



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

TÍTULO

**DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA PARA MONITOREO DE
TEMPERATURAS EN TIEMPO REAL EN UNA PLANTA
DE PROCESAMIENTO DE CAMARÓN**

AUTOR

Garzón Vélez, Luis Leandro

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del grado académico en:
MAGÍSTER EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

TUTOR

Chuquimarca Jiménez, Luis Enrique

Santa Elena, Ecuador

Año 2026



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

**Ing. Alicia Andrade Vera, Mgtr.
COORDINADORA DEL
PROGRAMA**

**Ing. Luis Chuquimarca Jiménez, Ph.D.
TUTOR**

**Ing. Oscar Gómez Morales, Ph.D.
DOCENTE
ESPECIALISTA**

**Ing. Junior Figueroa Olmedo, Mgtr.
DOCENTE
ESPECIALISTA**

**Abg. María Rivera González, Mgtr.
SECRETARIA GENERAL
UPSE**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

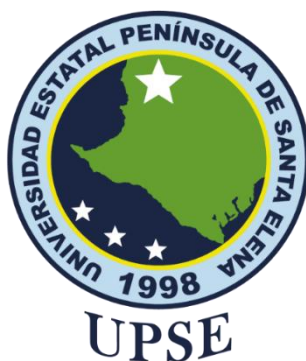
CERTIFICACIÓN

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por LUIS LEANDRO GARZÓN VÉLEZ, como requerimiento para la obtención del título de Magíster en Electrónica y Automatización.

TUTOR

Ing. Luis Chuquimarca Jiménez, Ph.D.

Santa Elena, 13 de febrero de 2026



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, LUIS LEANDRO GARZÓN VÉLEZ

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación, DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA PARA MONITOREO DE TEMPERATURAS EN TIEMPO REAL EN UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE CAMARÓN, previo a la obtención del título en Magíster en Electrónica y Automatización, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Santa Elena, 13 de febrero de 2026

EL AUTOR

LUIS LEANDRO GARZÓN VÉLEZ



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA PARA MONITOREO DE TEMPERATURAS EN TIEMPO REAL EN UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE CAMARÓN, presentado por el estudiante, LUIS LEANDRO GARZÓN VÉLEZ fue enviado al Sistema antiplagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 2%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.

	proyecto_mea	2% Textos sospechosos	2% Similitudes 0 % similitudes entre comillas 0 % entre las fuentes mencionadas 23% Idiomas no reconocidos (ignorado) 19% Textos potencialmente generados por IA (ignorado)	Número de palabras: 18.139 Número de caracteres: 142.949
Nombre del documento: proyecto_mea.pdf ID del documento: 7eb47efb7b9dbf87f79f7915d3a91b332f8fd1ca Tamaño del documento original: 3,61 MB	Depositante: LUIS ENRIQUE CHUQUIMARCA JIMENEZ Fecha de depósito: 12/2/2026 Tipo de carga: interface fecha de fin de análisis: 12/2/2026			

TUTOR

Ing. Luis Chuquimarca Jiménez, Ph.D.



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

AUTORIZACIÓN

Yo, LUIS LEANDRO GARZÓN VÉLEZ

Autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de este proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o de desarrollo con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o de desarrollo dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor

Santa Elena, 13 de febrero de 2026

EL AUTOR

LUIS LEANDRO GARZÓN VÉLEZ

AGRADECIMIENTO

De manera infinita le agradezco a DIOS por darme todo salud, bienestar, tiempo, y muchas dadivas más, agradezco a mi señora madre Pilar Vélez Gonzáles por haberme dado la oportunidad de vivir, a mi abuelo sr. Segundo Garzón (†) por haber asumido el rol y la toda responsabilidad de padre conmigo.

Luis Leandro, Garzón Vélez

DEDICATORIA

Dedicado al ser humano más bueno que pude haber conocido en esta vida María Teresa Cedeño (†), no hay palabras para poder describir el papel que tuviste, aun tienes y seguirás teniendo en mi vida.

Luis Leandro, Garzón Vélez

ÍNDICE GENERAL

TÍTULO DEL TRABAJO.....	I
TIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	II
CERTIFICACIÓN.....	III
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	IV
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO.....	V
AUTORIZACIÓN.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
DEDICATORIA.....	VIII
ÍNDICE GENERAL.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
RESUMEN.....	XV
ABSTRACT.....	XVI
INTRODUCCIÓN.....	1
Formulación del problema de investigación.....	2
Hipótesis concreta.....	4
Justificativos del Proyecto.....	6
Propuesta técnica.....	7
Formulación de objetivos.....	11
Identificación de variables.....	12
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	13
1.1 Revisión de literatura.....	13

1.2 Desarrollo teórico conceptual.....	14
1.2.1 Cadena de frío.....	14
1.2.2 Sensores de Temperatura.....	15
1.2.3 Control Lógico Programable.....	17
1.2.4 Sistema de control, supervisión y adquisición de datos propuesto.....	19
1.2.5 Servidor de Datos.....	20
1.2.6 Arquitectura del Sistema Propuesto.....	21
1.2.7 Protocolos de Comunicación.....	23
1.2.8 Norma IEC 60751.....	23
1.2.9 Norma IEC 61131-3.....	25
1.2.10 Norma ANSI/ISA-101.....	26
1.3 Beneficios del Sistema Propuesto.....	28
1.4 Matriz operacional de variables.....	28
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.....	30
2.1 Contexto de la investigación.....	30
2.2 Diseño y alcance de la investigación propuesta.....	32
2.3 Componentes de la propuesta.....	35
2.3.1 Sensores de temperatura pt100.....	35
2.3.2 Controlador siemens S7-1200.....	38
2.3.3 Interfaz hombre máquina en Node-RED.....	44
2.3.4 Monitor de datos en GRAFANA.....	49
2.3.5 Servidor net-to-plcsim.....	51
2.4 Método y desarrollo de la investigación.....	53
2.5 Validez y confiabilidad de los instrumentos.....	54

2.6 Consideraciones Éticas.....	54
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	55
3.1 Resultados de la implementación.....	55
3.2 Visualización de datos en tiempo real con GRAFANA.....	57
3.3 Pronosticar la temperatura con RSTUDIO.....	59
3.4 Modelos de predicción ARIMA y ARNN.....	60
3.5 Evaluación de costos.....	62
CONCLUSIONES.....	64
RECOMENDACIONES.....	66
REFERENCIAS.....	69
ANEXOS.....	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla #1. Cantidad de puntos críticos de control PCC con medición.....	4
Tabla #2. Lenguajes definidos por la norma IEC 61131-3.....	26
Tabla #3. Matriz operacional de variables.....	29
Tabla #4. Información técnica del sensor de temperatura.....	37
Tabla #5. Información técnica del PLC.....	39
Tabla #6. Instrumentos de recolección de datos.....	53
Tabla #7. Resultados de la implementación.....	55
Tabla #8. Evaluación de costos de la implementación.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura #1. Arquitectura del sistema TAND-D.....	3
Figura #2. Captura de pantalla visualizador del sistema TAND-D.....	3
Figura #3. Diagrama de causa y efecto del problema detectado.....	5
Figura #4. Cantidad de puntos críticos de control PCC con medición.....	5
Figura #5. Cadena de frío.....	15
Figura #6. Esquema de conexión del sensor de temperatura.....	16
Figura #7. Esquema de borneras del programador lógico de control.....	18
Figura #8. Arquitectura de la solución propuesta.....	22
Figura #9. Captura de pantalla del dashboard del sistema TAND-D.....	31
Figura #10. Captura de pantalla con tendencia del sistema TAND-D.....	31
Figura #11. Proceso de producción de una planta empacadora de camarón.....	33
Figura #12. Sección del plano real de la planta empacadora de camarón.....	33
Figura #13. Sensor de temperatura PT-100.....	37
Figura #14. PLC Siemens S7-1200 modelo CPU 1214C AC/DC/RLY.....	39
Figura #15. Arranque y escalado de señal analógica en TIA PORTAL.....	40
Figura #16. Instrucciones de comparación para control de salidas en TIA PORTAL.....	42
Figura #17. Algoritmo de control realizado en TIA PORTAL.....	43
Figura #18. Escalado de sensor de temperatura en Node-RED.....	45
Figura #19. Configuración del punto de acceso para conectar el PLC con Node-RED...	46
Figura #20. Captura de pantalla del desarrollo del proyecto en Node-RED.....	47
Figura #21. Captura de pantalla de la interfaz de trabajo en Node-RED.....	48
Figura #22. Captura de pantalla del editor de GRAFANA.....	49
Figura #23. Captura de pantalla del servidor de la base de datos MySQL.....	50

Figura #24. Captura de pantalla configuración del Servidor NetToPLCsim.....	52
Figura #25. Captura de pantalla de la HMI realizada en Node-RED.....	56
Figura #26. Captura de pantalla del tablero de control de GRAFANA.....	58
Figura #27. Pronóstico de temperatura ARIMA realizado con RSTUDIO.....	61
Figura #28. Pronóstico de temperatura ARNN realizado con RSTUDIO.....	61

RESUMEN

El presente proyecto abordó la necesidad de ampliar y mejorar el control de temperatura en una planta procesadora de camarón, donde actualmente existen 5 puntos de monitoreo basados en dataloggers y radiobases TAND-D modelo RTR-500. Esta infraestructura resulta insuficiente para garantizar la trazabilidad térmica en todas las etapas críticas del proceso, lo que compromete la calidad del producto y el cumplimiento de normativas sanitarias. Para solucionar esta limitación, se plantea diseñar un sistema integral compuesto por un PLC Siemens S7-1200, una interfaz HMI desarrollada en Node-RED y un servidor de datos virtual mediante NetToPLCsim. Este sistema permite supervisar y controlar 27 puntos críticos de temperatura en tiempo real, automatizar alertas, registrar datos históricos y mejorar la toma de decisiones. La propuesta ofrece una solución robusta, escalable, confiable y basada en tecnologías industriales estándar, permitiendo optimizar el proceso y elevar la eficiencia operativa de la planta.

Palabras claves: controlar - temperatura - datos - planta procesadora de camarón - HMI

ABSTRACT

This project addressed the need to expand and improve temperature control in a shrimp processing plant, which currently has five monitoring points based on data loggers and TAND-D RTR-500 radio base stations. This infrastructure is insufficient to guarantee thermal traceability at all critical stages of the process, compromising product quality and compliance with health regulations. To overcome this limitation, an integrated system was designed, consisting of a Siemens S7-1200 PLC, an HMI interface developed in Node-RED, and a virtual data server using NetToPLCsim. This system allows for the real-time monitoring and control of 27 critical temperature points, automates alerts, records historical data, and improves decision-making. The proposed solution is robust, scalable, reliable, and based on standard industrial technologies, enabling process optimization and increased operational efficiency at the plant.

Keywords: control - temperature - data - shrimp processing plant - HMI

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria de procesamiento de alimentos enfrenta exigencias cada vez más estrictas en cuanto a calidad, inocuidad y eficiencia operativa, especialmente en el sector acuícola. En particular, las plantas de procesamiento de camarón requieren un control riguroso de la temperatura en todas las etapas del proceso, debido a que incide directamente en la conservación del producto, el cumplimiento de normativas sanitarias y la reducción de pérdidas económicas. En este contexto, la automatización industrial y los sistemas de supervisión y control se presentan como herramientas clave para garantizar procesos confiables y trazables, Ramírez Ramírez, A. A. (2024).

El presente trabajo tiene como objetivo el diseño de un sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) para el monitoreo de temperaturas en tiempo real en una planta de procesamiento de camarón, con el fin de mejorar el control del proceso, facilitar la toma de decisiones y asegurar el cumplimiento de los estándares de calidad e inocuidad alimentaria. El sistema propuesto permitirá la adquisición, visualización, almacenamiento y análisis de datos de temperatura provenientes de diferentes áreas críticas de la planta. El alcance de esta investigación se centra en el diseño conceptual y funcional del sistema SCADA, incluyendo la selección de sensores de temperatura, dispositivos de adquisición de datos, arquitectura de comunicación, interfaz gráfica de usuario y estrategias de monitoreo y alarmas, Manrique Torres, A. N., & Sánchez Huilcapi, D. F. (2025).

Sin embargo, no se contempla la implementación física a escala industrial, sino el desarrollo de una propuesta técnica viable que pueda ser adaptada a una planta real de procesamiento de camarón.

La planta objeto de estudio es una empresa ecuatoriana dedicada al procesamiento, cultivo, criaderos, empaclado, procesado y exportación de camarón, fundada el 21 de marzo de 2007. Surgió con la iniciativa de un grupo de personas vinculadas a la industria del camarón con más de 20 años de experiencia en la industria camaronera, que tomaron la decisión de operar con un negocio propio. En agosto de 2009, este grupo de personas construyeron su planta de procesamiento en Durán, a orillas del río Guayas.

Formulación del problema de investigación

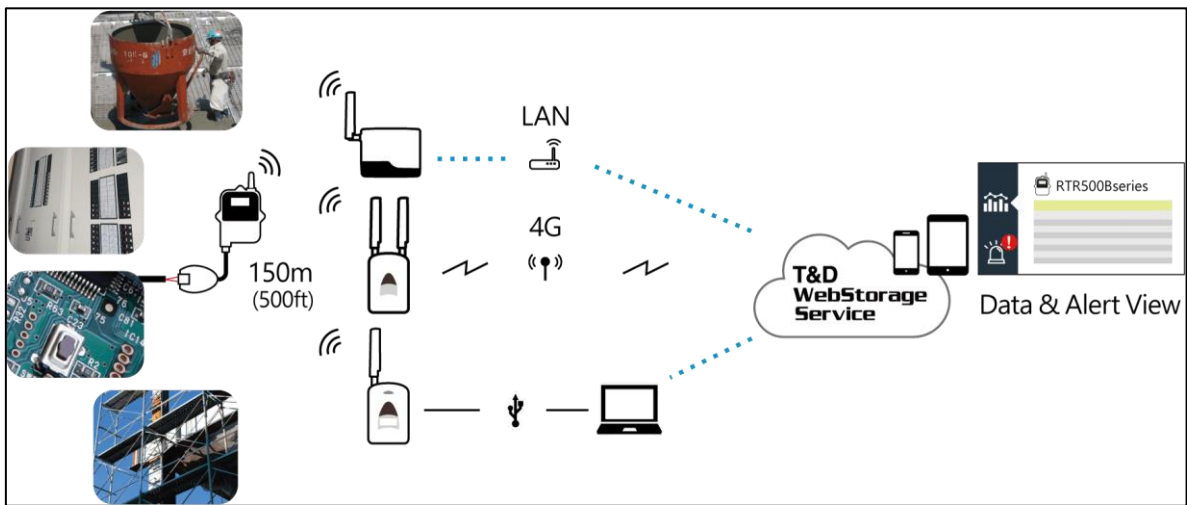
La planta actualmente posee 27 puntos críticos donde se requiere controlar temperatura, de los cuales solo se está controlando 5 (ver tabla #1), el diseño de un sistema SCADA para monitoreo de temperaturas, representa una solución moderna, eficiente y adaptable. De esta problemática surge la siguiente pregunta: ¿Cómo diseñar e implementar un sistema SCADA de bajo costo y escalable que permita monitorear de manera confiable los 27 puntos críticos de temperatura en la planta?

La planta actualmente cuenta con un sistema de control de temperaturas, (ver fig. #1) marca TAND-D compuesto por una arquitectura conformada por los siguientes equipos:

1. Registradores de temperatura modelo RTR505B
2. Estación radio base recopilador de datos para red modelo RTR500BW
3. Visualizador web de variables T&D WebStorage el cual es además un servicio gratuito de almacenamiento en la nube que ofrece la marca, (ver fig. #2)

Figura #1.

Arquitectura del sistema TAND-D



Nota: Figura tomada de <https://tanadd.com/product/rtr505b/>

Figura #2.

Captura de pantalla visualizador del sistema TAND-D

Group Name	Device Name	Measurement	Updated	Details
Grupo2	Camara5 [TR-75wb/323801CS]	temp1 24.9 C ch Sensor Error	older data.	

Base Unit	Group Name	Remote Unit	Measurement	Updated	Details
EMPACRECI [RTR-500NW/329C029A]	Grupo1	CAMARA1 [RTR-505-PU/32C20433]	ch1 Communication Error	0 minute(s) ago	
EMPACRECI [RTR-500NW/329C029A]	Grupo1	CAMARA2 [RTR-505-PU/32C2042F]	ch1 Communication Error	0 minute(s) ago	
EMPACRECI [RTR-500NW/329C029A]	Grupo1	CAMARA3 [RTR-505-PU/32C20329]	ch1 Communication Error	0 minute(s) ago	
EMPACRECI [RTR-500NW/329C029A]	Grupo1	CAMARA3b [RTR-505-PU/32C20434]	ch1 Communication Error	0 minute(s) ago	
EMPACRECI [RTR-500NW/329C029A]	Grupo1	CAMARA4 [RTR-505-PU/32C203CB]	ch1 -12.1 C	0 minute(s) ago	
FERDERA [RTR-500NW/329C0516]	Ferdera	Camara 1 [RTR-505-PU/32C203CC]	ch1 -4.8 C	0 minute(s) ago	

Nota: Esta figura muestra el sistema de control de temperaturas de la planta

Problema principal: en la planta no se dispone de monitoreo en todos los puntos críticos de control PCC donde se necesita evaluar métricas de temperatura, debido a:

- Equipos costosos, con un solo distribuidor en el mercado local, cuando este proveedor no dispone de stock hay que importarlos.
- Mantenimiento complejo, una vez que fallan son prácticamente irreparables y de igual forma ocurre cuando se desajustan.
- Personas con acceso, a los equipos solo pueden ver los datos del registrador en la pantalla local, no se puede acceder a ningún parámetro de configuración.
- Medición limitada de métricas, que ofrece al usuario el sistema actual en el visualizador web de temperaturas (ver fig. #3).

Hipótesis concreta

Al implementar un SCADA con sensores RTD conectados a un PLC y visualización mediante HMI, los registros de temperatura se actualizarán cada 5 segundos en una base de datos, el sistema podrá conectar la información directamente a una plataforma de análisis de datos, para realizar modelos de predicción de temperatura, permitiendo anticipar condiciones fuera de rango y mejorar la capacidad en la toma de decisiones de quienes administran la información (ver tabla #1).

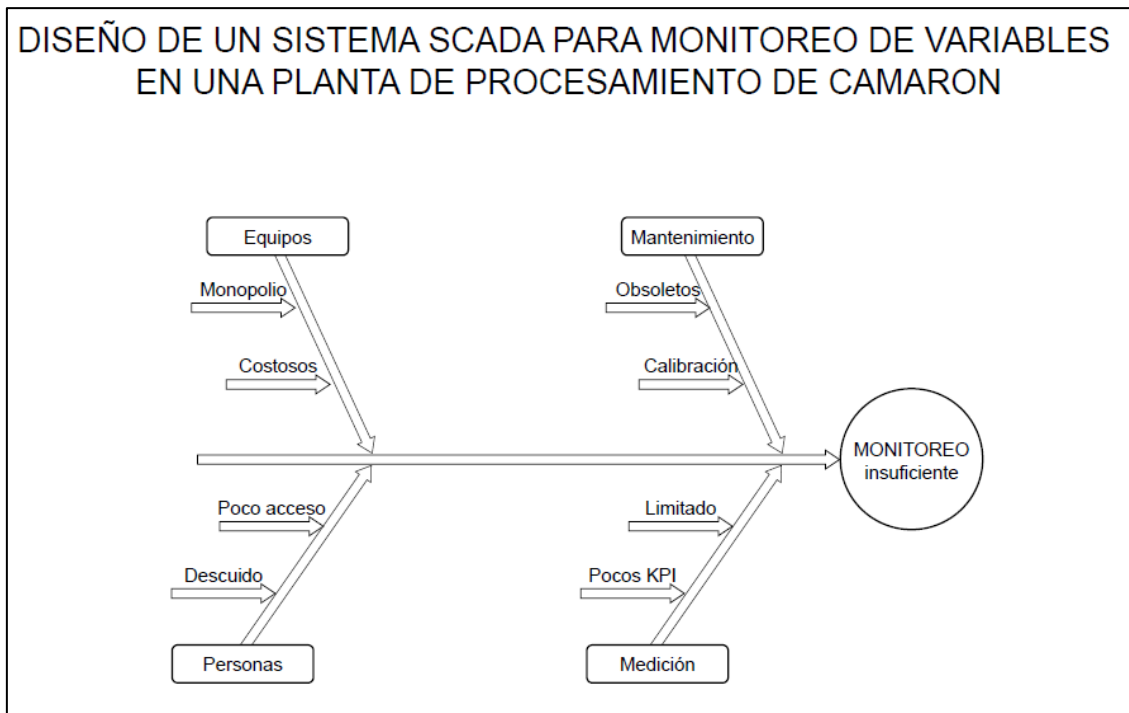
Tabla #1.

Cantidad de puntos críticos de control PCC con medición

PCC	CANTIDAD	CON MEDICION
CAMARAS	6	5
TUNELES	11	0
SALMUERA	6	0
IQF	1	0
SALAS	2	0
COCIDO	1	0
TOTALES	27	5

Figura #3.

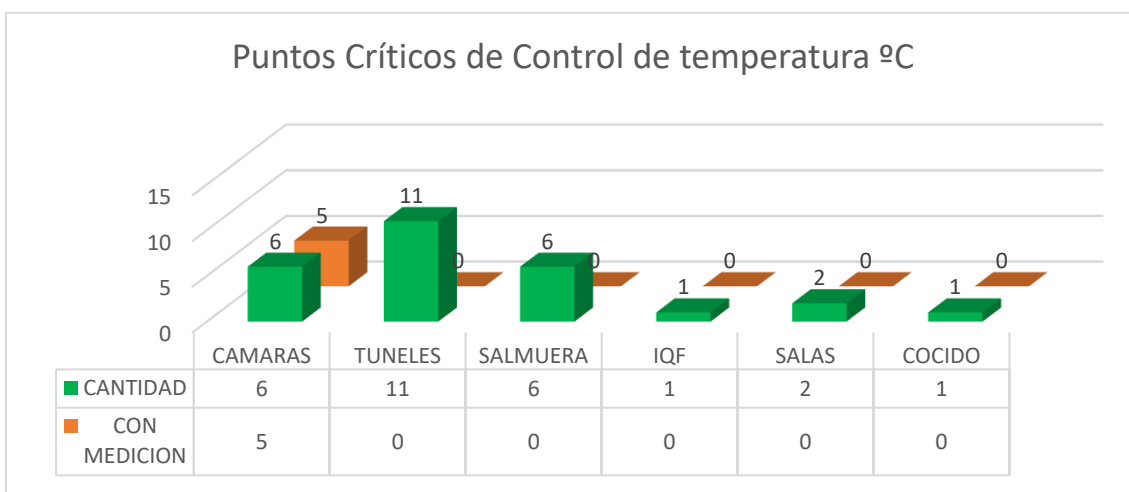
Diagrama de causa y efecto del problema detectado



Nota: Esta figura muestra el diagrama de causa del problema detectado

Figura #4.

Cantidad de puntos críticos de control PCC con medición



Nota: Esta figura muestra el diagrama de causa del problema detectado

Justificativos del proyecto

El diseño e implementación de este proyecto justifica que un sistema SCADA para el monitoreo de temperaturas en todos los puntos críticos de control (ver fig. #4), mejorará significativamente la eficiencia operativa y la calidad del producto final en la planta procesadora de camarón, al proporcionar un control más preciso y en tiempo real de las variables térmicas críticas del proceso. Se espera que este sistema reduzca las pérdidas por productos defectuosos o percederos debido a fluctuaciones de temperatura no detectadas, optimice el consumo energético mediante una gestión térmica más eficaz y facilite la toma de decisiones basada en datos históricos y tendencias, contribuyendo así a una mayor rentabilidad en la organización.

La automatización industrial de procesos a más de ayudar a los negocios a mantenerse organizados, también puede ayudar a:

- Mantener o mejorar la rentabilidad del negocio
- Reducir costos operacionales y de mantenimiento
- Adicionar más variables de control del proceso debido a su escalabilidad
- Analizar el comportamiento de las variables
- Mejorar la trazabilidad de las variables evaluadas

Los sistemas SCADA se han consolidado como la columna vertebral de la automatización industrial, ofreciendo una plataforma centralizada para la supervisión, el control y la adquisición de datos de procesos distribuidos. Su capacidad para visualizar datos en tiempo real, generar alarmas, almacenar históricos y permitir la interacción del operador, los convierte en herramientas indispensables para la gestión eficiente de procesos complejos.

El monitoreo preciso y continuo de temperaturas es crítico en una amplia gama de industrias, incluyendo la manufactura, la alimentación y bebidas, la farmacéutica, la climatización (HVAC) y los centros de datos entre otras, Pérez-López, E. (2015). Las variaciones de temperatura fuera de rangos permisibles pueden comprometer la calidad del producto, la eficiencia energética, la seguridad operativa y, en casos extremos, provocar fallos catastróficos.

Propuesta técnica

En la industria pesquera, especialmente en el procesamiento y empaqueo de camarón, mantener un control preciso de la temperatura es una necesidad crítica. Las condiciones térmicas inadecuadas pueden comprometer la calidad del producto, aumentar el riesgo de proliferación bacteriana y afectar la vida útil de los alimentos. Ante esta realidad, la automatización emerge como una alternativa eficaz, capaz de garantizar la estabilidad térmica requerida y, a su vez, optimizar los procesos de operación. Este proyecto se propone diseñar e implementar un sistema robusto de monitoreo y control de temperatura en una planta empacadora de camarón, integrando un Controlador Lógico Programable PLC, un sistema SCADA para supervisión y un servidor de datos físico o virtual que actúe como histórico y plataforma de análisis, Martínez Lozano, M. D., & Pineda Pineda, D. E. (2011). Un PLC es un equipo electrónico de control con un cableado interno independiente del proceso a controlar, que se adapta a dicho proceso mediante un programa específico que contiene la secuencia de operaciones a realizar y hace uso de sus entradas y salidas el PLC ejecuta lógica de control, recibe señales de sensores (como los de temperatura) y emite comandos a actuadores como válvulas, bombas o elementos de refrigeración., Román Tinoco, I. (2022).

Un sistema SCADA permite supervisar, analizar y controlar procesos industriales desde una interfaz gráfica amigable. Según la definición, un SCADA combina equipo informático, comunicaciones en red e interfaces gráficas para supervisión de alto nivel de procesos y equipos. Además, el SCADA recoge datos en tiempo real del PLC y de otros dispositivos de campo, los visualiza mediante pantallas HMI, genera alarmas, Figuras de tendencias y permite a los operadores modificar parámetros como consignas de temperatura o umbrales. De este modo, se facilita una operación eficiente y segura, con capacidad de respuesta rápida frente a condiciones anómalas o eventualidades en el proceso productivo, Pérez-López, E. (2015).

Un servidor de datos permite levantar el SCADA y los historiales en una plataforma virtual, se obtiene mayor flexibilidad y escalabilidad. Un servidor de información virtual puede hospedar una base de datos relacional o un historiador (data historian), que almacena datos de temperatura y eventos de forma estructurada y segura. Este enfoque permite además realizar análisis posteriores (revisión de tendencias, informes de calidad, auditorías), establecer redundancia y facilitar la recuperación ante desastres sin necesidad de hardware físico dedicado. El proyecto, en su conjunto, contempla la arquitectura técnica y funcional para que el sistema opere de modo sinérgico. En planta, se instalan sensores térmicos estratégicamente ubicados en áreas clave como zonas de recepción, cámaras de pre-enfriamiento, líneas de empaquetado y cámaras de almacenamiento temporal. Los sensores transmiten mediciones al PLC, que ejecuta acciones de control automático, como activar cámaras frigoríficas, regular la circulación de agua refrigerada o generar alarmas si se detectan desviaciones térmicas. Simultáneamente, el SCADA visualiza estos datos y permite al operador intervenir manualmente o configurar estrategias más complejas, Castañeda Alanya, E. A. (2021).

Para cimentar el diseño, se integran protocolos de comunicación industriales estandarizados como Modbus RTU, TCP o Ethernet/IP, dependiendo del PLC y los equipos disponibles. Los datos viajan al servidor virtual mediante red local o VLAN dedicada, céntuplamente configurada para priorizar tráfico SCADA y minimizar latencias. El servidor virtual, que puede correr sobre VMware, Hyper-V o similar, alberga el software SCADA, el historizador y herramientas de análisis. Esto permite respaldar datos periódicamente, replicar servidores para alta disponibilidad y ajustar recursos con base en la demanda del sistema de registros, Asqui Paguay, L. M., & Lema Holguín, I. M. (2014).

Un sistema SCADA en el procesamiento de camarón permite la monitorización y control remoto de las operaciones, optimizando la eficiencia y calidad del proceso. A más del control y monitoreo de temperaturas, debido a la flexibilidad y escalabilidad de los componentes tecnológicos propuestos en este proyecto, se puede incluir el control de otros parámetros críticos de la planta tales como: niveles de agua, humedad relativa, consumo energético, tiempos de enfriamiento y otros factores relevantes en las diferentes etapas del proceso, que podrían cubrir desde el cultivo de las larvas en las piscinas hasta el procesamiento final. Para este estudio el enfoque será de manera específica en los puntos críticos donde se debe controlar temperatura en la planta, Lliguicota Rivera, O. D., Jiménez Carpio, R. A., & Prieto León, A. (2025).

1. Recopilación de datos:

Sensores distribuidos en las piscinas de cultivo y en las líneas de procesamiento recopilan datos en tiempo real sobre diversos parámetros como temperatura, presión, niveles de tanques para abastecimiento de agua, humedad relativa, entre otros.

2. Transmisión de datos:

Los datos recopilados se transmiten de forma inalámbrica o por cable a un sistema centralizado.

3. Visualización y control:

Un sistema SCADA, accesible a través de una interfaz gráfica, permite visualizar los datos en tiempo real, generar Figuras, reportes, establecer puntos críticos de control y alarmas para parámetros fuera de rango.

4. Control remoto:

A través del SCADA, se pueden realizar ajustes remotos a los equipos, como la regulación de bombas, válvulas, sistemas de aireación, entre otros, para mantener las condiciones óptimas de procesamiento.

Esta introducción presenta de forma clara el contexto, los componentes clave, la metodología, los beneficios y el propósito estratégico del proyecto. Un sistema SCADA puede transformar un proceso de empaque de camarón en una operación más eficiente, segura y rentable. Al proporcionar control y visibilidad en tiempo real, una solución SCADA ayudará a la organización a optimizar sus operaciones y a producir camarón de alta calidad que satisfaga las demandas del mercado, Choez Gomez, E. F. (2025).

En síntesis, este proyecto se sustentará en una arquitectura robusta y moderna: un PLC ejecutando lógica de control en tiempo real; un SCADA que supervisa, visualiza y habilita la intervención operativa; y un servidor virtual que almacena, analiza y respalda la información crítica. La unión de estas tecnologías permitirá optimizar el control térmico en la planta empacadora de camarón, garantizando calidad, seguridad, eficiencia y trazabilidad, con una infraestructura escalable y preparada para el futuro.

Formulación de objetivos

Objetivo general

- Diseñar un sistema SCADA para monitoreo en tiempo real de temperaturas en los procesos inherentes a las operaciones para empacado de camarón en sus diferentes variedades, utilizando herramientas tecnológicas, flexibles y escalables que le brinden a la organización una solución a largo plazo sustentable en el tiempo.

Objetivos específicos

- Seleccionar los puntos de temperaturas más críticos que necesitan trazabilidad.
- Diseñar un programa para adquisición de datos de las temperaturas seleccionadas, utilizando herramientas comerciales y que permitan la escalabilidad.
- Desarrollar una plataforma de software para el análisis y visualización de datos que tenga soporte técnico a largo plazo y permita cubrir al 100% el control de temperaturas consideradas como críticas.
- Desplegar la solución propuesta en un escenario simulado de pruebas controladas para aumentar las variables de interés en más de un 70%.
- Validar la solución propuesta aplicando métodos cuantitativos que puedan demostrar la efectividad y reducción de costos en aproximadamente un 40%.

Identificación de variables

Al diseñar un sistema SCADA para el control de temperaturas en una planta procesadora de camarón, hay múltiples variables clave que deben considerarse, Aguirre Aguilar, J. D., & Suárez Aguilar, J. I. (2023). Estas variables se pueden dividir en varias categorías, para este estudio se van a considerar las variables del proceso, estas son las variables directamente relacionadas con el monitoreo y control del sistema:

Temperaturas críticas:

- Temperatura de almacenamiento en congeladores IQF (p. ej. $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ o menos).
- Temperatura de túneles de congelación rápida (p. ej. $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ o menos).
- Temperatura de cámaras frigoríficas y salas de procesamiento (p. ej. $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- Temperatura de vapor/agua caliente en el área de cocción o desinfección.
- Temperatura ambiente interna en zonas de proceso.

Otras variables de proceso (opcionales con la escalabilidad del sistema):

- Humedad relativa en áreas frías (afecta la eficiencia de enfriamiento).
- Niveles en cisternas de agua (variable muy crítica en el proceso)
- Consumo energético de sistemas de refrigeración (compresores).
- Tiempos de congelación a ciertas temperaturas (para garantizar la cadena de frío).
- Alarmas de desvío de temperaturas (alta o baja).
- Frecuencia de ciclos de descongelación de evaporadores (en unidades de tiempo).

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Revisión de literatura

Este marco teórico establece los fundamentos conceptuales y tecnológicos que sustentan el diseño e implementación de un sistema de automatización que integra un Controlador Lógico Programable (PLC) Siemens S7-1200, un sistema SCADA desarrollado con Node-RED, y un servidor de datos virtual utilizando NetToPLCsim. La interacción de estos componentes busca optimizar el control, la supervisión y la gestión de datos en un entorno automatizado, Fernández Lojano, W. A., & Idrovo Vazconez, D. F. (2024).

La automatización industrial se refiere al uso de sistemas o elementos computarizados para controlar máquinas y procesos industriales, reemplazando en gran medida la intervención humana directa. Su objetivo principal es mejorar la eficiencia, la productividad, la calidad del producto y la seguridad en los procesos. Esto se logra mediante la integración de hardware (PLCs, sensores, actuadores) y software (SCADA, HMI, bases de datos) que permiten la operación autónoma y optimizada de los sistemas, Reyes Castro, A. M. (2024).

La automatización industrial se basa en la integración de tecnologías, dispositivos y sistemas que permiten controlar, supervisar y optimizar los procesos productivos con mínima intervención humana. Para organizar esta compleja infraestructura se utilizan modelos jerárquicos, como el modelo de la pirámide de automatización industrial, que divide el sistema en niveles funcionales.

1.2 Desarrollo teórico conceptual

1.2.1 Cadena de frío

La cadena de frío en una planta procesadora de camarón constituye un sistema integral de control térmico diseñado para preservar la calidad, inocuidad y características sensoriales del producto desde su recepción hasta su distribución final. Este proceso inicia inmediatamente después de la cosecha, cuando el camarón es enfriado rápidamente con hielo o agua helada para reducir su temperatura cercana a 0 °C y disminuir la actividad enzimática y microbiana.

Durante el transporte hacia la planta, se mantiene en contenedores isotérmicos o camiones refrigerados que aseguran temperaturas constantes, evitando fluctuaciones que puedan acelerar el deterioro. La rapidez en el enfriamiento inicial es determinante para conservar la frescura, textura y valor comercial del producto. En la etapa de procesamiento, la cadena de frío continúa mediante el control estricto de temperatura en áreas de recepción, clasificación, descabezado, pelado, lavado y empaque.

Estas áreas suelen mantenerse entre 10 °C y 15 °C como máximo, mientras que el producto se conserva en hielo o en sistemas de refrigeración a temperaturas cercanas a 0–4 °C. Posteriormente, el camarón puede someterse a procesos de congelación rápida, como el sistema IQF (Individual Quick Freezing) o túneles de congelación, donde alcanza temperaturas internas de –18 °C o inferiores en el menor tiempo posible. Este congelamiento rápido es esencial para formar cristales de hielo pequeños que no dañen la estructura muscular, garantizando mejor calidad tras la descongelación. Finalmente, el almacenamiento y la distribución representan fases críticas para mantener la integridad de la cadena de frío.

El camarón congelado debe conservarse en cámaras frigoríficas a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ o menos, con monitoreo continuo y registros documentados que permitan la trazabilidad y el cumplimiento de normativas sanitarias nacionales e internacionales. Durante el transporte y comercialización, se emplean vehículos refrigerados y sistemas de control térmico que previenen interrupciones en la cadena. Cualquier ruptura en este proceso puede generar pérdidas de calidad, riesgos microbiológicos y disminución de la vida útil, por lo que la gestión adecuada de la cadena de frío es un pilar fundamental en la industria procesadora de camarón y en los sistemas de aseguramiento de calidad como HACCP (ver fig. #5).

Figura #5.

Cadena de frío



Nota: Figura tomada de <https://www.linkedin.com/company/migama>

1.2.2 Sensores de Temperatura

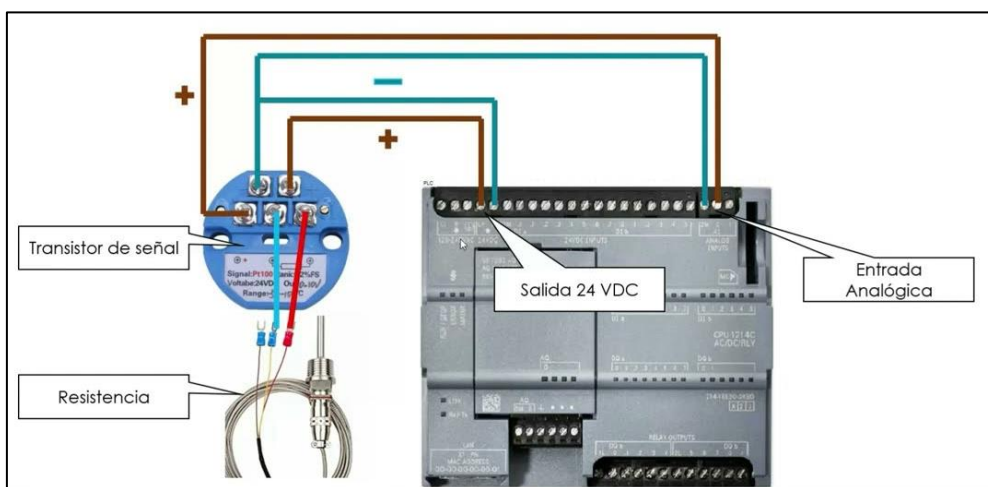
Un sensor de temperatura es un dispositivo que detecta cambios térmicos en el entorno y los convierte en una señal eléctrica proporcional a dichos cambios. Los sensores basados en resistencia, como los RTD (Resistance Temperature Detector), son ampliamente utilizados por su exactitud y estabilidad a largo plazo, Domínguez Gros, F., & Solé-Casals, J. (2019).

Un PT100 es un tipo de RTD fabricado con platino (Pt) y cuyo valor nominal de resistencia es de 100 ohmios a 0°C. Es uno de los sensores más utilizados en la industria debido a su comportamiento casi lineal, alta repetibilidad y estabilidad.

Estos sensores pueden conectarse en configuraciones de 2, 3 o 4 hilos, según el grado de compensación necesario frente a la resistencia del cableado; en la industria es común el uso de la conexión de 3 hilos por su equilibrio entre costo y exactitud. Para integrarlos a sistemas de control es necesario un transmisor de temperatura que convierte la variación de resistencia en una señal lineal y robusta, típicamente 4–20 mA, además de proporcionar filtrado y aislamiento eléctrico (ver fig. #6). Los PT100 se utilizan en procesos industriales donde es fundamental el control térmico, como plantas químicas, de alimentos, generación de energía o sistemas HVAC, destacándose por su precisión, estabilidad y buen comportamiento a largo plazo. Su papel es esencial, ya que una medición incorrecta puede afectar la calidad del producto, la eficiencia del proceso y la seguridad operativa, Torreblanca González, J. (2022).

Figura #6.

Esquema de conexión del sensor de temperatura



Nota: Esta figura muestra el esquema de conexión de un sensor al PLC

1.2.3 Control Lógico Programable

Un PLC (Programmable Logic Controller) es un dispositivo electrónico digital que utiliza una memoria programable para almacenar instrucciones y ejecutar funciones específicas como lógica, secuenciación, temporización, conteo y aritmética, con el fin de controlar máquinas y procesos industriales. Los PLCs son robustos, confiables y están diseñados para operar en entornos industriales hostiles, Arrieta Arvilla, R. E., & González Kerguelen, F. (2003).

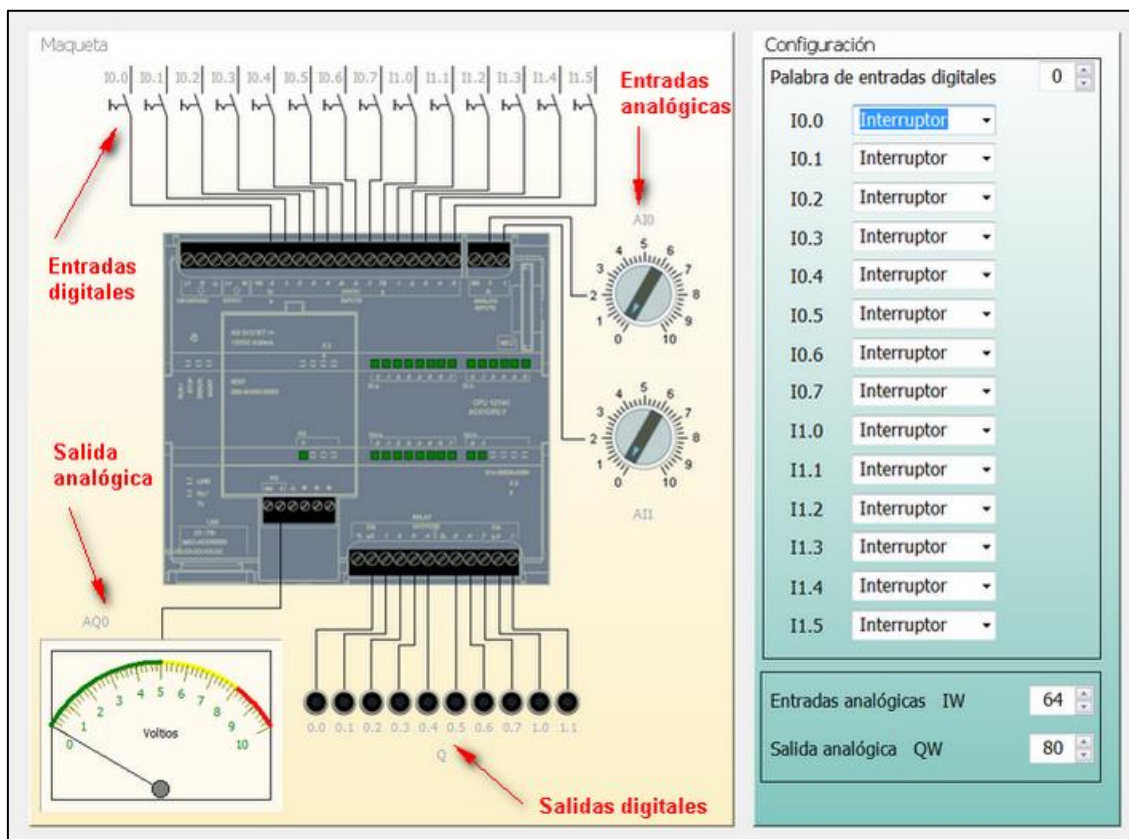
Los PLCs son el cerebro de los sistemas de automatización, actuando como el vínculo entre los sensores y actuadores en el campo y la capa de supervisión SCADA. Su robustez, escalabilidad, confiabilidad y capacidad para operar en entornos industriales hostiles los hacen ideales para el control de procesos en tiempo real, Guachamín Velasque, J. E., & Puco Casa, J. L. (2024).

El Siemens S7-1200 es un PLC compacto y versátil, diseñado para aplicaciones de automatización de tamaño pequeño a mediano. Su integración con el entorno de desarrollo TIA Portal facilita la programación, configuración de comunicación y diagnóstico. En el contexto de monitoreo de temperaturas, el S7-1200 es ampliamente utilizado por su capacidad para manejar módulos de entrada analógica de alta precisión (por ejemplo, para termopares o RTDs) y su soporte para protocolos de comunicación industrial estándar como PROFINET, lo que lo hace idóneo para la recolección de datos de temperatura y su envío a un nivel superior del sistema SCADA. Numerosas implementaciones demuestran su fiabilidad en la adquisición de datos de sensores y la ejecución de lógica de control básica basada en umbrales de temperatura.

En este proyecto, el Siemens S7-1200 actuará como el cerebro del sistema, controlando directamente los procesos y adquiriendo datos de sensores y actuadores (ver fig. #7). Además, vale destacar que se programa con el software TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) de Siemens, que ofrece lenguajes de programación estándar (Ladder, FBD, SCL, STL), su modularidad permite la expansión mediante módulos de entrada/salida (I/O) y módulos de comunicación y que incluye muchas funcionalidades integradas que favorecen la escalabilidad del hardware, Fernández Lojano, W. A., & Idrovo Vazconez, D. F. (2024).

Figura #7.

Esquema de borneras del programador lógico de control



Nota: Esta figura muestra el esquema de bornes eléctricos del PLC

1.2.4 Sistema de control, supervisión y adquisición de datos propuesto

Concepto y Funcionalidades

SCADA es un sistema que permite la supervisión, control y adquisición de datos en tiempo real de procesos industriales distribuidos geográficamente. Las HMI proporcionan la interfaz visual que permite a los operadores interactuar con el sistema SCADA, visualizar el estado del proceso, y recibir alertas, Pérez-López, E. (2015).

Node-RED es una herramienta de programación visual basada en flujo, ampliamente reconocida por su facilidad de uso para conectar dispositivos IoT, APIs y servicios en la nube. Su capacidad para crear interfaces web personalizadas (Dashboards) con nodos preconstruidos y su extensa comunidad de usuarios lo han posicionado como una alternativa flexible y de código abierto para el desarrollo rápido de HMI. En proyectos de monitoreo, Node-RED permite una visualización intuitiva de las tendencias de temperatura, la configuración de alarmas visuales y el control básico del sistema. Su naturaleza basada en navegador elimina la necesidad de instalaciones de software cliente, facilitando el acceso desde múltiples plataformas, Tovar Tapia, J. E. (2024).

Proyectos similares han demostrado la viabilidad de Node-RED para visualizar datos de PLCs (a través de OPC UA, Modbus TCP u otras pasarelas) y presentarlos de forma clara al usuario. En este proyecto, Node-RED será utilizado para construir la interfaz de usuario del SCADA, adquirir datos del PLC, visualizar el estado del proceso, generar alarmas y permitir el control remoto.

1.2.5 Servidor de Datos

Concepto de Virtualización

La virtualización es la creación de una versión virtual (no física) de un recurso informático, como un sistema operativo, un servidor, un dispositivo de almacenamiento o una red. Permite ejecutar múltiples sistemas operativos o aplicaciones de forma aislada en una única máquina física, optimizando el uso de los recursos de hardware. La virtualización y la simulación son herramientas esenciales en el ciclo de vida de un proyecto SCADA, permitiendo el desarrollo, prueba y depuración del sistema en un entorno controlado antes de su implementación física. Esto reduce riesgos, costos y tiempos de desarrollo, Río, M. D. G. (2016).

NetToPLCsim es una utilidad que permite simular la comunicación entre un PLC Siemens (en este caso, un S7-1200 simulado por PLCsim o un PLC real) y aplicaciones externas que requieren comunicación Ethernet/PROFINET. NetToPLCsim es una herramienta de software que permite la conexión de aplicaciones externas (como sistemas SCADA o HMI) con el simulador de PLC Siemens, PLCSIM. Esta herramienta es fundamental para el desarrollo y prueba de la lógica del PLC y la interfaz HMI sin la necesidad de hardware físico, Juan San Valero, D. E. (2021).

Permite simular el comportamiento del PLC, incluyendo la lectura de entradas y la escritura de salidas, lo que es vital para probar cómo la HMI interactúa con los datos del PLC en tiempo real. En el contexto de un sistema de monitoreo de temperaturas, NetToPLCsim facilitaría la simulación de variaciones de temperatura y la verificación de que el SCADA y la HMI respondan correctamente a estos cambios, garantizando la robustez del sistema antes de su puesta en marcha.

En este proyecto, NetToPLCsim será crucial para establecer la conectividad entre Node-RED (el SCADA) y el PLC Siemens S7-1200 (ya sea simulado o real), facilitando el intercambio de datos y el control. Esto permitirá probar la funcionalidad del SCADA y la lógica del PLC en un entorno virtual antes de la implementación final, Fernández Lojano, W. A., & Idrovo Vazconez, D. F. (2024).

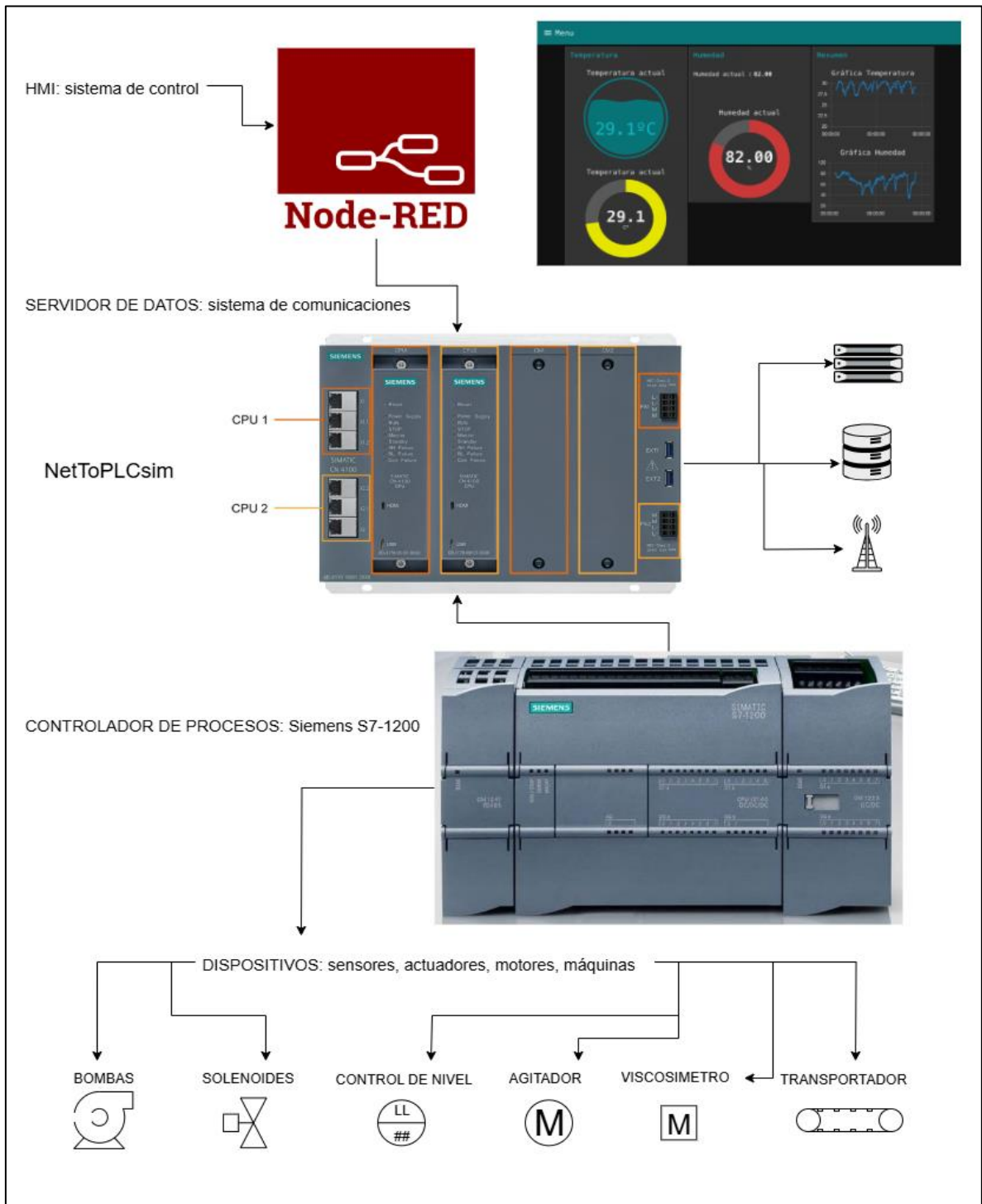
1.2.6 Arquitectura del Sistema Propuesto

Jerarquía de control y supervisión estructurada de la siguiente manera:

- **Nivel de Campo (Sensores y Actuadores):** Sensores de temperatura: RTD PT100 o termopares conectados a módulos analógicos del S7-1200
- **Nivel de Control (PLC):** El Siemens S7-1200 se encargará de la lógica de control de bajo nivel, la adquisición de datos de campo y la ejecución de las operaciones.
- **Nivel de Supervisión (Node-RED SCADA):** Node-RED proporcionará la interfaz gráfica de usuario (HMI), la visualización de datos en tiempo real, el registro histórico, la gestión de alarmas y la capacidad de control remoto.
- **Nivel de Comunicación (NetToPLCsim):** NetToPLCsim actuará como un intermediario, permitiendo que el SCADA se comunique con el PLC. Esto es especialmente útil en entornos de simulación o cuando se necesita una capa de abstracción para la comunicación, (ver fig. #8).

Figura #8.

Arquitectura de la solución propuesta: Sensor PT-100, PLC marca SIMENS CPU modelo S7-1200, servidor NetToPLC y SCADA o HMI en Node-RED



Nota: Esta figura muestra la arquitectura del sistema propuesto

1.2.7 Protocolos de Comunicación

La comunicación entre el PLC y el SCADA, facilitada por NetToPLCsim, se realizará principalmente a través de:

- **PROFINET/TCP/IP:** El Siemens S7-1200 utiliza PROFINET (basado en Ethernet industrial) para la comunicación. NetToPLCsim traducirá estas comunicaciones para que Node-RED pueda interactuar con el PLC mediante protocolos basados en TCP/IP, Hita Cervantes, J. (2021).
- **Nodos de comunicación de Node-RED:** Se utilizarán nodos específicos en Node-RED (por ejemplo, nodos S7, Modbus TCP/IP si se usara un gateway, o nodos personalizados) para establecer la comunicación con el PLC a través de NetToPLCsim, Hita Cervantes, J. (2021).

1.2.8 Norma IEC 60751

La norma internacional IEC 60751 establece los requisitos metrológicos y constructivos para los sensores de temperatura por resistencia (RTD) basados en platino, entre ellos el ampliamente utilizado PT100. Uno de los aspectos más relevantes que define esta norma es la clasificación de los sensores según su clase de exactitud, la cual determina la tolerancia aceptable entre la temperatura real y la medida por el dispositivo.

Estas clases (denominadas AA, A y B) permiten seleccionar el sensor adecuado en función de las necesidades del proceso, considerando factores como precisión requerida, rango de operación, criticidad del sistema y condiciones ambientales.

La Clase AA representa el nivel más alto de exactitud y está destinada a aplicaciones de metrología avanzada, laboratorios y procesos donde mínimas desviaciones pueden comprometer la calidad del producto o la seguridad operativa.

La Clase A ofrece un balance adecuado entre precisión y robustez, siendo utilizada en aplicaciones industriales donde se requiere una medición confiable con márgenes de error reducidos, como en sistemas de control térmico para procesos químicos, alimentos o energía, Perez Muñoz, J. M., Castro Serna, M., & Rodríguez Fajardo, G. E. (2025).

Finalmente, la Clase B constituye la categoría más común en entornos industriales generales, proporcionando una tolerancia mayor pero suficiente para la mayoría de tareas de monitoreo y control, con un costo más accesible y mayor resistencia a condiciones exigentes. Cada clase posee una tolerancia definida tanto a 0°C como para un rango más amplio de temperaturas expresado mediante ecuaciones lineales dependientes de la magnitud absoluta de la variable térmica, lo que permite evaluar el desempeño del sensor para distintas condiciones operativas, Cruz Fajardo, J. C. (2024).

La correcta selección de la clase del PT100 es esencial para asegurar mediciones precisas y mantener la trazabilidad y confiabilidad de los sistemas de automatización y control. Esta clasificación constituye un elemento clave en el diseño de sistemas de instrumentación térmica y un punto fundamental dentro del marco teórico de una tesis orientada al estudio o implementación de sensores RTD. En resumen, los sensores PT100 se clasifican según su clase de exactitud, establecida por la norma IEC 60751. Esta clasificación define la tolerancia permitida entre la temperatura real y la medida por el sensor, determinando su precisión y calidad metrológica.

1.2.9 Norma IEC 61131-3

La norma IEC 61131-3 es el estándar internacional que define los lenguajes de programación para controladores lógicos programables (PLC) y constituye la base metodológica para el desarrollo de software industrial. Su objetivo es unificar criterios, mejorar la interoperabilidad y garantizar que los programas sean portables, estructurados y mantenibles, independientemente del fabricante del hardware. Esta norma establece tanto los lenguajes como los tipos de datos, las estructuras de programación, las reglas de declaración de variables y los modelos de ejecución, lo que permite crear aplicaciones de control más seguras, robustas y modulares. Dentro de IEC 61131-3 se definen cinco lenguajes: tres Figuras (Ladder Diagram, Function Block Diagram y Sequential Function Chart) y dos textuales (Structured Text e Instruction List), Quezada, J., Flores, E., Solís, A. E., & Quezada, V. (2016).

Cada lenguaje está diseñado para responder a necesidades distintas: Ladder se orienta a la lógica combinatorial y al reemplazo de circuitos de relés; FBD facilita la representación funcional mediante bloques conectados; SFC organiza el proceso en pasos y transiciones para secuencias complejas; y ST permite programación estructurada de alto nivel similar a Pascal. Esta diversidad permite que el ingeniero elija el lenguaje más adecuado según las demandas del proceso (tabla #2). En el contexto de automatización industrial, IEC 61131-3 es crucial porque estandariza la forma en que se diseñan los sistemas de control, reduciendo errores, simplificando la documentación, facilitando el mantenimiento y permitiendo la escalabilidad. Por ello, constituye un elemento fundamental dentro de cualquier proyecto o tesis que involucre desarrollo de sistemas de control automático basados en PLC.

Tabla #2.

Lenguajes definidos por la norma IEC 61131-3

Lenguaje	Descripción resumida	Uso habitual
Ladder Diagram (LD)	Representa contactos y bobinas similar a circuitos de relés.	Lógica combinatorial, automatización clásica.
Function Block Diagram (FBD)	Conexión de bloques funcionales mediante líneas de señal.	Control continuo, funciones reutilizables.
Sequential Function Chart (SFC)	Secuencias basadas en pasos, transiciones y acciones.	Procesos secuenciales y por etapas.
Structured Text (ST)	Lenguaje estructurado similar a Pascal o C.	Algoritmos complejos, cálculos y lógica avanzada.
Instruction List (IL)	Estilo ensamblador, ahora depreciado.	Sistemas antiguos, lógica simple y rápida.

1.2.10 Norma ANSI/ISA-101

La ISA-101 es un estándar ampliamente utilizado para el diseño, operación y gestión de interfaces hombre-máquina (HMI) en sistemas industriales de supervisión y control. Forma parte de la serie de normas desarrolladas por ISA para fortalecer la confiabilidad operativa, y establece lineamientos destinados a uniformar la presentación de información en pantallas, paneles y estaciones de operación dentro de plantas de proceso, sistemas SCADA y entornos de automatización.

Su principal objetivo es asegurar que las HMI proporcionen información clara, contextualizada y coherente, permitiendo que los operadores identifiquen condiciones anormales, diagnostiquen eventos y ejecuten acciones de control de manera segura y eficiente, reduciendo errores humanos y mejorando el desempeño del sistema, Bohórquez, E., Prado, E., & Ramirez, M. (2019).

Este estándar se caracteriza por promover una filosofía de diseño centrada en las funciones operativas, la percepción situacional y la eficiencia cognitiva del operador. Define categorías específicas de información, niveles de prioridad de alarmas, principios de navegación, jerarquías visuales, estilos Figuras y criterios de color, buscando reducir la sobrecarga visual y evitar interpretaciones erróneas. Además, establece procedimientos para la validación de pantallas, confirmación de comandos, administración de alarmas y gestión de estados operativos, garantizando que la interacción entre el sistema y el operador se mantenga consistente en situaciones normales, anormales y críticas dentro del proceso, Calderón Sampedro, E. P. (2025).

La norma también especifica modelos de organización de elementos visuales, estructuras de información, criterios de diseño modular y recomendaciones para la documentación y mantenimiento de las HMI. Incluye lineamientos para la creación de bibliotecas gráficas estandarizadas, reglas de disposición espacial, prácticas para el uso de tendencias, indicadores y ventanas de diagnóstico, además de requisitos para la calidad de la información y la presentación de valores analógicos y digitales con el nivel de detalle adecuado para la operación, Bohórquez, E., Prado, E., & Ramirez, M. (2019).

En aplicaciones modernas, ISA-101 es fundamental en sistemas de manufactura, control de procesos, SCADA, instalaciones energéticas y plantas altamente automatizadas. Su enfoque en la mejora de la percepción operativa y en la reducción de riesgos la convierte en una herramienta esencial para el diseño de interfaces críticas en industrias químicas, alimentarias, energéticas y de infraestructura. Gracias a su estructura abierta y estandarizada, la norma permite integrar HMI de distintos fabricantes, mantener

consistencia operativa y establecer un marco común para la supervisión, diagnóstico y toma de decisiones en sistemas industriales complejos.

1.3 Beneficios del Sistema Propuesto

- **Flexibilidad:** La modularidad del S7-1200 y la programación visual de Node-RED permiten adaptaciones rápidas a diferentes procesos.
- **Costo-Eficiencia:** La virtualización con NetToPLCsim reduce la necesidad de hardware físico durante el desarrollo.
- **Escalabilidad:** El sistema puede expandirse con módulos adicionales para el PLC y nodos en Node-RED.
- **Accesibilidad:** La HMI basada en web permite monitoreo remoto desde cualquier dispositivo conectado.

El sistema de automatización propuesto, compuesto por un PLC Siemens S7-1200, una HMI SCADA en Node-RED y un servidor virtual con NetToPLCsim, ofrece una solución robusta, flexible y eficiente para aplicaciones industriales. La integración de estos componentes permite el control, monitoreo y validación de procesos en un entorno simulado y real, optimizando el desarrollo y la implementación de soluciones de automatización, Fernández Lojano, W. A., & Idrovo Vazconez, D. F. (2024).

1.4 Matriz operacional de variables

Una matriz operacional de variables, (tabla #3) es una herramienta clave para trasladar conceptos abstractos como “temperatura” o “tiempo de respuesta” a elementos observables y concretos ideales para proyectos como el monitoreo de temperaturas en una planta procesadora de camarón.

Es una tabla que traduce cada variable conceptual en dimensiones, indicadores, valores esperados y métodos de medición pasando del plano teórico al operacional, ayuda a vincular las variables con los objetivos, el marco teórico y los instrumentos de recolección de datos.

Tabla #3.

Matriz operacional de variables

Variable	Dimensión Indicador	Escala Valores esperados	Tipo	Frecuencia	Instrumento Técnica
Temperatura ambiente en cámara	Lectura en °C interiores en cámara frigorífica	de Continua: 0 °C a -30 °C	Cuantitativa continua	Registro cada hora	Sensor digital y registrador de temp. datalogger calibrado
Temperatura del producto (camarón)	Lectura interna del producto (sonda de inmersión)	de Continua: 0 °C a -25 °C	Cuantitativa continua	Muestras 3 veces al día	Sensor digital y registrador de temp. datalogger calibrado
Humedad relativa (si aplica)	% humedad dentro (si cámara, afecta producto)	de Continua: si 70 % ± 5 % al (ejemplo)	Cuantitativa continua	Cada registro de temperatura	Sensor de humedad relativa (opcional)
Frecuencia de registro	Número de lecturas por día	de Discreta: 24 lecturas/día	Cuantitativa discreta	Diario	Planilla, registrador automático o SCADA
Precisión del instrumento	Desviación respecto al estándar calibrado	al Continua: ± 0.5 °C mejor	Cuantitativa continua	Quincenal (verificación)	Verificación con patrón calibrado certificable
Alarmas de desviación	Notificación ante lectura fuera de rango	Categoría: OK / Alerta	Cualitativa nominal	Tiempo real	Sistema IoT con alarmas configurables
Trazabilidad documental	Registro digital o físico de cada medición	Cualitativa: sí / no	Cualitativa nominal	Diario / automático	Base de datos SCADA o registros de auditoría

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

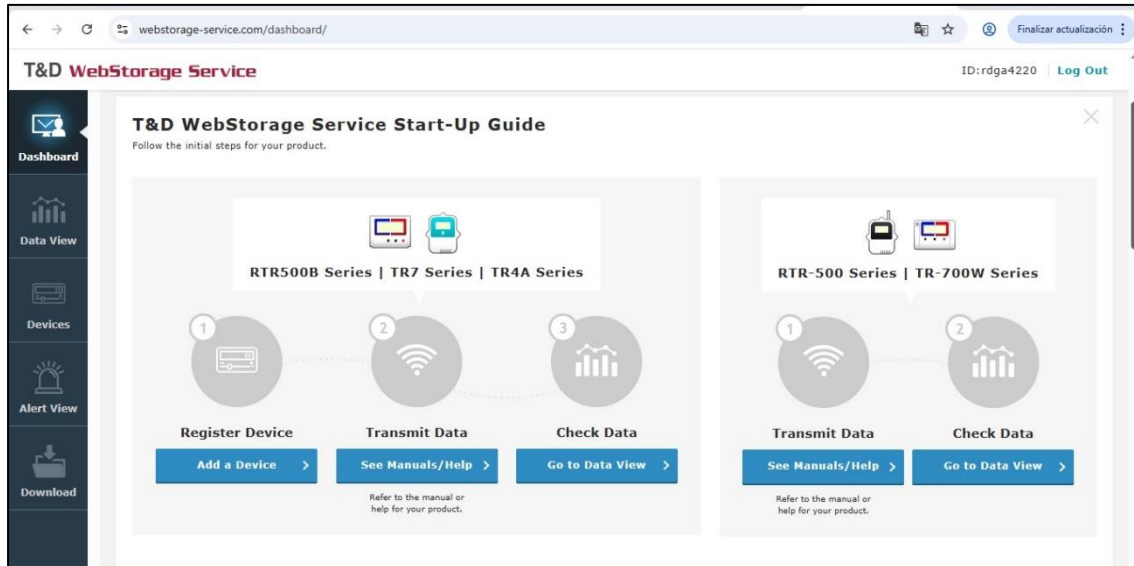
2.1 Contexto de la investigación

La presente investigación adopta un enfoque mixto, integrando métodos cuantitativos y cualitativos, con el propósito de analizar de manera integral la implementación y el desempeño de un sistema de control de temperaturas en la planta procesadora de camarón ubicada en Duran - Ecuador descrita en la introducción de este trabajo. Este enfoque permite no solo evaluar el comportamiento técnico de la variable, sino también ofrecer al usuario un ambiente de trabajo que permita controlar el sistema. La metodología implicará el diseño funcional integral de interfaz hombre máquina, el análisis de rendimiento del sistema y la validación de los resultados en un entorno simulado. El enfoque de investigación más adecuado para este proyecto sería el **Enfoque Mixto**, con predominancia del enfoque **Cuantitativo** y un componente aplicado, con la posibilidad de incorporar elementos **Cualitativos** para una comprensión más holística.

El sistema SCADA desarrollado presenta ventajas significativas frente a la plataforma mostrada en la figura #9, ya que permite un monitoreo y control en tiempo real, mientras que el sistema web de registro actúa principalmente como una herramienta de visualización histórica de datos. A diferencia de la solución mostrada figura #10, esta HMI integra en una sola interfaz la supervisión, el control del proceso, la visualización de tendencias en vivo y la gestión de alarmas, reduciendo la dependencia de múltiples plataformas. Además, el HMI ofrece mayor flexibilidad y personalización, facilita la interacción directa del operador con el proceso (ajuste de consignas, arranque/parada, estados de actuadores) y mejora la toma de decisiones operativas, aspectos críticos en procesos industriales como el control térmico en túneles de congelación.

Figura #9.

Captura de pantalla del dashboard del sistema TAND-D



Nota: Esta figura muestra el tablero de control del sistemas de monitoreo de temperaturas

Figura #10.

Captura de pantalla con tendencia del sistema TAND-D



Nota: Esta figura muestra el diagrama de tendencias ofrecido por TAND-D

2.2 Diseño y alcance de la investigación propuesta

La investigación propuesta se desarrolla bajo un diseño no experimental, debido a que las variables de estudio no son manipuladas de manera deliberada, sino observadas y analizadas en su contexto real de operación dentro de una planta procesadora de camarón ubicada en Ecuador. El sistema de control de temperaturas es evaluado una vez implementado, considerando su comportamiento durante el funcionamiento normal del proceso productivo, el cual se puede apreciar en detalle en la figura #11.

El alcance de la investigación es de tipo aplicado y tecnológico, ya que se centra en la implementación y evaluación de un sistema de control de temperaturas con aplicación directa en un proceso industrial real, (ver fig. #12). El estudio alcanza los siguientes aspectos:

Visualización de tendencias

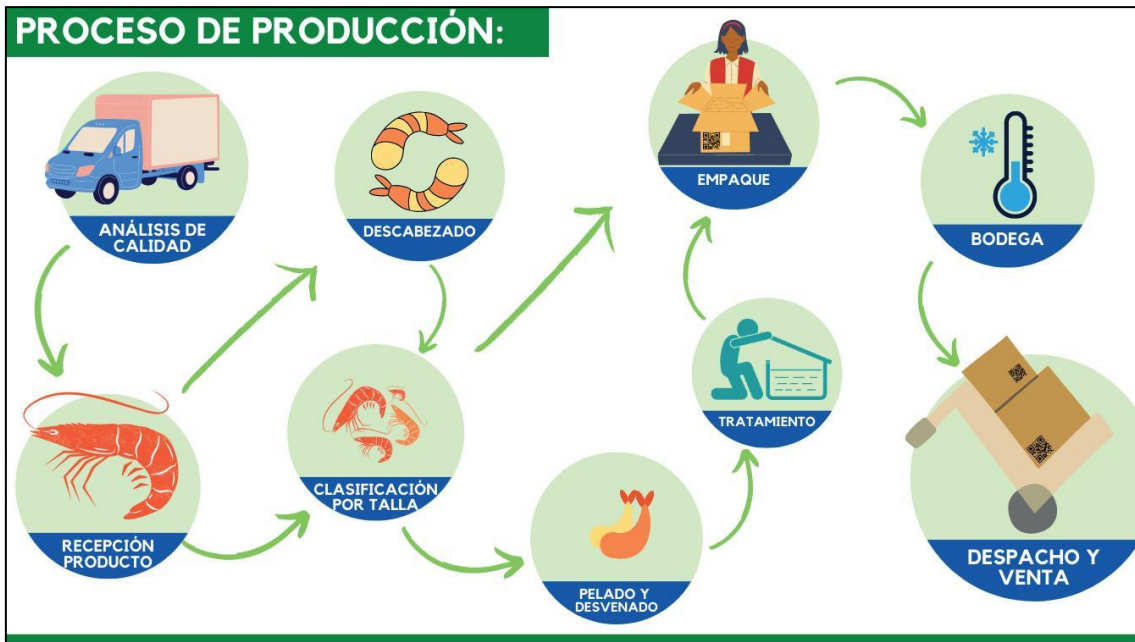
La solución propuesta está en capacidad de mostrar un **Figura de tendencia de temperatura**, el cual permite visualizar la evolución temporal del proceso. Esta funcionalidad es clave para el análisis del comportamiento térmico del túnel, la detección de fluctuaciones anómalas y la verificación del cumplimiento de los rangos de temperatura requeridos para la correcta conservación del camarón.

Indicadores Figuras del proceso

La HMI dispone de **indicadores Figuras animados**, asociados al funcionamiento del evaporador y los ventiladores. Estos elementos permiten al operador identificar visualmente el estado dinámico del sistema, facilitando la supervisión del proceso sin necesidad de interpretar únicamente valores numéricos.

Figura #11.

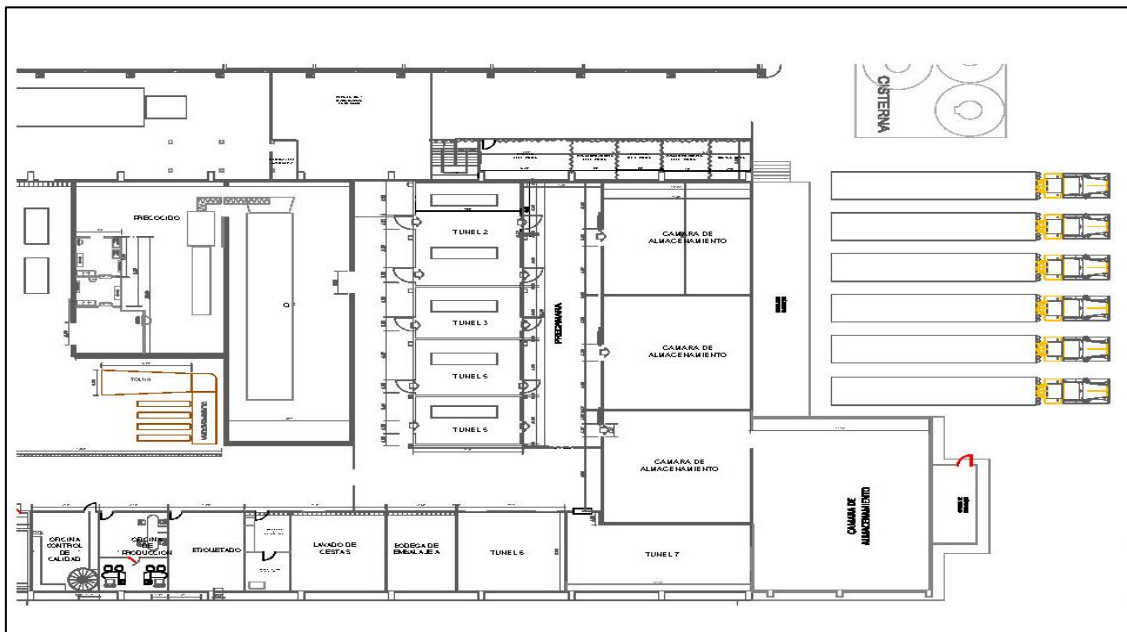
Proceso de producción de una planta empacadora de camarón



Nota: Esta figura muestra el proceso de producción de una empacadora de camarón

Figura #12.

Sección del plano real de la planta empacadora de camarón, objeto de estudio



Nota: Esta figura muestra una sección del plano arquitectónico de la planta

Gestión y almacenamiento de datos

El sistema propuesto ofrece poder visualizar los registros capturados en una **tabla de datos**, donde se registran las lecturas de temperatura junto con su respectiva fecha y hora. Esta información es almacenada en una base de datos relacional, con opciones de integración a plataformas externas de visualización y la integración con software para análisis avanzado estadístico avanzado. Asimismo, se incluye una función para la gestión y eliminación de registros, lo que facilita el mantenimiento del sistema de datos.

Importancia del HMI en el proceso industrial

La interfaz HMI desarrollada es capaz de permitir **supervisión en tiempo real**, mejorar la **toma de decisiones operativas** y contribuir al **control eficiente de la cadena de frío**, aspecto crítico en la industria camaronera ecuatoriana. Además, su integración con el PLC y el servidor de datos virtual garantiza la confiabilidad del sistema y la trazabilidad de la información.

La investigación no aborda el diseño mecánico del túnel de congelación, el modelado termodinámico detallado del sistema de refrigeración ni la optimización energética del proceso, limitándose al análisis del sistema de control, supervisión y gestión de datos. En consecuencia, los resultados obtenidos permiten validar la viabilidad técnica y operativa del sistema propuesto, sirviendo como referencia para futuras mejoras, ampliaciones o implementaciones similares en la industria camaronera u otros sectores agroindustriales, la obtención de datos se efectúa en un periodo de tiempo determinado, durante la operación regular del sistema de control de temperaturas, lo que permite caracterizar su comportamiento sin considerar un seguimiento longitudinal a largo plazo.

2.3 Componentes de la propuesta

Componentes principales:

- **SENSORES:** tipo RTD elemento sensor PT100
- **PLC:** Siemens modelo S7-1200, CPU con módulos de E/S digitales y analógicas
- **HMI:** Interfaz visual y control en Node-RED
- **SERVIDOR:** Virtual con el software NetToPLCsim

2.3.1 Sensores de temperatura pt100

El sensor RTD (Resistance Temperature Detector) tipo PT100 es un transductor de temperatura basado en la variación de la resistencia eléctrica del platino (Pt) con respecto a la temperatura. Este tipo de sensor se utiliza ampliamente en aplicaciones industriales que requieren alta precisión, estabilidad y robustez en la medición térmica. En el caso particular de una empacadora de camarón, el PT100 se implementa en los sistemas de control térmico para monitorear y regular la temperatura de procesos de conservación, empaque y almacenamiento, garantizando que los productos se mantengan dentro de los rangos térmicos seguros que preservan su calidad e inocuidad.

La implementación de un sensor RTD tipo PT100 (tabla #4) en una empacadora de camarón permite un control térmico preciso, confiable y trazable, lo que es esencial para mantener la calidad, seguridad alimentaria y eficiencia energética del proceso. Su amplio rango operativo (-50 a 250 °C) lo hace adecuado tanto para etapas de enfriamiento y congelación como para procesos térmicos de sellado, consolidándolo como una solución estándar en la industria alimentaria y de empaques.

El PLC Siemens S7-1200 no puede leer directamente la resistencia del Pt100. Necesita un módulo de expansión especializado:

1. **Módulo Requerido:** Se utiliza un módulo de entrada analógica que recibe de manera directa sensores de temperatura, como el **SM 1231 RTD**.
2. **Conversión:** El módulo SM 1231 mide la resistencia del sensor (compensando los cables si es 3 o 4 hilos) y la convierte a un valor digital.
3. **Escalado:** Este valor digital es interpretado y **escalado en °C** dentro del programa del PLC (TIA Portal), generalmente utilizando una instrucción de normalización y escalado para obtener la variable de proceso (*Temperatura Actual*).

La señal eléctrica que el PLC recibe del Pt100 para 100 Ω a 0°C y 138.5 Ω a 100°C es la base para el control, asegurando que la temperatura se mantenga en el **punto de consigna (Set-Point)** crítico para la calidad sanitaria y organoléptica del camarón

- **Función:** Adquisición de datos del proceso (temperatura) y ejecución de acciones (calentamiento/enfriamiento).
- **Componentes utilizados en campo:**
 - **Sensores de Temperatura:** Termopares o Pt100 ubicados en las zonas críticas de la planta donde se requiere medir la variable.
 - **Actuadores:** Válvulas, motores, bombas, relés, aparatos de maniobras controlados por el PLC.
- **Comunicación:** Conexión directa cableada al PLC, Entradas/Salidas analógicas y digitales que tendrán efecto directo sobre los actuadores.

El sensor PT100 (ver fig. #13), ofrece alta estabilidad, repetibilidad y resistencia a la corrosión, especialmente cuando está encapsulado en acero inoxidable AISI 316, lo que lo hace adecuado para ambientes con humedad y salinidad.

Su linealidad, su resistencia al daño físico y la detección inmediata de un fallo, son cruciales en aplicaciones industriales y científicas que requieren control exacto de la temperatura.

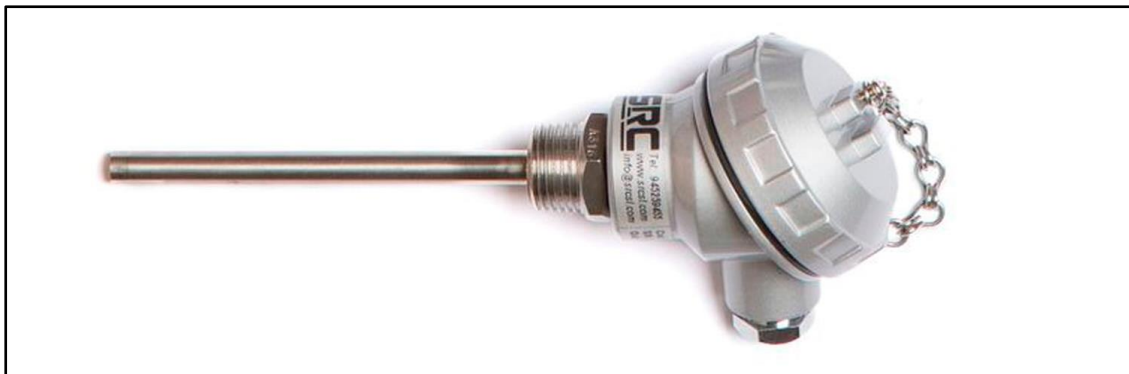
Tabla #4.

Información técnica del sensor de temperatura

Parámetro	Valor / Descripción
Tipo de sensor	RTD de platino PT100
Rango de medición	-50 °C a +250 °C
Resistencia nominal	100 Ω a 0 °C
Coefficiente de temperatura (α)	0.00385 Ω/Ω·°C
Tolerancia típica	Clase A (± 0.15 °C a 0 °C) o Clase B (± 0.30 °C a 0 °C), según IEC 60751
Configuración eléctrica	2, 3 o 4 hilos (preferentemente 3 hilos para compensación de resistencia del cable)
Material del elemento	Platino puro encapsulado
Tipo de encapsulado	Sonda de acero inoxidable AISI 316
Longitud de sonda	50–150 mm (según punto de instalación)
Tiempo de respuesta (t63)	< 1.5 s en agua en movimiento
Tipo de montaje	Roscado o mediante brida, según aplicación
Compatibilidad	Transmisores analógicos o digitales (4–20 mA / Modbus / HART/Ethernet/PROFIBUS)

Figura #13.

Sensor de temperatura PT-100



Nota: Figura tomada de <https://srcsl.com/que-es-un-sensor-pt100/>

2.3.2 Controlador siemens S7-1200

El Controlador Lógico Programable (PLC) Siemens S7-1200 modelo CPU 1214C AC/DC/RLY, (ver fig. #14) es un dispositivo compacto diseñado para el control automático de procesos industriales, caracterizado por su flexibilidad, capacidad de comunicación y facilidad de integración con sistemas de supervisión (HMI/SCADA).

Este modelo combina alimentación en corriente alterna (AC), entradas digitales en corriente continua (DC) y salidas por relé (RLY), lo que lo hace especialmente versátil para aplicaciones que requieren la conmutación de cargas tanto de corriente alterna como continua. El PLC S7-1200 ejecuta un ciclo de control basado en tres etapas principales:

1. **Adquisición de señales (Input Scan):** El PLC lee el estado de todas las entradas digitales y analógicas conectadas (sensores, pulsadores, interruptores, etc.) y las almacena temporalmente en una tabla de memoria denominada *Imagen de Entradas*.
2. **Ejecución del programa del usuario:** El procesador (CPU) ejecuta de forma secuencial el programa lógico diseñado en el entorno **TIA Portal**, utilizando los valores almacenados en la imagen de entradas. El resultado de las operaciones lógicas se guarda en la *Imagen de Salidas*.
3. **Actualización de salidas (Output Scan):** Finalmente, los valores calculados se envían a las salidas físicas del PLC (bobinas de relé, transistores, etc.), actuando sobre los dispositivos de campo (motores, válvulas, actuadores, luces, etc.).

Este ciclo se repite de manera continua con un tiempo de escaneo del orden de milisegundos, garantizando una respuesta en tiempo real.

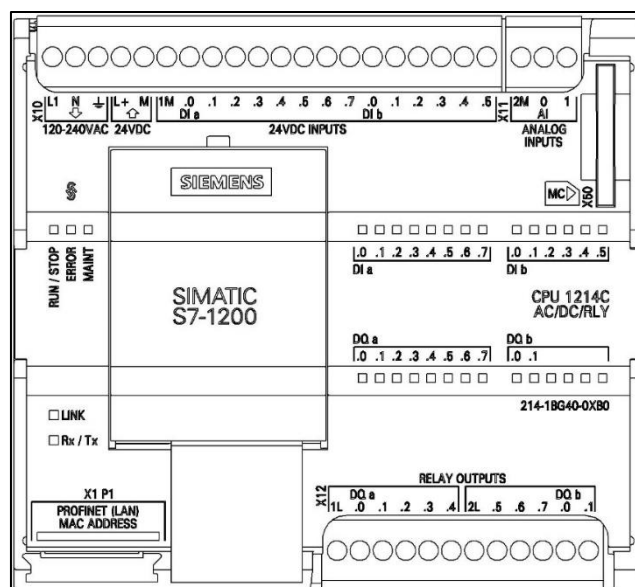
Tabla #5.

Información técnica del PLC

Parámetro	Descripción / Valor
Modelo	Siemens SIMATIC S7-1200 CPU 1214C AC/DC/RLY
Alimentación	85–264 V AC, 50/60 Hz
Consumo de potencia	Aproximadamente 14 W
Entradas digitales	8 entradas digitales (24 V DC)
Salidas digitales	6 salidas por relé (5 A máximo por canal, carga resistiva)
Entradas analógicas (opcional)	Hasta 2 (dependiendo del modelo o módulo de expansión)
Tensión de conmutación relay	5–30 V DC o 5–250 V AC
Memoria de programa	50 KB
Memoria de datos	10 KB
Comunicación	Ethernet integrada (Profinet, TCP/IP)
Módulos de expansión	Hasta 3 módulos de señal y 8 módulos de comunicación
Rango de temperatura de operación	–20 °C a +60 °C
Dimensiones (An × Alt × Prof)	90 × 100 × 75 mm
Peso	Aprox. 350 g
Software de programación	TIA Portal (STEP 7 Basic o Professional)

Figura #14.

PLC Siemens S7-1200 modelo CPU 1214C AC/DC/RLY

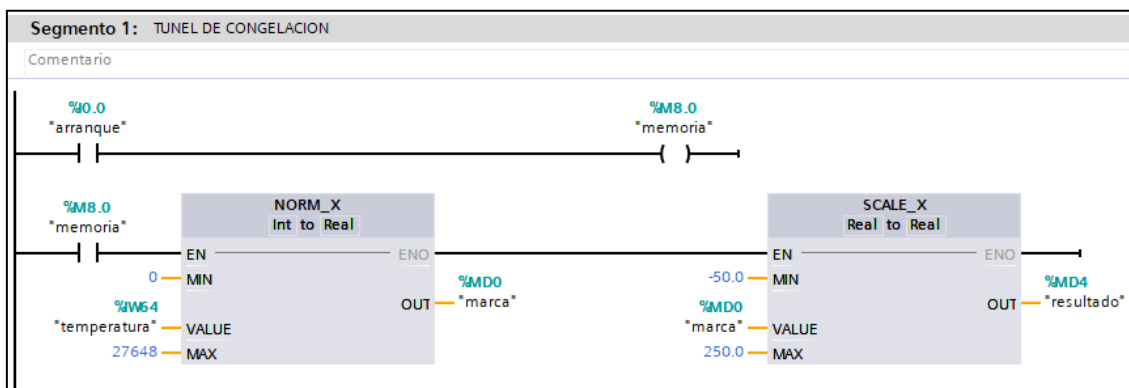


El sistema de control fue implementado mediante un PLC Siemens S7-1200 modelo CPU 1214C AC/DC/RLY, utilizando el entorno de programación TIA Portal bajo el lenguaje Ladder (LAD). El objetivo principal del programa es el control automático del evaporador dentro de una cámara frigorífica, asegurando que la temperatura se mantenga dentro del rango operativo establecido para la conservación del producto. El proceso inicia cuando la señal de arranque (%I0.0) habilita el funcionamiento general del sistema. Al activarse esta entrada, se energiza la memoria intermedia %M8.0, que actúa como una condición de habilitación lógica para el resto del programa. Esta estructura garantiza que el sistema sólo ejecute el control de temperatura cuando ha sido autorizado manualmente por el operador (tabla #5).

La señal de temperatura es adquirida a través de una entrada analógica (%IW64), correspondiente a un sensor de temperatura tipo PT100 o similar, cuyo valor se entrega en formato entero (INT). Para que este valor pueda ser interpretado en unidades físicas (°C), se utilizan dos bloques de funciones estandarizadas de Siemens: NORM_X y SCALE_X, (ver fig. #15).

Figura #15.

Arranque y escalado de señal analógica en TIA PORTAL



Nota: Esta figura muestra el escalado de la señal analógica para leer temperatura

El bloque NORM_X (Int to Real) normaliza la señal de entrada analógica, convirtiendo su valor entero en una magnitud real comprendida entre 0.0 y 1.0 según el rango de lectura configurado. Posteriormente, el bloque SCALE_X (Real to Real) convierte ese valor normalizado a la escala física correspondiente, estableciendo un rango de -50.0 °C a 250.0 °C. El resultado de esta conversión se almacena en la dirección %MD4 bajo la variable “resultado”, que representa la temperatura real medida dentro de la cámara frigorífica.

El programa evalúa continuamente esta variable “resultado” mediante una instrucción de comparación. Cuando la temperatura medida es igual o superior al valor de referencia establecido (-20.0 °C), se activa la salida %Q0.0, correspondiente al accionamiento del solenoide que controla el paso del refrigerante hacia el evaporador. De esta manera, el sistema permite el flujo de refrigerante sólo cuando la temperatura supera el umbral mínimo requerido, iniciando el proceso de enfriamiento.

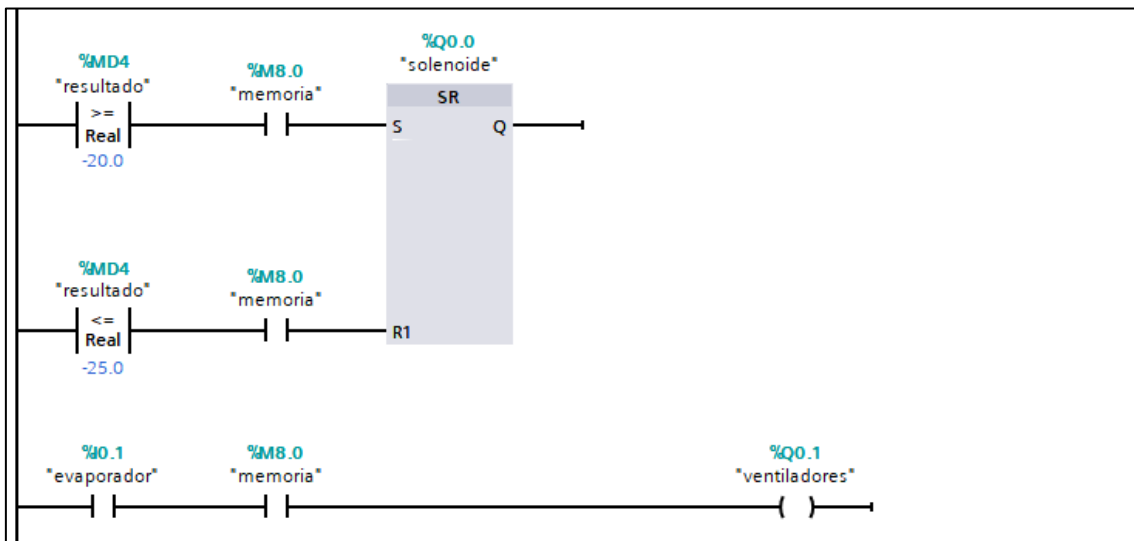
Simultáneamente, la salida %Q0.1 controla el encendido de los ventiladores del evaporador, los cuales se activan mientras la memoria %M8.0 permanezca energizada, asegurando una adecuada circulación del aire frío dentro de la cámara. Este comportamiento mantiene una distribución térmica uniforme, favoreciendo la estabilidad térmica del sistema.

El programa, estructurado de forma cíclica en el bloque principal OB1, garantiza un muestreo continuo del valor de temperatura y una actualización inmediata de las salidas, manteniendo la respuesta en tiempo real. Su diseño modular y lógico permite una fácil calibración de los rangos de temperatura y una futura integración con otros elementos del sistema, como alarmas o registros de datos de operación.

En términos metodológicos, este desarrollo combina la adquisición de señales analógicas, la conversión matemática de unidades, la toma de decisiones lógicas y la activación de salidas discretas, constituyendo una estrategia de control proporcional discreto adecuada para sistemas de refrigeración industrial de baja temperatura, (ver fig. #16).

Figura #16.

Instrucciones de comparación para control de salidas en TIA PORTAL



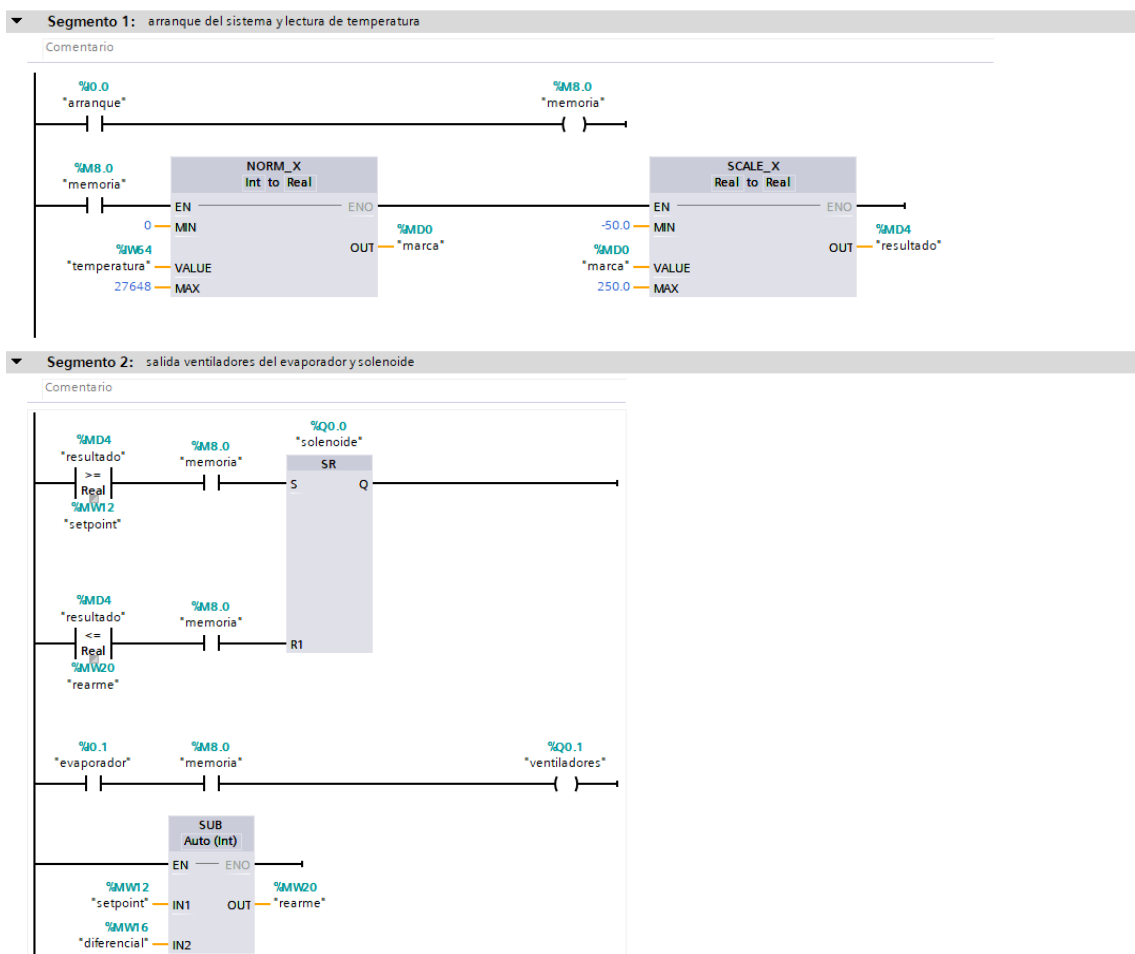
Nota: Esta figura muestra la configuración de la consigna en TIA PORTAL

El diseño del control se fundamentó en la necesidad de mantener una temperatura estable dentro del rango de $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, con el objetivo de evitar tanto la sobrecarga del compresor como la formación excesiva de escarcha en el evaporador. Para ello, se realizó una etapa de calibración del sensor analógico, verificando la linealidad de la conversión digital y ajustando los valores de las funciones NORM_X y SCALE_X hasta obtener una lectura precisa en $^{\circ}\text{C}$. Los resultados evidenciaron que el control basado en comparación discreta mantiene una oscilación térmica mínima, garantizando estabilidad en la cámara y un consumo energético eficiente.

Asimismo, se comprobó que la conmutación del solenoide y los ventiladores se realiza sin solapamientos ni retardo perceptible, gracias a la ejecución cíclica del programa y al escaneo rápido del PLC Siemens S7-1200. En resumen, el programa convierte esta señal mediante los bloques NORM_X y SCALE_X, obteniendo el valor real de temperatura en grados Celsius. A partir de este valor, el PLC ejecuta una lógica de comparación: cuando la temperatura supera el umbral configurado (por ejemplo, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$), activa la válvula solenoide (%Q0.0) para permitir el paso del refrigerante hacia el evaporador y enciende los ventiladores (%Q0.1) para mejorar la transferencia de calor, (ver fig. #17).

Figura #17.

Algoritmo de control realizado en TIA PORTAL



Nota: Esta figura muestra el algoritmo de control de sistema propuesto

Cuando la temperatura desciende nuevamente dentro del rango deseado, las salidas se desactivan, deteniendo el flujo de refrigerante y los ventiladores.

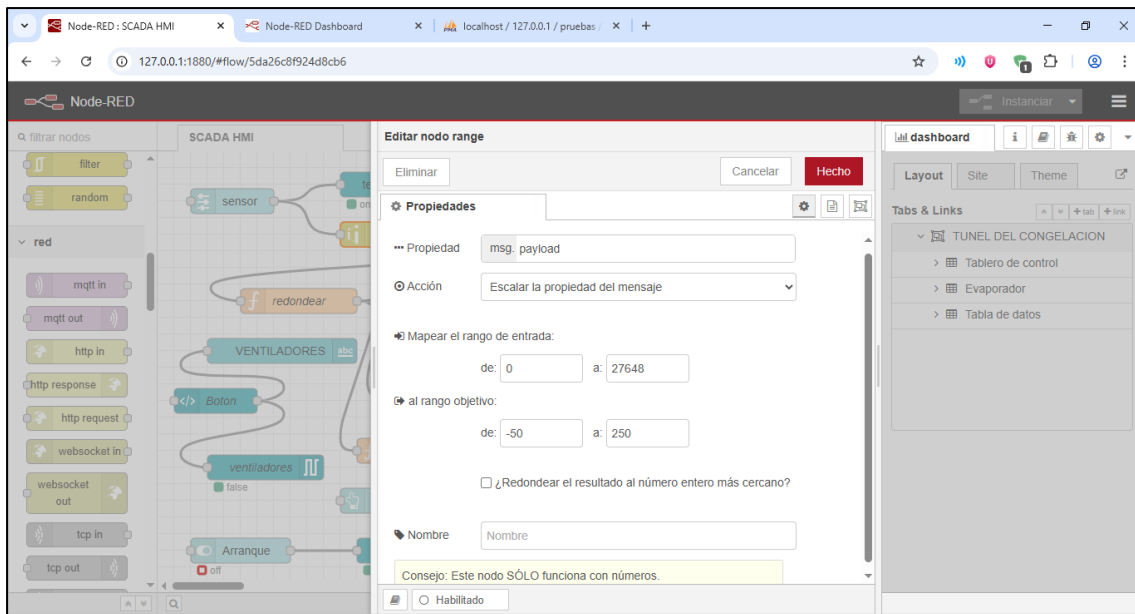
2.3.3 Interfaz hombre máquina en Node-RED

El sistema SCADA desarrollado se implementó en la plataforma **Node-RED**, la cual permite la integración visual de flujos de datos mediante nodos interconectados para la adquisición, procesamiento y supervisión de variables industriales.

El entorno se configuró localmente en un servidor ejecutado en la dirección **127.0.0.1:1880**, empleando tanto nodos del paquete **node-red-dashboard** (interfaz HMI convencional) como del paquete **node-red-contrib-s7**, destinado a la comunicación con autómatas Siemens. El sistema cumple la función de monitorear y controlar variables del proceso, como la temperatura, el estado del solenoide y el funcionamiento de los ventiladores, a través de una interfaz SCADA accesible desde un navegador web, Antinori Regalado, P. G., & Ramirez Alvarez, C. (2018). La arquitectura del flujo se organiza en secciones principales: adquisición de datos, procesamiento, almacenamiento y visualización. En la etapa de **adquisición de datos**, los nodos **s7 control** y **s7 in/out** se comunican con el PLC Siemens mediante el protocolo S7, extrayendo las variables de proceso en tiempo real, los nodos S7 In y S7 Out en Node-RED (los cuales se instalan utilizando la librería **node-red-contrib-s7**) permiten la comunicación directa con PLCs Siemens (S7-300-400-1200-1500) a través de Ethernet. En este caso, se supervisa una señal de **sensor de temperatura**, así como las salidas digitales correspondientes al **solenoide** y **ventiladores**. Los nodos de conexión muestran el estado de comunicación, indicando la interacción con el PLC configurado previamente en la red, Haro Flores, S. V. (2011).

Figura #18.

Escalado de sensor de temperatura en Node-RED



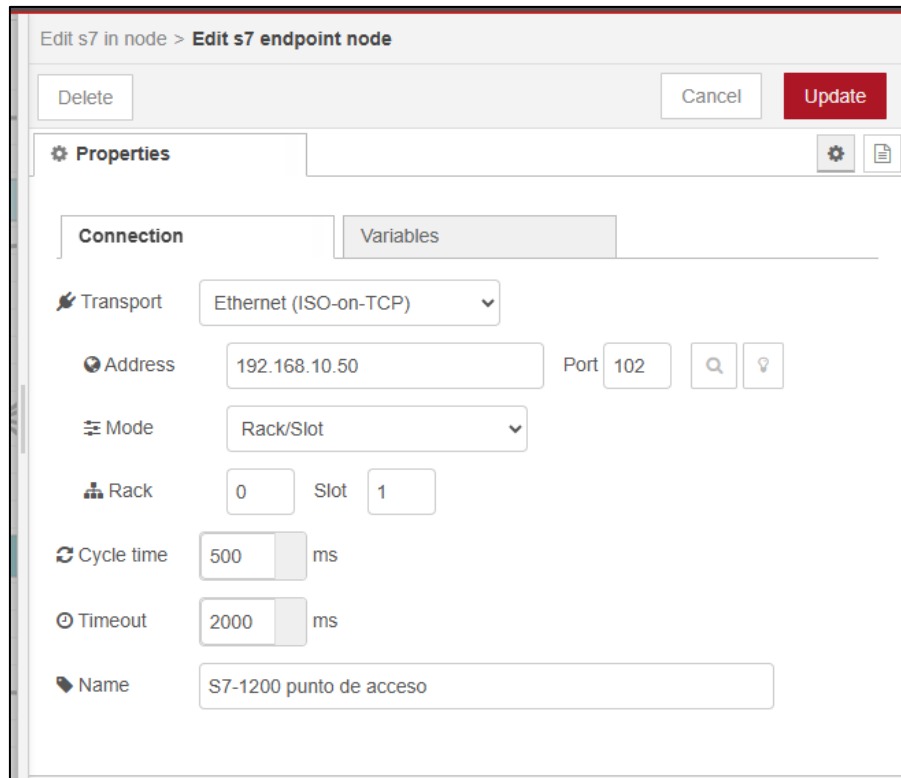
Nota: Esta figura muestra el escalado del sensor de temperatura en Node-RED

Los valores adquiridos pasan por una serie de nodos de **procesamiento lógico y matemático**, donde se verifica que los datos estén dentro de un rango validado en el sensor de temperatura que es entre $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $250\text{ }^{\circ}\text{C}$, luego se realiza el **redondeo** de los valores medidos para su presentación en el HMI (ver fig. #18).

Estos datos procesados son luego almacenados mediante nodos de **base de datos MySQL**, a través de operaciones de inserción (db-insert) y consulta (db-select). En la figura se observa el estado de conectividad de los nodos los cuales se intentan conectar al servidor MySQL, indicando que si el servicio de la base de datos está o no disponible o si la conexión fue rechazada o aceptada. De igual modo, se implementa un nodo de **truncado** (db-truncate) para eliminar registros antiguos y mantener la base de datos optimizada.

Figura #19.

Configuración del punto de acceso para conectar el PLC con Node-RED utilizando las herramientas del Nodo de automatización (SIEMENS S7).

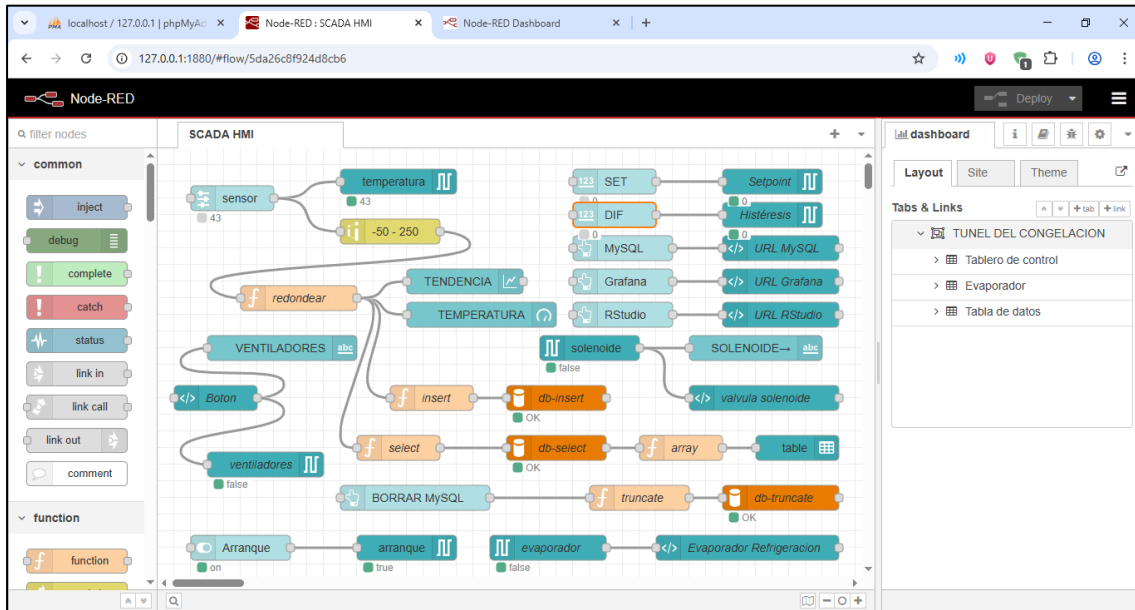


Nota: Esta figura muestra la configuración del punto de acceso para comunicación

Para la **visualización y supervisión**, se emplean nodos del paquete **node-red-dashboard**, con los que se construye una interfaz gráfica tipo HMI. En ella se muestran indicadores de **tendencia de temperatura**, control manual de **válvula solenoide**, botones de activación de **ventiladores** y Figuras de **tendencia histórica** enlazados con **Grafana**, permitiendo al operador observar el comportamiento del sistema en tiempo real y en forma de registros históricos, la configuración del punto de acceso a la red se puede apreciar de manera muy clara y explícita en la figura #19. Los nodos “URL MySQL” y “URL Grafana” permiten establecer enlaces directos entre la aplicación SCADA y las plataformas externas de visualización y almacenamiento.

Figura #20.

Captura de pantalla del desarrollo del proyecto en Node-RED.



Nota: Esta figura muestra los nodos utilizados en Node-RED

El funcionamiento general se inicia con el nodo **Arranque**, que habilita la ejecución del sistema y activa la lectura periódica de las variables. El bloque de control del **solenoide** se encarga de gestionar la apertura o cierre de la válvula según condiciones de temperatura o mediante intervención manual del operador (ver fig. #20).

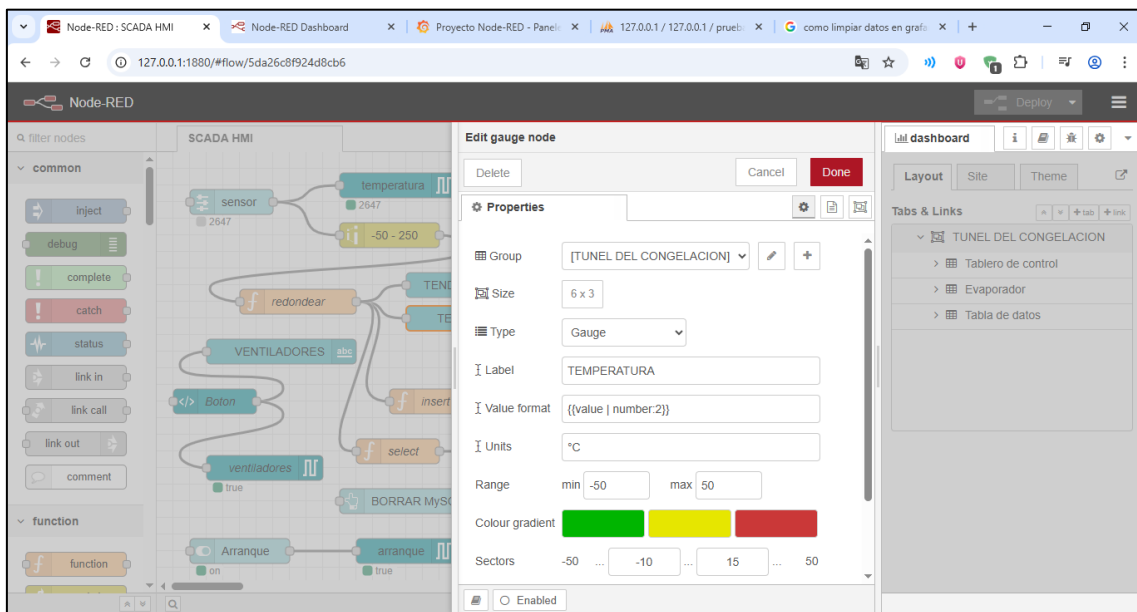
En paralelo, los **ventiladores** se controlan desde un botón en el tablero HMI y su estado es reportado continuamente al sistema. La estructura modular del flujo permite la comunicación bidireccional entre el PLC y el entorno de supervisión, garantizando la posibilidad de **control remoto y monitoreo local**. Además, la utilización de Node-RED ofrece ventajas como la integración con servicios web, bases de datos SQL, plataformas de análisis como Grafana y una interfaz de usuario fácilmente personalizable sin requerir programación compleja.

En el panel del Dashboard, el evaporador se representa gráficamente mediante tres ventiladores animados controlados con JavaScript y SVG. Cada ventilador puede encenderse o apagarse según el estado lógico del sistema, mostrando un efecto de giro y cambio de color que simula el funcionamiento real de los motores.

Esta animación está vinculada con el nodo `ui_template`, que actúa como puente entre el diseño Figura y los datos del flujo. La activación de los ventiladores depende del mensaje recibido a través del objeto `msg.payload`, generado por el nodo “Botón” o por una lógica interna de control (ver fig. #21). De esta manera, cuando el sistema está en modo activo, los ventiladores giran y se iluminan, mientras que en estado de reposo se detienen, representando fielmente el comportamiento del evaporador en un sistema de refrigeración simulado con todos sus componentes físicos.

Figura #21.

Captura de pantalla de la interfaz de trabajo en Node-RED



Nota: Esta figura muestra la configuración del sistema de alarmas en Node-RED

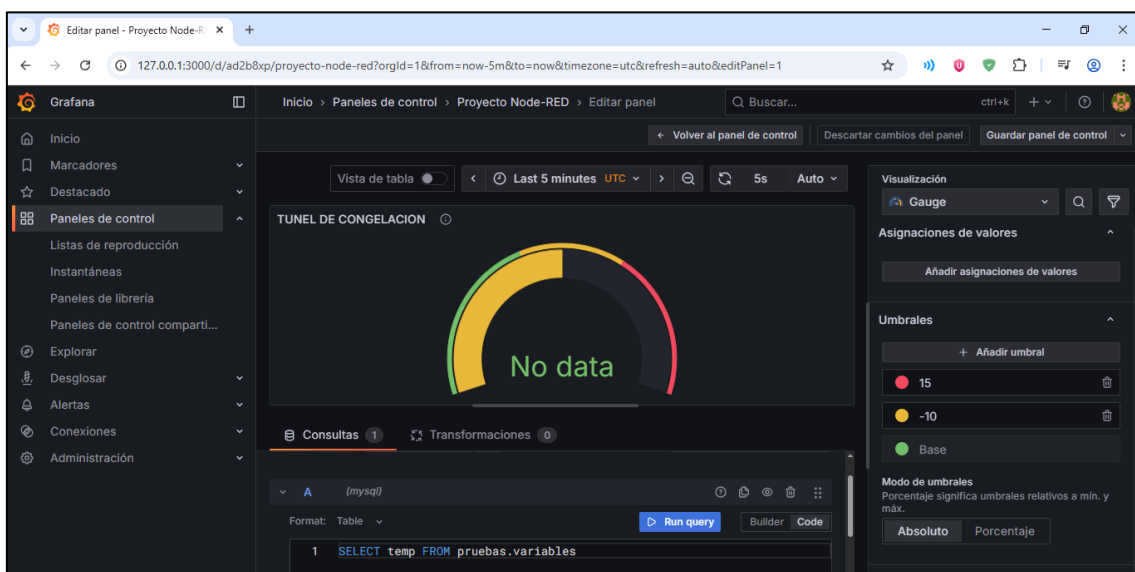
El flujo de control en Node-RED está organizado de forma modular, integrando nodos de lectura de sensores, procesamiento de datos, almacenamiento en base de datos y visualización en tiempo real. Los sensores envían datos que son redondeados y escalados antes de mostrarse en los indicadores del tablero. La variable de temperatura se almacena periódicamente en una base de datos MySQL a través de nodos de inserción y consulta (db-insert, db-select), permitiendo la creación de un registro histórico.

2.3.4 Monitor de datos en GRAFANA

La interface de usuario final cuenta con un nodo de conexión a GRAFANA (ver fig. #22) que posibilita la visualización avanzada de tendencias y la posibilidad de implementar técnicas estadísticas avanzadas o inteligencia artificial a la data generada, y finalmente la solución dispone de un botón para borrar base de datos que facilita la administración del sistema en fase de pruebas o mantenimiento. La estructura modular del flujo garantiza la escalabilidad y facilita la incorporación de nuevos dispositivos o variables en el sistema.

Figura #22.

Captura de pantalla del editor de GRAFANA.



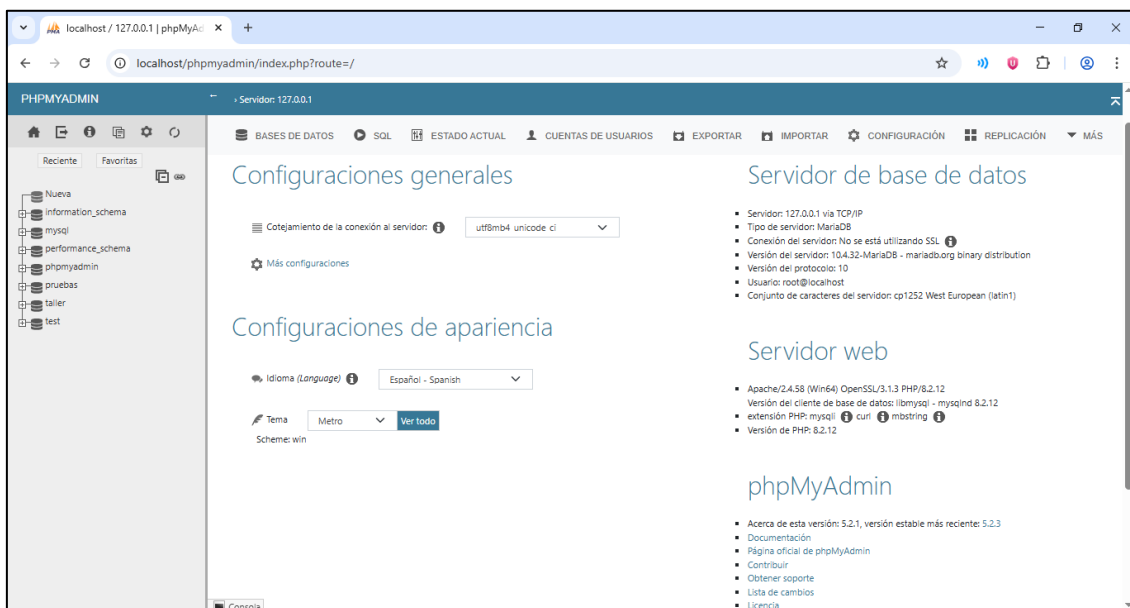
Nota: Esta figura muestra la interfaz de programación de GRAFANA

Finalmente, la interfaz HMI proporciona una experiencia intuitiva y clara para el usuario, mostrando en un solo panel la información esencial del proceso de congelación. El control del solenoide y los ventiladores permite representar el ciclo operativo del evaporador, mientras que el Figura de tendencia ofrece una referencia histórica del comportamiento térmico del sistema, se puede consultar el código en formato JSON en el ANEXO #1.

Resumiendo, el proyecto implementa un sistema SCADA para el monitoreo y control de un túnel de congelación mediante Node-RED, integrando sensores, base de datos y una interfaz HMI interactiva. En el panel principal se visualizan variables como la temperatura, el estado del solenoide y los ventiladores del evaporador, representados con animaciones SVG controladas en tiempo real. Los datos se registran en la base de datos relacional de código abierto MySQL (ver fig. #23), pueden analizarse en GRAFANA, permitiendo una supervisión continua y eficiente del proceso de refrigeración y puede realizar analítica de datos en RSTUDIO.

Figura #23.

Captura de pantalla del servidor de la base de datos MySQL



Nota: Esta figura muestra la venta de configuraciones de MySQL

2.3.5 Servidor net-to-plcsim

El nivel de comunicación del proyecto se basa en la integración entre Node-RED y TIA Portal mediante el uso del servidor NetToPLCsim, el cual actúa como un puente virtual que permite el intercambio de datos entre el entorno de automatización Siemens y la plataforma de supervisión SCADA desarrollada en Node-RED. Metodológicamente, este nivel cumple la función de interconectar el sistema de control (PLC Simulado) con el sistema de monitoreo, garantizando la transmisión bidireccional de información en tiempo real, Cueva Lara, J. J., & Carangui Herrera, A. F. (2023).

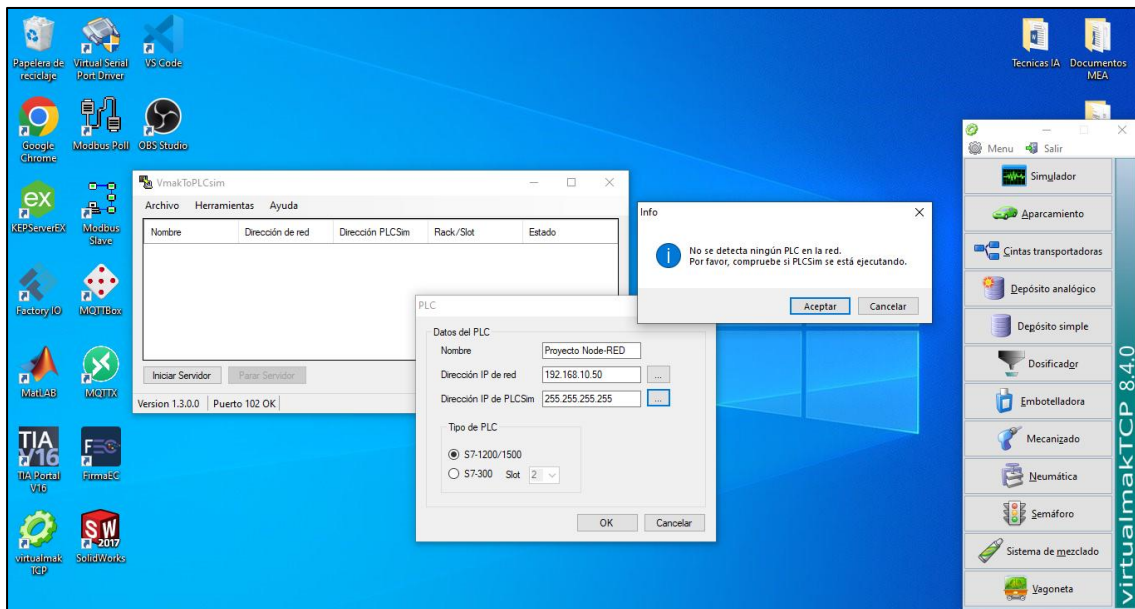
El funcionamiento inicia con la simulación del controlador PLC S7-1200 en TIA Portal y PLCSIM, donde se ejecuta el programa de control que gestiona las variables del proceso, como las lecturas de temperatura. El software NetToPLCsim se configura como un servidor de comunicación que replica una interfaz Ethernet virtual, asignando una dirección IP accesible para clientes externos. Este servidor escucha las peticiones de lectura y escritura basadas en el protocolo S7 (ISO on TCP / RFC1006), permitiendo que otros sistemas, como Node-RED, puedan acceder a las variables internas del PLC en tiempo real, Barreiro Chevez, L. J., & Molina Peñaranda, J. M. (2015).

En Node-RED, se implementa un cliente de comunicación mediante el nodo node-red-contrib-s7, el cual se configura con la dirección IP del servidor NetToPLCsim (ver fig. #24) y las áreas de memoria del PLC donde se almacenan las variables de proceso. Este nodo establece una conexión periódica para leer y actualizar los valores de temperatura y otras señales del sistema. Los datos recibidos son procesados y visualizados en la interfaz HMI del Dashboard, permitiendo al usuario observar las variaciones de temperatura en tiempo real, activar alarmas o ejecutar comandos de control.

De esta forma, el nivel de comunicación garantiza la interoperabilidad entre el entorno de automatización Siemens y la plataforma de supervisión desarrollada, sin necesidad de hardware físico. La metodología aplicada permite validar el flujo de información completo desde la simulación del proceso hasta su visualización y registro, asegurando una comunicación confiable, flexible y escalable, ideal para pruebas de integración industrial y monitoreo remoto de variables en tiempo real.

Figura #24.

Captura de pantalla configuración del Servidor NetToPLCsim.



Nota: Esta figura muestra la ventana de direcciones del servidor de datos

El nivel de comunicación utiliza el servidor **NetToPLCsim** para enlazar **TIA Portal** con **Node-RED**, permitiendo el intercambio de datos en tiempo real entre el PLC simulado y la interfaz SCADA. NetToPLCsim crea una conexión virtual mediante el protocolo **S7**, que es utilizada por Node-RED a través del nodo **node-red-contrib-s7** para leer y escribir variables del proceso, como la temperatura, García López, A. (2022).

De esta forma, se logra una comunicación bidireccional confiable que permite monitorear y controlar el sistema sin requerir hardware físico, garantizando una integración eficiente entre la simulación en TIA Portal y la supervisión en Node-RED.

2.4 Método y desarrollo de la investigación

El proyecto se desarrollará bajo un enfoque experimental aplicado, ya que busca implementar, probar y validar un sistema automatizado de control de temperatura en un entorno simulado y funcional, se pueden ver sus componentes resumidos en la tabla #6 adjunta a continuación, Amado Chinchilla, J., & Rodríguez Mora, D. E. (2021).

Los instrumentos necesarios en caso de hacer la implementación física del proyecto incluyen tanto hardware (sensorial y electrónico) como software (para control, monitoreo, registro y análisis de variables).

Tabla #6.

Instrumentos de recolección de datos

Instrumento	Descripción	Función
Sensor PT100	Sensor de temperatura de uso industrial	Mide la temperatura del proceso y entrega señal analógica al PLC
Convertidor de señal (en caso de ser necesario)	Ej. transmisores 4–20 mA o 0–10 V	Adapta la señal del sensor para entrada al PLC
PLC Siemens S7-1200	PLC Controlador Lógico Programable	Procesa las señales de los sensores de campo
TIA Portal + PLCSIM	Entorno de desarrollo y simulador de Siemens	Simula el comportamiento del PLC y genera valores de variables
Entradas analógicas	Representan y miden la señal del sensor	Usadas para pruebas sin hardware físico

2.5 Validez y confiabilidad de los instrumentos

Para validar la confiabilidad de los instrumentos de medición de temperatura (termómetros, sondas o registradores) en el contexto de una planta procesadora de camarón, se deben seguir varios pasos clave dentro de un sistema de calidad e inocuidad alimentaria:

- **Calibración:** consiste en comparar el instrumento con un patrón trazable y documentar su error y la incertidumbre de medición.
- **Verificación:** consiste en evaluar si un instrumento calibrado proporciona lecturas dentro de límites.
- **Validación:** consiste en revisar periódicamente que los sensores y sistemas de monitoreo en planta (como registradores automáticos) estén alineados con el equipo calibrado, esta validación puede hacerse in situ o en laboratorio acreditado, dependiendo del instrumento y condiciones, Hernández Soto, T. M. (2015).

2.6 Consideraciones Éticas

Aunque el monitoreo de temperatura por sí mismo no recopila datos personales, el uso de sensores que puedan ubicarse dentro de las instalaciones físicas de la planta podría ser considerado como capturar información sensible. Es crucial informar claramente a los involucrados en el proceso sobre qué se monitorea, cómo se usa y con qué propósito o finalidad se realiza. Debido a que el presente proyecto podría consolidarse como una implementación real, se procederá con la gestión del respectivo permiso con los directivos de la organización, así como el consentimiento libre, informado, específico y reversible para la recolección de información objeto de este estudio, permiso el cual no está implícito por el solo hecho de trabajar o prestar servicios en la organización.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados de la implementación

La implementación conjunta del PLC Siemens S7-100, la plataforma HMI en Node-RED y el entorno virtual con NetToPLCsim, complementada con la visualización en GRAFANA y análisis estadístico en RSTUDIO, constituye un sistema robusto, flexible y escalable. Este modelo tecnológico mejora el control operativo e introduce capacidades analíticas avanzadas que apoyan la toma de decisiones estratégicas para la planta procesadora de camarón, (tabla #7).

Tabla #7.

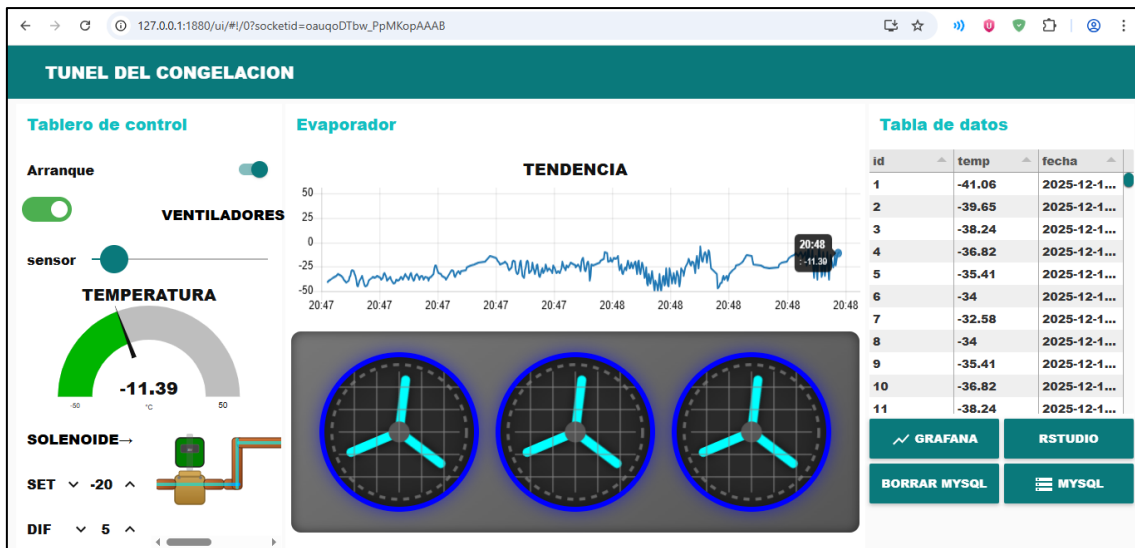
Resultados de la implementación

Resultado / Beneficio	Descripción
Reducción de tiempos de respuesta	El monitoreo en tiempo real permite detectar desviaciones térmicas de forma inmediata y actuar rápidamente.
Trazabilidad completa de datos	El sistema registra y almacena historiales de temperatura, alarmas y eventos para auditorías y control de calidad.
Mayor confiabilidad en el control térmico	El PLC automatiza el control y reduce la variabilidad humana, asegurando estabilidad en la cadena de frío.
Optimización de procesos	Con análisis predictivos se anticipan fallas o variaciones, permitiendo mantener condiciones óptimas de operación.
Integración flexible del sistema	La interoperabilidad entre PLC, NODE-RED, GRAFANA y RSTUDIO facilita la expansión y mejoras futuras.

Este diseño cubre desde la definición del sensor y el PLC hasta la visualización y la simulación. Permite demostrar funcionalidad en un entorno virtual antes de invertir en hardware físico, con tableros de control modernos en Node-RED y una simulación confiable vía NetToPLCsim, y tiene como alcance explicativo el monitoreo y control en tiempo real de las temperaturas críticas en las etapas clave del proceso de una planta procesadora de camarón, con el fin de optimizar la calidad del producto, reducir mermas y mejorar la eficiencia operativa.

Figura #25.

Captura de pantalla de la HMI realizada en Node-RED



Nota: Esta figura muestra la interfaz HMI desarrollada en Node-RED

En el lado izquierdo se presenta el **tablero de control**, donde se incluyen los principales elementos de operación del sistema:

- **Botón de arranque**, que permite habilitar o deshabilitar el funcionamiento general del proceso.
- **Indicadores de estado de ventiladores y sensores**, los cuales reflejan en tiempo real la condición de los dispositivos de campo.
- **Indicador analógico de temperatura**, representado mediante un medidor tipo gauge, que muestra el valor actual de la temperatura del túnel de congelación (-11.39 °C en la figura #25).
- **Parámetros de control**, como el valor de consigna (SET) y el diferencial (DIF), utilizados para regular la activación del sistema de refrigeración.
- **Indicador del estado de la válvula solenoide**, que representa gráficamente la apertura o cierre del flujo del refrigerante.

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en las siguientes etapas:

1. **Análisis de requerimientos** del proceso de control de temperaturas en la planta procesadora de camarón.
2. **Diseño e implementación** del sistema de control utilizando el PLC SIEMENS S7-1200, el HMI en Node-RED y el servidor virtual con NetToPLCsim.
3. **Pruebas de funcionamiento y validación**, tanto en entorno simulado como en operación real.
4. **Recolección de datos cuantitativos y cualitativos** durante la operación del sistema.
5. **Análisis e integración de resultados**, combinando ambos enfoques para obtener conclusiones integrales.

3.2 Visualización de datos en tiempo real con GRAFANA

El sistema aprovecha los datos de temperatura mediante un tablero de control dashboard en GARFANA que incluye un indicador tipo *gauge* configurado para mostrar los valores en tiempo real provenientes del PLC.

Esta visualización permite a los operadores interpretar de manera inmediata el estado térmico del proceso, ya que el *gauge* representa de forma intuitiva los rangos normales, de advertencia y de alarma. Al actualizarse continuamente con los datos almacenados en la base de información cada 5 segundos, el panel facilita la detección temprana de desviaciones y mejora la capacidad de respuesta ante variaciones críticas. Además, el uso de GRAFANA permite integrar históricos, alertas y tendencias, potenciando el análisis operativo y proporcionando una herramienta visual robusta para optimizar el control de la cadena de frío, (ver fig. #26).

Figura #26.

Captura de pantalla del tablero de control de GRAFANA



Nota: Esta figura muestra los datos visualizados en tiempo real en GRAFANA

La implementación de un sistema de control de temperatura basado en un PLC Siemens S7-1200, una HMI desarrollada en Node-RED, un servidor de datos virtualizado mediante NetToPLCsim y una plataforma de visualización en tiempo real con Grafana genera un impacto significativo en la gestión de temperatura en todas las etapas del proceso de una planta empacadora de camarón. El PLC asegura un control preciso y confiable de las variables críticas del proceso, garantizando la estabilidad de la cadena de frío y la calidad del producto. La integración con Node-RED facilita la comunicación y supervisión del sistema, mientras que la virtualización optimiza recursos y permite realizar pruebas sin afectar la operación real. GRAFANA aporta monitoreo en tiempo real, análisis histórico y soporte para la toma de decisiones basada en datos almacenados en MySQL. En conjunto, el proyecto fortalece el cumplimiento de normativas sanitarias, reduce riesgos de pérdidas por desviaciones térmicas y promueve la digitalización industrial bajo principios de Industria 4.0.

El valor agregado del proyecto no se limita al ámbito técnico, sino que también contribuye al posicionamiento competitivo de la empresa. La implementación de un sistema automatizado, supervisado y respaldado por infraestructura en la que se pueda crear ambientes virtuales para escenarios de pruebas, demuestra capacidad tecnológica, cumplimiento normativo y compromiso con la calidad e inocuidad alimentaria. Un control de temperaturas optimizado evita sobreconsumos eléctricos en sistemas de refrigeración y disminuye el desgaste prematuro de compresores y equipos asociados; en consecuencia, el proyecto se constituye como una solución integral que mejora la confiabilidad del proceso, optimiza recursos y sienta las bases para una futura transformación digital de la planta empacadora de camarón.

3.3 Pronosticar la temperatura con RSTUDIO

Para el pronóstico de temperatura en condiciones de incertidumbre se utilizaron en RSTUDIO los modelos ARIMA y ARNN, los cuales permiten capturar tanto patrones lineales como no lineales presentes en los datos térmicos de la planta. El modelo ARIMA (ver código R en el ANEXO #2) se aplicó para identificar tendencias y variaciones lineales mediante pruebas de estacionalidad y selección óptima de parámetros, generando predicciones con intervalos de confianza que reflejan la incertidumbre del proceso. Complementariamente, el modelo ARNN (ver código R en el ANEXO #3), basado en redes neuronales, se entrenó con rezagos de la serie para aprender comportamientos complejos y no lineales, ofreciendo pronósticos más robustos ante alta variabilidad. La comparación y combinación de ambos enfoques permitió obtener estimaciones más precisas y estables, facilitando la anticipación de desviaciones térmicas y mejorando la toma de decisiones preventivas dentro de la cadena de frío.

3.4 Modelos de predicción ARIMA y ARNN

ARIMA. _

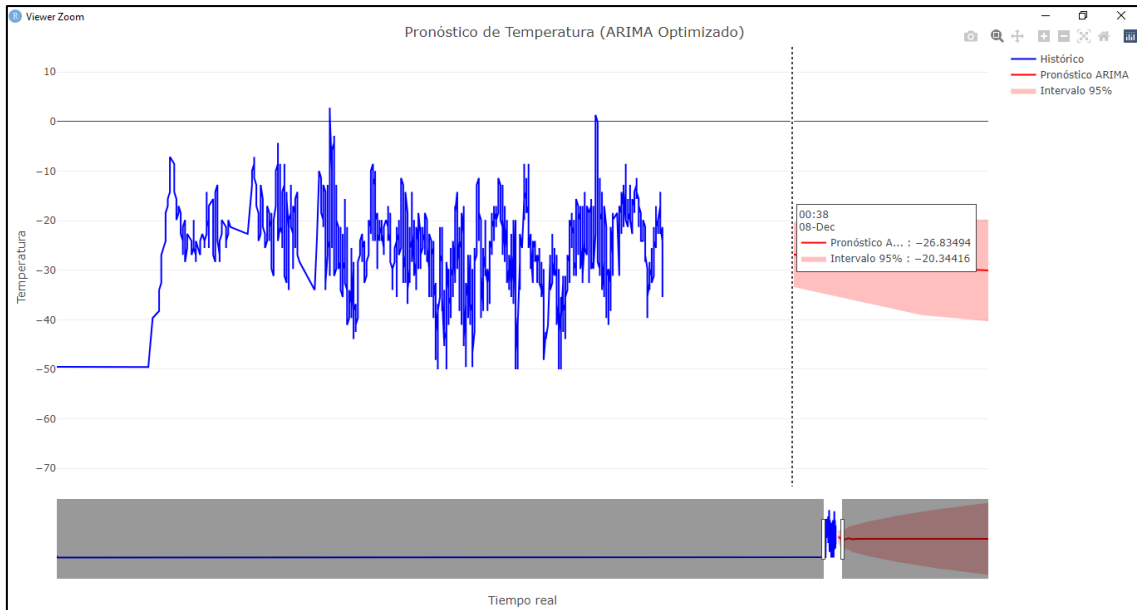
La palabra ARIMA significa Modelos Auto Regresivos Integrados de Medias Móviles. ARIMA (acrónimo del inglés Auto-Regressive Integrated Moving Average) es un modelo estadístico que utiliza variaciones y regresiones de datos estadísticos con el fin de encontrar patrones para una predicción hacia el futuro. Se trata de un modelo dinámico de series temporales, es decir, las estimaciones futuras vienen explicadas por los datos del pasado y no por variables independientes, (ver fig. #27).

ARNN. _

Redes neuronales autorregresivas ARNN (acrónimo del inglés Auto-Regressive Neural Network) se obtienen al considerar la fusión de un modelo lineal autorregresivo con un modelo MLP (multi linear perceptor). Su desarrollo conceptual inicial está basado en el desarrollo de un contraste estadístico de no linealidad en el que se comparan los dos modelos anteriores. No obstante, la ARNN es una importante alternativa al uso de los MLP en la predicción de series de tiempo debido a la incorporación de la componente lineal auto regresiva, una de las principales herramientas para realizar el análisis y la predicción de series de tiempo es el lenguaje de programación R ya que posee un amplio repertorio de funciones para ese fin; una recopilación de las principales funciones implementadas y paquetes disponibles es presentada, (ver fig. #28).

Figura #27.

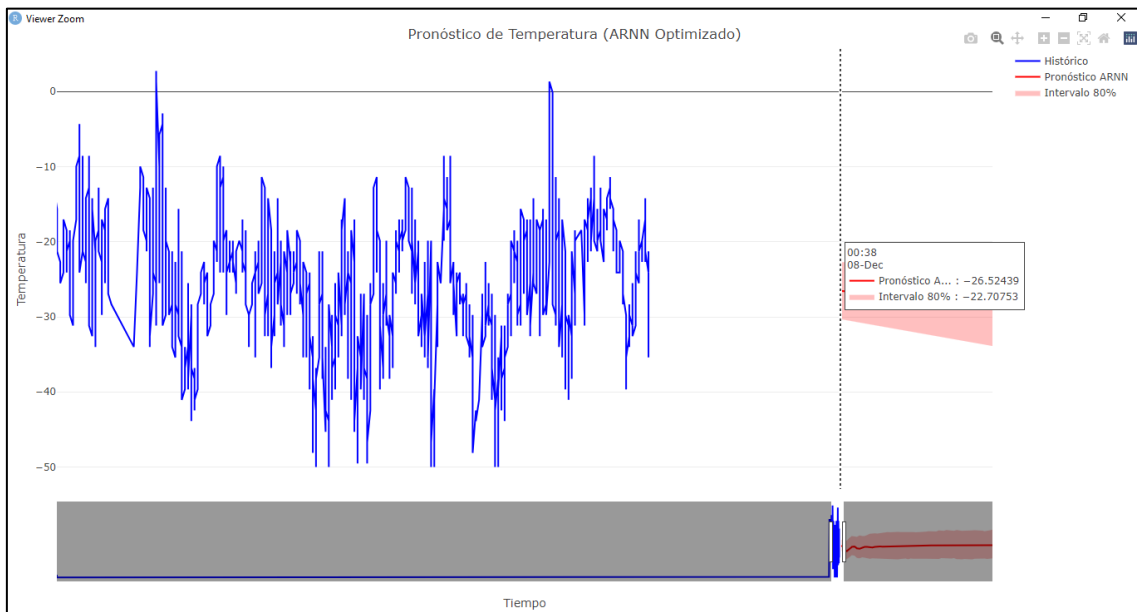
Pronóstico de temperatura ARIMA realizado con RSTUDIO



Nota: Esta figura muestra el pronóstico obtenido con los datos utilizando ARIMA

Figura #28.

Pronóstico de temperatura ARNN realizado con RSTUDIO.



Nota: Esta figura muestra el pronóstico obtenido con los datos utilizando ARNN

En la comparación entre los modelos ARIMA y ARNN aplicados a la serie temporal de temperatura con datos por minuto, ambos demostraron capacidad adecuada de pronóstico a corto plazo.

El modelo ARIMA presentó mayor eficiencia computacional y tiempos de entrenamiento más bajos, siendo apropiado para ejecución frecuente o en entornos con recursos limitados. Por su parte, el modelo ARNN capturó de mejor manera posibles patrones no lineales presentes en la señal, ofreciendo mayor flexibilidad estructural, aunque con mayor costo computacional. En términos prácticos, ARIMA resulta más estable y ligero para implementación operativa continua, mientras que ARNN proporciona una alternativa más robusta cuando la dinámica del sistema presenta comportamientos complejos. La selección final depende del equilibrio deseado entre precisión potencial y consumo de recursos.

3.5 Evaluación de costos

El presupuesto para la implementación del SCADA (ver ANEXO #4), con un total de USD 8.271,51, cubre todos los elementos necesarios para implementar el sistema SCADA propuesto: PLC Siemens S7-1200, módulos analógicos, sensores Pt100, conversión de señal, tablero de montaje y además capacidad de comunicación **inalámbrica a través de un enrutador industrial Wecon V-Box**. Representa la solución esencial para el control del proceso y la integración con la HMI desarrollada en Node-RED mediante NetToPLCsim como software Gateway. El presupuesto para la implementación del sistema TAND-D (ver ANEXO #5), con un total de USD 16.812,03, corresponde a un sistema independiente de registro inalámbrico de temperaturas con dataloggers RTR-505, radio base y sensores de temperatura tipo sondas certificadas.

Tabla #8.

Evaluación de costos de la implementación

Concepto	SCADA	TAND-D
Equipos de control y PLC	✓	✗
Sensores y RTD	✓	✓
Red inalámbrica	✓	✓
Tableros, protección y montaje	✓	✗
Aplicación SCADA	✓	✗
Total, USD	8.271,51	16.812,03

Del análisis técnico-económico de la tabla #8, se desprende que la alternativa basada en SCADA presenta una relación costo–beneficio significativamente superior frente a la solución TAND-D. Si bien ambas opciones contemplan sensores y red inalámbrica, el sistema SCADA incorpora adicionalmente equipos de control y PLC, tableros eléctricos con protección y montaje, así como la aplicación de supervisión y gestión, configurando una arquitectura integral que permite no solo monitoreo, sino también control, escalabilidad y futura integración con otros sistemas industriales. Resulta técnicamente crítico observar que, pese a ofrecer menores prestaciones funcionales al no incluir control ni infraestructura eléctrica asociada, la alternativa TAND-D presenta un costo total sustancialmente mayor (USD 16.812,03 frente a USD 8.271,51), lo que evidencia una menor eficiencia en términos de inversión por funcionalidad instalada. En consecuencia, desde una perspectiva de ingeniería, sostenibilidad operativa y optimización de recursos de capital, la implementación de un sistema SCADA no solo es económicamente más conveniente, sino que además proporciona mayor robustez, capacidad de expansión y valor estratégico para la organización.

CONCLUSIONES

- **Identificación efectiva de puntos críticos de temperatura**, la selección sistemática de los puntos de medición permitió identificar con precisión las zonas más sensibles del proceso. Esto garantizó que el monitoreo se enfocara en los elementos con mayor impacto operativo, mejorando la trazabilidad y reduciendo riesgos asociados a variaciones térmicas.
- **Adquisición de datos confiable y escalable**, el programa desarrollado con herramientas comerciales demostró ser estable, fácil de integrar y escalable a futuras ampliaciones. La infraestructura definida soportó correctamente el volumen de datos requerido y permitió una adquisición continua sin pérdidas ni interrupciones.
- **Plataforma robusta de análisis y visualización**, la plataforma de software implementada ofreció análisis avanzados, alarmas inteligentes y visualizaciones intuitivas. Esto facilitó la toma de decisiones operativas en tiempo real y proporcionó un marco tecnológico con soporte a largo plazo y alta mantenibilidad.
- **Validación en escenarios simulados con aumento de variables**, las pruebas realizadas en un entorno simulado permitieron someter el sistema a condiciones controladas y extremas, con la posibilidad de incrementar en más del 70% las variables analizadas. Esto confirmó que la solución mantiene su rendimiento y estabilidad incluso bajo escenarios exigentes de muchos cambios de la variable.

- **Demostración cuantitativa de eficiencia y reducción de costos**, los métodos comparativos aplicados evidenciaron mejoras significativas en el control térmico, disminución de fallas y una reducción aproximada de más del 40% en costos operativos. Esto generó menores gastos en mantenimiento correctivo, optimización energética y reducción de desperdicio productivo.

- **Incremento en la confiabilidad y la capacidad de reacción operativa**, la disponibilidad del sistema y su capacidad para generar alertas oportunas, mejoró la capacidad de respuesta ante desviaciones, fortaleciendo la seguridad del proceso y la continuidad operacional.

- **Base tecnológica preparada para futuras expansiones**, la arquitectura adoptada permitió integrar nuevos sensores, módulos analíticos y herramientas predictivas sin necesidad de rediseñar la solución completa, asegurando escalabilidad a largo plazo.

RECOMENDACIONES

1. Recomendaciones para la identificación de puntos críticos

Es recomendable actualizar semestralmente el análisis de criticidad para asegurar que los puntos monitoreados siguen siendo los más relevantes del proceso. También se sugiere incorporar registros históricos de desviaciones térmicas y auditorías internas para ajustar criterios de selección. Con ello se garantiza que el sistema de trazabilidad mantenga precisión y alineación con la evolución operativa.

2. Recomendaciones para la adquisición de datos confiable y escalable

Debe establecerse un programa formal de mantenimiento y calibración de sensores que asegure la integridad de las lecturas. Asimismo, es aconsejable estandarizar protocolos de comunicación para facilitar ampliaciones futuras y evitar incompatibilidades. Documentar la arquitectura actual y considerar redundancias de hardware reducirá el riesgo de fallos en la adquisición.

3. Recomendaciones para la plataforma de análisis y visualización

Para potenciar la plataforma de análisis y garantizar su uso efectivo, se recomienda capacitar al personal en el manejo de dashboards, análisis de tendencias y respuesta ante alarmas. Igualmente, mantener actualizados el software, plugins y bibliotecas garantiza seguridad y soporte a largo plazo. Se sugiere integrar mecanismos de redundancia y copias de seguridad automáticas, así como evaluar periódicamente la posibilidad de incorporar nuevas funcionalidades como análisis predictivos o alertas basadas en modelos de comportamiento.

4. Recomendaciones para la validación en escenarios simulados

Para sostener la confiabilidad demostrada en ambientes simulados, se recomienda repetir anualmente las pruebas de simulación, incorporando nuevas variables y condiciones de estrés que representen cambios reales en los procesos operativos. La automatización de parte de estas simulaciones facilitará validar futuras expansiones sin aumentar tiempos de implementación. Asimismo, se sugiere documentar cada ciclo de pruebas para identificar patrones de comportamiento y oportunidades de fortalecimiento del sistema.

5. Recomendaciones para sostener la reducción de costos

Para asegurar la continuidad de la reducción de costos lograda, se recomienda implementar un sistema de seguimiento permanente de KPIs térmicos, energéticos y operativos. Es valioso aplicar análisis estadísticos periódicos que permitan identificar desviaciones, ineficiencias o nuevas oportunidades de ahorro. Además, comparar los resultados con referencias internas e industriales permitirá validar mejoras competitivas y mantener el enfoque en los factores que generan mayor impacto económico.

6. Recomendaciones para la confiabilidad y capacidad de reacción

Es aconsejable configurar alertas inteligentes clasificadas por nivel de urgencia y conectadas a canales de comunicación internos. También se deben establecer protocolos claros de respuesta rápida y capacitar regularmente al personal para mejorar los tiempos de reacción. Realizar análisis de causa raíz ante alarmas recurrentes ayudará a reducir eventos repetitivos y robustecer el sistema.

7. Recomendaciones para la escalabilidad tecnológica futura

Para mantener una base tecnológica preparada para próximas necesidades, se recomienda desarrollar un roadmap tecnológico a 3–5 años que considere integración de nuevos sensores, algoritmos predictivos e incluso digitalización adicional del proceso. Adoptar estándares modulares en hardware y software facilitará que futuras expansiones se integren sin rediseños complejos. Se sugiere evaluar de forma continua nuevas tecnologías emergentes y realizar pruebas piloto para validar su compatibilidad antes de implementarlas a gran escala.

REFERENCIAS

- Bermeo Maita, B. A., & Banderas Alcívar, P. A. (2025). *Diseño y simulación del proceso de tratamiento de aguas residuales usando PLC, HMI y pasarela inteligente IOT2040 de SIEMENS* (Bachelor's thesis).
- Bconsultors. (2020, agosto). *Node-red – Bendito tesoro*.
<https://bconsultors.com/2020/08/03/node-red-bendito-tesoro/>
- Cun Márquez, R. J., Tutiven Gálvez, A. M., & Agila, W. (2020). *Automatización y simulación de una línea de producción aplicando SCADA con Node-Red reemplazando las pantallas HMI* (Doctoral dissertation, ESPOL. FIEC).
- Cun Márquez, R. J., Tutiven Gálvez, A. M., & Agila, W. (2020). *Automatización y simulación de una línea de producción aplicando SCADA con Node-Red reemplazando las pantallas HMI* (Doctoral dissertation, ESPOL. FIEC).
- El sitio del programador. (2025, enero). *¿Qué es NetToPLCsim?*
<https://elsitiodelprogramador.wordpress.com/2025/01/10/descarga-nettoplcsim-y-domina-la-programacion-de-plc-siemens/>
- GSL Industrias. (2021, junio). *PLC SIEMENS: S7-1200*.
<https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/plc-s7-1200-siemens>
- Grupo SINELEC. (2021, febrero). *¿Qué es Node-RED y para qué sirve?*
<https://blog.gruposinelec.com/actualidad/que-es-node-red-y-para-que-sirve/>
- Herrera Flores, J. J., & Valdiviezo Vilema, M. A. (2022). *Automatización de un sistema de riego para la empresa Sisantu mediante el internet de las cosas (IoT)*. ESPOL. FIEC.
- MicroDesys. (2023, mayo). *Instalar y configurar Node Red para uso con Siemens 1200*.
<https://microdesys.es/docs/tia-portal-y-node-red-instalacion/>
- OMEGA. (2020, agosto). *Introducción y tipos de sensores Pt100*.
<https://es.omega.com/prodinfo/pt100.html>
- Peláez, A. (2024, noviembre). *Envíe datos de PLC a la nube con Node-RED y Modbus TCP*.
<https://es.ubidots.com/blog/plc-data/>
- PICKDATA. (2020, mayo). *Node-RED, la herramienta de programación visual para el internet de las cosas*.
<https://www.pickdata.net/es/noticias/node-red-programacion-visual-iot>
- ProgramacionSiemens.com. (2025, agosto). *Lectura y escritura con un S7-1200 y NodeRed*.
<https://programacionsiemens.com/cursos/course/curso-de-iniciacion-a-la-industria-4-0/module-1/lectura-y-escritura-con-un-s7-1200-y-node-red/>

Quiroga Centeno, C. M. (2022). *Panel de monitoreo y control remoto utilizando la plataforma IBM CLOUD. Aplicación a una línea de producción virtualizada en 3D* (Master's thesis).

Quiroga Centeno, C. M. (2022). *Panel de monitoreo y control remoto utilizando la plataforma IBM CLOUD. Aplicación a una línea de producción virtualizada en 3D* (Master's thesis).

RelePRO. (2024, junio). *Cualidades de la gama de CPU de Siemens S7-1200*.
<https://relepro.com/blog/cualidades-de-la-gama-de-cpu-de-siemens-s7-1200.html>

Robles Solano, D. (2021). *Control y simulación de una planta piloto de laboratorio docente con integración de plataformas IoT para subida de datos a la nube*.

STACKHERO. (s. f.). *Introducción a Node-RED*.
<https://www.stackhero.io/es-ES/services/Node-RED/documentations/>

ANEXOS

ANEXO #1

Código en formato JSON de la HMI desarrollada en NODE-RED

```
[
  {
    "id": "5da26c8f924d8cb6",
    "type": "tab",
    "label": "SCADA HMI",
    "disabled": false,
    "info": "",
    "env": []
  },
  {
    "id": "8ed84e1740d2a7a6",
    "type": "ui_base",
    "theme": {
      "name": "theme-light",
      "lightTheme": {
        "default": "#0094CE",
        "baseColor": "#0a797b",
        "baseFont": "Arial Black,Arial Black,Gadget,sans-serif",
        "edited": true,
        "reset": false
      },
      "darkTheme": {
        "default": "#097479",
        "baseColor": "#097479",
        "baseFont": "Arial Black,Arial Black,Gadget,sans-serif",
        "edited": true,
        "reset": false
      },
      "customTheme": {
        "name": "Untitled Theme 1",
        "default": "#4B7930",
        "baseColor": "#4B7930",
        "baseFont": "-apple-system,BlinkMacSystemFont,Segoe UI,Roboto,Oxygen-Sans,Ubuntu,Cantarell,Helvetica Neue,sans-serif",
        "reset": false
      },
      "themeState": {
        "base-color": {
          "default": "#0094CE",
          "value": "#0a797b",
          "edited": true
        }
      }
    }
  }
]
```

```
    "page-titlebar-backgroundColor": {
      "value": "#0a797b",
      "edited": false
    },
    "page-backgroundColor": {
      "value": "#fafafa",
      "edited": false
    },
    "page-sidebar-backgroundColor": {
      "value": "#333333",
      "edited": false
    },
    "group-textColor": {
      "value": "#10bfc2",
      "edited": false
    },
    "group-borderColor": {
      "value": "#ffffff",
      "edited": false
    },
    "group-backgroundColor": {
      "value": "#ffffff",
      "edited": false
    },
    "widget-textColor": {
      "value": "#111111",
      "edited": false
    },
    "widget-backgroundColor": {
      "value": "#0a797b",
      "edited": false
    },
    "widget-borderColor": {
      "value": "#ffffff",
      "edited": false
    },
    "base-font": {
      "value": "Arial Black,Arial Black,Gadget,sans-serif"
    }
  },
  "angularTheme": {
    "primary": "indigo",
    "accents": "blue",
    "warn": "red",
    "background": "grey",
    "palette": "light"
  }
},
```

```
"site": {
  "name": "Node-RED Dashboard",
  "hideToolbar": "false",
  "allowSwipe": "false",
  "lockMenu": "false",
  "allowTempTheme": "true",
  "dateFormat": "DD/MM/YYYY",
  "sizes": {
    "sx": 48,
    "sy": 48,
    "gx": 6,
    "gy": 6,
    "cx": 6,
    "cy": 6,
    "px": 0,
    "py": 0
  }
}
},
{
  "id": "3a0ce09daed109a5",
  "type": "s7 endpoint",
  "transport": "iso-on-tcp",
  "address": "192.168.10.50",
  "port": "102",
  "rack": "0",
  "slot": "1",
  "localtsaphi": "01",
  "localtsaplo": "00",
  "remotetsaphi": "01",
  "remotetsaplo": "00",
  "connmode": "rack-slot",
  "adapter": "",
  "busaddr": 2,
  "cycletime": "500",
  "timeout": 2000,
  "name": "S7-1200 punto de acceso",
  "varTable": [
    {
      "addr": "I0.0",
      "name": "arranque"
    },
    {
      "addr": "IW64",
      "name": "temperatura"
    },
    {
      "addr": "Q0.0",
      "name": "solenoide"
    }
  ]
}
```

```

    },
    {
      "addr": "Q0.1",
      "name": "ventiladores"
    },
    {
      "addr": "I0.1",
      "name": "evaporador"
    },
    {
      "addr": "M8.0",
      "name": "memoria"
    },
    {
      "addr": "MI12",
      "name": "setpoint"
    },
    {
      "addr": "MI16",
      "name": "histeresis"
    }
  ]
},
{
  "id": "c3991ba24686dc93",
  "type": "ui_tab",
  "name": "TUNEL DEL CONGELACION",
  "icon": "build",
  "disabled": false,
  "hidden": false
},
{
  "id": "fa10ef80999a9fc6",
  "type": "ui_group",
  "name": "Tablero de control",
  "tab": "c3991ba24686dc93",
  "order": 1,
  "disp": true,
  "width": 6,
  "collapse": false,
  "className": ""
},
{
  "id": "54e01506d7a5ac6a",
  "type": "ui_group",
  "name": "Tabla de datos",
  "tab": "c3991ba24686dc93",
  "order": 3,
  "disp": true,

```

```
    "width": 6,
    "collapse": false,
    "className": ""
  },
  {
    "id": "b4546cefb5d97171",
    "type": "ui_group",
    "name": "Evaporador",
    "tab": "c3991ba24686dc93",
    "order": 2,
    "disp": true,
    "width": 13,
    "collapse": false,
    "className": ""
  },
  {
    "id": "af09b08be36611c4",
    "type": "MySQLdatabase",
    "name": "base_de_datos",
    "host": "127.0.0.1",
    "port": "3306",
    "db": "pruebas",
    "tz": "",
    "charset": "UTF8"
  },
  {
    "id": "7b21ae3fa4ad0266",
    "type": "ui_slider",
    "z": "5da26c8f924d8cb6",
    "name": "",
    "label": "sensor",
    "tooltip": "entrada analógica",
    "group": "fa10ef80999a9fc6",
    "order": 4,
    "width": 0,
    "height": 0,
    "passthru": true,
    "outs": "all",
    "topic": "topic",
    "topicType": "msg",
    "min": 0,
    "max": "27648",
    "step": 1,
    "className": "",
    "x": 90,
    "y": 60,
    "wires": [
      [
        "db6a49c4eaa84463",
```

```

        "3eea4c4b951c3f8a"
    ]
}
{
    "id": "db6a49c4eaa84463",
    "type": "s7 out",
    "z": "5da26c8f924d8cb6",
    "endpoint": "3a0ce09daed109a5",
    "variable": "temperatura",
    "name": "",
    "x": 290,
    "y": 40,
    "wires": []
},
{
    "id": "3eea4c4b951c3f8a",
    "type": "range",
    "z": "5da26c8f924d8cb6",
    "minin": "0",
    "maxin": "27648",
    "minout": "-50",
    "maxout": "250",
    "action": "scale",
    "round": false,
    "property": "payload",
    "name": "",
    "x": 280,
    "y": 100,
    "wires": [
        [
            "68a2de0143493061"
        ]
    ]
},
{
    "id": "68a2de0143493061",
    "type": "function",
    "z": "5da26c8f924d8cb6",
    "name": "redondear",
    "func": "var valor = msg.payload;\nvalor =
valor.toFixed(2);\nmsg.payload = valor;\nreturn msg;",
    "outputs": 1,
    "timeout": 0,
    "noerr": 0,
    "initialize": "",
    "finalize": "",
    "libs": [],
    "x": 170,

```

```
"y": 180,
"wires": [
  [
    "49864ba889a7cd28",
    "c98bc9b187bb8161",
    "d00cb4439ab3c811",
    "79b27f69c79d92e7"
  ]
]
},
{
  "id": "49864ba889a7cd28",
  "type": "ui_gauge",
  "z": "5da26c8f924d8cb6",
  "name": "",
  "group": "fa10ef80999a9fc6",
  "order": 5,
  "width": 6,
  "height": 3,
  "gtype": "gage",
  "title": "TEMPERATURA",
  "label": "°C",
  "format": "{{value | number:2}}",
  "min": "-50",
  "max": "50",
  "colors": [
    "#00b500",
    "#e6e600",
    "#ca3838"
  ],
  "seg1": "-10",
  "seg2": "15",
  "diff": false,
  "className": "",
  "x": 390,
  "y": 200,
  "wires": []
},
{
  "id": "c6944bc3b57b1fac",
  "type": "ui_switch",
  "z": "5da26c8f924d8cb6",
  "name": "",
  "label": "Arranque",
  "tooltip": "",
  "group": "fa10ef80999a9fc6",
  "order": 1,
  "width": 6,
  "height": 1,
```

```

"passthru": true,
"decouple": "false",
"topic": "topic",
"topicType": "msg",
"style": "",
"onvalue": "true",
"onvalueType": "bool",
"onicon": "",
"oncolor": "",
"offvalue": "false",
"offvalueType": "bool",
"officon": "",
"offcolor": "",
"animate": false,
"className": "",
"x": 100,
"y": 480,
"wires": [
  [
    "839d9a2108662326"
  ]
]
},
{
  "id": "839d9a2108662326",
  "type": "s7 out",
  "z": "5da26c8f924d8cb6",
  "endpoint": "3a0ce09daed109a5",
  "variable": "arranque",
  "name": "",
  "x": 300,
  "y": 480,
  "wires": []
},
{
  "id": "43f444faef605c2f",
  "type": "s7 in",
  "z": "5da26c8f924d8cb6",
  "endpoint": "3a0ce09daed109a5",
  "mode": "single",
  "variable": "solenoide",
  "diff": true,
  "name": "",
  "x": 520,
  "y": 240,
  "wires": [
    [
      "84d860e0f9da46d6",
      "41798d072a6c5a9f"
    ]
  ]
}

```

```

    ]
  ],
  {
    "id": "c98bc9b187bb8161",
    "type": "function",
    "z": "5da26c8f924d8cb6",
    "name": "insert",
    "func": "var temp = msg.payload; \nmsg.topic = \n\"INSERT INTO\nvariables (temp) VALUES (\n\" + temp + \n)\n\"; \nreturn msg;",
    "outputs": 1,
    "timeout": 0,
    "noerr": 0,
    "initialize": "",
    "finalize": "",
    "libs": [],
    "x": 330,
    "y": 300,
    "wires": [
      [
        "7cf650783b9fb9ba"
      ]
    ]
  },
  {
    "id": "7cf650783b9fb9ba",
    "type": "mysql",
    "z": "5da26c8f924d8cb6",
    "mydb": "af09b08be36611c4",
    "name": "db-insert",
    "x": 480,
    "y": 300,
    "wires": [
      []
    ]
  },
  {
    "id": "22b3f571132c1d38",
    "type": "ui_table",
    "z": "5da26c8f924d8cb6",
    "group": "54e01506d7a5ac6a",
    "name": "",
    "order": 1,
    "width": 6,
    "height": 6,
    "columns": [
      {
        "field": "id",
        "title": "id",

```

```

        "width": "",
        "align": "left",
        "formatter": "plaintext",
        "formatterParams": {
            "target": "_blank"
        }
    },
    {
        "field": "temp",
        "title": "temp",
        "width": "",
        "align": "left",
        "formatter": "plaintext",
        "formatterParams": {
            "target": "_blank"
        }
    },
    {
        "field": "fecha",
        "title": "fecha",
        "width": "",
        "align": "left",
        "formatter": "plaintext",
        "formatterParams": {
            "target": "_blank"
        }
    }
],
"outputs": 0,
"cts": false,
"x": 770,
"y": 360,
"wires": []
},
{
    "id": "d00cb4439ab3c811",
    "type": "function",
    "z": "5da26c8f924d8cb6",
    "name": "select",
    "func": "msg.topic = \"SELECT id, temp, fecha FROM variables\nORDER BY id ASC\";\nreturn msg;",
    "outputs": 1,
    "timeout": 0,
    "noerr": 0,
    "initialize": "",
    "finalize": "",
    "libs": [],
    "x": 290,
    "y": 360,

```

```

    "wires": [
      [
        "66cafa4abba78078"
      ]
    ],
    {
      "id": "66cafa4abba78078",
      "type": "mysql",
      "z": "5da26c8f924d8cb6",
      "mydb": "af09b08be36611c4",
      "name": "db-select",
      "x": 480,
      "y": 360,
      "wires": [
        [
          "36a02fab60d75e86"
        ]
      ]
    },
    {
      "id": "36a02fab60d75e86",
      "type": "function",
      "z": "5da26c8f924d8cb6",
      "name": "array",
      "func": "if (msg.payload && Array.isArray(msg.payload))
{\n  return msg;\n} else if (msg.payload && typeof msg.payload ===
\"object\") {\n  msg.payload = Object.values(msg.payload);\n  return
msg;\n} else {\n  msg.payload = [];\n  return msg;\n}",
      "outputs": 1,
      "timeout": 0,
      "noerr": 0,
      "initialize": "",
      "finalize": "",
      "libs": [],
      "x": 630,
      "y": 360,
      "wires": [
        [
          "22b3f571132c1d38"
        ]
      ]
    },
    {
      "id": "b8b6083231194b6e",
      "type": "ui_template",
      "z": "5da26c8f924d8cb6",
      "group": "b4546cefb5d97171",
      "name": "Evaporador Refrigeracion",

```

```

    "order": 2,
    "width": 13,
    "height": 5,
    "format": "EVAPORADOR",
    "storeOutMessages": true,
    "fwdInMessages": true,
    "resendOnRefresh": true,
    "templateScope": "local",
    "className": "",
    "x": 710,
    "y": 480,
    "wires": [
      []
    ]
  },
  {
    "id": "c3381efa83815e17",
    "type": "s7 out",
    "z": "5da26c8f924d8cb6",
    "endpoint": "3a0ce09daed109a5",
    "variable": "evaporador",
    "name": "ventiladores",
    "x": 130,
    "y": 380,
    "wires": []
  },
  {
    "id": "79b922971c681f2e",
    "type": "ui_template",
    "z": "5da26c8f924d8cb6",
    "group": "fa10ef80999a9fc6",
    "name": "Boton",
    "order": 2,
    "width": 3,
    "height": 1,
    "format": "<div style=\"width:60px; height:30px;
position:relative;>\n  <!-- Fondo del switch -->\n  <div
id=\"switch_bg\"\n    style=\"width:60px; height:30px;
background:#ccc; border-radius:15px; transition:background
0.3s;>\n  <!-- Perilla -->\n  <div
id=\"switch_knob\"\n    style=\"width:20px; height:20px;
background:#fff; border-radius:50%; position:absolute; top:5px; left:5px;
transition:left
0.3s;>\n  </div>\n</div>\n\n<script>\n  (function(scope) {\n    let
knob = document.getElementById('switch_knob');\n    let bg =
document.getElementById('switch_bg');\n\n    scope.$watch('msg.payload',
function(payload) {\n      if(payload ===
true){\n        knob.style.left = '35px'; // posición
ON\n        bg.style.background = '#4CAF50';\n      } else

```

```

{\n      knob.style.left = '5px'; // posición
OFF\n      bg.style.background =
'#ccc';\n      }\n      });\n\n      // Clic para alternar\n      bg.onclick
= knob.onclick = () => {\n      let newVal = scope.msg &&
scope.msg.payload === true ? false : true;\n      scope.send({payload:
newVal});\n      };\n})(scope);\n</script>",
  "storeOutMessages": true,
  "fwdInMessages": true,
  "resendOnRefresh": true,
  "templateScope": "local",
  "className": "",
  "x": 70,
  "y": 300,
  "wires": [
    [
      "3aa7bb7d1a5074d9",
      "c3381efa83815e17"
    ]
  ]
},
{
  "id": "3aa7bb7d1a5074d9",
  "type": "ui_text",
  "z": "5da26c8f924d8cb6",
  "group": "fa10ef80999a9fc6",
  "order": 3,
  "width": 3,
  "height": 1,
  "name": "",
  "label": "VENTILADORES",
  "format": "",
  "layout": "row-spread",
  "className": "",
  "style": true,
  "font": "Arial Black,Arial Black,Gadget,sans-serif",
  "fontSize": "17",
  "color": "#000000",
  "x": 150,
  "y": 240,
  "wires": []
},
{
  "id": "84d860e0f9da46d6",
  "type": "ui_template",
  "z": "5da26c8f924d8cb6",
  "group": "fa10ef80999a9fc6",
  "name": "valvula solenoide",
  "order": 7,
  "width": 3,

```

```

    "height": 3,
    "format": "VALVULA",
    "storeOutMessages": true,
    "fwdInMessages": true,
    "resendOnRefresh": true,
    "templateScope": "local",
    "className": "",
    "x": 730,
    "y": 300,
    "wires": [
      []
    ]
  },
  {
    "id": "41798d072a6c5a9f",
    "type": "ui_text",
    "z": "5da26c8f924d8cb6",
    "group": "fa10ef80999a9fc6",
    "order": 6,
    "width": 3,
    "height": 1,
    "name": "",
    "label": "SOLENOIDE->",
    "format": "",
    "layout": "row-spread",
    "className": "",
    "style": true,
    "font": "Arial Black,Arial Black,Gadget,sans-serif",
    "fontSize": "17",
    "color": "#000000",
    "x": 720,
    "y": 240,
    "wires": []
  },
  {
    "id": "79b27f69c79d92e7",
    "type": "ui_chart",
    "z": "5da26c8f924d8cb6",
    "name": "",
    "group": "b4546cefb5d97171",
    "order": 1,
    "width": 13,
    "height": 4,
    "label": "TENDENCIA",
    "chartType": "line",
    "legend": "false",
    "xformat": "HH:mm",
    "interpolate": "linear",
    "nodata": ""
  }

```

```
"dot": false,
"ymin": "-50",
"ymax": "50",
"removeOlder": 1,
"removeOlderPoints": "",
"removeOlderUnit": "60",
"cutout": 0,
"useOneColor": false,
"useUTC": false,
"colors": [
  "#1f77b4",
  "#aec7e8",
  "#ff7f0e",
  "#2ca02c",
  "#98df8a",
  "#d62728",
  "#ff9896",
  "#9467bd",
  "#c5b0d5"
],
"outputs": 1,
"useDifferentColor": false,
"className": "",
"x": 370,
"y": 160,
"wires": [
  []
]
},
{
  "id": "ebb5f38b72fea4e1",
  "type": "ui_button",
  "z": "5da26c8f924d8cb6",
  "name": "",
  "group": "54e01506d7a5ac6a",
  "order": 4,
  "width": 3,
  "height": 1,
  "passthru": false,
  "label": "BORRAR MySQL",
  "tooltip": "",
  "color": "",
  "bgcolor": "",
  "className": "",
  "icon": "",
  "payload": "true",
  "payloadType": "bool",
  "topic": "topic",
  "topicType": "msg",
```

```
    "x": 310,
    "y": 420,
    "wires": [
      [
        "af0ee05c0cd603de"
      ]
    ]
  },
  {
    "id": "af0ee05c0cd603de",
    "type": "function",
    "z": "5da26c8f924d8cb6",
    "name": "truncate",
    "func": "msg.topic = \"TRUNCATE TABLE variables;\";\nreturn
msg;",
    "outputs": 1,
    "timeout": 0,
    "noerr": 0,
    "initialize": "",
    "finalize": "",
    "libs": [],
    "x": 580,
    "y": 420,
    "wires": [
      [
        "ac457ee0c0a0e564"
      ]
    ]
  },
  {
    "id": "ac457ee0c0a0e564",
    "type": "mysql",
    "z": "5da26c8f924d8cb6",
    "mydb": "af09b08be36611c4",
    "name": "db-truncate",
    "x": 750,
    "y": 420,
    "wires": [
      [
      ]
    ]
  },
  {
    "id": "dae64205c5bcc581",
    "type": "s7 in",
    "z": "5da26c8f924d8cb6",
    "endpoint": "3a0ce09daed109a5",
    "mode": "single",
    "variable": "ventiladores",
    "diff": true,
```

```
    "name": "evaporador",
    "x": 470,
    "y": 480,
    "wires": [
      [
        "b8b6083231194b6e"
      ]
    ]
  },
  {
    "id": "4e59635c97b39160",
    "type": "ui_button",
    "z": "5da26c8f924d8cb6",
    "name": "",
    "group": "54e01506d7a5ac6a",
    "order": 5,
    "width": 3,
    "height": 1,
    "passthru": false,
    "label": "MySQL",
    "tooltip": "",
    "color": "",
    "bgcolor": "",
    "className": "",
    "icon": "storage",
    "payload": "http://127.0.0.1/phpmyadmin/",
    "payloadType": "str",
    "topic": "topic",
    "topicType": "msg",
    "x": 560,
    "y": 120,
    "wires": [
      [
        "ffeabfa9167286ae"
      ]
    ]
  },
  {
    "id": "156289cb20ad0d98",
    "type": "ui_button",
    "z": "5da26c8f924d8cb6",
    "name": "",
    "group": "54e01506d7a5ac6a",
    "order": 2,
    "width": 3,
    "height": 1,
    "passthru": false,
    "label": "Grafana",
    "tooltip": "",
```

```

    "color": "",
    "bgcolor": "",
    "className": "",
    "icon": "show_chart",
    "payload": "http://127.0.0.1:3000/login",
    "payloadType": "str",
    "topic": "topic",
    "topicType": "msg",
    "x": 560,
    "y": 160,
    "wires": [
      [
        "6875de662e7a9228"
      ]
    ]
  },
  {
    "id": "ffeabfa9167286ae",
    "type": "ui_template",
    "z": "5da26c8f924d8cb6",
    "group": "54e01506d7a5ac6a",
    "name": "URL MySQL",
    "order": 7,
    "width": 0,
    "height": 0,
    "format": "<script>\n    (function(scope)
{\n    scope.$watch('msg', function(msg) {\n        if (msg &&
msg.payload) {\n            // Abre la URL en una nueva
pestaña\n                window.open(msg.payload,
'_blank');\n            }\n        });\n})(scope);\n</script>",
    "storeOutMessages": true,
    "fwdInMessages": true,
    "resendOnRefresh": true,
    "templateScope": "local",
    "className": "",
    "x": 750,
    "y": 120,
    "wires": [
      []
    ]
  },
  {
    "id": "8425aa2ffc3ae9a2",
    "type": "ui_button",
    "z": "5da26c8f924d8cb6",
    "name": "",
    "group": "54e01506d7a5ac6a",
    "order": 3,
    "width": 3,

```

```

    "height": 1,
    "passthru": false,
    "label": "RStudio",
    "tooltip": "",
    "color": "",
    "bgcolor": "",
    "className": "",
    "icon": "",
    "payload": "C:\\Program Files\\RStudio\\rstudio.exe",
    "payloadType": "str",
    "topic": "topic",
    "topicType": "msg",
    "x": 560,
    "y": 200,
    "wires": [
      [
        "b3dc4dea9c195393"
      ]
    ]
  },
  {
    "id": "6875de662e7a9228",
    "type": "ui_template",
    "z": "5da26c8f924d8cb6",
    "group": "54e01506d7a5ac6a",
    "name": "URL Grafana",
    "order": 8,
    "width": 0,
    "height": 0,
    "format": "<script>\n    (function(scope)
{\n    scope.$watch('msg', function(msg) {\n        if (msg &&
msg.payload) {\n            // Abre la URL en una nueva
pestaña\n                window.open(msg.payload,
'_blank');\n            }\n        });\n})(scope);\n</script>",
    "storeOutMessages": true,
    "fwdInMessages": true,
    "resendOnRefresh": true,
    "templateScope": "local",
    "className": "",
    "x": 750,
    "y": 160,
    "wires": [
      []
    ]
  },
  {
    "id": "35c9d814b9185faa",
    "type": "s7 out",
    "z": "5da26c8f924d8cb6",

```

```
"endpoint": "3a0ce09daed109a5",
"variable": "histeresis",
"name": "Histéresis",
"x": 740,
"y": 80,
"wires": []
},
{
  "id": "542bde609a58514d",
  "type": "s7 out",
  "z": "5da26c8f924d8cb6",
  "endpoint": "3a0ce09daed109a5",
  "variable": "setpoint",
  "name": "Setpoint",
  "x": 740,
  "y": 40,
  "wires": []
},
{
  "id": "55b617e5e76f4849",
  "type": "ui_numeric",
  "z": "5da26c8f924d8cb6",
  "name": "",
  "label": "SET",
  "tooltip": "ingrese un valor de -50 a 50",
  "group": "fa10ef80999a9fc6",
  "order": 8,
  "width": 3,
  "height": 1,
  "wrap": false,
  "passthru": true,
  "topic": "payload",
  "topicType": "msg",
  "format": "{{value}}",
  "min": "-50",
  "max": "50",
  "step": 1,
  "className": "",
  "x": 550,
  "y": 40,
  "wires": [
    [
      "542bde609a58514d"
    ]
  ]
},
{
  "id": "51d9d8adcbf45a69",
  "type": "ui_numeric",
```

```
    "z": "5da26c8f924d8cb6",
    "name": "",
    "label": "DIF",
    "tooltip": "ingrese un valor de 0 a 20",
    "group": "fa10ef80999a9fc6",
    "order": 9,
    "width": 3,
    "height": 1,
    "wrap": false,
    "passthru": true,
    "topic": "payload",
    "topicType": "msg",
    "format": "{{value}}",
    "min": "0",
    "max": "20",
    "step": 1,
    "className": "",
    "x": 550,
    "y": 80,
    "wires": [
      [
        "35c9d814b9185faa"
      ]
    ]
  },
  {
    "id": "b3dc4dea9c195393",
    "type": "exec",
    "z": "5da26c8f924d8cb6",
    "command": "\"C:\\Program Files\\RStudio\\rstudio.exe\"",
    "addpay": "",
    "append": "",
    "useSpawn": "false",
    "timer": "",
    "winHide": false,
    "oldrc": false,
    "name": "Rstudio",
    "x": 740,
    "y": 200,
    "wires": [
      [],
      [],
      []
    ]
  }
]
```

ANEXO #2

Código en R del modelo de predicción ARIMA.

```
# =====
#  LIBRERÍAS
# =====
# Instalar si falta:
# install.packages(c("readr", "lubridate", "forecast", "plotly"))

library(readr)
library(lubridate)
library(forecast)
library(plotly)
library(dplyr)

# =====
#  CARGA DE DATOS
# =====

setwd("C:\\Users\\leandro\\Downloads\\Proyecto MEA\\")
df <- read.csv("variables.csv")
View(df)

# =====
#  PROCESAMIENTO DE FECHA
# =====

df$fecha <- ymd_hms(df$fecha)
df <- df[order(df$fecha), ] # ordenar por fecha

# =====
#  CREAR SERIE TEMPORAL
# =====

ts_temp <- ts(df$temp, frequency = 1440) # datos cada minuto

# =====
#  MODELO ARIMA ULTRA EFICIENTE
# =====

modelo_arima <- auto.arima(
  ts_temp,
  stepwise = TRUE,
  approximation = TRUE,
  seasonal = FALSE,
  max.p = 3, max.q = 3,
  max.order = 5,
```

```

    allowdrift = TRUE,
    lambda = NULL
)

summary(modelo_arima)

# =====
#  PRONÓSTICO
#  =====

h <- 60 # 60 minutos hacia adelante
forecast_temp <- forecast(modelo_arima, h = h)

# =====
#  PREPARAR DATOS PARA PLOTLY
#  =====

fechas_futuras <- seq(
  from = max(df$fecha) + minutes(1),
  by = "1 min",
  length.out = h
)

df_hist <- data.frame(
  fecha = df$fecha,
  temp = df$temp
)

df_pred <- data.frame(
  fecha = fechas_futuras,
  temp = as.numeric(forecast_temp$mean)
)

df_conf <- data.frame(
  fecha = fechas_futuras,
  lower = as.numeric(forecast_temp$lower[,2]),
  upper = as.numeric(forecast_temp$upper[,2])
)

# =====
#  FIGURA INTERACTIVO PLOTLY
#  =====

fig <- plot_ly() %>%

  add_lines(
    data = df_hist,
    x = ~fecha,
    y = ~temp,

```

```

    name = "Histórico",
    line = list(color = "blue")
) %>%

add_lines(
  data = df_pred,
  x = ~fecha,
  y = ~temp,
  name = "Pronóstico ARIMA",
  line = list(color = "red")
) %>%

add_ribbons(
  data = df_conf,
  x = ~fecha,
  ymin = ~lower,
  ymax = ~upper,
  name = "Intervalo 95%",
  fillcolor = "rgba(255,0,0,0.25)",
  line = list(color = "transparent")
) %>%

layout(
  title = "Pronóstico de Temperatura (ARIMA Optimizado)",

  xaxis = list(
    title = "Tiempo real",
    rangeslider = list(visible = TRUE),
    tickformat = "%H:%M\n%d-%b",
    dtick = 3600000 # marcas cada hora
  ),

  yaxis = list(title = "Temperatura"),

  hovermode = "x unified"
)

fig # mostrar Figura interactivo

# =====
# FIN DEL SCRIPT
# =====

```

ANEXO #3

Código en R del modelo de predicción ARNN.

```
# =====
#  LIBRERÍAS
# =====
# Instalar si falta:
# install.packages(c("readr", "lubridate", "forecast", "plotly"))

library(readr)
library(lubridate)
library(forecast)
library(plotly)
library(dplyr)

# =====
#  CARGA DE DATOS
# =====

setwd("C:\\Users\\leandro\\Downloads\\Proyecto MEA\\")
df <- read.csv("variables.csv")
View(df)

# =====
#  PROCESAMIENTO DE FECHA
# =====

# Convertir fecha a datetime
df$fecha <- ymd_hms(df$fecha)
df <- df[order(df$fecha), ]
ts_temp <- ts(df$temp, frequency = 1440)

# =====
#  MODELO ARNN OPTIMIZADO
# =====

repeats_opt <- max(5, min(10, round(length(ts_temp) / 5000)))

p_opt <- 10
modelo_arnn <- nnetar(
  ts_temp,
  size = 3,          # tamaño de la red (ligero)
  repeats = repeats_opt,
  p = p_opt,
  P = 0,
  lambda = NULL
)
```

```

print(modelo_arnn) # Mostrar resumen del modelo

# =====
#   PRONÓSTICO
# =====

# Horizonte de predicción (minutos)
h <- 60

forecast_temp <- forecast(modelo_arnn, h = h, PI = TRUE)

# Fechas futuras para el pronóstico
fechas_futuras <- seq(
  from = max(df$fecha) + minutes(1),
  by   = "1 min",
  length.out = h
)

# =====
#   DATA FRAMES PARA EL FIGURA
# =====

# Histórico completo
df_hist <- data.frame(
  fecha = df$fecha,
  temp  = df$temp
)

# Predicción puntual
df_pred <- data.frame(
  fecha = fechas_futuras,
  temp  = as.numeric(forecast_temp$mean)
)

# Intervalo de confianza (80%)
df_conf <- data.frame(
  fecha = fechas_futuras,
  lower = as.numeric(forecast_temp$lower[, 1]),
  upper = as.numeric(forecast_temp$upper[, 1])
)

MAX_POINTS <- 5000

df_hist_plot <- if (nrow(df_hist) > MAX_POINTS) {
  df_hist %>% slice((n() - MAX_POINTS):n())
} else {
  df_hist
}

```

```

# =====
#   FIGURA INTERACTIVO PLOTLY
# =====

fig <- plot_ly() %>%
  # Línea histórica optimizada
  add_lines(
    data = df_hist_plot,
    x = ~fecha, y = ~temp,
    name = "Histórico",
    line = list(color = "blue")
  ) %>%

  # Línea de predicción
  add_lines(
    data = df_pred,
    x = ~fecha, y = ~temp,
    name = "Pronóstico ARNN",
    line = list(color = "red")
  ) %>%

  # Intervalo de confianza
  add_ribbons(
    data = df_conf,
    x = ~fecha, ymin = ~lower, ymax = ~upper,
    name = "Intervalo 80%",
    fillcolor = "rgba(255,0,0,0.25)",
    line = list(color = "transparent")
  ) %>%

  # Configuración del Figura
  layout(
    title = "Pronóstico de Temperatura (ARNN Optimizado)",
    xaxis = list(
      title = "Tiempo",
      rangeslider = list(visible = TRUE),
      tickformat = "%H:%M\n%d-%b",
      dtick = 3600000 # marcas cada 1h
    ),
    yaxis = list(title = "Temperatura"),
    hovermode = "x unified"
  )

fig

# =====
#   FIN DEL SCRIPT
# =====

```

ANEXO #4

Presupuesto para la implementación del SCADA.



ESPECIALISTA EN PROTECCIÓN DE GENERADORES, TRANSFERENCIAS AUTOMÁTICAS, SINCROSMISMO, AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL, MOTION CONTROL

RUC: 0924115470001

Guayaquil 20 ABRIL DEL 2005

Gerente: EMPACRECI

COT-00165

Presente:-

REF: MONITORIO REMOTO 25 PUNTOS DE TEMPERATURA (EQUIPOS DE AUTOMATIZACIÓN SIEMENS)

ITEM	MAMO DE OBRA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL	
1	DISEÑO Y ARMADO DE TABLERO [INCLUYE ETIQUETADO Y MARQUILLADO]				
2	CABLEADO E INTALACION DE 18 PUNTOS PARA SENSORES DE TEMPERATURA, 12 TUNELES, 6 CAMARAS				
3	DESARROLLO DE LA APLICACION DE MONITORIO REMOTO PARA 20 PUNTOS DE TEMPERATURA, 12 TUNELES, 6 CAMARAS, 2 SALMUERAS, 2 SECADORES				
4	PROGRAMACION DE PLC				
5	DISEÑO DE PLANOS DE CONTROL				
EQUIPOS					
6	WECCON V BOX MODELO H-WF / 300 TAG - 50 REGISTROS HISTORICOS - 200 PUNTOS DE ALARMAS - BASE DA DATOS EN LA NUBE DURACION 90 DIAS	1	\$ 400,00	\$ 400,00	
7	CPU 1214C DC/DC/DC, alimentación 24VDC. Incorpora 14 DI a 24 VDC, 10 DO a 24VDC, 2 AI [0-10VDC], memoria 100KB. Con puerto de comunicación Profinet / Industrial Ethernet RI45 1G/100Mbps. Capacidad de ampliación hasta 1 Signal Board [SB], 8 módulos de señal [SM] y 3 módulos de comunicación [CM].	1	\$ 857,00	\$ 857,00	
8	MÓDULO DE 8 ENTRADAS ANALÓGAS 5M1231 V/Ma	2	\$ 889,00	\$ 1.778,00	
9	FUENTE DE PODER 5 AMP SIEMENS	1	\$ 393,00	\$ 393,00	
10	BORNERAS 4MM 2. POLOS TIPO FISILERA	20	\$ 5,50	\$ 110,00	
11	SENSOR PT100 3 HILOS ROSCA 1/2 NPT 3/8 * 10"	16	\$ 75,00	\$ 1.200,00	
12	CONVERTIDOR DE RTD A CORRIENTE	16	\$ 52,00	\$ 832,00	
13	TABLERO METALICO REFORZADO 40* 60* 20	2	\$ 180,00	\$ 360,00	
14	LOGO 12/24RC	1	\$ 228,00	\$ 228,00	
15	LOGO AM2 2AI0-10V, 0-20MA	1	\$ 143,00	\$ 143,00	
16	FUENTE DE PODER LOGO	1	\$ 129,00	\$ 129,00	
17	CABLE BELDEN 2 HILOS APANTALLADO # 22	400	\$ 1,30	\$ 520,00	
18	BREAKER 2 POLOS 4 AMP SIEMENS	2	\$ 23,63	\$ 47,26	
19	BREAKER 1 POLO 4 AMP SIEMENS	2	\$ 8,68	\$ 17,36	
20	BORNERAS 4MM 2 PISOS WAGO	10	\$ 2,00	\$ 20,00	
21	PUNTE DE BORNERA 4MM 10 ESPACIOS WAGO	2	\$ 4,00	\$ 8,00	
22	ELEMENTOS DE CONTROL CABLES, CANAleta, MARQUILLAS, TERMINALES, PRESA-ESTOPAS]	1	\$ 150,00	\$ 150,00	
				SUBTOTAL	\$ 7.192,62
NOTA: TEMPERAURA DE SALMUERAS Y SECADOR RESSE EXTRA EL DATO DE TEMPERATURA DE FORMA DIRECTA DESDE EL PLC INSTALADO EN LAS MAQUINAS.				DESCUENTO	
				TOTAL 1	\$ 7.192,62
				IVA 15%	\$ 1.078,89
				TOTAL	\$ 8.271,51

FORMA DE PAGO : 50% ADELANTO - 50% CREDITO 45 DIAS PUZO
 TIEMPO DE ENTREGA : 35 DIAS
 VALIDEZ DE LA OFERTA : 15 DIAS
 GARANTIA : 1 AÑO EN EQUIPOS POR DEFECTOS DE FABRICA

Atentamente,

Ing. Leonardo Orella
 GERENTE TECNICO

ANEXO #5

Presupuesto para la implementación del sistema TAND-D.



SOLUCIONES DISEÑOS Y PROVISIONES DOBIN S.A.
R.U.C.# 0991388354001

Señores EMPACRECI S.A. RUC Teléfonos 2804401; 2815191; Guayaquil, 13 mar 2025 Atención: Sr. Luis Leandro Garzón	Requerimiento: Registrador + Rtd	PROFORMA # 28421
--	-------------------------------------	-------------------------

Estimados Señores,
De acuerdo a su requerimientos, nos es grato cotizar lo siguientes productos y/o servicios:

Referencia	Descripción	Cant.	P.U.	Total
RTR505BL	Registrador de temperatura de la serie RTR-505	16	317,66	\$5082,56
CLE-14	Bateria de Litio Coros+, C 3.6V	16	83,95	\$1343,20
RTR500BW	Radio Base conexion Ethernet LAN/WIFI	4	689,67	\$2.758,68
FTM-3010	Modulo de entrada Pt100 para RTR-505pt	16	143,35	\$2293,60
APX12518XL8T2S	RTD Pt100 3 hilos 18" x 1/4" Ø 316SS -elemento simple-	16	156,32	\$2501,12
CDEL3TBC	Cert. Calibración 3 ptos. emitido por un laboratorio local acreditado por la SAE (*)	16	40,00	\$640,00
Tiempo de entrega: 30 DIAS APROX.				
Confirmar su pedido al correo: ordenesdecompra@solucionesdobin.com				

Condiciones: - ORDEN DE COMPRA A 30 DIAS <small>- En su O/C incluir el numero de esta proforma. - Esta oferta no implica reservación de mercadería. - Oferta sujeta a cambios sin previo aviso.</small>	Representante: maria.rodriguez@solucionesdobin.com Costos de envío: Envío gratis para mercadería mayor a \$250 Envío \$4.00 (inc. IVA) mercadería entre \$100 y \$250.00 Envío \$6.00 (inc. IVA) mercadería < 100,00 Compras al contado en nuestras oficinas estan exentas de costos de envío.	Sub Total \$14.819,16 15 % IVA \$2.192,87 Flete Total \$16.812,03
--	--	--

Soluciones, Diseños y Provisiones Dobin S. A.
R.U.C. # 0991388354001
Calle 2da #105 y Av. 1era - Mapasingue Oeste
Guayaquil - Ecuador

Tel.: (593-4) 2887628 - 2380293
Claro: 0986568046

maria.rodriguez@solucionesdobin.com