\$50
- Cables gemelos	25 m	\$0.80	\$20
- Deposito detergente	1	\$6	\$6

TOTAL 1324.5

Fuente: Autor

3.6.3 Costos de Software

En cuanto a los costos de ingeniería, se contemplan las horas destinadas al diseño del sistema, su implementación, la elaboración de la documentación técnica y la ejecución de las pruebas correspondientes. Asimismo, se incluye el tiempo empleado en el levantamiento de información en campo y en la planificación técnica necesaria para el correcto desarrollo del

proyecto. Los valores asociados a estas actividades se detallan en la tabla 44 siguiente, considerando el número de horas trabajadas y su respectivo costo estimado.

Tabla 44

Costos de Ingeniería

Infraestructura	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Subtotal (USD)
- Estudio de campo, diseño, revisión e implementación de la infraestructura del sistema.	1	\$250	\$250
- Documentación	1	\$15	\$15
- Mantenimiento	1	\$20	\$20
		TOTAL	\$285

Fuente: Autor

3.6.4 Costos de Software

El desarrollo del sistema de control y monitoreo remoto del lavado del tanque frío de leche se realizó empleando exclusivamente herramientas de software de código abierto, por lo cual no se generaron costos asociados a licencias. En la Tabla 45 se presenta el detalle de este rubro, estableciendo un valor total de 0,00 USD, dado que las plataformas utilizadas están disponibles de forma libre y gratuita. Esta característica permitió implementar el sistema de manera eficiente, sin incrementar el costo económico del proyecto, haciendo uso de tecnologías ampliamente utilizadas y respaldadas por la comunidad de desarrollo.

Tabla 45

Costos de Software

Infraestructura	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Subtotal (USD)
- IDE Arduino	1	\$0	\$0
- Sistema Operativo Raspbian	1	\$0	\$0
- Fritzing	1	\$0	\$0
- Sketchup	1	\$0	\$0
		TOTAL	\$0

Fuente: Autor

3.6.5 Costo Global del Sistema

Por último, en la Tabla 46 se expone el costo total correspondiente a la implementación del sistema, el cual se obtiene a partir de la consolidación de los valores asociados a cada uno de los rubros analizados previamente, entre los que se incluyen el hardware, la infraestructura, el trabajo de ingeniería y el software utilizado.

Tabla 46

Costo total del sistema

Descripción	Subtotal (USD)
- Costos de Hardware	\$573
- Costos de Infraestructura	\$1324.5
- Costos de Ingeniería	\$285
- Costos de Software	\$0
TOTAL	\$2182.5

Fuente: Autor

La tabla 46 de costo total del sistema presenta un resumen consolidado de la inversión realizada para la implementación del sistema de control y monitoreo remoto del lavado del tanque frío de leche. En ella se integran los distintos rubros económicos considerados a lo largo del desarrollo del proyecto, permitiendo visualizar de manera clara y ordenada la distribución de los recursos empleados. Como resultado de la suma de los costos de hardware, infraestructura, ingeniería y software, se establece un costo total de USD 2 182,50, valor que refleja la inversión necesaria para la correcta implementación y operación del sistema propuesto.

3.7 Beneficios del Sistema

La implementación del sistema en la Asociación San Francisco del Abra aporta diversos beneficios a nivel operativo, técnico y organizacional, de entre los cuales destaca la automatización del proceso de lavado que permite ejecutar cada fase de manera secuencial y controlada, reduciendo la dependencia de la intervención manual y minimizando los siguientes errores humanos:

- El control preciso de tiempos asegura el cumplimiento exacto de las fases de preenjuague, enjabonado y enjuague final.
- Mayor seguridad operativa con la posibilidad de pausar, continuar o abortar el proceso cuando se generen fallas o imprevistos.
- Trazabilidad del proceso de cada ciclo de lavado que facilita el control y la auditoría de todas y cada una de las actividades.
- Soporte para la toma de decisiones con los registros almacenados permiten realizar análisis históricos y evaluar el desempeño del sistema con base en datos reales.

- Supervisión remota en tiempo aplicando la visualización mediante Node-RED permite monitorear el proceso sin presencia constante del operador, optimizando el tiempo y la eficiencia operativa.

Conclusiones

- Los resultados obtenidos en la presente investigación permiten concluir que la implementación del sistema de lavado automático mejoró de manera significativa el proceso de limpieza, al proporcionar una operación más controlada, uniforme y eficiente en comparación con el lavado manual previamente utilizado.
- La evaluación del tiempo de operación evidenció que el sistema mantiene un ciclo constante de 12 minutos, eliminando la variabilidad observada en el proceso manual, lo que contribuye a una mejor planificación del proceso, mayor repetibilidad de las operaciones y una reducción de errores humanos.
- En relación con el consumo de agua, se determinó que el sistema de lavado automático garantiza un uso más racional y controlado del recurso hídrico, manteniendo un consumo estable por ciclo, lo que contribuye a una mayor eficiencia hídrica del proceso productivo.
- Respecto a la calidad higiénica de la leche, los resultados muestran que, tras la implementación del lavado automático, los valores promedio presentaron una tendencia a la disminución, alcanzando un promedio general de 4.28 %, lo que indica una mejora en las condiciones de higiene y un mejor control del proceso de limpieza.
- Finalmente, se concluye que la implementación del sistema de lavado automático contribuye de manera directa a la optimización del proceso productivo, mejorando el control del tiempo, el uso eficiente del agua y la calidad higiénica de la leche, constituyéndose en una solución técnica viable, eficiente y sostenible para fortalecer las prácticas de higiene en la producción lechera.

Recomendaciones

- Se recomienda mantener la implementación del sistema de lavado automático, ya que los resultados obtenidos demuestran una mejora significativa en el control del proceso de limpieza, en la estabilidad del tiempo de operación y en la calidad higiénica de la leche, en comparación con el lavado manual.
- Es recomendable realizar mantenimientos periódicos al sistema de lavado automático, especialmente a los actuadores, válvulas y componentes de control, con el fin de garantizar su correcto funcionamiento, prolongar su vida útil y evitar fallas que puedan afectar la eficiencia del proceso. La evaluación del tiempo de operación evidenció que el sistema mantiene un ciclo constante de 12 minutos, eliminando la variabilidad observada en el proceso manual, lo que contribuye a una mejor planificación del proceso, mayor repetibilidad de las operaciones y una reducción de errores humanos.
- En relación con el consumo de agua, se determinó que el sistema de lavado automático garantiza un uso más racional y controlado del recurso hídrico, manteniendo un consumo estable por ciclo, lo que contribuye a una mayor eficiencia hídrica del proceso productivo.
- Finalmente, se sugiere continuar con la evaluación periódica de la calidad higiénica de la leche, comparando los resultados antes y después de cada intervención en el sistema de limpieza, con el fin de verificar el cumplimiento de la normativa vigente y garantizar la inocuidad del producto final.

REFERENCIAS

- Aguirre Barrera, J., Aguirre Barrera, S., & Proyectos, E. en G. de. (2021). *Metodologías para el desarrollo de proyectos*. <http://repository.unicatolica.edu.co/handle/20.500.12237/2037>
- Anrango. (2018). *"SISTEMA DE LAVADO AUTOMÁTICO DEL TANQUE ENFRIADOR*.
- AWS. (2024). *¿Qué es el MQTT? - Explicación del protocolo MQTT - AWS*. <https://aws.amazon.com/es/what-is/mqtt/>
- Azure. (2021). *Azure IoT: plataforma de Internet de las cosas | Microsoft Azure*. <https://azure.microsoft.com/es-es/solutions/iot/>
- Bolívar, R., Oyervide, V., & Ortega, X. (2015). *"PROPUESTA DE UN MODELO DE GESTIÓN BASADO EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN PARA LA COMUNIDAD EDUCATIVA DE LA SALLE DISTRITO ECUADOR" AUTOR: DIRECTOR*.
- CAC. (2018). *CÓDIGO DE PRÁCTICAS DE HIGIENE PARA LA LECHE Y LOS PRODUCTOS LÁCTEOS*.
- Caicedo. (2022). *Consumo de Agua Potable en el Cantón Ibarra*.
- Carrillo, M. V. (2021). Vida Científica Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 4 Introducción de Arduino Arduino Introduction. *Publicación Semestral*, 9(17), 4–8. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa4/issue/archive>
- Cuasqui. (2020). *ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS INFORMÁTICOS Y DE COMPUTACIÓN DESARROLLO DE UN SOFTWARE EDUCATIVO WEB GAMIFICADO PARA LA ENSEÑANZA DE INFORMÁTICA BÁSICA*.
- De Los, G., González Cu, R., Molina Sánchez, B., & Coca Vázquez, R. (2010). *CALIDAD DE LA LECHE CRUDA*.
- Deborah. (2018). *67. INDUSTRIA ALIMENTARIA INDUSTRIA ALIMENTARIA Procesos de la industria alimentaria*.
- Dusun. (2024). *Automatización del hogar mediante IoT, casos de uso, tecnologías y soluciones*. <https://www.dusuniot.com/es/blog/home-automation-using-iot/>
- "Ecuador se Nutre de Leche" y el sector lácteo se fortalece con apoyo del Gobierno Nacional – Ministerio de Agricultura y Ganadería*. (n.d.). Retrieved November 12, 2024, from <https://www.agricultura.gob.ec/ecuador-se-nutre-de-leche-y-el-sector-lacteo-se-fortalece-con-apoyo-del-gobierno-nacional/>
- El sector lácteo ecuatoriano se reactiva con miras positivas para el 2022*. (n.d.). Retrieved November 24, 2024, from <https://www.cil-ecuador.org/post/el-sector-l%C3%A1cteo-ecuadoriano-se-reactiva-con-miras-positivas-para-el-2022>
- Euston. (2023). *Gestión de la calidad | Qué es, características, etapas, principios, sistemas*. <https://www.euston96.com/gestion-de-la-calidad/>
- Fases del Ciclo de Vida de la Gestión de Proyectos | Lucidchart*. (n.d.). Retrieved November 24, 2024, from <https://www.lucidchart.com/blog/es/las-cuatro-fases-del-ciclo-de-vida-de-la-gestion-de-proyectos>

- Flores. (2015). *Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte: Diseño e implementación de un sistema de control de temperatura y humedad para un galpón de pollos de la avícola la Esperanza*. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/3766>
- IBM. (2018). *¿Qué es el Internet de las cosas (IoT)? | IBM*. <https://www.ibm.com/mx-es/topics/internet-of-things>
- Ienco, Di., Gaetano, R., Dupaquier, C., & Maurel, P. (2017). Land Cover Classification via Multitemporal Spatial Data by Deep Recurrent Neural Networks. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14(10), 1685–1689. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2017.2728698>
- INEN. (2022). *INEN 9 NORMA TÉCNICA ECUATORIANA*.
- La producción de leche en Ecuador*. (n.d.). Retrieved November 4, 2024, from <https://www.veterinariadigital.com/articulos/la-produccion-de-leche-en-ecuador/>
- LD. (2020). *Conceptos generales sobre sistemas de limpieza - LD Facility*. <https://ldfacility.es/blog/conceptos-sistemas-limpieza/>
- Mejía, J. P., Cristian, Q., Sánchez, R., & Bogotá, G. (2010). *INGENIERÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN BATCH EN UNA EMPRESA PROCESADORA DE LÁCTEOS*.
- Ministerial, A., Ponce Cevallos MINISTRO AGRICULTURA, J. DE, & PESCA Mgs Carina Vance Mafla, A. Y. (n.d.). *REGLAMENTO DE CONTROL Y REGULACION DE CADENA DE PRODUCCION DE LECHE Estado: Vigente LOS MINISTROS*. www.lexis.com.ec
- Ministerio de Agricultura, G. A. y P. (2013). *Detección de la Necesidad El control, Central y cada Coordinación Provincial de Agrocalidad*.
- Ministerio de Agricultura, G. A. y P. (2018). *Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca*.
- Montcada. (2023). *Automatización y eficiencia en la industria alimentaria*. <https://i-mas.com/la-evolucion-de-la-automatizacion-de-procesos-en-la-industria-alimentaria/>
- Muñoz. (2022). *Sistemas de Ordeño Robótico. Principales Factores que Inciden en la Salud Mamaria | AGROCOLUN | Edición 60*. <https://agrocolun.cl/sistemas-de-ordeno-robotico-60/>
- ODS 9 Industria, innovación e infraestructura | Pacto Mundial ONU · Pacto Mundial*. (n.d.). Retrieved November 11, 2024, from <https://www.pactomundial.org/ods/9-industria-innovacion-e-infraestructura/>
- Parra. (2021). *METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN A NIVEL INDUSTRIAL A PARTIR DEL ANCHO DE BANDA Y TIPO DE SEÑAL ELÉCTRICA*.
- Patricia, J., Aguilar, P., Gissela, K., & Aguilar, T. (2013). *ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE SEGURIDAD ALIMENTARIA BAJO LA NORMA ISO 22000-2005, PARA LA EMPRESA MACRISAVI CÍA. LTDA CATERING ECUADOR PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EMPRESARIAL*.
- (PDF) *Diseño e Implementación de un Sistema de Control y Monitoreo Remoto para la Iluminación de una Vivienda a través de un Teléfono Móvil con Sistema Operativo Android y Board ARM mini2440*. (n.d.). Retrieved November 24, 2024, from https://www.researchgate.net/publication/320222738_Disenio_e_Implementacion_de_un_System

a_de_Control_y_Monitoreo_Remoto_para_la_Iluminacion_de_una_Vivienda_a_traves_de_un_Telefono_Movil_con_Sistema_Operativo_Android_y_Board_ARM_mini2440

- Peynet. (2020). *Les apports de la cobotique pour le secteur de l'emballage alimentaire*.
<https://www.universal-robots.com/fr/blog/apports-cobotique-emballage-alimentaire/>
- Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025 – Secretaría Nacional de Planificación*. (n.d.).
 Retrieved November 11, 2024, from <https://www.planificacion.gob.ec/plan-de-creacion-de-oportunidades-2021-2025/>
- Revista Gestión | Sector lácteo en Ecuador: una mirada a los desafíos y oportunidades*. (n.d.).
 Retrieved November 12, 2024, from <https://revistagestion.ec/analisis-economia-y-finanzas/sector-lacteo-en-ecuador-una-mirada-los-desafios-y-oportunidades/>
- Revolucionando la industria láctea de Ecuador: un enfoque de innovación y el progreso*. (n.d.).
 Retrieved November 24, 2024, from <https://www.cil-ecuador.org/post/revolucionando-la-industria-l%C3%A1ctea-de-ecuador-un-enfoque-de-innovaci%C3%B3n-y-el-progreso>
- Tapia. (2013). *I UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL FACULTAD DE INGENIERÍAS TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE: INGENIERO ELECTRÓNICO CON MENCIÓN EN SISTEMAS*.
- Toaza. (2021). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO CARRERA: INGENIERÍA DE SISTEMAS*.
- Velázquez, J. (2015). *Desarrollo en Cascada (Waterfall) VS Desarrollo Agile-SCRUM*.
- Vista de Internet de las cosas aplicado en la agricultura ecuatoriana: Una propuesta para sistemas de riego*. (n.d.). Retrieved November 13, 2024, from <https://dilemascontemporaneoseducacionpoliticaayvalores.com/index.php/dilemas/article/view/2542/2581>
- Vivas. (2022). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS COMPARACIÓN DE PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN PARA INTERNET DE LAS COSAS (IOT)*.

ANEXOS

ANEXO 1 Hoja de ayuda técnica del sistema del lavado

AYUDA TECNICA

Los principales factores y posibles fallas asociadas al funcionamiento del sistema, con el fin de proporcionar al operador los conocimientos necesarios para su correcta identificación y manejo.

N°	Problema detectado	Posible causa	Acción correctiva
1	El sistema no inicia el proceso de lavado	Falta de conexión con el servidor o nodo central apagado	Verificar alimentación eléctrica y conexión de red del nodo central
2	No se activa las electroválvulas	Relé defectuoso o cableado incorrecto	Revisar conexiones del relé y comprobar señal de salida del nodo
3	El proceso no avanza a la siguiente fase	Temporizador no ejecutado correctamente	Reiniciar el sistema y verificar la configuración de tiempos
4	No se visualizan datos en Node-RED	Pérdida de conexión con el servidor	Comprobar estado del router y dirección IP del servidor
5	La bomba no se activa al final del proceso	Contactor sin alimentación	Verificar tensión de entrada y conexiones del contactor
6	El sistema se detiene inesperadamente	Corte de energía eléctrica	Revisar protecciones eléctricas y suministro

Procedimiento Técnico para la Resolución de Fallas del Sistema de Lavado

- **Paso 1: Verificación de los nodos ESP32**

Se debe inspeccionar el estado de alimentación y las conexiones físicas de los nodos basados en ESP32, comprobando la correcta tensión de entrada, la integridad de los pines de conexión y la correcta inicialización del microcontrolador. Asimismo, se debe confirmar que los indicadores de operación (LEDs o mensajes de estado) evidencien un funcionamiento normal.

- **Paso 2: Comprobación del servidor local y la infraestructura de red**

Es necesario verificar que el servidor local basado en Raspberry Pi se encuentre operativo, con el sistema operativo en ejecución y los servicios de comunicación activos. Adicionalmente, se debe revisar el correcto funcionamiento del router dedicado al sistema, asegurando que el cableado UTP esté correctamente conectado, sin daños físicos, y que exista conectividad estable en la red local.

- **Paso 3: Validación del enlace de comunicación servidor–nodos**

Se debe confirmar la comunicación bidireccional entre el servidor y los nodos secundarios, verificando el intercambio de mensajes mediante el protocolo de comunicación implementado. Esta validación permite detectar posibles fallas de red, errores de direccionamiento IP o interrupciones en el flujo de datos.

- **Paso 4: Revisión y carga del firmware en los nodos**

En caso de presentarse errores de funcionamiento, se debe verificar la integridad del firmware cargado en los nodos ESP32. De ser necesario, se recomienda realizar la recompilación y recarga del código, asegurando que la versión instalada corresponda a la configuración actual del sistema y que no existan errores de programación.

- **Paso 5: Inspección del sistema de potencia y accionamiento**

Se debe revisar el correcto cableado y funcionamiento del contactor encargado de accionar la bomba del motor, verificando tanto el circuito de control como el circuito de potencia. Es fundamental confirmar que la señal de activación llegue adecuadamente al contactor y que este conmute de forma segura y eficiente.

- **Paso 6: Verificación del suministro hidráulico**

Finalmente, se debe comprobar que las válvulas manuales y llaves de paso del sistema hidráulico se encuentren abiertas, garantizando el suministro de agua requerido para el correcto desarrollo del proceso de lavado del tanque frío de leche.

Importante:

Si la falla no se soluciona, comuníquese al número de soporte técnico (Tel.: 0986680692) y suspenda la operación del sistema hasta recibir asistencia.

ANEXO 2 Certificado del lugar de trabajo del Sistema



El Abra, La Esperanza 26 de noviembre del 2024

Yo, Farinango Cuasque Luis Humberto, con CC.100211997-0, en calidad de presidente de la Asociación Agropecuaria "San Francisco del Abra".

CERTIFICO

Que el estudiante Farinango Guaman Jeferson Javier, con CC. 1004786529, se le aprobó la solicitud del trabajo de tesis con el tema: CONTROL Y MONITOREO REMOTO DEL LAVADO DE TANQUE FRÍO DE LECHE EN LA ASOCIACIÓN SAN FRANCISCO DEL ABRA.

Es lo que puedo decir en honor a la verdad, permitiendo hacer uso del presente documento en lo que a bien tengan.

Atentamente



Humberto Farinango
100211997-0
PRESIDENTE DE LA ASOCIACIÓN AGROPECUARIA "SAN FRANCISCO DEL ABRA",
1985847454

Dirección: La Esperanza
Comuna El Abra - Calle: Principal

0985847454

asoagropabra@gmail.com

siguenos en:

ANEXO 3 Hoja Técnica del Contactador HGC

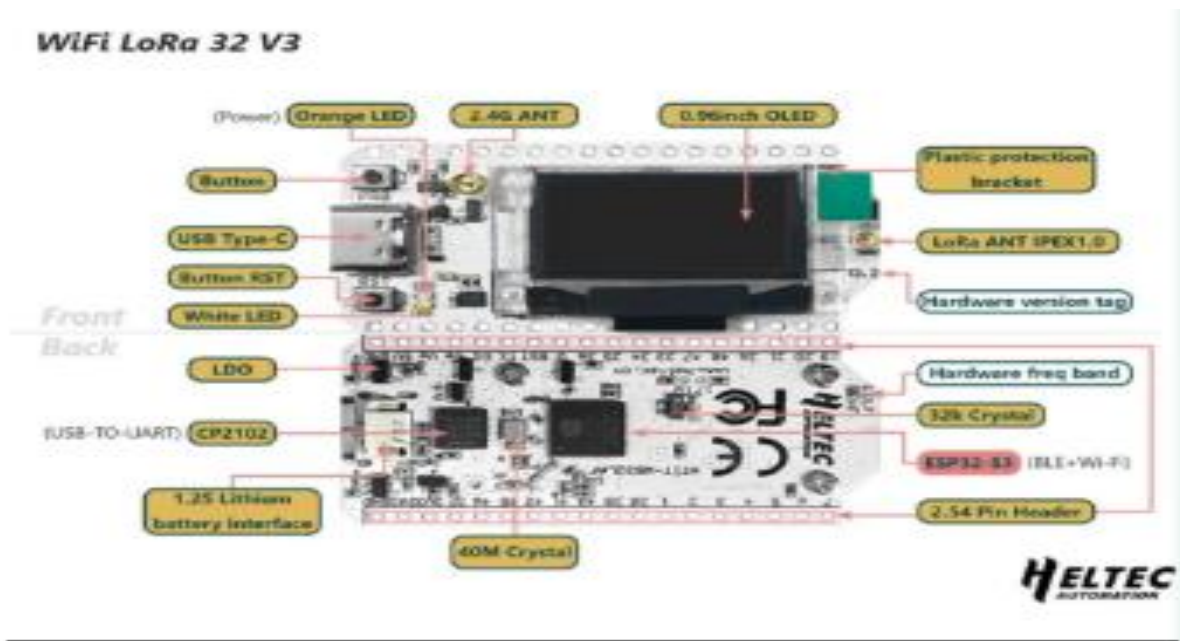
Características técnicas HGC

Contactador Industrial

Tipo estándar : 9 ~ 100 AF

Tipo	HGC9	HGC12	HGC18	HGC25	HGC32	HGC40	HGC50	HGC65	HGC75	HGC85	HGC100		
Norma IEC 60947-4													
Tensión de aislamiento [Ui]	V	800	800	800	800	800	800	1,000	1,000	1,000	1,000		
Tensión nominal de empleo [Ue]	V	690	690	690	690	690	690	690	690	690	690		
Tensión nominal impulsional [Uimp]	kV	6	6	6	6	6	6	8	8	8	8		
Corriente nominal Ith (AC1)	A	25	30	40	45	55	60	70	85	115	125	145	
AC3	200 – 240 V	2.5/9	3.5/12	4.5/18	5.5/25	7.5/32	11/40	15/50	18.5/65	22/75	25/85	30/100	
	380 – 440 V	4/9	5.5/12	7.5/18	11/25	15/32	18.5/40	22/50	30/65	37/75	45/85	55/100	
	500 – 550 V	4/7	7.5/12	8.5/13	15/22	18.5/28	22/32	30/43	33/60	37/64	50/75	55/85	
	660 – 690 V	4/6	7.5/9	7.5/9	15/17	18.5/20	22/23	30/28	33/35	37/42	45/45	50/65	
	1,000 V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Vida útil	Eléctrica	x10,000	250	250	250	250	200	200	200	200	200	200	
	Mecánica	x10,000	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,000	1,000	1,000	
AC4	200 – 240 V	1.5/8	2.2/11	3.7/16	3.7/18	4.5/22	5.5/25	7.5/35	11/50	13/55	15/65	17/72	
	380 – 440 V	2.2/6	4/9	4/11	5.5/13	7.5/17	11/24	15/32	22/47	25/52	30/62	33/68	
	Vida útil eléctrica	x10,000	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Método de instalación	Tornillo y Carril DIN			Tornillo y Carril DIN			Tornillo y Carril DIN		Tornillo y Carril DIN				
Contactos auxiliares													
Estándar	AC	1NA 1NC o 2NA 2NC			1NA 1NC o 2NA 2NC			2NA 2NC		2NA 2NC			
	AC (Tipo B)	1NA			1NA			1NA		1NA			
	DC	1NA 1NC o 2NA 2NC			1NA 1NC o 2NA 2NC			2NA 1NC		2NA 1NC			
Adicional	AC	2NA 2NC			2NA 2NC			2NA 2NC		2NA 2NC			
	DC	2NA 2NC			2NA 2NC			1NA 1NC		1NA 1NC			
Dimensiones													
AC	W×H×D		mm		45×94.2×91.1			45×99.6×96.6		55×123.6×129		70×146×153	
AC (Tipo B)	W×H×D		mm		45×75×86			54×84×92		55×123.6×129		70×146×153	
DC	W×H×D		mm		45×94.2×124			45×99.6×129.5		55×123.6×129		70×146×153	

ANEXO 4 Hoja Técnica del Heltec LoRa 32 V3



Specifications

Parameters	Description
Master Chip	ESP32-S3-N8 (Xtensa®32-bit LoT dual core processor)
LoRa Node Chip	SX1282
USB to Serial Chip	CP2102
Frequency	470-510MHz, 863-925MHz
Max. TX Power	21±1dBm
Max. Receiving sensitivity	-134dBm@SF 12 BW=125KHz
Wi-Fi	802.11 b/g/n, up to 150Mbps
Bluetooth	Bluetooth 5 (LE)
Hardware resources	7*ADC1 + 2*ADC2, 7*touch, 3*UART, 2*I2C, 2*SPI, etc.
Memory	384KB ROM, 512KB SPIFlash, 16KB RTC SRAM, 8MB SPIFlash
Interface	Type-C USB, 2*1.25 Lithium battery interface, LoRa ANT (PEX1.0), 2*18*2.54 Header Pin
Battery	3.7V lithium battery power supply and charging
Operating Temperature	-20 ~ 70 °C
Dimensions	50.2 * 25.5 * 10.2 mm

ANEXO 5 Código fuente del Nodo 1 – Heltec WiFi LoRa V3

Configuración general y definición de parámetros del Nodo 1: Esta sección del código contiene la inclusión de librerías, la configuración de la red WiFi, los parámetros de conexión MQTT, la definición de tópicos de comunicación y la asignación de pines para el control de actuadores.

```

1 // ===== Heltec WiFi LoRa V3 - 3 fases + MQTT solo en eventos (sin heartbeats) =====
2 #include <WiFi.h>
3 #include <PubSubClient.h>
4 #include <ArduinoJson.h>
5 #include "heltec.h"
6
7 #define FW_VERSION "heltec-v1.5"
8
9 const char* ssid = "Red ADM";
10 const char* pass = "ADM25UTN@";
11
12 const char* mqtt_host = "192.168.0.101";
13 const int mqtt_port = 1883;
14 const char* mqtt_id = "heltec-proceso";
15
16 const char* T_CMD = "proceso/cmd"; // START/PAUSE/RESUME/ABORT/STATUS/TESTLOG
17 const char* T_LOG = "proceso/registro"; // JSON final
18 const char* T_SISTEMA = "valvulas/sistema"; // ONLINE/OFFLINE/READY/START_SEQUENCE/PAUSED/RESUMED/ABORTED/PROG_END
19 const char* T_EST_AGUA = "valvulas/agua/estado";
20 const char* T_EST_JABON = "valvulas/jabon/estado";
21 const char* T_STATUS = "proceso/status"; // Mensajes SOLO en eventos (texto)
22
23 #define PIN_RELE_AGUA 21
24 #define PIN_RELE_JABON 26 // Pin compartido para la bomba de enjabonado y goteo
25
26 const bool RELAY_ACTIVE_LOW = true;
27
28 const int T_PRE_AGUA = 360; // 6 minutos de agua
29 const int T_JABON = 180; // 3 minutos de enjabonado
30 const int T_FINAL_AGUA = 180; // 3 minutos de agua final
31
32 WiFiClient net;
33 PubSubClient mqtt(net);
34
35 enum Fase {F_NONE, F_PRE_AGUA, F_JABON, F_FINAL_AGUA};
36 enum Estado {BOOT, IDLE, RUNNING, PAUSADO, GUARDAR, FIN, ABORTADO};
37 Estado estado = BOOT;
38 Fase fase = F_NONE;
--

```

Lógica de control del ciclo de limpieza: En esta parte del código se implementan las funciones principales para la gestión del ciclo de limpieza, incluyendo el inicio, pausa, reanudación y aborto del proceso. Se controla la activación de bombas y actuadores según la fase correspondiente, así como la publicación de eventos y estados del sistema mediante el protocolo MQTT.

```

87  /* ---- Control ciclo ---- */
88  void empezarCiclo(){
89      run_id++; cicloStartMs = millis(); fase = F_PRE_AGUA; estado = RUNNING;
90      mqtt.publish(T_SISTEMA, "START_SEQUENCE", true);
91      show("Inicio del lavado"); say("INICIO → Pre-enjuague");
92
93      // Activar la bomba de agua durante 6 minutos
94      aguaON(true);
95      jabonON(false); // Apagar la bomba de jabón
96      faseEndsAt = millis() + (unsigned long)duracionFase(fase)*1000UL; // 6 minutos de agua
97  }
98
99  void pausarCiclo(){
100     if(estado!=RUNNING) return;
101     unsigned long now=millis(); faseRestante = (faseEndsAt>now)?(int)((faseEndsAt-now)/1000UL):0;
102     activarActuador(fase,false); estado=PAUSADO;
103     mqtt.publish(T_SISTEMA,"PAUSED",true); say("PAUSA");
104 }
105
106 void resumirCiclo(){
107     if(estado!=PAUSADO) return;
108     activarActuador(fase,true); faseEndsAt = millis() + (unsigned long)faseRestante*1000UL;
109     estado=RUNNING; mqtt.publish(T_SISTEMA,"RESUMED",true); say("CONTINUA");
110 }
111
112 void abortarCiclo(){
113     todoOFF(); estado=ABORTADO; mqtt.publish(T_SISTEMA,"ABORTED",true);
114     show("PROCESO ABORTADO"); say("ABORTADO");
115 }

```

Registro y envío de datos del proceso: Este fragmento corresponde a la generación y envío de registros del proceso de limpieza. Se estructura la información en formato JSON, incluyendo tiempos de ejecución y resultados del ciclo, para posteriormente publicarla en el servidor central a través de MQTT, garantizando el almacenamiento y trazabilidad de los datos.

```

if(estado==GUARDAR){
    StaticJsonDocument<256> doc;
    doc["run_id"]=run_id; doc["dur_preAgua"]=T_PRE_AGUA; doc["dur_jabon"]=T_JABON;
    doc["dur_finAgua"]=T_FINAL_AGUA; doc["elapsed_ms"]=(uint32_t)(millis()-cicloStartMs); doc["resultado"]="OK";
    char out[256]; serializeJson(doc,out,sizeof(out)); mqtt.publish(T_LOG,out,true);
    mqtt.publish(T_SISTEMA,"PROG_END",true); say("PROCESO TERMINADO");
    show("Proceso guardado","en la base de datos");
    estado=FIN;
}

```

ANEXO 6 Código fuente del Nodo 2 – Heltec WiFi LoRa V3 (Control de temperatura y motor centrifuga)

Configuración de librerías, pines y parámetros de comunicación del Nodo 2: Este fragmento del código presenta la inclusión de librerías necesarias para el funcionamiento del sistema, incluyendo la lectura de sensores de temperatura DS18B20, conectividad WiFi y comunicación MQTT.

```

1  #include <Arduino.h>
2  #include <OneWire.h>
3  #include <DallasTemperature.h>
4  #include <WiFi.h>
5  #include <PubSubClient.h>
6  #include "heltec.h"
7
8  // ===== CONFIG USUARIO =====
9  #define ONE_WIRE_BUS 4 // DS18B20
10 #define PIN_HEATER 12 // Relé/SSR calentador (active-LOW por defecto)
11 #define PIN_MOTOR 21 // Relé motor de la bomba (ajustar pin según el hardware)
12 #define RELAY_ACTIVE_LOW 1 // 1 = activo en LOW, 0 = activo en HIGH
13
14 const char* ssid = "Red ADM";
15 const char* password = "ADM25UTN@";
16 const char* mqttServer = "192.168.0.101";
17 const int mqttPort = 1883;
18
19 // Tópicos (ajusta si lo deseas)
20 const char* TOPIC_TELE = "proceso/temperatura"; // Telemetría JSON
21 const char* TOPIC_STATE = "proceso/estado"; // Estado resumido
22 const char* TOPIC_CMD1 = "control/proceso"; // ya lo usabas (texto)
23 const char* TOPIC_CMD2 = "control/calentador"; // JSON comandos
24 const char* TOPIC_LWT = "proceso/lwt"; // Last Will

```

Definición de objetos globales y variables de estado: En esta sección se inicializan los objetos globales correspondientes al bus OneWire, el sensor de temperatura, el cliente WiFi y el cliente MQTT.

```
40 // ===== OBJETOS GLOBALES =====
41 OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
42 DallasTemperature sensors(&oneWire);
43 WiFiClient espClient;
44 PubSubClient client(espClient);
45
46 // Estado
47 float tempC = NAN;
48 String estadoProceso = "esperando"; // desde control/proceso (texto)
49 enum Mode { AUTO, MANUAL } mode = AUTO;
50
51 bool heating = false;
52 bool sensorOK = false;
53 bool motorRunning = false; // Estado del motor
54 unsigned long tMotorStart = 0; // Tiempo en que se inicia el motor
55 unsigned long tMotorStop = 0; // Tiempo en que se debe detener el motor
56
57 uint32_t tLastSample = 0;
58 uint32_t tLastPublish = 0;
59 uint32_t tLastUI = 0;
60 uint32_t tLastChange = 0; // último cambio de relé
61 uint32_t tHeatStart = 0; // cuánto lleva encendido
62
```