



**Desarrollo de un sistema de Internet de las Cosas Industrial para el monitoreo de
temperatura de un pasteurizador de leche**

Remberto Andrés Silgado Ortiz

Código: 20441822386

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Electrónica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Cartagena, Colombia

2023

**Desarrollo de un sistema de Internet de las Cosas Industrial para el monitoreo de
temperatura de un pasteurizador de leche**

Remberto Andrés Silgado Ortiz

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Electrónico

Director (a):

Oscar Porto Solano, M.Sc.

Línea de Investigación:

Automatización de procesos

Grupo de Investigación:

GIBIO

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Electrónica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Cartagena, Colombia

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

_____.

Cumple con los requisitos para optar

Al título de _____.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Contenido

1. Introducción	20
1.1. Planteamiento del problema	23
1.2. Justificación	25
1.3. Objetivos.....	27
1.3.1 Objetivo general	27
1.3.2 Objetivos específicos.....	27
2. Marco teórico	28
2.1. Sistemas de Control	28
2.1.1 Procesamiento de alimentos y bebidas	28
2.1.2 Automatización.....	29
2.1.3 Señales analógicas y digitales.....	30
2.1.4 Entrada y salida de datos	30
2.1.5 E/S de señales digitales.....	31
2.1.6 E/S de señales analógicas	31
2.2. Controlador lógico programable (PLC).....	34
2.2.1 Arquitectura del PLC.....	36
2.3. Internet de las Cosas - IoT	38
2.3.1 Aplicaciones IoT.....	38
2.3.2 Arquitecturas IoT.....	39
2.3.3 Tecnologías de soporte en Software IoT	42
2.3.4 Tecnologías de soporte en hardware IoT.....	43
2.4. Pasteurización	43
2.5. Métodos de pasteurización láctea	47
2.5.1 Pasteurización por VAT	47
2.5.2 Pasteurización por HTST.....	47
2.5.3 Pasteurización UHT.....	48
3. Desarrollo del proyecto	50
3.1. Identificación y corrección de las condiciones operativas de la planta procesadora	50
3.1.1 Componentes de la planta de procesamiento.....	51
3.1.2 Descripción de condiciones encontradas y acciones correctivas aplicadas.	52
3.1.3 Equipos de calentamiento	55
3.1.4 Sensores y transmisores.....	56
3.1.5 Actuadores	57
3.1.6 Requerimientos de control y monitoreo de temperatura	58
3.1.7 Especificaciones técnicas e ingenieriles	59
3.2. Aplicación de una arquitectura de IIoT	60
3.2.1 Especificación de componentes en los tres dominios de la arquitectura IIoT	62

3.3.	Componentes para la implementación del sistema IIoT.....	63
3.4.	Función de los componentes seleccionados dentro del sistema IIoT	69
3.4.1	Función de componentes en Dominio del Control	70
3.4.2	Función de componentes en Dominio de la Información.....	76
3.4.3	Función de componentes en Dominio de la Aplicación	79
3.5.	Implementación del sistema IIoT de monitoreo	81
3.5.1	Verificación de sensores de temperatura y configuración del controlador	82
3.5.2	Configuración del Gateway IIoT	84
3.5.3	Configuración de la máquina virtual en la nube.....	89
3.5.4	Configuración de la base de datos	90
3.5.5	Configuración del Frontend.....	92
3.6.	Análisis de los resultados	94
4.	Conclusiones.....	96
5.	Recomendaciones futuras.	97
6.	Anexos.....	99
7.	Bibliografía.....	100

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 2-1 Entradas y salidas analógicas y digitales	32
Figura 2-2 Lazo cerrado de control.....	32
Figura 2-3 Diagrama de bloques PID	33
Figura 2-4 Arquitectura del PLC	38
Figura 2-5 Arquitectura IIoT para sistema energético eficiente	40
Figura 2-6 Arquitectura IoT de tres capas de módulos con dominio de medición	41
Figura 2-7 Diagrama de bloques, procesamiento de leche.	45
Figura 2-8 Sistema típico de agua dulce en el proceso de pasteurización.	46
Figura 3-1 Diagrama de instrumentación de la planta procesadora de leche	51
Figura 3-2 Mantenimiento correctivo planta pasteurizadora de leche	52
Figura 3-3 Arquitectura de IIoT	62
Figura 3-4 Dominios del sistema IIoT aplicado: control, información y aplicación.	62
Figura 3-5 Componentes del dominio de control de la arquitectura IIoT.....	70
Figura 3-6 PLC SIMATIC S7-1200 como Controlador.....	72
Figura 3-7 Switch Ethernet Stratix® 2000 para la red industrial local en la planta.	73
Figura 3-8 Raspberry Pi 4B como Gateway	74
Figura 3-9 Esquema de conexión Raspberry Pi 4B una vez configurada sin periféricos. ..	75
Figura 3-10 Componentes del Dominio de la Información de la arquitectura IIoT.	76
Figura 3-11 Componentes del Dominio de la Aplicación de la arquitectura IIoT.....	79
Figura 3-12 Programación del PLC S7 1200 Siemens en TIA Portal	83
Figura 3-13 Buscador VNC CONNET y comprobador de IP del VNC Viewer	84
Figura 3-14 Ubicación de Node-RED en Raspberry Pi mediante VNC Viewer.	85
Figura 3-15 Línea de comando de Node-RED a través de la Raspberry Pi.....	86
Figura 3-16 IDE de Node-RED para programación de la Raspberry Pi 4B como Gateway.	87
Figura 3-17 Algoritmo de adquisición de datos del PLC en Node-RED.....	88
Figura 3-18 Conexión de la Raspberry con Base de Datos en la nube.	89
Figura 3-19. Arquitectura de referencia de una VM de Google Cloud	89
Figura 3-20 Interfaz gráfica del software phpMyAdmin	91
Figura 3-21 Configuraciones de la base de datos MySQL con phpMyAdmin.....	91
Figura 3-22 Gráfica de variable de temperatura en GRAFANA	93

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 3-1 Equipos de almacenamiento	54
Tabla 3-2 Evaluación del estado y acción correctiva sobre los intercambiadores de calor	55
Tabla 3-3 Sensores	56
Tabla 3-4 Actuadores.....	57
Tabla 3-5 Puntos críticos para monitoreo de temperatura con IIoT.	59
Tabla 3-6 Características de equipos	59
Tabla 3-7 Descripción de componentes seleccionados dominio del control	64
Tabla 3-8 Descripción de componentes seleccionados dominio de la información	67

(Dedicatoria)

Dios ve de forma justa cada esfuerzo, metas que se propone el ser humano y se manifiesta en cada uno de los resultados que vemos en cada paso del camino que nos conlleva al éxito y logro alcanzados entre cada uno de ellos podemos admitir algunos, factores de la vida tener unos buenos ingresos económicos, un crecimiento personal y profesional que se ve en resultados de un buen puesto de trabajo seguro.

(Encomienda tus obras a Dios, y tus proyectos se realizarán. (Santa biblia. (Proverbios 16:3))

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, a mi familia y al profesor investigador Oscar Porto Solano, quién con sus conocimientos me guió en cada etapa de este proyecto para alcanzar los resultados obtenidos. Extiendo este agradecimiento a la Universidad Antonio Nariño por brindarme todas las herramientas necesarias para poder poner en marcha las investigaciones de este proyecto. Por último, quiero agradecer a mis padres, que siempre estuvieron apoyadome a lo largo de la carrera, aún cuando decaían mis ánimos y sus palabras de apoyo para motivarme cada día a ser mejor. Muchas gracias a todos.

Resumen

Este documento describe el diseño e implementación de un sistema de Internet de las Cosas Industrial para el monitoreo de temperatura en una planta pasteurizadora de leche. Para esto se realizará el reconocimiento de las características de las variables de temperaturas ideales para la elaboración del Suero costeño, un estudio general de las arquitecturas de sistemas de monitoreo. Su ajuste y pruebas finales para determinar su aplicabilidad real. El desarrollo de este proyecto permitió realizar el seguimiento en tiempo real de las variables del sistema de almacenamiento en la nube, que permitió el acceso al diagnóstico de la temperatura del proceso de pasteurización de parte del usuario final.

PALABRAS CLAVE: Intenet de las Cosas, monitoreo de temperatura, Industria 4.0, Pasteurizador

Abstract

This document describes the design and implementation of an Internet of Industrial Things system for temperature monitoring in a milk pasteurization plant. For this, the recognition of the characteristics of the ideal temperature variables for the elaboration of the coastal serum, a general study of the architectures of monitoring systems will be carried out. Its adjustment and final tests to determine its real applicability. The development of this project allowed real-time monitoring of the variables of the cloud storage system, which allowed access to the diagnosis of the temperature of the pasteurization process by the end user.

KEYWORDS: Monitoring systems, IIoT, Temperature, embedded system.

1. Introducción

El presente documento contiene el desarrollo de un sistema de Internet de las Cosas Industrial (IIoT, acrónimo del inglés: Industrial Internet of Things) para el monitoreo de temperatura de una planta para el procesamiento (pasteurización) de leche bovina construida para la producción de suero costeño, ubicada en la sede de la Universidad Antonio Nariño de la ciudad de Cartagena (Colombia). La pasteurización es un proceso al que se somete un alimento para obtener una reducción de los microorganismos que contiene sin que esto afecte en gran medida la composición y cualidades del alimento, de esa forma contribuir a la seguridad alimentaria.

El principio de funcionamiento de la pasteurización realizada en la planta procesadora bajo estudio es la técnica "alta temperatura/corto lapso de tiempo" o HTST (acrónimo del inglés High Temperature/Short Time), es decir de flujo continuo, en el que se incrementa la temperatura de la leche en un rango de 72°C – 76°C por un lapso de tiempo de 15 a 17 segundos. Hay que tener en cuenta que la aplicación de niveles de temperatura fuera de los rangos mencionados o por periodos de tiempos diferentes a los especificados podría conllevar a la obtención de leche alterada, debido a que el alimento puede sufrir el deterioro en sus características microbiológicas, físico - químicas y organolépticas, o en su valor nutritivo. Por ello, para garantizar la correcta aplicación del proceso de pasteurización de la leche, la planta procesadora cuenta con instrumentos de medición de variables como temperatura, nivel de líquidos, pH, oxígeno disuelto y actuadores como válvulas automáticas de control de flujo, bombas eléctricas y resistencias calefactor (Zumbado, 2015).

La industria en general se encuentra actualmente en la fase de adopción de la llamada Cuarta Revolución Industrial, también conocida como Industria 4.0. Esta transformación se basa principalmente en el Internet de las Cosas Industrial (IIoT) y los sistemas ciberfísicos. En el contexto de la Industria 4.0, la mayoría de los elementos físicos presentes en el entorno industrial, como dispositivos, robots, maquinaria y equipos, están equipados con sensores y etiquetas RFID que proporcionan información en tiempo real sobre aspectos como su estado, rendimiento y ubicación. Gracias a esta tecnología, las empresas pueden mejorar la eficiencia de sus cadenas de suministro, agilizar el proceso de diseño y adaptación de productos, prevenir el tiempo de inactividad de los equipos, obtener conocimientos sobre las preferencias del consumidor, realizar un seguimiento detallado de los productos y el inventario, entre otros beneficios. (SAP, 2023).

El proyecto se tiene como objetivo general desarrollar un sistema de monitoreo por IIoT que permita realizar un seguimiento remoto a las variables de temperatura dentro de la planta procesadora de leche durante su proceso de higienización. El desarrollo consistió en cuatro fases, que inició con la evaluación del estado operativo de la planta procesadora de leche y corrección de sistemas no conformes según las especificaciones de diseños previos (Iriarte, 2019). Se procedió a la etapa de apropiación de una arquitectura IIoT para el diseño del sistema de monitoreo ajustado a las características propias de los sistemas encontrados. Posterior a ello se realizó la implementación considerando para ello el abanico de opciones que ofrece el mercado en cuanto a equipos, sensores, interfaces y servicios en la nube resultando en la selección del PLC SIMATIC S7-1200, Raspberry Pi4, software TIA Portal, Node-RED, phpMyAdmin en MySQL y GRAFANA como base de datos en la nube y servicio de Frontend que permite la visualización histórica e instantánea de los valores de

temperatura. Finalmente se llevó a cabo la evaluación del sistema IIoT verificando el correcto funcionamiento técnico y operacional de cada una de sus etapas y su funcionamiento técnico, diseño general y operacional.

El documento está organizado por capítulos y subcapítulos, a continuación, en este capítulo, se expone la descripción del problema, los objetivos generales y específicos, y la justificación. En el capítulo dos se expone el marco teórico, el capítulo tres la arquitectura del desarrollo del proyecto. En el capítulo cuarto, se presentan las conclusiones donde el proyecto logro evidenciar el desarrollo de un sistema IoT, de monitoreo de temperatura para un pasteurizador de leche.

1.1. Planteamiento del problema

La pasteurización es un proceso al que se somete un alimento para obtener una reducción de los agentes patógenos que contiene sin que esto afecte en gran medida la composición y cualidades del alimento, de esa forma contribuir a la seguridad alimentaria. El principio de funcionamiento de la pasteurización realizada en la planta procesadora bajo estudio es la técnica "alta temperatura/corto lapso de tiempo" o HTST (acrónimo del inglés High Temperature/Short Time), es decir de flujo continuo, implementado mediante intercambiadores de calor de placas planas donde un líquido inocuo (normalmente agua) transfiere calor a la leche cruda, incrementando su temperatura en un rango de $72^{\circ}\text{C} - 76^{\circ}\text{C}$ por un lapso de tiempo de 15 a 17 segundos, en estricto cumplimiento del artículo 28 del decreto 616 de 2006 del Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia, que establece un reglamento técnico sobre los requisitos que debe cumplir la leche para el consumo humano que se procese en el país y otras disposiciones.

Hay que tener en cuenta que la aplicación de niveles de temperatura fuera de los rangos mencionados o por periodos de tiempos diferentes a los especificados por la ley colombiana puede conllevar a la obtención de leche alterada, este y otras prácticas no estandarizadas pueden generar alertas sanitaria de restricción de productos lácteos (INVIMA, 2023), debido a que el alimento puede sufrir el deterioro en sus características microbiológicas, físico - químicas y organolépticas, o en su valor nutritivo (MinAgricultura, 2020). Por ello, para garantizar la correcta aplicación del proceso de pasteurización de la leche, la planta procesadora cuenta con instrumentos de medición de variables como temperatura, nivel de líquidos, pH, oxígeno disuelto y actuadores como válvulas automáticas de control de flujo, bombas eléctricas y resistencias calefactor (Zumbado, 2015).

Sin embargo, el sistema de control con que cuenta la planta procesadora realiza mediciones de temperatura y control instantáneo mediante un PLC S7 300 sin registrar el histórico del comportamiento dicha variable. Por otro lado, el proceso solo se podría visualizar en sitio mediante una pantalla HMI (la cual ni siquiera funcionaba al momento de la inspección) y a través de la conexión por ethernet a una intranet con el software TIA Portal lo cual restringe el área disponible para acceder a la información. Estas limitaciones de accesibilidad de la información histórica de las variables y la necesidad de la presencia de un operario en sitio representan un verdadero obstáculo al momento de realizar un diagnóstico histórico adecuado de alguno de los ciclos de operación de la planta procesadora de leche. En caso de presentarse desviaciones en características organolépticas que comprometan la calidad de la leche, se requiere realizar un análisis del comportamiento de la planta, lo cual no ofrece el actual sistema instalado.

El Internet de las Cosas Industrial, permite la transmisión de datos como una opción válida cuando el análisis se va a llevar de la nube, para que las redes industriales brinden una respuesta ágil antes situaciones anormales del proceso (Sari, 2020), y además brinda la ventaja de una acción rápida en la detección agentes intrusivos debido a que permite la visualización en tiempo real del comportamiento de las variables del proceso, (Pinon, 2018) y la gestión sus valores históricos. A la vista de tales ventajas del paradigma tecnológico IIoT, el presente proyecto se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Es posible repotenciar la planta de pasteurización de la UAN sede Cartagena con tecnología de la “Industria 4.0” mediante una arquitectura de IIoT que permita el monitoreo instantáneo e histórico de las temperaturas críticas del proceso HTST de higienización de la leche bovina?

1.2. Justificación

La seguridad alimentaria es promovida en su más alto nivel internacional por los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas en su “*Objetivo 2: Poner fin al hambre – ODS 2*”, en ella incentiva la toma de decisiones sostenibles sobre la alimentación, lo cual implica las buenas prácticas de obtención, almacenamiento, transporte, procesamiento, manufactura y distribución de los alimentos. La pasteurización de la leche bovina es un procesamiento que reduce significativamente su concentración bacteriana propia de su estado en crudo, lo cual permite que este alimento pueda ser consumido por humanos con mayor seguridad para la salud. A nivel nacional en el artículo 65 de la Constitución Política de Colombia, se consigna que el Estado brindará una protección especial a la producción de alimentos entre ellos los de origen agroindustriales y fomentará la investigación relacionada. Por lo que el procesamiento de la leche bovina mediante la pasteurización se destaca como una de esas tecnologías que permite la producción de alimentos lácteos de forma segura en el territorio nacional. Por ello se han creado marcos legales como el Decreto 4765 del 18 de diciembre de 2008 “*por el cual se modifica la estructura del Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, y se dictan otras disposiciones.*” Instituto que articula su labor desde el 2012 con el Instituto Nacional de Vigilancia de Alimentos y Medicamentos – INVIMA bajo la Ley 1122 de 2007, relacionadas con la inspección, vigilancia y control de los centros de acopio de leche y de las plantas de procesamiento de leche y sus derivados y recientemente la resolución 00160 de 2022 “*Por la cual se adopta el Plan de Ordenamiento Productivo para la Cadena Láctea Bovina en Colombia y se dictan otras disposiciones*” del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Social.

En su búsqueda por fomentar la investigación y la transferencia de tecnología en la producción de alimentos y materias primas agropecuarias, el gobierno de Colombia estableció en 2016, a través del MINCIENCIAS, el Centro de Excelencia y Apropiación de Internet de las Cosas. (Microsoft Latinoamérica, 2017), dotándola de diversas ramas de aplicación entre ellas la agricultura (CEA – IoT, 2018). Esto impulsó de manera significativa la introducción de este paradigma tecnológico en el país al que se vincularon oficialmente entre 45 y 50 personas (CEA-IoT en LinkedIn, 2018), desarrollando proyectos del sector industrial IIoT (Porto, 2017), bioingeniería (Casto, 2017), telecomunicaciones (Roncancio, 2017), agricultura (Romero, 2022) y otros.

El presente proyecto se justifica en el marco legal y normativo del procesamiento de leche bovina y la seguridad alimentaria, además en las necesidades que tiene el país en potenciar su desarrollo tecnológico a la luz del nuevo Plan Nacional de Desarrollo, “Colombia, potencia mundial de la vida” (DNP, 2023) el cual tiene como una de sus metas la “reindustrialización intensiva en conocimiento y tecnología” estableciendo que Colombia va a duplicar su inversión en Investigación y Desarrollo, al llegar al 0,5 % de la participación de la inversión de I+D en el PIB.

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de Internet de las Cosas Industrial para el monitoreo de temperatura en una planta pasteurizadora de leche.

1.3.2 Objetivos específicos

- I. Identificar las condiciones eléctricas, mecánicas, electrónicas y de comunicación de la planta de procesamiento para la determinación de los puntos críticos de medición de temperatura, caracterización de componentes, y adecuación operativa de los mismos.
- II. Diseño de sistema IIoT para el monitoreo de temperatura de la planta de procesamiento.
- III. Implementar el sistema de IIoT de monitoreo de temperatura mediante la selección, acople y configuración de los componentes de software y hardware disponibles.

2. Marco teórico

2.1. Sistemas de Control

La Industria 4.0 es la materialización de la transformación digital del sector de los sistemas de control automático, que ofrece toma de decisiones en tiempo real y una productividad, flexibilidad y agilidad mayores. Esto se debe no sólo a la mecanización, si no en gran parte a los sistemas de control y de información, que son capaces de manejar complejos procesos y maquinarias de forma mucho más eficiente y rentable que el ser humano. A estos sistemas se les llama automatización industrial 4.0. En esta sección de mostraré los principales conceptos que sostienen esta temática.

2.1.1 Procesamiento de alimentos y bebidas

El procesamiento de alimentos implica el uso de componentes de carne, granos o vegetales para producir productos alimenticios envasados destinados al consumo comercial. Al igual que en el procesamiento químico, el procesamiento de alimentos requiere controlar la temperatura durante el proceso, así como la mezcla de ingredientes. En ocasiones, los alimentos crudos como la carne y las verduras pueden contener bacterias patógenas debido a la contaminación del suelo o a procesos de preparación deficientes. Para eliminar la mayoría de estas bacterias, se utiliza un proceso de gradación de temperatura, donde la temperatura disminuye al introducir el alimento en el proceso. Es fundamental asegurar que la mayor parte del volumen del alimento alcance la temperatura mínima segura para el consumo humano. En la industria de alimentos y bebidas, existen varios procesos que implican calentar

la materia prima a altas temperaturas durante un período determinado para eliminar gérmenes y organismos dañinos para los seres humanos. Uno de estos procesos es la pasteurización, que se aplica a la leche y es el enfoque principal de este proyecto. (Cordero, franco. 2013.)

2.1.2 Automatización

La automatización implica el uso de comandos de programación lógica y la digitalización, así como la incorporación de robótica e inteligencia artificial. Estos avances tecnológicos han transformado el mundo laboral, reemplazando las tareas de toma de decisiones y las actividades manuales que solían ser realizadas por los seres humanos. La tecnología ha adquirido un papel cada vez más relevante en todos los sectores, generando nuevas ocupaciones y cambiando las habilidades requeridas para tener éxito en el mercado laboral. A lo largo de la historia, la automatización ha llevado la mecanización a otro nivel, disminuyendo significativamente la necesidad de capacidades sensoriales y mentales humanas, al mismo tiempo que optimiza la productividad. (Cordero, 2013.)

Los fabricantes de máquinas personalizadas a menudo usan una combinación de productos OEM y máquinas personalizadas, moviendo componentes y productos a través de una línea de producción o ensamblaje para producir el resultado final. La combinación de varias máquinas y sistemas de control en una sola entidad es un proceso conocido como integración. Los controles en las industrias de procesamiento de alimentos y bebidas son similares a los del procesamiento químico, aunque en su mayoría controlados por PLC. La instrumentación se usa para medir temperaturas y tasas de flujo, a veces usando controladores individuales con lectura de datos en un SCADA o sistema de monitoreo. (Moreno, 2021).

2.1.3 *Señales analógicas y digitales*

La base fundamental de la lógica de automatización se encuentra en el concepto de estado digital. Cada elemento dentro de un sistema de automatización puede ser representado como un 0 (apagado) o un 1 (encendido). Esto incluye interruptores, señales, motores, válvulas, luces piloto y cualquier otro dispositivo presente en el esquema de automatización.

Sin embargo, existen dispositivos cuyo estado no puede ser descrito de manera tan simple. Por ejemplo, un motor no solo puede estar encendido o apagado, sino que también puede tener otros parámetros, como la velocidad, que requieren una representación numérica más precisa. (Cordero, franco. 2013.)

2.1.4 *Entrada y salida de datos*

El control de un sistema reacciona a la información de entrada y configura las salidas en consecuencia. La información de entrada y salida puede estar en forma de señales físicas, como pulsos o niveles eléctricos y neumáticos, o puede estar en forma virtual, como instrucciones de texto o datos. Un controlador puede reaccionar a interruptores o niveles de fluidos al encender válvulas o hacer funcionar motores a una velocidad determinada, o una computadora puede reaccionar a instrucciones de texto o de tipo clic del mouse cambiando pantallas o ejecutando un programa. Estas son ilustraciones de causa y efecto de la automatización en el trabajo. (Cordero, franco. 2013.)

2.1.5 *E/S de señales digitales*

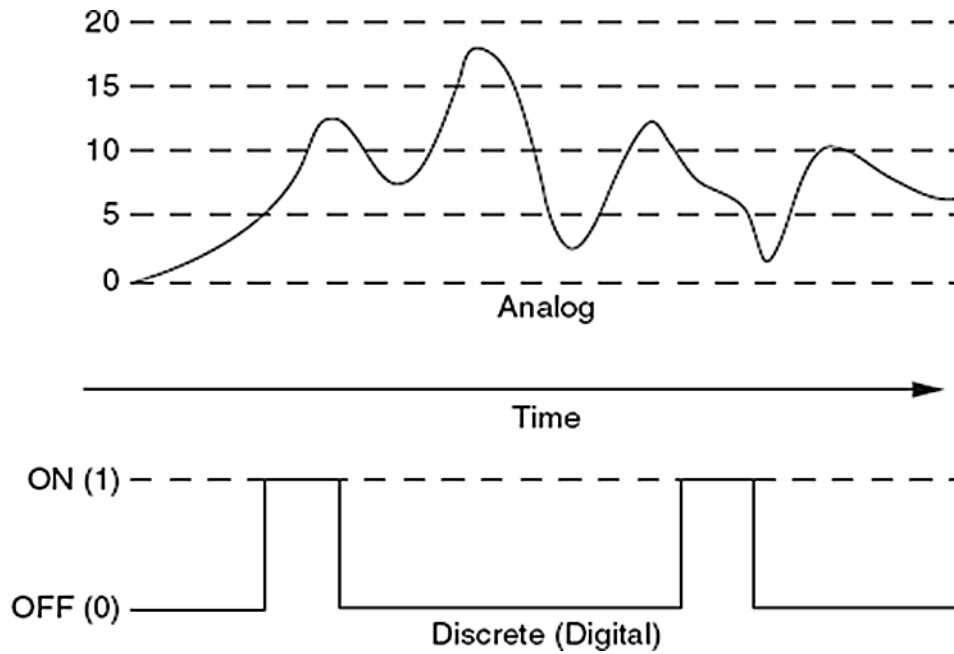
Son los interruptores, botones pulsadores y varios tipos de sensores, están conectadas a las entradas de un sistema. Las salidas pueden impulsar motores o válvulas solenoide apagándolos y encendiéndolos. Las E/S eléctricas típicas utilizan señales de corriente y bajo voltaje para entradas y salidas. Cuando un sistema está protegido contra efectos externos, como señales dentro de un controlador o en una placa de circuito, las señales de 5 VCC o menos son comunes. (Cordero, franco. 2013.)

2.1.6 *E/S de señales analógicas*

Las entradas y salidas analógicas generalmente toman la forma de cambios en el voltaje o la corriente. Las entradas analógicas pueden representar la posición de un dispositivo, la presión del aire, el peso de un objeto o cualquier otra propiedad física que pueda representarse numéricamente. La mayoría de los sistemas de medición utilizan entradas analógicas. Las salidas analógicas se pueden usar para controlar la velocidad de un motor, la temperatura de un horno y muchas otras propiedades. (Cordero, franco. 2013.)

Normalmente en las implementaciones para la industria los rangos más utilizados son por corriente de [0-20] mA o de [4-20] mA, mientras que el rango de voltajes es de [0-10] VCC. Se mantiene la percepción que el control por corrientes no es tan susceptible al ruido eléctrico y por ende es más estable; y el control de voltaje se puede usar en configuraciones de largas distancias a comparación de control de corriente.

Figura 2-1 Entradas y salidas analógicas y digitales

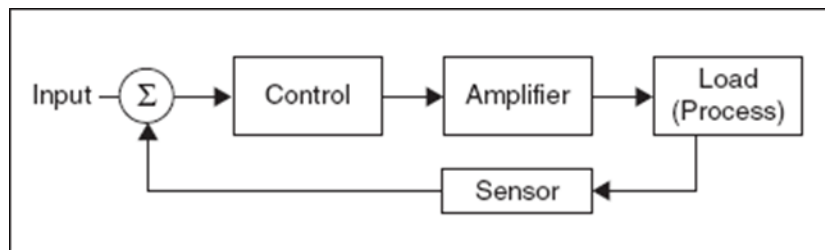


Fuente Cordero, franco.2013.

2.2.5 Control PID

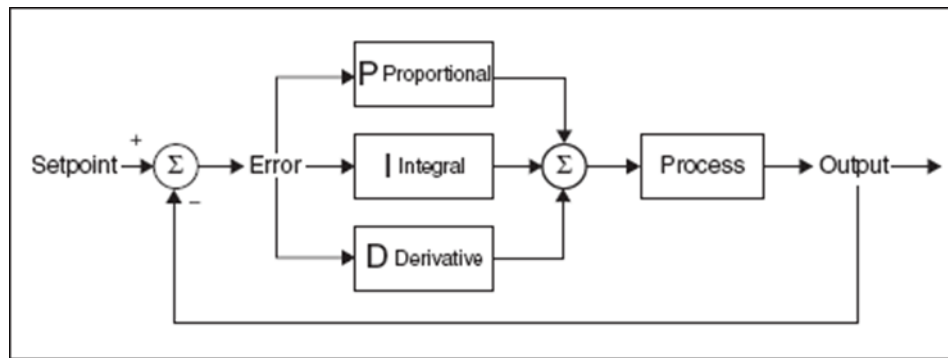
El control de un sistema de circuito cerrado a menudo se realiza con algoritmos de control o controladores PID. Un sistema de circuito cerrado toma retroalimentación de cualquier variable que se esté controlando, como la temperatura o la velocidad, y la usa para intentar mantener un punto de ajuste.

Figura 2-2 Lazo cerrado de control



Fuente: Cordero, franco. 2013

Figura 2-3 Diagrama de bloques PID



Fuente Cordero, franco. 2013.

Para cualquier error que deba compensarse, hay algún actuador o valor que debe controlarse para compensar el error. En el caso de la temperatura, puede ser una válvula proporcional que alimenta agua caliente a un sistema o gas a un quemador; para un motor, podría ser corriente para aumentar la velocidad o el par. El error actual dentro del sistema está íntimamente relacionado con la P o valor proporcional; en otras palabras, la variable se utiliza como compensación directa del error detectado. (Cordero, franco. 2013.)

Se podría pensar que sería suficiente simplemente usar el valor P para introducir constantemente una compensación en un proceso; si uno está tratando de mantener un recipiente con líquido a una temperatura constante, ¿por qué no se puede simplemente agregar calor hasta que el recipiente esté a la temperatura deseada y luego quitar el calor? La experiencia diría que la temperatura superaría el punto establecido o tardaría mucho tiempo en llegar allí. Existe la posibilidad de que queramos alcanzar el punto de consigna muy rápidamente, aumentando aún más el sobreimpulso. Aquí es donde se aplican las otras variables, los parámetros I y D. (Cordero, franco. 2013.)

Si la variable proporcional es el error actual, el valor integral o I puede considerarse como la acumulación de errores pasados, mientras que el valor derivado o D puede considerarse como una predicción de errores futuros. Estos valores se ven afectados por la tasa de cambio en el PV detectado y, si se aplican correctamente, pueden mejorar enormemente el control del proceso. Los parámetros I y D no siempre se utilizan en el proceso. A menudo se omite uno u otro, creando los términos control PI y PD. (Cordero, franco. 2013.)

2.2. Controlador lógico programable (PLC)

Un controlador lógico programable (PLC, por sus siglas en inglés) es una unidad informática basada en un microprocesador que tiene la capacidad de realizar diversas funciones de control, abarcando desde tareas simples hasta operaciones complejas. A principios de la década de 1970, se desarrolló el primer sistema PLC comercial con el objetivo de reemplazar los controles de relé con cableado utilizado en las grandes plantas de ensamblaje. Inicialmente, los PLC se emplearon en industrias como la automotriz, la aeroespacial y la química a gran escala. Sin embargo, en la actualidad, los PLC se utilizan en una amplia variedad de sectores, incluyendo la robótica, los sistemas de transporte, el control de la fabricación, el monitoreo de procesos, las plantas de energía eléctrica, el tratamiento de aguas residuales y las aplicaciones de seguridad. Este capítulo proporciona una introducción al mundo de los PLC, destacando su evolución a lo largo de los últimos cincuenta años y su posición dominante como la opción preferida para aplicaciones de automatización y control de procesos. (Kamel, Eman y Khaled Kamel. 2016)

Un PLC es un dispositivo que puede reemplazar los circuitos de relés secuenciales necesarios para el control de procesos. El PLC funciona muestreando sus entradas y, dependiendo de su estado, accionando sus salidas para lograr los cambios deseados en el sistema controlado. El usuario ingresa a un programa, generalmente a través de un software que permite que los sistemas de control logren los resultados deseados. Los programas generalmente se escriben en lógica de escalera, pero también están disponibles entornos de desarrollo de nivel superior. El estándar IEC 1131-3 (estándar global de la Comisión Electrotécnica Internacional para la programación de control industrial) ha intentado fusionar los lenguajes de programación de PLC bajo un estándar internacional. Ahora tenemos PLC que son programables en diagramas de bloques de funciones, listas de instrucciones, C y texto estructurado, ¡todo al mismo tiempo!

La amplia adopción de los controladores lógicos programables (PLC) es evidente en la mayoría de las aplicaciones industriales. La creciente competencia económica a nivel mundial ha impulsado a las empresas e organizaciones a invertir en el control y automatización de procesos digitales a través de los PLC. Diversas industrias, como el tratamiento de aguas residuales, la maquinaria, el empaquetado, la robótica, la manipulación de materiales y el ensamblaje automatizado, confían ampliamente en los PLC. Aquellas empresas que no aprovechan esta tecnología están desperdiciando recursos económicos, tiempo, calidad y competitividad. Prácticamente todas las aplicaciones que requieren control eléctrico, mecánico o hidráulico encuentran en el PLC una herramienta indispensable. (Kamel, Eman y Khaled Kamel. 2016)

2.2.1 *Arquitectura del PLC*

Un PLC típico consta principalmente de una CPU (unidad central de procesamiento), fuente de alimentación, memoria, módulo de comunicación y circuitos apropiados para manejar datos de E/S. Un PLC puede verse como una caja inteligente que tiene cientos o miles de relés, contadores, temporizadores y ubicaciones de almacenamiento de datos independientes. Estos contadores, temporizadores y relés no existen físicamente, pero son entidades internas simuladas por software. Los relés internos se simulan a través de ubicaciones de bits en registros de memoria. La ilustración 6 muestra un diagrama de bloques simplificado de una arquitectura de hardware de PLC genérica típica. (Kamel, Eman y Khaled Kamel. 2016)

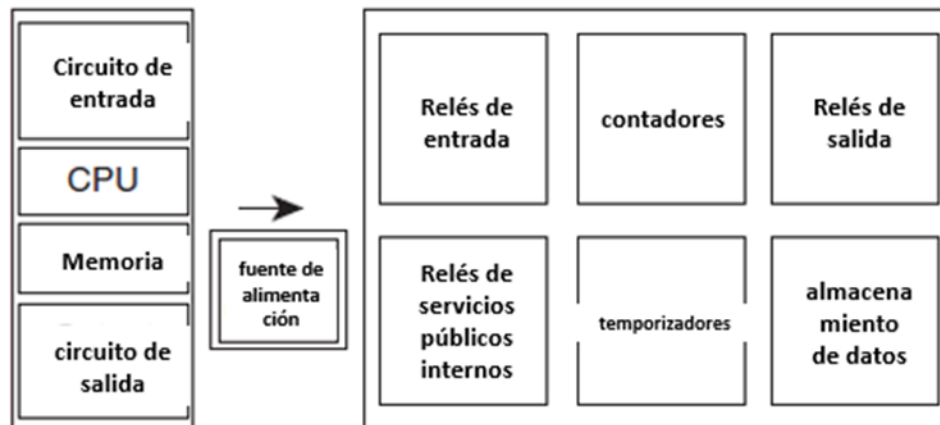
Los módulos de entrada de PLC generalmente se implementan utilizando transistores y existen físicamente. Reciben señales de interruptores y sensores externos a través de contactos. Estos módulos permiten que el PLC se conecte y obtenga una idea en tiempo real del estado del proceso. Los módulos de salida generalmente se implementan usando transistores y usan TRIAC para cambiar la energía conectada a la bobina de salida cuando el bit de referencia de salida es verdadero. Envían señales de ENCENDIDO/APAGADO a solenoides externos, luces, motores y otros dispositivos. Estos módulos permiten que el PLC interactúe y regule, en tiempo real, el proceso controlado. (Kamel, Eman y Khaled Kamel. 2016)

Los contadores son simulados por software y no existen físicamente. Se pueden programar para contar eventos/pulsos ascendentes, descendentes o ascendentes y descendentes. Estos contadores simulados tienen una velocidad de conteo limitada, pero son

adecuados para la mayoría de las aplicaciones en tiempo real. La mayoría de los proveedores de PLC proporcionan módulos de contadores de alta velocidad que están basados en hardware y pueden admitir eventos extremadamente rápidos. Los contadores típicos incluyen CONTADOR ARRIBA, CONTADOR ABAJO y CONTADORES ARRIBA/ABAJO. Los temporizadores también son simulados por software y no existen físicamente. Los tipos más comunes son los temporizadores ON-DELAY, OFF-DELAY y RETENTIVE. Los incrementos de tiempo varían, pero normalmente son mayores que milésimas de segundo. La gran mayoría de las aplicaciones de control de procesos hacen un uso extensivo de temporizadores y contadores en una variedad de formas y aplicaciones. (Kamel, Eman y Khaled Kamel. 2016)

El almacenamiento de datos es una memoria/registros de alta velocidad asignados simplemente para almacenar datos. Por lo general, se utilizan en matemáticas o manipulación de datos como almacenamiento temporal. También solían almacenar valores asociados con temporizadores, contadores, señales de E/S y parámetros de interfaz de usuario. Los búferes de comunicación y las tareas relacionadas con las redes y la interfaz de usuario también hacen uso del almacenamiento de alta velocidad. Por lo general, también se pueden usar para almacenar datos y programas cuando se desconecta la energía del PLC. Al encender, los mismos contenidos que existían antes de desconectar la alimentación seguirán estando disponibles. (Kamel, Eman y Khaled Kamel. 2016)

Figura 2-4 Arquitectura del PLC



Fuente: autor, 2023

2.3. Internet de las Cosas - IoT

El "Internet de las cosas" (IoT) es una frase que Kevin Ashton utilizó por primera vez en 1999 mientras trabajaba en el Media Center del MIT. Su intención era representar el concepto de computadoras y máquinas con sensores, que se conectan a Internet para informar el estado y aceptar comandos de control. El IoT, en realidad, existe desde hace mucho tiempo, pero no tenía nombre. Las comunicaciones de máquina a máquina (M2M) han existido durante muchas décadas, a menudo utilizando redes dedicadas que finalmente convergieron en Internet. IoT también se conoce con diferentes nombres, como Computación ubicua e Internet de todo. (Norris, Donald. 2015.)

2.3.1 Aplicaciones IoT

El uso de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) está adquiriendo cada vez más importancia en diversas áreas de aplicación, incluyendo la automatización de fábricas y

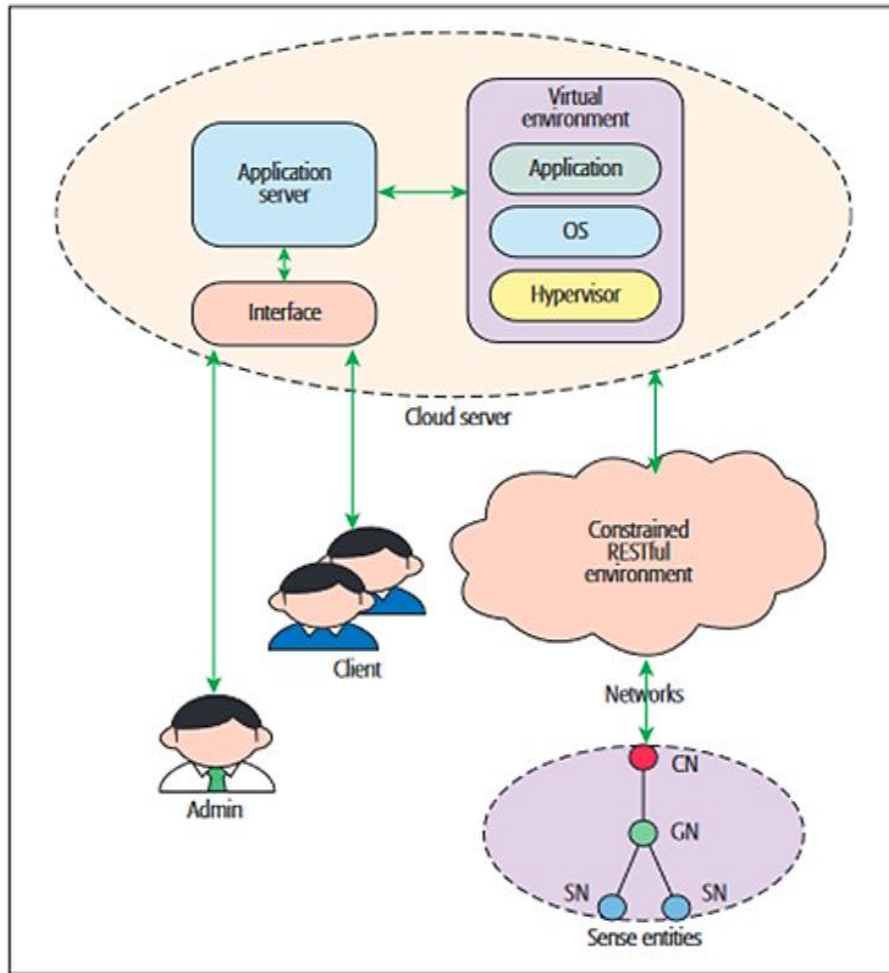
su implementación en la agricultura. La integración de plataformas inteligentes en las ciudades y el uso de sensores inteligentes han surgido como soluciones innovadoras para abordar los desafíos cotidianos. Un claro ejemplo de esto es el monitoreo de variables críticas en un pasteurizador de leche para la producción de suero costeño. Esta aplicación nos permite lograr una mayor eficiencia energética, garantizar la disponibilidad y mejorar la calidad del servicio. Mediante la combinación de objetos físicos que poseen capacidad de procesamiento y un nivel de inteligencia incorporado, así como medios de conexión a Internet, se crea un ecosistema que impulsa la interconectividad y mejora la funcionalidad de los objetos en sí mismos. (Norris, Donald. 2015.)

2.3.2 *Arquitecturas IoT*

La arquitectura de un sistema IoT es la descripción de las capas que la componen, la misma puede variar dependiendo del ámbito de aplicación del sistema, por lo cual existen una variedad amplia de dichas arquitecturas de referencia (Banu, 2017) (Cavalcante, 2015). En otras palabras, son elementos de un sistema que constituyentes que se pueden estructurar en la red y tecnologías de nube que funcionan en conjunto con los protocolos y estándares de seguridad de IoT estandarizados.

La arquitectura de IoT en su sistema puede ser desglosada en cuatro niveles: la capa de intercambio de datos, la capa de integración de información, la capa de detección de objetos y la capa de servicios de aplicaciones. (Cordero, franco. 2013.). Los dispositivos inteligentes ya pueden estar conectados a través de Internet convencional.

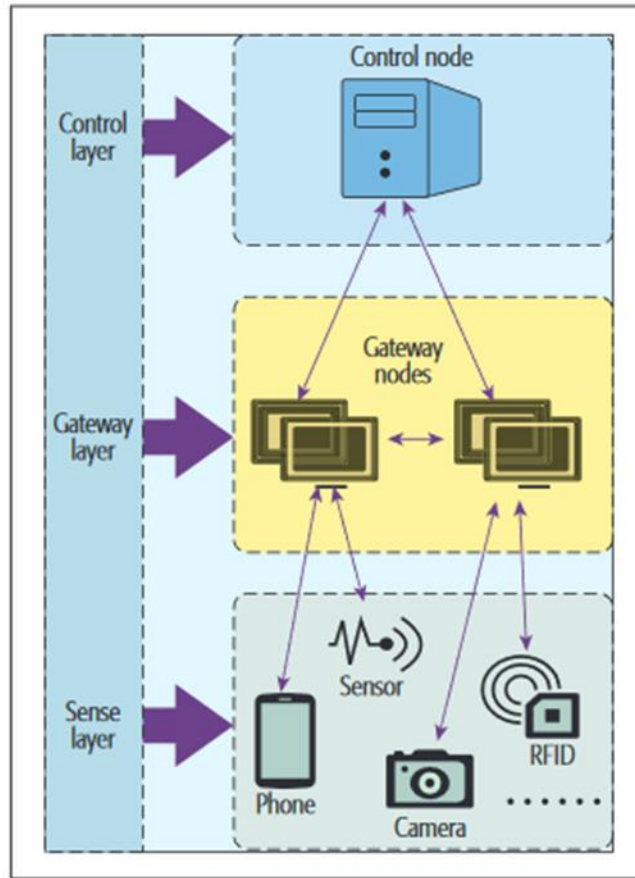
Figura 2-5 Arquitectura IIoT para sistema energético eficiente



Fuente: Wang (2016)

- IoT para consumo: se puede argumentar que es para uso cotidiano se emplea por domótica, por ejemplo asistentes de voz.
- IoT comercial: se encuentra habitualmente en el sector salud y también en la industria del transporte.

Figura 2-6 Arquitectura IoT de tres capas de módulos con dominio de medición



Fuente: Wang (2016)

- IoT militar (IoMT): este se utiliza en robots, en biométricos para monitorizar seguimientos de personas y objetivos militares de persecuciones, etc.

2.3.3 *Tecnologías de soporte en Software IoT*

En la década de 1980, el software de código abierto surgió como una alternativa revolucionaria, mucho antes de la aparición de las computadoras y las herramientas del Internet de las Cosas (IoT) que conocemos hoy en día. Este enfoque permitió el desarrollo y la compartición abierta de innovaciones sin la preocupación de enfrentar disputas legales que antes solían existir entre las empresas automovilísticas. En esencia, esta filosofía aceleró el ritmo de la innovación y aumentó la disponibilidad de estas nuevas tecnologías para el público en general. Avancemos hasta el año 2015: nos encontramos en un momento crucial de la historia de la humanidad, en el cual buscamos soluciones de código abierto para impulsar la innovación y la adopción del IoT. En este contexto, se reconoce la importancia de contar con plataformas y herramientas abiertas que fomenten la colaboración y el intercambio de ideas, con el objetivo de acelerar el desarrollo de soluciones IoT y hacerlas accesibles para una amplia gama de usuarios. (Campos, O. T. 2020).

Un ejemplo de software utilizado en el contexto del Internet de las Cosas (IoT) es el Protocolo de Transporte de Telemetría de Cola de Mensajes (MQTT). Este protocolo se emplea para la comunicación en entornos IoT y opera sobre el Protocolo de Control de Transporte. Desarrollado por IBM, MQTT se ha establecido como un método de comunicación eficiente y ligero para la interacción entre dispositivos (M2M). Utiliza cadenas de caracteres y ofrece soporte para la organización de temas de manera jerárquica. . (Campos, O. T. 2020).

2.3.4 Tecnologías de soporte en hardware IoT

El Internet de las Cosas (IoT) se refiere a la convergencia de dispositivos físicos que cuentan con capacidades de cómputo y cierto nivel de inteligencia incorporada en sí mismos. Estos objetos disponen de medios para establecer conexión a Internet, lo que les permite intercambiar datos y realizar diversas funciones de manera automatizada. (Campos, O. T. 2020).

Existen dispositivos que tienen la capacidad de interactuar con el entorno externo. Estos dispositivos son controlados por microcontroladores o microprocesadores programables. En el ámbito de la programación embebida, también encontramos dispositivos más compactos conocidos como controladores integrados (embedded controllers) de 8/16/32 bits System-On-Chip (SOC). Un ejemplo destacado de hardware de código abierto en esta categoría es Arduino. Por otro lado, las plataformas IoT más potentes son los sistemas completos de 32 y 64 bits, también llamados Single-Board-Computer (SBC). Estos sistemas, como Raspberry Pi o BeagleBone, tienen la capacidad de ejecutar diferentes sistemas operativos como Linux o Android, entre otros.

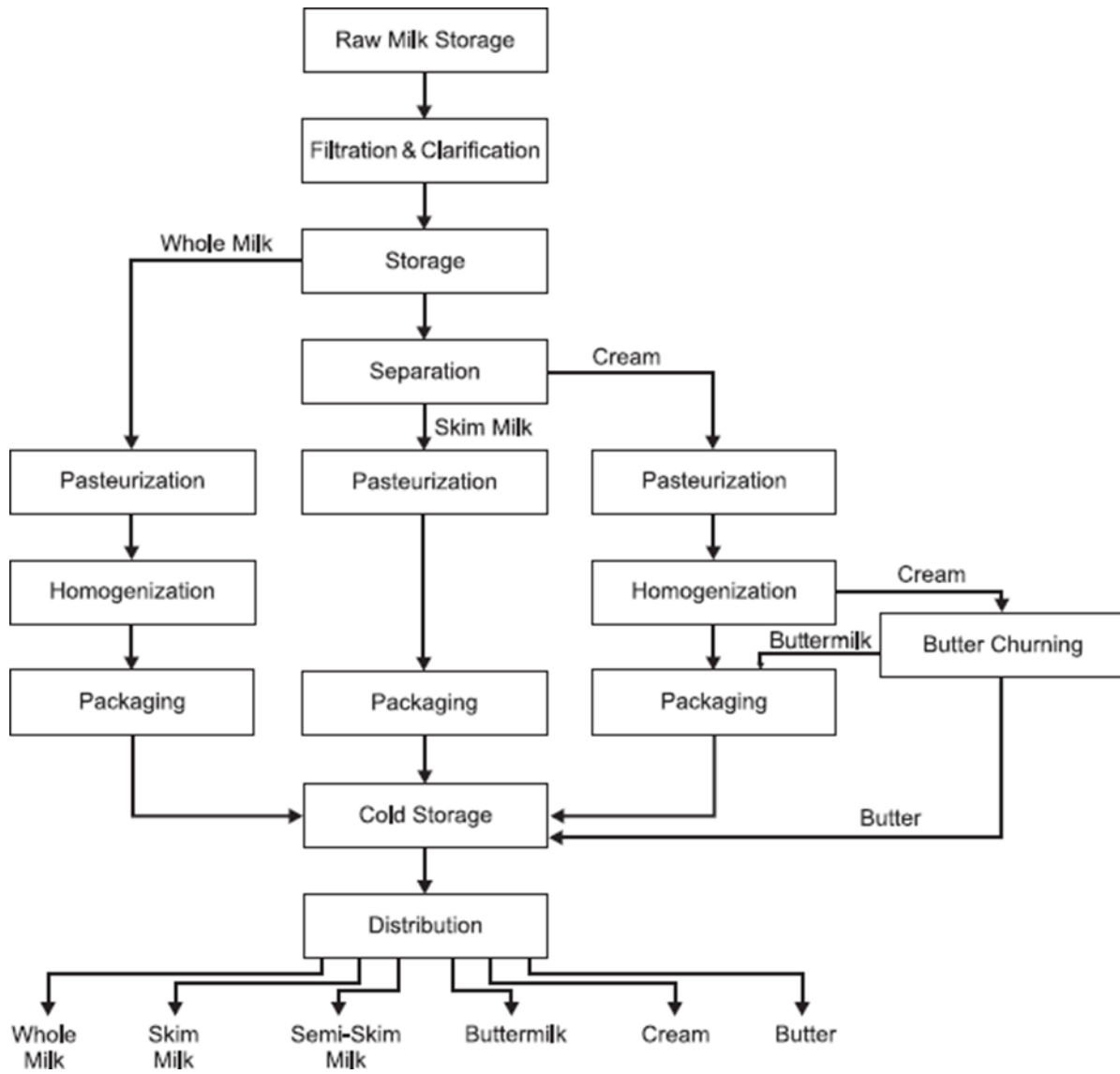
2.4. Pasteurización

La pasteurización es un proceso térmico aplicado a líquidos, como los alimentos, con el propósito de reducir la presencia de agentes patógenos como bacterias, protozoos, mohos y levaduras. (Mazo Muñetón, J. A. 2016)

La industria láctea es una parte importante de la industria alimentaria en su conjunto debido a que la leche es una fuente única de los elementos dietéticos primarios necesarios para el mantenimiento de una salud adecuada, especialmente en niños y grupos demográficos de mayor edad. La industria láctea está altamente regulada debido al hecho de que la leche podría ser un vehículo para la transmisión de enfermedades y, en el pasado, se ha asociado con brotes de enfermedades de gran importancia. (Agua, Nalco. 2018.)

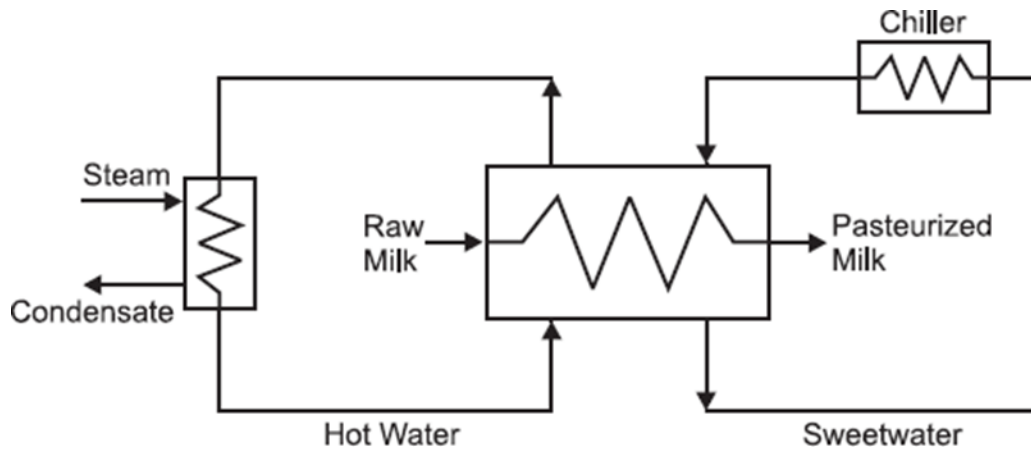
En las plantas de procesamiento de leche, el proceso de pasteurización es una operación básica y el paso de pretratamiento en la fabricación de todos los demás productos de tipo lácteo. El objetivo del proceso es eliminar los microorganismos patógenos; el intercambiador de calor de placas se usa más comúnmente para la pasteurización, donde la leche se calienta a 162 °F (72 °C) durante al menos 15 segundos y luego se enfría rápidamente con un refrigerante a 36 °F (2 °C). Para calentar la leche, se usa agua caliente entre 74 y 75 °C (165 y 167 °F). Esta agua es calentada por vapor en un calentador de agua caliente. En la sección de precalentamiento regenerativo, la leche fría sin tratar se bombea al pasteurizador donde esta leche entrante fría se precalienta con la leche pasteurizadora caliente. Esto reduce significativamente la temperatura de la leche pasteurizadora caliente de 8 a 9 °C (46 a 48 °F). Para alcanzar una temperatura de almacenamiento de la leche de 39 °F (4 °C), la leche se enfría aún más con agua fría, comúnmente conocida como agua dulce. (Agua, Nalco. 2018.)

Figura 2-7 Diagrama de bloques, procesamiento de leche.



Fuente (Agua, nalco.2018."La industria láctea").

Figura 2-8 Sistema típico de agua dulce en el proceso de pasteurización.



Fuente (Agua, nalco.2018."La industria láctea")

El circuito cerrado de agua dulce varía en el volumen del sistema, según el tamaño de la planta lechera, se puede construir con múltiples metalurgias, se llena con agua potable y tiene controles que aseguran que la presión en el lado del intercambiador que hace contacto con la leche sea más alta que el agua dulce para evitar la contaminación de la leche con agua dulce. Como todos los sistemas de enfriamiento de circuito cerrado, los sistemas de agua dulce deben tratarse para minimizar la corrosión y la actividad microbiológica. Si no se tratan, se ensuciarán y corroerán, lo que provocará una mala transferencia de calor. La corrosión y las incrustaciones tienen un impacto negativo tanto en la producción como en la seguridad de los alimentos, y pueden provocar fallas prematuras del equipo y paradas no programadas. (Agua, Nalco. 2018.)

2.5. Métodos de pasteurización láctea

A continuación, se presentan los principales métodos de pasteurización utilizados en la industria láctea para tratar la leche cruda. Estos métodos garantizan la seguridad alimentaria, prolongan la vida útil de la leche y preservan sus propiedades nutricionales. La pasteurización elimina microorganismos dañinos y enzimas no deseadas, mejorando la calidad organoléptica de la leche. Los diferentes métodos de pasteurización se adaptan a las necesidades de las plantas lácteas, asegurando productos seguros y de alta calidad. A continuación, se describen los principales métodos de pasteurización de la leche cruda de forma industrial:

2.5.1 *Pasteurización por VAT*

La pasteurización VAT, que proviene del término inglés "vat" que significa tina o tinaja, es conocida también como pasteurización lenta. Fue el primer método utilizado para la pasteurización, aunque con el avance de la industria alimentaria se han desarrollado sistemas más eficaces. Este proceso implica calentar grandes volúmenes de leche en un recipiente a una temperatura constante de 63 °C durante 30 minutos, seguido de un enfriamiento gradual. Después de este proceso, se requiere un período prolongado, a veces incluso más de 24 horas, antes de poder proceder con el envasado del producto.

2.5.2 *Pasteurización por HTST*

La pasteurización de flujo continuo, también conocida como HTST (High Temperature/Short Time), es un método térmico utilizado para reducir la cantidad de bacterias en ciertos alimentos. En este proceso, se aplica una temperatura alta durante un

breve período de tiempo. A diferencia del método de ultra alta temperatura (UHT), que utiliza temperaturas aún más altas, la pasteurización de flujo continuo expone el alimento a alrededor de 72 °C durante aproximadamente 15 segundos, aunque estos valores pueden variar según las regulaciones sanitarias de cada país.

En la industria alimentaria, se busca que grandes volúmenes de alimentos sean sometidos a altas temperaturas en un período de tiempo corto, sin interrumpir demasiado la cadena de procesamiento. Por esta razón, se utilizan técnicas de flujo continuo, donde el alimento líquido o de viscosidad adecuada pasa a través de intercambiadores de calor, lo que permite una automatización más eficiente del proceso. Se emplean calentadores con resistencias ohmicas, aunque actualmente se está investigando la posibilidad de utilizar microondas para calentar y enfriar los alimentos de manera más rápida. Es importante tener en cuenta las propiedades térmicas de los alimentos, como la conductividad y la capacidad calorífica.

2.5.3 *Pasteurización UHT*

La ultra pasteurización, también conocida como uperización, es un proceso térmico utilizado para reducir significativamente la cantidad de microorganismos presentes en alimentos como la leche o los zumos. Este proceso implica aplicar más calor durante un tiempo menor en comparación con la pasteurización tradicional. Mediante el método UHT (Ultra-High Temperature), se logra una esterilización comercial, destruyendo las formas de resistencia del microorganismo *Clostridium botulinum* pero permitiendo la presencia de microorganismos no patógenos. El proceso consiste en exponer la leche a una temperatura

entre 150 y 200 °C durante 5 a 8 segundos, seguido de un rápido enfriamiento. El resultado es un producto con una vida útil de seis a nueve meses antes de abrirlo.

La leche UHT ha sido ampliamente aceptada en Europa, donde la mayoría de los consumidores la consumen regularmente. Sin embargo, en el mercado norteamericano, los consumidores han mostrado desconfianza hacia los productos lácteos almacenados a temperatura ambiente, lo que ha dificultado su adopción. En países como España, donde los costos de refrigeración son altos, la leche UHT es la preferida. Por otro lado, en el norte de Europa, Escandinavia y Grecia, la leche fresca pasteurizada sigue siendo la opción más popular.

3. Desarrollo del proyecto

En primera medida, se procede a realizar la identificación de las condiciones eléctricas, mecánicas, electrónicas y de comunicación de la planta de procesamiento de leche ubicada en la Universidad Antonio Nariño de la ciudad de Cartagena, Colombia. Esto se lleva a cabo para determinar los puntos críticos de medición de temperatura, caracterizar los componentes y realizar las adecuaciones necesarias para su correcto funcionamiento. Una vez completada esta etapa, se procede a aplicar una arquitectura de Internet de las Cosas Industrial (IIoT) para diseñar un sistema de monitoreo de temperatura. La arquitectura se ajusta a las condiciones específicas encontradas en la planta de procesamiento. Finalmente, en este capítulo se describe la implementación del sistema de monitoreo de temperatura utilizando IIoT. Esto se logra mediante la selección, acople y configuración de los componentes de software y hardware disponibles, garantizando su integración eficiente en el entorno de la planta de procesamiento.

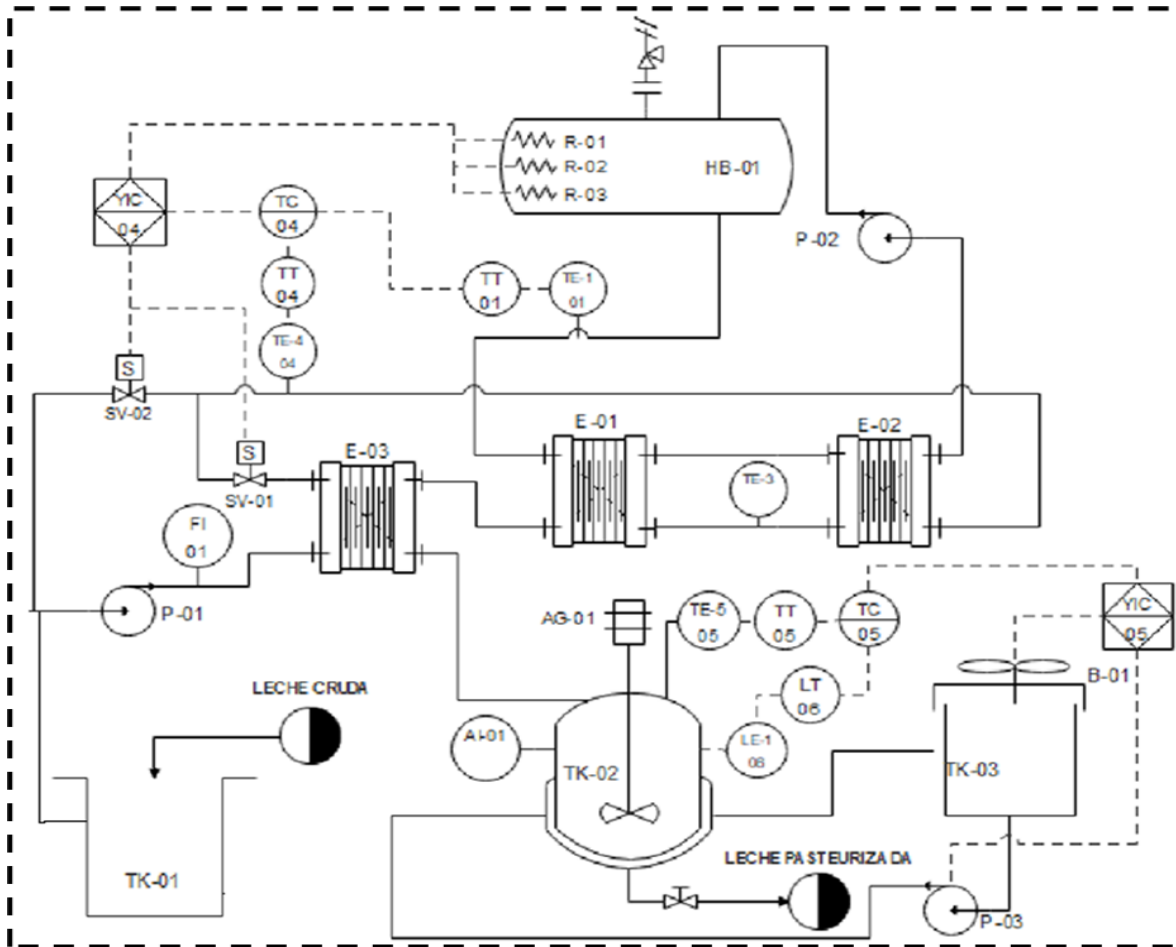
3.1. Identificación y corrección de las condiciones operativas de la planta procesadora

Es fundamental tener en cuenta la funcionalidad de la planta pasteurizadora y evaluar su estado, debido a que no se pone en operación muy frecuentemente. El presente proyecto de monitoreo de variables de temperatura implica entonces de la aplicación de un plan integral de mantenimiento correctivo basado en la verificación de las condiciones operativas encontradas. Para ello a continuación se realiza una inspección integral de la planta y el estado de cada equipo encontrado.

3.1.1 Componentes de la planta de procesamiento

Se lleva a cabo una inspección los componentes de control e instrumentación, incluyendo sensores, actuadores, transmisores, cableado, montaje, entre otros. La Figura 3-1 y Figura 3-2 muestra la conexión de los equipos, instrumentos y sistemas encontrados en forma de diagrama y una fotografía de la planta pasteurizadora intervenida.

Figura 3-1 Diagrama de instrumentación de la planta procesadora de leche



Fuente. Adaptado de (Iriarte - Orozco, 2019).

Figura 3-2 Mantenimiento correctivo planta pasteurizadora de leche



Fuente: Autor, 2023.

3.1.2 *Descripción de condiciones encontradas y acciones correctivas aplicadas.*

Es fundamental tener en cuenta la funcionalidad de la planta pasteurizadora y evaluar su estado, ya que no se trata de una planta de uso continuo. Durante la validación, se identificaron deficiencias en su operatividad. Algunas de estas deficiencias incluyen la falta de detectores de temperatura en ciertos equipos, bombas sanitarias para la leche que se encuentran obstruidas o con ruidos en el impulsor, desarmado de partes del proceso en los

tanques, intercambiadores de placas con fugas y empaques de tuberías dañados. Además, se detectó la ausencia de resistencias de calefacción en el tanque caldera.

Estas deficiencias representan un riesgo para el proceso de producción y la calidad de la leche procesada. Por lo tanto, es imprescindible abordar estas situaciones y realizar las reparaciones, reemplazos y ajustes necesarios para garantizar un funcionamiento óptimo de la planta y la integridad de los productos procesados.

Además, es importante establecer un plan de mantenimiento periódico y preventivo que incluya inspecciones regulares, limpieza y calibración de equipos, así como la implementación de sistemas de monitoreo continuo de variables clave. Esto permitirá identificar y abordar rápidamente cualquier anomalía o desviación en el proceso, evitando interrupciones en la producción y asegurando altos estándares de calidad en los productos finales.

En su estado actual, la planta pasteurizadora carece de la capacidad para medir variables críticas y monitorear el proceso, lo que impide su funcionamiento adecuado. Para solucionar esta situación, se adquirieron los repuestos necesarios y se aportó conocimiento para realizar mantenimientos correctivos en los instrumentos y equipos mencionados anteriormente. Estos mantenimientos incluyeron el desarme y armado de las volutas, ajustes de los impulsores de las bombas sanitarias de leche, limpieza e intercambio del intercambiador de placa, reemplazo de empaques en las tuberías y la interconexión de los tanques. También se instalaron las resistencias y se realizó una prueba de fugas, verificando que no quedara ninguna fuga en el sistema al colocarlo en modo manual. Además, se adquirieron tres TTH200 Transmisores de temperatura para su montaje en cabezales y se

instaló un controlador programable Siemens SIMATIC S7-1200. Todas las conexiones se realizaron y se dejó operativo el sistema en su totalidad.

Tabla 3-1 Equipos de almacenamiento

Equipo	Tag	Función	Estado	Acción correctiva
Tanque de almacenamiento 01	TK-01	Almacenamiento de leche cruda	No Conforme Sucio	Se realizó limpieza interna del tanque
Tanque de almacenamiento 02	TK-02	Almacenamiento de leche pasteurizada	No conforme sucio	Se realizó limpieza interna del tanque
Tanque de almacenamiento 03	TK-03	Almacenamiento de agua para enfriamiento de leche pasteurizada	No Conforme sucio	Se realizó la limpieza interna del tanque, se conectó el TK 03 a la bomba de agua.

Fuente: Adaptación de datos proyecto automatización de planta pasteurizadora.

3.1.3 Equipos de calentamiento

Son los equipos destinados a elevar la temperatura del agua de calentamiento y para elevar la temperatura de la leche ruda para su pasteurización.

Tabla 3-2 Evaluación del estado y acción correctiva sobre los intercambiadores de calor

Equipo	Tag	Función	Estado	Acción correctiva
Intercambiador 01	E-01	Intercambiador de placas planas, calentador de leche	No Conforme placas internas sucias	Desarme de intercambiador de placa para limpieza interna
Intercambiador 02	E-02	Intercambiador de placas planas de sostenimiento de calefacción.	No Conforme placas internas sucias	Desarme de intercambiador de placa para limpieza interna
Intercambiador 03	E-03	Intercambiador de placas planas, precalentador	No Conforme placas internas sucias	Desarme de intercambiador de placa para limpieza interna
Caldera	HB-01	Recipiente para el almacenamiento de agua de calentamiento.	No Conforme internas de caldera sucias con oxido	Se realizó desmonte para limpieza caldera y resistencias.

Fuente: Recopilación de datos proyecto automatización de planta pasteurizadora.

3.1.4 Sensores y transmisores

Sensores y transmisores ubicados en la planta se ocupan de la medición de variables y comunicación con el sistema de control PLC.

Tabla 3-3 Sensores

Equipo	Tag	Función	Estado	Acción correctiva
Sensor de temperatura 01	TE-01	Medición de temperatura del agua de calefacción	No Conforme extraviado	Compra e instalación
Sensor de temperatura 03	TE-03	Medición de temperatura de leche de leche pasteurizada en la salida E-01	No Conforme extraviado	Compra e instalación
Sensor de temperatura 04	TE-04	Medición de temperatura de leche pasteurizada en la salida E-02	No Conforme extraviado	Compra e instalación
Sensor de temperatura 05	TE-05	Medición de temperatura de TK-02	No Conforme extraviado	Compra e instalación
Sensor de nivel	LT-01	Medición de nivel del TK-02	Descalibrado o Sucio	Calibración y limpieza
Sensor de pH	AIT-01	Indicación de PH en el TK-02	Sensor de ph sin agua y sucio	limpieza

Fuente. tomado de (Iriarte - Orozco, 2019).

3.1.5 Actuadores

Los actuadores presentes en la planta permiten el transporte de los fluidos a través de las tuberías, su calentamiento, agitación, y direccionamiento hacia distintas etapas de la planta.

Tabla 3-4 Actuadores.

Equipo	Tag	Función	Estado	Acción correctiva
Bomba 01	P-01	Transporte de la leche cruda	No Conforme Impulsor pegado con ruido	Desarmado ajuste de impulsor y limpieza armado.
Bomba 02	P-02	Recirculación de agua caliente	No Conforme Impulsor pegado con ruido	
Bomba 03	P-03	Recirculación del agua	No Conforme Impulsor pegado con ruido	
Válvula solenoide 01	SV-01	Direccionar leche hacia tanque	No Conforme válvula con fuga, sueltas y sucias	Ajustes y limpieza de equipo
Válvula solenoide 02	SV-02	Direccionar leche hacia tanque pasteurizador	No Conforme válvula con fuga, sueltas y sucias	
Resistencias de calentamiento	R-01 R-02 R-03	Calefacción de agua en caldera	No Conforme seltas y sucias de oxido	
Agitador	AG-01	Homogenizado de leche en pasteurizador	Equipo no intervenido	N/A
Blower	B-01	Extractor de calor del agua de enfriamiento	Equipo no intervenido	
Válvula proporcional	FCV-01	Control de flujo de leche a tren	Equipo no intervenido en buen estado	

Fuente. tomado de (Iriarte - Orozco, 2019).

En el estado actual de la planta pasteurizadora, resulta inapropiado obtener las variables críticas del proceso para su posterior monitoreo. Con el fin de poner en funcionamiento la planta pasteurizadora, se trabajó en colaboración con los estudiantes Cesar Junieles y Elkin López en el proyecto de automatización. Este trabajo conjunto permitió adquirir los repuestos faltantes y brindar conocimientos para llevar a cabo los mantenimientos correctivos de los instrumentos y equipos mencionados anteriormente.

Dentro de los trabajos de mantenimiento, se desmontaron y ajustaron las volutas y los impulsores de las bombas sanitarias de leche, se desmontó y limpió el intercambiador de placas, se reemplazaron los empaques de ajuste de las tuberías, se interconectaron los tanques, se instalaron las resistencias y se realizó una prueba de fugas al colocar el sistema en modo manual para verificar que no haya fugas en el sistema. Estas acciones formaron parte del proceso de mantenimiento necesario para poner en funcionamiento óptimo la planta pasteurizadora.

3.1.6 Requerimientos de control y monitoreo de temperatura

Siendo la temperatura la variable principal de la planta de pasteurización se exponen a continuación los puntos críticos donde se requiere monitorear y controlar esta variable, la tabla 5 describe el punto de medición, las etiquetas, los rangos operativos, set-Point, y el tipo de variable que representa en la planta.

Tabla 3-5 Puntos críticos para monitoreo de temperatura con IIoT.

Punto de medición	Rango operativo	Set-Point	Tipo de variables
Caldera de agua caliente	(80 -100) °C	90 °C	Manipulada
Intercambiador de sostenimiento	(70 – 85) °C	78 °C	Controlada
Salida de leche del intercambiador de sostenimiento	(65 – 77) °C	73 °C	Medida
Tanque de almacenamiento de leche pasteurizada	(20 – 35) °C	25 °C	Medida

Fuente. tomado de (Iriarte - Orozco, 2019).

3.1.7 Especificaciones técnicas e ingenieriles

Se describen las principales características operacionales y de funcionamiento de los equipos asociados en la planta pasteurizadora de leche en la tabla 6.

Tabla 3-6 Características de equipos

Equipo	Tag	Descripción
Caldera	HB-01	Calentador de agua caliente hasta 110 °C
Intercambiador de regeneración	E-03	Área de transferencia de 3,9 m ²
Intercambiador de calefacción	E-01	Área de transferencia de 4,9 m ²
Intercambiador de retención	E-02	Área de transferencia de 5,9 m ²
Tanque para leche cruda	TK-01	Tanque cilíndrico de 40 L

Tanque para leche pasteurizada	TK-02	Tanque cilíndrico de 40L
Bomba para leche cruda	P-01	Bomba de 1HP con 30L/min
Bomba para agua caliente	P-02	Bomba de 1HP con 30L/min
Transductor de nivel del tanque para leche pasteurizada	LT-01	Transductor de presión de (0 – 300) inH ₂ O

Fuente. tomado de (Iriarte - Orozco, 2019).

3.2. Aplicación de una arquitectura de IIoT

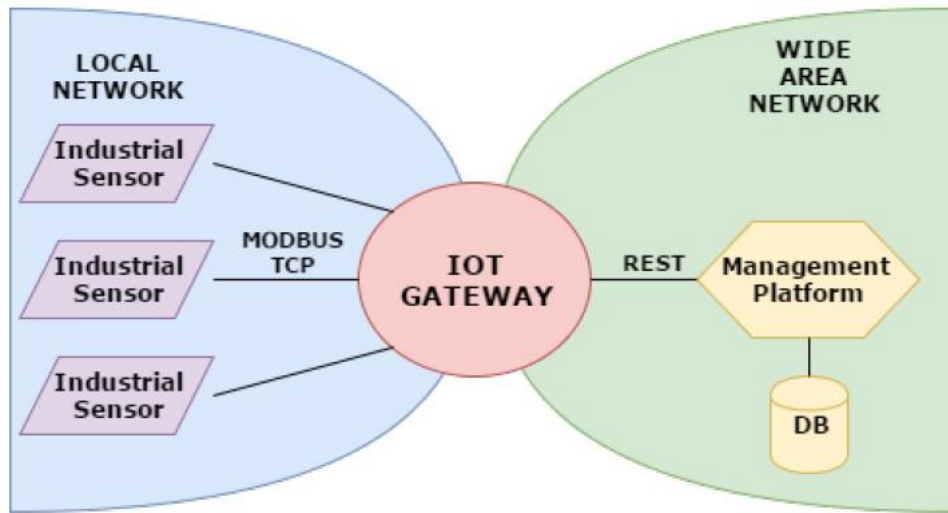
Esta sección contiene el proceso de aplicación una arquitectura de IIoT para el diseño del sistema de monitoreo de temperatura del proceso ejecutado por la planta de pasteurización de leche cruda ajustando sus capas a las condiciones de la planta de procesamiento. Según la arquitectura de referencia para el Internet Industrial de las Cosas (IIoT) propuesta por (Consortio Industrial de Internet, 2017), el sistema IIoT consta de cinco dominios funcionales: control, operación, información, aplicación y comercial. El dominio de control engloba las funciones realizadas por los sistemas de control industrial, como la detección y la actuación. El dominio de operación se encarga de las tareas de monitoreo y optimización del sistema. El dominio de información se ocupa de la gestión y almacenamiento de los datos recopilados por los diferentes dominios. El dominio de aplicación permite la interacción del sistema con personas o aplicaciones. Por último, el dominio comercial respalda los procesos y actividades comerciales, como la gestión de relaciones con los clientes (CRM) y los sistemas de ejecución de fabricación (MES).

Esta arquitectura se simplifica uniendo el dominio de control y operación, y dejando por fuera el dominio comercial, se presenta en la figura 3-1. Está compuesta de tres capas: capa de recolección de datos local, capa de interfaz y capa de sistemas en la nube. La primera capa es la red local, que engloba todos los elementos encargados de recopilar los datos dentro de la planta pasteurizadora de leche. Esta capa incluye sensores de temperatura industriales, transductores de señal para el protocolo 4-20mA con el que funcionan los controladores PLC y líneas de transmisión compatibles con el gateway industrial.

La segunda capa se encarga de la gestión de los sensores industriales, la lectura de datos, el almacenamiento local y el control del proceso del sistema *IIoT*. En esta capa se integran tanto el hardware como el software que interactúan con los protocolos utilizados en la siguiente capa. En resumen, se requiere de elementos que sean capaces de establecer una conexión física a internet y establecer un enlace con el servicio de administración y la base de datos en la nube.

Por último, la tercera capa consiste principalmente en componentes de software esenciales para el servicio de administración de datos en la nube. Esto incluye una base de datos, una plataforma de administración de información y un servicio Frontend para interactuar con el usuario. Estos elementos trabajan en conjunto para proporcionar una gestión eficiente de los datos recopilados y ofrecer una interfaz de usuario intuitiva para acceder a la información desde cualquier ubicación.

Figura 3-3 Arquitectura de IIoT

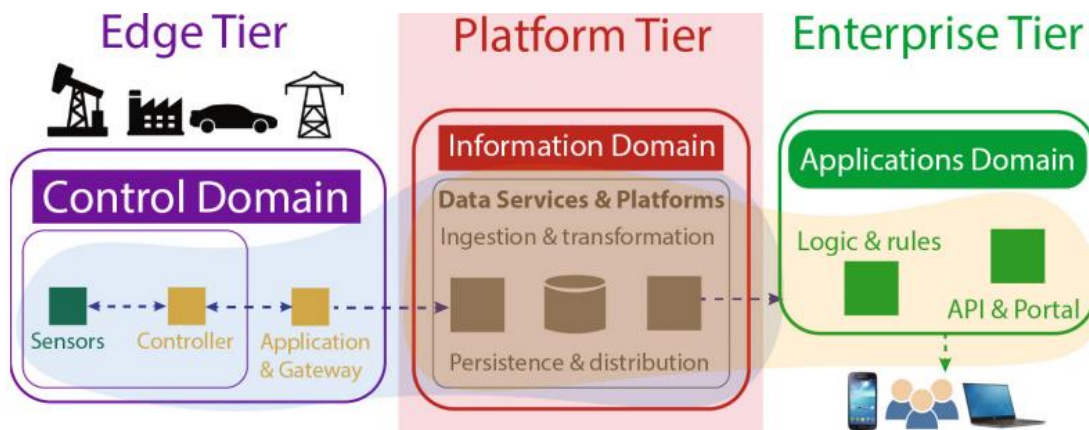


Fuente: *Industrial Internet Consortium (2017)*

3.2.1 Especificación de componentes en los tres dominios de la arquitectura IIoT

El sistema se conforma una arquitectura propuesta para sistemas de Internet de las Cosas operables dentro de sistemas industriales, el cual está conformado de cinco capas las cuales se han adaptado en solo tres dominios para la aplicación de este proyecto.

Figura 3-4 Dominios del sistema IIoT aplicado: control, información y aplicación.



Fuente: (Porto, 2020)

De esta forma el sistema *IIoT* desarrollado comprende de tres dominios prácticos: control, información y aplicación (ver

Figura 3-4):

- El dominio de control son el conjunto de instrumentos de hardware y software encargados de controlar el proceso en la planta de pasteurización, entre estas están detección de señales de temperatura, actuación y administración de dispositivos que sea parte de la red de elementos locales.
- El dominio de información se fundamenta recibir y enrutar los datos del dominio de control, normalmente una base de datos, dependiendo del diseño y aplicativos del sistema para enviarlos al siguiente dominio.
- El dominio de aplicación recibe los datos, los almacena, administra y visualiza. Consiente en la intercomunicación del sistema de monitoreo con un usuario o aplicación (API), el cual, de forma práctica, se puede monitorear y visualizar un sistema.

3.3. Componentes para la implementación del sistema IIoT

Después de haber distinguido las capas necesarias para estructurar el sistema IIoT, se procede a la selección de los dispositivos idóneos, para cada una de los dominios presentados. Para ello se realizó una revisión de los dispositivos y servicios disponibles en el mercado tecnológico, que cumplieran las exigencias industriales de la planta procesadora y compatibles con un sistema IIoT. En la Tabla 3-7 y Tabla 3-8 se muestran dichos componentes seleccionados para el dominio de control, información y de la aplicación del

sistema de monitoreo de temperatura, de donde se destaca la necesidad de reemplazar el PLC S7-300 encontrado en la planta por no contar con puerto de comunicación Ethernet TCP/IP necesario para las conexiones de red. Por otro lado, el tipo de transductor y transmisor de temperatura encontrados en la planta pasteurizadora de leche son los adecuados para el sistema de monitoreo debido a su compatibilidad con el paradigma IIoT y normas industriales. Como elemento intermedio entre el dominio del control y de la información está la tarjeta Raspberry Pi4B, la cual, aunque está diseñada para aplicaciones domésticas sirve para implementar la prueba del concepto aquí planteado.

Tabla 3-7 Descripción de componentes seleccionados dominio del control

Componente	Características	Criterios de selección
Transductor de temperatura ABB con RTD PT-100 (Hardware)	100Ω @ T=0 °C Rango 0-200°C IEC 751	Rango de medición y protocolo de comunicación compatible con requerido en el proceso.
Transmisor de temperatura TTH200 (Hardware)	Entrada de sensor universal: RTD, termopar, Ω, mV 4 a 20 mA, HART 5 y HART 7 (conmutable) Precisión 0,1 %, estabilidad 0,05 % / año	Para aplicaciones estándar HART en medición de temperatura con una entrada de sensor. El transmisor sigue las recomendaciones NAMUR como NE 89 y NE 107.

<p>PLC SIMATIC S7- 1200 (Hardware)</p>	<p>Voltaje Alimentación: 24VDC Corriente de entrada: 400mA Corriente de Salida: 1000mA Memoria integrada: 75kbytes Memoria de carga: 2Mbytes Entradas digitales: 8 (6 HSC) @ 24VDC Salidas digitales: 6 (4 HSC) @ 24VDC Entradas Análogas: 2 @ 0-10VDC</p>	<p>Compatible con Interfaz Industrial Ethernet/PROFINET integrada y características de control suficientes para el proceso de la planta pasteurizadora.</p>
<p>Switches Ethernet Stratix® 2000 Bulletin 1783 (Hardware)</p>	<p>Alimentación eléctrica de 20 VCA o 24 VCC IP20 a IP30 Temperatura de operación: -10 °C a 60 °C (14 °F a 140 °F).</p>	<p>Solución compacta y de bajo costo ideales para redes pequeñas de control en aplicaciones industriales</p>
<p>TIA Portal V13 (Software)</p>	<p>TIA Portal permite la programación de PLC. Además, incluye funciones como conectar a la nube TIA Portal, Simular el funcionamiento de la comunicación y servidor web del PLC, entre otras.</p>	<p>Compatible con PLC SIMATIC S7-1200</p>

<p>Raspberry Pi 4B (Hardware)</p>	<p>Procesador: ARM Cortex-A72 Frecuencia de reloj: 1,5 GHz GPU: VideoCore VI (con soporte para OpenGL ES 3.x) Memoria: 1 GB / 2 GB / 4 GB LPDDR4 SDRAM Conectividad: Bluetooth 5.0, Wi-Fi 802.11ac, Gigabit Ethernet Puertos: GPIO 40 pines 2 x micro HDMI 2 x USB 2.0 2 x USB 3.0 CSI (cámara Raspberry Pi) DSI (pantalla tácil) Micro SD Conector de audio jack USB-C (alimentación)</p>	<p>Seleccionado como Gateway entre PLC y Base de datos en la nube.</p>
---	--	--

Fuente: Autor 2023

Tabla 3-8 Descripción de componentes seleccionados dominio de la información

Capa	Elemento	Características	Criterios de selección
Dominio de Información	phpMyAdm in + MySQL (Software)	<p>Interfaz web intuitiva</p> <p>Soporta la mayoría de las características de MySQL:</p> <p>Examinar y eliminar bases de datos, tablas, vistas, campos e índices</p> <p>Crear, copiar, eliminar, cambiar el nombre y alterar bases de datos, tablas, campos e índices</p> <p>Mantenimiento del servidor, bases de datos y tablas, con propuestas sobre la configuración del servidor</p> <p>Gestionar procedimientos almacenados y disparadores</p>	<p>Node-Red es una programación basada en flujo, para conectar dispositivos de hardware, API y servicios en línea como parte de la Internet de las cosas.</p> <p>MySQL, dentro del apartado Bases de datos a la que quieres acceder. Se abrirá una ventana emergente accediendo a la interfaz de PHPMyAdmin de la base de datos y la programación basada en flujo</p>

	Google Cloud	2 vCPU + 4GB Disco persistente balanceado de 10GB	Máquina virtual de interfaz
Dominio de Aplicación	GRAFANA (Software en la nube o local)	Se conecta con MySQL Solución de código abierto Permite el análisis de series de tiempo Rastrear el comportamiento del usuario y de la aplicación Permite implementación local o en la nube Opciones de visualización: mapas geográficos, mapas de calor, etc. Es posible configurar alertas por correo electrónico o SMS.	Este es una multiplataforma sin ninguna dependencia y también se puede implementar con Docker. Está escrito en lenguaje Go y tiene un HTTP API completo.

Fuente: Autor, (2023)

3.4. Función de los componentes seleccionados dentro del sistema IIoT

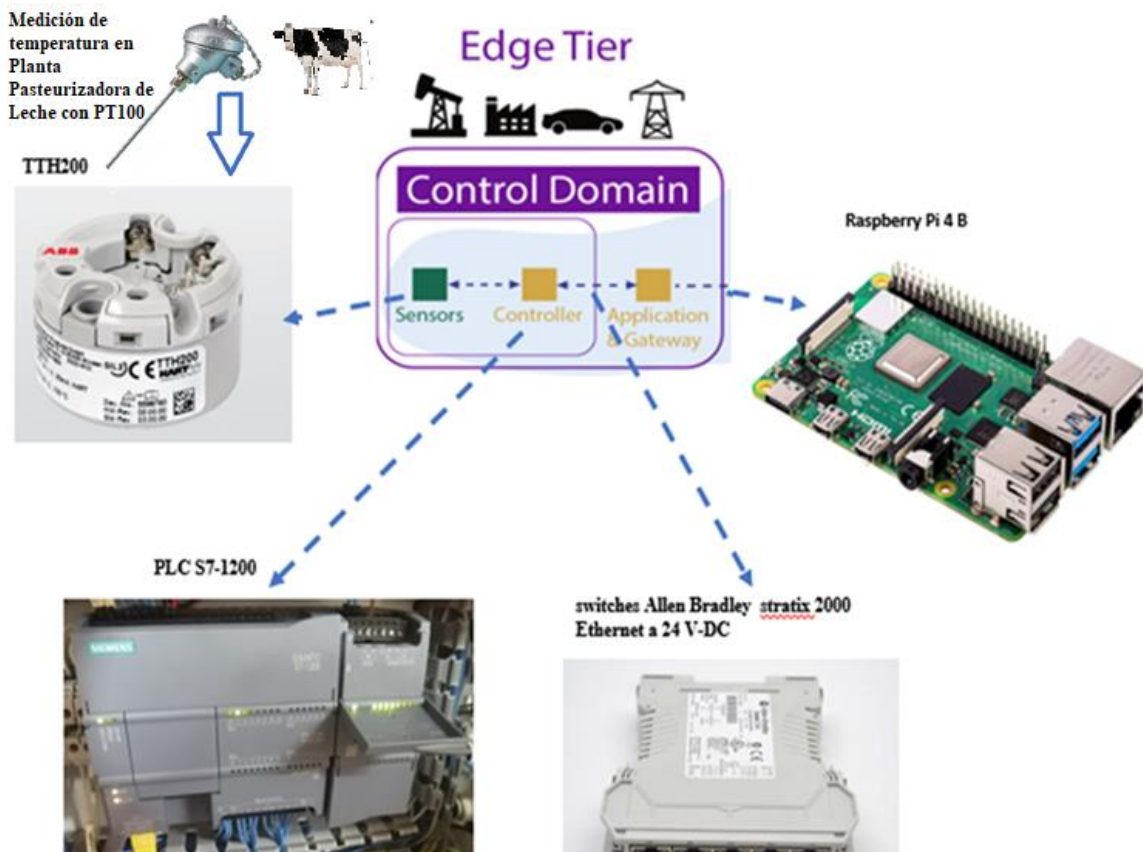
El desarrollo del sistema de monitoreo en curso ha comprendido hasta el momento el estudio de arquitecturas IIoT, su adaptación a las necesidades de la planta pasteurizadora de leche, la selección de componentes de hardware y software para implementarla. En este proyecto la planta consta de sensores industriales de temperatura PT100 conectados a un transmisor con protocolo 4-20mA, cuya señal es muestreada por un controlador industrial PLC S7 – 1200. Gracias al puerto ethernet del controlador se puede interconectar por TCP/IP con la tarjeta Raspberry Pi 4B que funciona como un Gateway IoT, que sirve como interfaz o intermediario entre la red local administrada por el PLC y la infraestructura de datos en nube, utiliza un protocolo de comunicación en hardware (Ethernet) y uno en software (Direccionamiento IP). La Raspberry Pi4B sirve como plataforma local de ejecución de phpMyAdmin para la administración de MySQL alojado en una máquina virtual (VM) de Google Cloud, para finalmente enviar la información a la plataforma de gestión de información en la nube GRAFANA, la cual permite visualizar los datos recopilados a través de tablas y gráficos que proporcionan un panel de control unificado para el proceso.

En esta sección, se proporcionará una descripción detallada de la función de los componentes de hardware y software en los diferentes dominios de la arquitectura IIoT adaptada para el sistema de monitoreo de temperatura del proceso de pasteurización de leche en la planta procesadora que se está estudiando. Se abordará primero el dominio de control, seguido del dominio de información y, finalmente, el dominio de la aplicación.

3.4.1 Función de componentes en Dominio del Control

El proceso de pasteurización de la leche se realiza bajo la técnica "alta temperatura/corto lapso de tiempo" o HTST (acrónimo del inglés High Temperature/Short Time), es decir de flujo continuo. En este punto de la planta de procesamiento un líquido inocuo (normalmente agua) atraviesa los intercambiadores de calor y transfiere energía térmica a la leche cruda, incrementando su temperatura en un rango de 72°C – 76°C por un lapso de tiempo de 15 a 17 segundos, luego se baja su temperatura de forma repentina mediante ventiladores.

Figura 3-5 Componentes del dominio de control de la arquitectura IIoT.



Fuente: Autor, 2023.

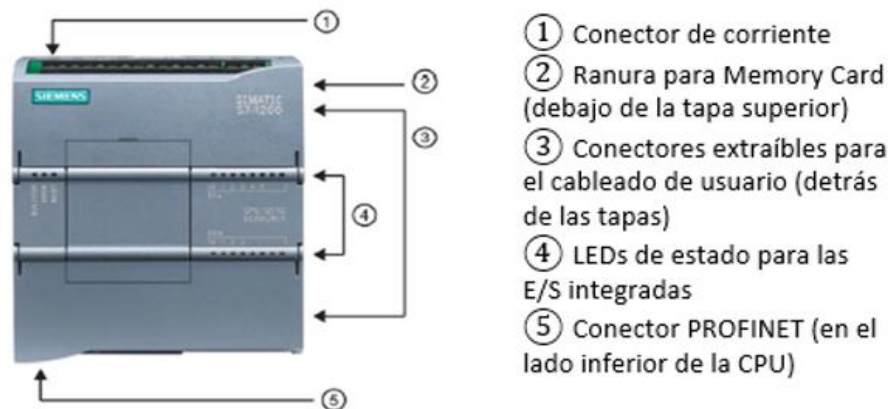
Como puede observar en la en la Figura 3-5, el dominio de control se encuentra en la capa de recolección de datos local en el que se realiza el muestreo de los valores de temperatura que se establecen diferentes puntos de medición con sus respectivos rangos operativos, set-points y tipos de variables. Estos puntos se especificaron en la Tabla 3-5 y es pertinente exponerlos nuevamente a continuación: en la caldera de agua caliente, el rango operativo es de (80 - 100) °C, con un set-point de 90 °C, y la variable es manipulada. En el intercambiador de sostenimiento, el rango operativo es de (70 - 85) °C, con un set-point de 78 °C, y la variable es controlada. Para la salida de leche del intercambiador de sostenimiento, el rango operativo es de (65 - 77) °C, con un set-point de 73 °C, y la variable es medida. Por último, en el tanque de almacenamiento de leche pasteurizada, el rango operativo es de (20 - 35) °C, con un set-point de 25 °C, y la variable es medida. Estos puntos críticos son medidos por un transductor industrial RTD PT-100 con rango de temperatura de 0-200°C y la señal es interpretada y transformada por un transmisor de temperatura TTH200 marca ABB al estándar industrial en el rango 4 – 20 mA. Con estos elementos inicia el sistema de monitoreo IIoT, que se prevé beneficioso para asegurar un adecuado control y seguimiento de la temperatura en el proceso de pasteurización de la leche.

Es importante tener en cuenta que cualquier desviación de los niveles de temperatura mencionados, ya sea por encima o por debajo de los rangos establecidos, o durante períodos de tiempo no especificados, puede tener consecuencias significativas en la calidad de la leche. Esto se debe a que el alimento es susceptible de experimentar alteraciones en sus características microbiológicas, físico-químicas y organolépticas, así como en su valor nutritivo. Si la temperatura se mantiene fuera de los límites recomendados, puede favorecer el crecimiento de microorganismos no deseados, lo que resulta en la proliferación de

bacterias u otros patógenos. Esto puede afectar la seguridad alimentaria y provocar la presencia de sustancias indeseables que comprometan la salubridad y calidad de la leche.

Además, las propiedades físico-químicas de la leche, como su acidez, capacidad de coagulación y estabilidad, pueden alterarse significativamente si se somete a temperaturas inapropiadas. Esto puede afectar su procesamiento posterior y la calidad de los productos lácteos derivados. Por último, el valor organoléptico de la leche, que incluye características como el sabor, el olor y la textura, puede deteriorarse si se somete a condiciones de temperatura incorrectas. Esto afectaría negativamente la aceptación y preferencia del consumidor hacia los productos lácteos. Por lo tanto, es esencial mantener un estricto control de la temperatura durante el proceso de pasteurización de la leche, siguiendo los rangos establecidos y los tiempos especificados, con el fin de preservar su calidad, seguridad y valor nutricional.

Figura 3-6 PLC *SIMATIC S7-1200* como Controlador



Fuente: manual de usuario SIMATIC S7-1200 (2018).

Continuando con la estructura del sistema de monitoreo IIoT de temperatura, está el controlador *SIMATIC S7-1200* (ver Figura 3-6), que es un PLC que proporciona la flexibilidad y potencia necesarias para controlar una amplia gama de aplicaciones de automatización dentro de la planta pasteurizadora. El controlador combina un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, circuitos de entrada y salida, así como capacidades de Motion Control a alta velocidad. Una vez que la programación de sus funciones específicas se ha cargado en la CPU del controlador (las cuales se mostrarán más adelante), inicia la supervisión de la temperatura y el control de los actuadores como bombas, resistencias de calor, entre otros. Esto implica la vigilancia de las entradas y el cambio de estado de las salidas de acuerdo con la lógica del programa.

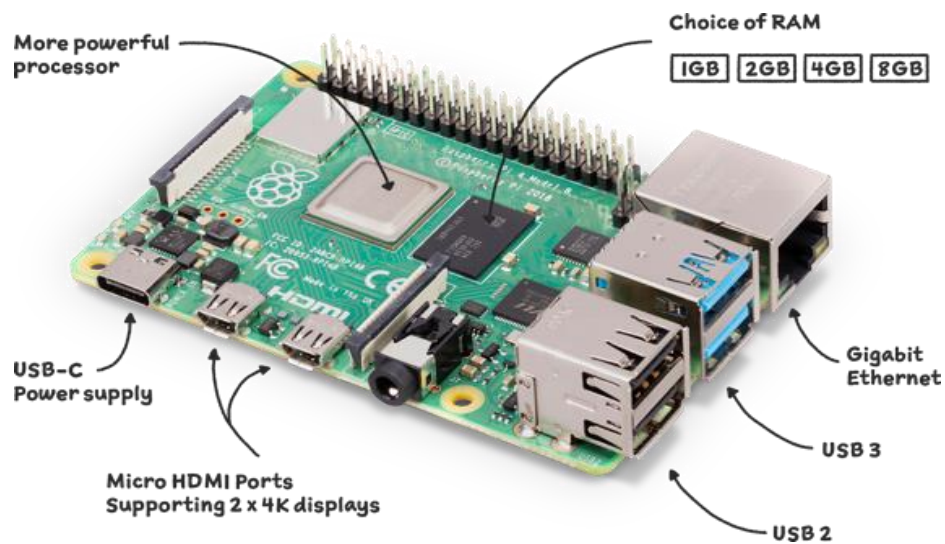
Figura 3-7 Switch Ethernet Stratix® 2000 para la red industrial local en la planta.



Fuente: Rockwell Automation, (2023).

En el diseño del sistema IIoT se continua el Gateway, al cual, el controlador puede acceder a través de un puerto RJ – 45 con PROFINET (Process Field Network), que es un protocolo de comunicación Ethernet industrial basado en estándares abiertos TCP/IP e IT. Esto permite la creación de una red con PROFINET para la que se requiere el Switch Ethernet Stratix® 2000 Bulletin 1783 de Allen Bradley (ver Figura 3-7) el cual no requiere de configuraciones adicionales para su funcionamiento, más que una fuente de 24 Vdc o 20 Vac, y cables ethernet con conectores machos RJ-45 para conectar el PLC con el Gateway.

Figura 3-8 Raspberry Pi 4B como Gateway

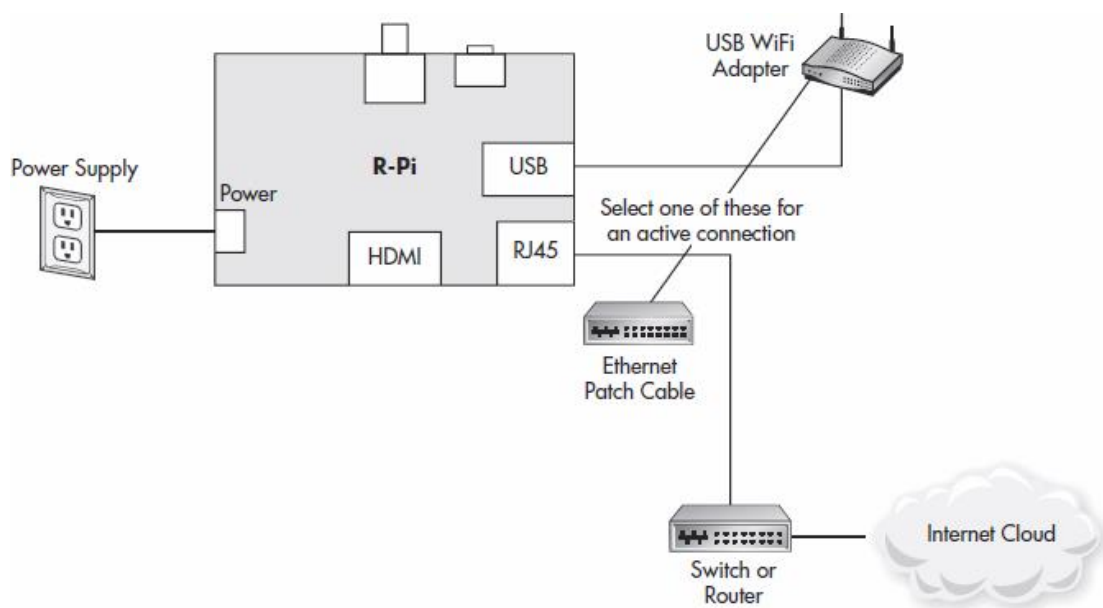


Fuente: web oficial de la Raspberry Pi Foundation (2023).

Como último componente de la capa de recolección de datos implementada como dominio de control está en Gateway, el cual para este sistema IIoT desarrollado es la tarjeta Raspberry Pi 4B mostrada en la Figura 3-8 el cual puede utilizar teclado y mouse por conexión USB 2.0 o 3.0 y una pantalla por medio de un puerto HDMI. Se resalta que cuenta

con un puerto ethernet que opera bajo el protocolo TCP/IP compatible PROFINET lo que permitirá su integración a la red local de la planta pasteurizadora de leche por medio de un cable ethernet al switch Stratix® 2000. La Raspberry Pi 4B es capaz de ejecutar una variedad de software y sistemas operativos. Para este proyecto se utiliza el sistema operativo Debian con núcleo de Linux, adaptado específicamente para su uso en Raspberry Pi, viene preinstalado en una memoria SD (seleccionada de 4GB) y listo para ser utilizado. Además, incluye algunos softwares extras preinstalados, como Node-Red, que es una de las herramientas utilizadas para la configuración de la lógica de conexiones, lectura y transmisión de datos con los elementos de la red local. En la Figura 3-9 se observa el esquema de conexiones físicas del Gateway (Raspberry Pi4B) una vez haya sido configurado, integrado a la red local y puesto en funcionamiento para enviar datos a la nube.

Figura 3-9 Esquema de conexión Raspberry Pi 4B una vez configurada sin periféricos.

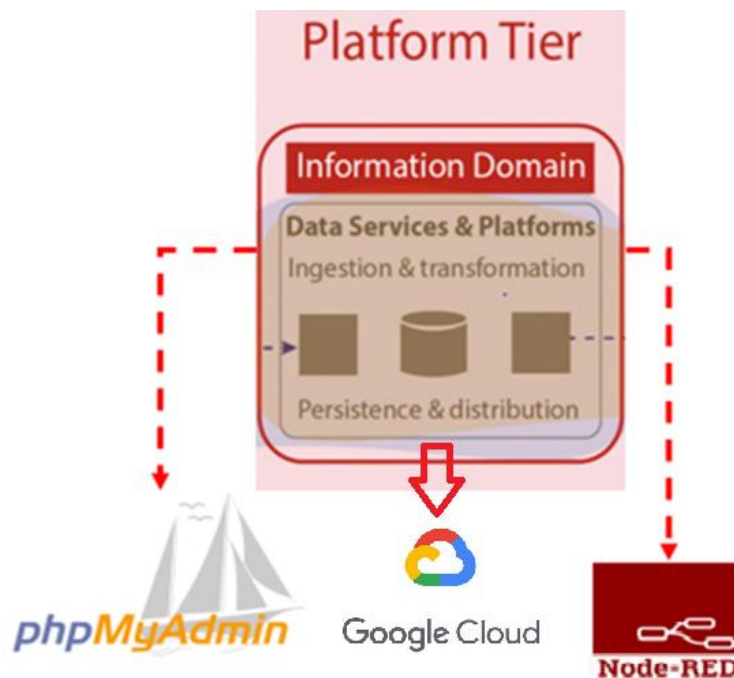


Fuente: web oficial de la Raspberry Pi Foundation (2023).

3.4.2 Función de componentes en Dominio de la Información

Dentro de la arquitectura del sistema de monitoreo, se encuentra la capa intermedia que se implementa mediante el dominio de la información, la cual desempeña un papel fundamental al encargarse de la recepción, transformación, almacenamiento y distribución de los datos recolectados en la etapa de control.

Figura 3-10 Componentes del Dominio de la Información de la arquitectura IIoT.



Fuente: Autor 2023

En primer lugar, la recepción de los datos se lleva a cabo mediante la comunicación establecida entre el PLC S7 1200 y la tarjeta Raspberry Pi 4B mediante PROFINET sobre una pequeña intranet industrial. Los datos de temperatura obtenidos por las PT100 en la planta de procesamiento se reciben entonces en la etapa de información ingresando por el

RJ-45 a la Raspberry y se almacenan en una base de datos creada con MySQL en la Máquina Virtual de Google Cloud y administrados por phpMyAdmin ejecutado desde la Raspberry. Con este administrador se puede crear, modificar y eliminar registros, importar y exportar tablas de la base de datos, ejecutar consultas MySQL, optimizar y reparar la base de datos donde son almacenados, procesados y preparados para su posterior envío a la nube. Una vez recibidos los datos en MySQL, los datos experimentan una transformación necesaria para adaptarlos a un formato coherente y compatible con el sistema en la nube. Posteriormente se gestiona el envío de información a la plataforma de interfaz del usuario.

En el desarrollo del sistema de monitoreo de temperatura en la planta pasteurizadora de leche utilizando IIoT, se emplea Node-RED como una herramienta de programación visual, facilitando la interconexión de los dispositivos de hardware, como el PLC S7 1200 y la Raspberry Pi4B, y establecer la vinculación con la Máquina Virtual. En Node-RED, se encuentran dos tipos principales de nodos: los nodos de inyección y los nodos de función. Los nodos de inyección generan mensajes sin necesidad de una entrada específica y los envían al siguiente nodo conectado. Por otro lado, los nodos de función, como su nombre lo indica, realizan operaciones o trabajos en base a una entrada recibida. Para este proyecto, se utilizan nodos de función para leer los datos provenientes del PLC y enviar esta información a la Máquina Virtual de Google Cloud. Esto permite obtener los datos de temperatura necesarios para el monitoreo del proceso de pasteurización de la leche. Con la ayuda de Node-RED, se logra una integración fluida entre los dispositivos de hardware y la Máquina Virtual, simplificando así el flujo de datos y optimizando la operatividad del sistema de monitoreo.

En el sistema de IIoT de monitoreo de temperatura, se utiliza Google Cloud como plataforma para ejecutar una base de datos MySQL. Google Cloud ofrece una infraestructura robusta y confiable para almacenar y gestionar los datos generados por el sistema de monitoreo. La elección de MySQL como el sistema de gestión de bases de datos se debe a sus características de rendimiento, escalabilidad y fiabilidad, que son fundamentales para asegurar el almacenamiento y la recuperación eficientes de los datos de temperatura.

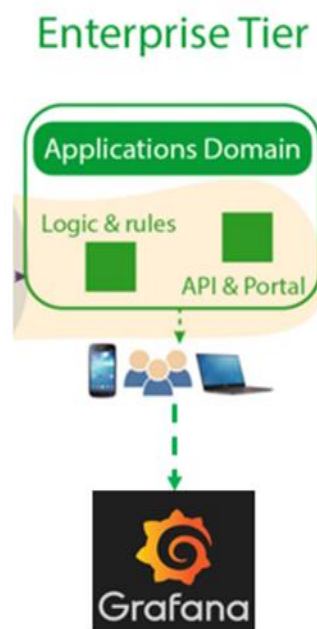
Google Cloud proporciona una plataforma flexible y segura para alojar la base de datos MySQL. Con su capacidad de escalabilidad automática, es capaz de adaptarse a las necesidades cambiantes de almacenamiento y procesamiento de datos en el sistema de monitoreo. Además, la integración con otras herramientas y servicios de Google Cloud, como Google Cloud IoT Core, facilita la gestión y el análisis de los datos recopilados. La base de datos MySQL en Google Cloud permite almacenar y organizar los datos de temperatura de manera eficiente, asegurando la integridad y la disponibilidad de la información. Además, ofrece funciones avanzadas para consultas y análisis de datos, lo que permite extraer información valiosa y obtener conocimientos significativos sobre el proceso de pasteurización de la leche.

La combinación de Google Cloud y MySQL proporciona una solución sólida y confiable para el almacenamiento y gestión de los datos de temperatura en el sistema de monitoreo de IIoT. Esto garantiza la integridad de los datos, facilita la escalabilidad y proporciona las herramientas necesarias para el análisis y la toma de decisiones basadas en datos precisos y oportunos.

3.4.3 Función de componentes en Dominio de la Aplicación

En el sistema de monitoreo de temperatura basado en IIoT de este proyecto, el dominio de aplicación desempeña un papel fundamental al facilitar la intercomunicación con el dominio de la información y el usuario. En este dominio, los datos recopilados se almacenan y administran para su posterior procesamiento o visualización por parte de individuos o aplicaciones. En este contexto, el dominio de aplicación permite monitorear y visualizar los datos de temperatura de manera eficiente y efectiva. Los datos almacenados en el dominio de la información son accesibles para su consulta histórica y análisis, lo que proporciona información valiosa para la toma de decisiones y el control del proceso de pasteurización de la leche, e incluso para la gestión planes de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo.

Figura 3-11 Componentes del Dominio de la Aplicación de la arquitectura IIoT



Fuente Autor 2023

La interconexión entre el dominio de aplicación y el dominio de información permite obtener datos en tiempo real, lo que proporciona una visión actualizada y precisa del estado de la temperatura en la planta pasteurizadora. Los usuarios o aplicaciones que necesiten acceder a estos datos pueden hacerlo a través de interfaces intuitivas y personalizadas, lo que facilita su visualización y análisis. Para este proyecto, se ha elegido utilizar el servicio en la nube de GRAFANA, una solución de análisis y monitoreo de código abierto.

Además, el dominio de aplicación ofrece la capacidad de monitorear de forma remota el sistema de monitoreo de temperatura. Esto permite realizar ajustes en tiempo real y tomar medidas correctivas cuando sea necesario, asegurando así la calidad y seguridad del proceso de pasteurización de la leche. En cuanto a GRAFANA, se ha configurado sin ninguna dependencia adicional y se puede implementar fácilmente utilizando el aplicativo Docker y el *Docker Command Line*. Además, cuenta con una API completa de HTTP, lo que proporciona flexibilidad y posibilidades de integración adicionales.

3.5. Implementación del sistema IIoT de monitoreo

En este subcapítulo se lleva a cabo la implementación del sistema IIoT (Industrial Internet of Things) de monitoreo utilizando una combinación de tecnologías y herramientas. El sistema está compuesto por un PLC S7-1200 de Siemens, el software de programación TIA Portal V13, una Raspberry Pi ejecutando MyPhpAdmin, una máquina virtual en Google Cloud como base de datos y GRAFANA como interfaz de visualización de datos.

El PLC S7-1200 de Siemens es utilizado como el dispositivo de adquisición de datos en el entorno industrial. Mediante la programación en TIA Portal V13, se configuran los bloques de función y se establecen las conexiones necesarias para la comunicación y control del sistema. El PLC actúa como el publicador de los datos obtenidos de los sensores y otros dispositivos en el entorno industrial.

La Raspberry Pi desempeña un papel fundamental en este sistema, ya que actúa como un bróker que recibe los datos publicados por el PLC y los almacena en una base de datos MySQL. La Raspberry Pi ejecuta MyPhpAdmin, una herramienta de administración de bases de datos que facilita la interacción con la base de datos y permite gestionar la información de manera eficiente.

La máquina virtual en Google Cloud se utiliza como la base de datos centralizada para almacenar los datos adquiridos. Google Cloud ofrece una plataforma robusta y escalable para el almacenamiento de datos en la nube, lo que permite un acceso seguro y confiable a la información.

Finalmente, GRAFANA se emplea como la interfaz de visualización de datos en tiempo real. Esta potente herramienta permite crear paneles personalizados y visualizar los datos adquiridos de forma clara y comprensible. Con GRAFANA, es posible realizar análisis,

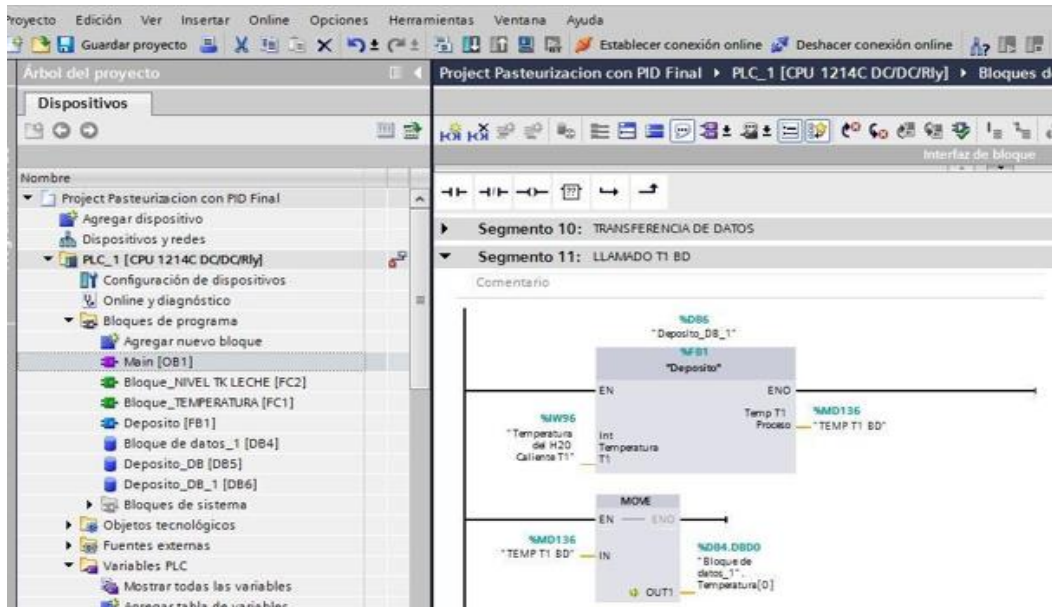
crear gráficos, tablas y alarmas para monitorizar y gestionar el sistema IIoT de manera efectiva.

En conjunto, la implementación de este sistema IIoT combina las capacidades de un PLC S7-1200, el software TIA Portal V13, una Raspberry Pi con MyPhpAdmin, una máquina virtual en Google Cloud como base de datos y GRAFANA como interfaz de visualización. Esto permite adquirir, almacenar y visualizar los datos industriales de forma eficiente y efectiva, brindando un monitoreo integral y facilitando la toma de decisiones basada en la información en tiempo real. A continuación, se describe este procedimiento en detalle:

3.5.1 Verificación de sensores de temperatura y configuración del controlador

En el proceso de programación del PLC S7-1200 utilizando la herramienta de software TIA Portal v13, se realiza una serie de configuraciones lógicas para adaptar el PLC al sistema IoT en construcción. Esta configuración implica utilizar los bloques de función correspondientes, como se muestra en la Figura 3-12 y son elementos clave en la programación del PLC, ya que permiten implementar diferentes operaciones lógicas y de control como la lectura de los sensores PT100 en la plata procesadora de leche, la comunicación con los transductores, la lógica de control y actuación, temporización y enlace con el Gateway IIoT.

Figura 3-12 Programación del PLC S7 1200 Siemens en TIA Portal



Fuente Autores.

Además de la configuración de los bloques de función, se establece la configuración del bloque de datos. En este bloque se definen las variables que se utilizarán para obtener la salida de las temperaturas de la caldera y del intercambiador. Estas temperaturas están relacionadas en la Tabla 3-5, que especifica los sensores y transmisores utilizados en el sistema. Es importante asegurarse de que las variables estén correctamente asignadas y configuradas para obtener los valores de temperatura correctos.

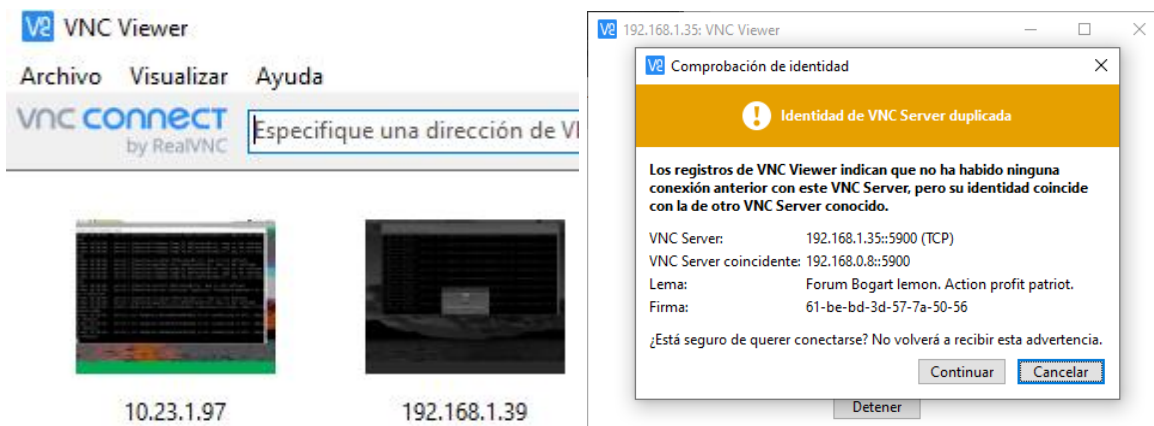
Una vez que se han configurado los bloques de función y el bloque de datos, se podrá proceder a la configuración de la Raspberry Pi como Gateway lo que permitirá pasar a la configuración de la siguiente etapa.

3.5.2 Configuración del Gateway IIoT

Para facilitar la interacción y programación de la Raspberry Pi, se utiliza el software VNC Viewer. Este software permite establecer una conexión remota desde un PC hacia la Raspberry Pi mediante su dirección IP, eliminando así la necesidad de periféricos adicionales como pantallas, teclados y ratones conectados directamente al dispositivo embebido.

El VNC Viewer requiere que se especifique la dirección IP de la Raspberry Pi a la que se desea conectar, como se observa en la Figura 3-13: el buscador de dirección IP donde se puede ingresar el nombre específico o la dirección IP de la Raspberry Pi para establecer la conexión remota lo cual facilita su programación en entorno de difícil acceso una vez instalado el dispositivo en campo.

Figura 3-13 Buscador VNC CONNET y comprobador de IP del VNC Viewer

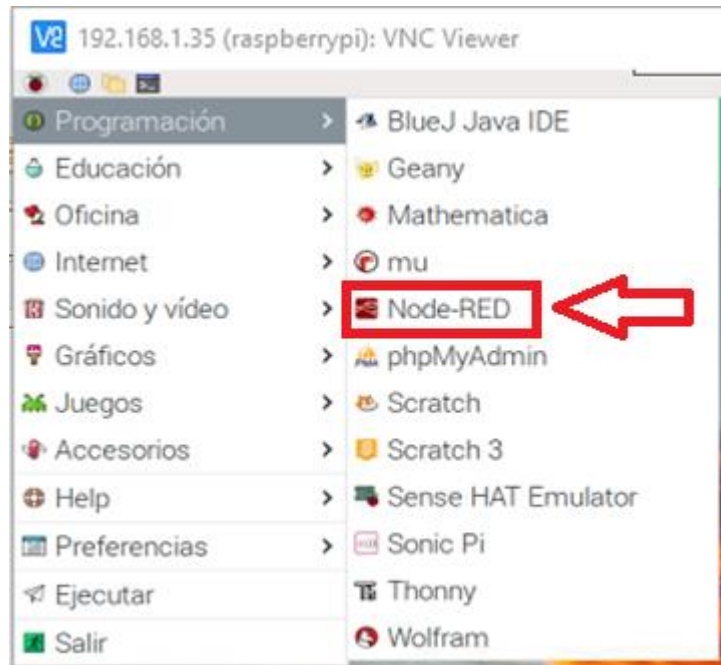


Fuente. Autor 2023

La programación de la Raspberry Pi como bróker para la adquisición de datos por parte del controlador (PLC) y su posterior almacenamiento en una base de datos MySQL en

la nube consiste en que ejecute el software phpMyAdmin el cual permite administrar la base de datos de forma remota desde una interfaz web, esta configuración se automatiza mediante el software Node-Red (ver Figura 3-14)

Figura 3-14 Ubicación de Node-RED en Raspberry Pi mediante VNC Viewer.



Fuente: Autor 2023

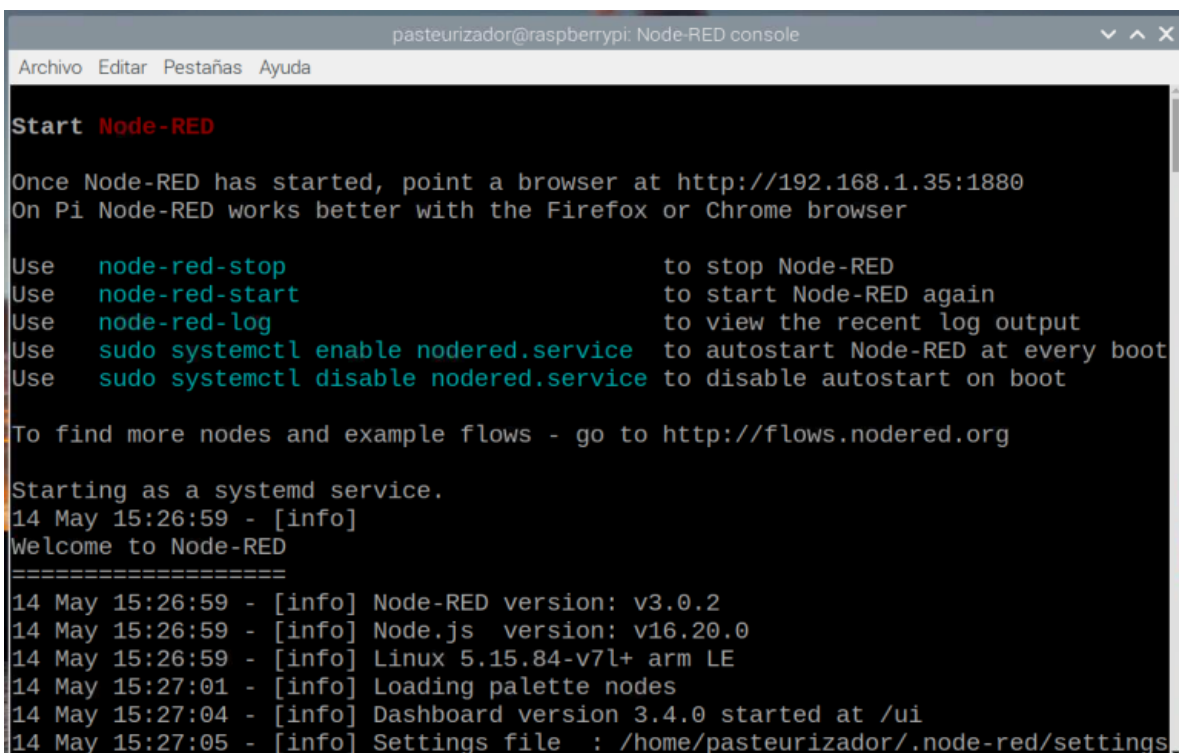
Después de lograr la visualización de la interfaz gráfica en el ordenador, el siguiente paso consiste en acceder a la ventana e inicializar el software NODE-RED en la Raspberry Pi. Esto permitirá acceder al espacio de trabajo del entorno visual a través del navegador web, en la se puede observar una representación de este entorno de trabajo.

Una vez que el software NODE-RED está en funcionamiento, se puede comenzar a diseñar y desarrollar flujos de trabajo personalizados para la automatización y gestión de

datos. El entorno visual de NODE-RED ofrece una interfaz intuitiva y amigable que permite arrastrar y soltar elementos, conectar nodos y configurar acciones.

Acceder al entorno visual de NODE-RED desde el navegador web brinda flexibilidad y comodidad, ya que no es necesario instalar software adicional en el ordenador. Además, permite una interacción sencilla con la Raspberry Pi y proporciona una forma eficiente de monitorear y controlar dispositivos conectados. Es necesario realizar la instalación de librerías adicionales para establecer la comunicación tanto con el PLC como con la base de datos, así como para habilitar la interfaz gráfica local utilizada por Node-RED (Figura 3-15)

Figura 3-15 Línea de comando de Node-RED atreves de la Raspberry Pi.



```
pasteurizador@raspberrypi: Node-RED console
Archivo Editar Pestañas Ayuda

Start Node-RED

Once Node-RED has started, point a browser at http://192.168.1.35:1880
On Pi Node-RED works better with the Firefox or Chrome browser

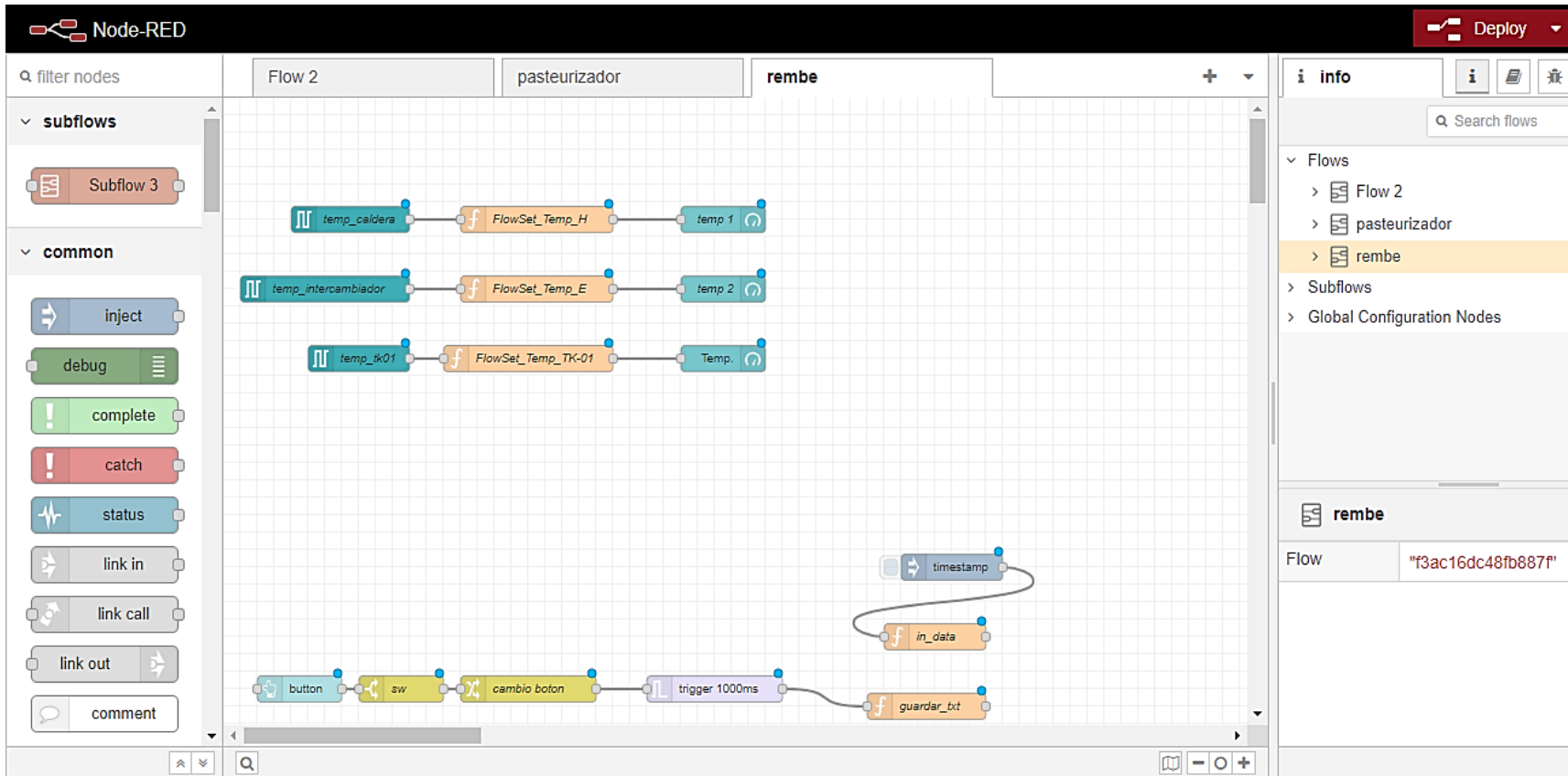
Use node-red-stop to stop Node-RED
Use node-red-start to start Node-RED again
Use node-red-log to view the recent log output
Use sudo systemctl enable nodered.service to autostart Node-RED at every boot
Use sudo systemctl disable nodered.service to disable autostart on boot

To find more nodes and example flows - go to http://flows.nodered.org

Starting as a systemd service.
14 May 15:26:59 - [info]
Welcome to Node-RED
=====
14 May 15:26:59 - [info] Node-RED version: v3.0.2
14 May 15:26:59 - [info] Node.js version: v16.20.0
14 May 15:26:59 - [info] Linux 5.15.84-v7l+ arm LE
14 May 15:27:01 - [info] Loading palette nodes
14 May 15:27:04 - [info] Dashboard version 3.4.0 started at /ui
14 May 15:27:05 - [info] Settings file : /home/pasteurizador/.node-red/settings.
```

Fuente: Autor 2023.

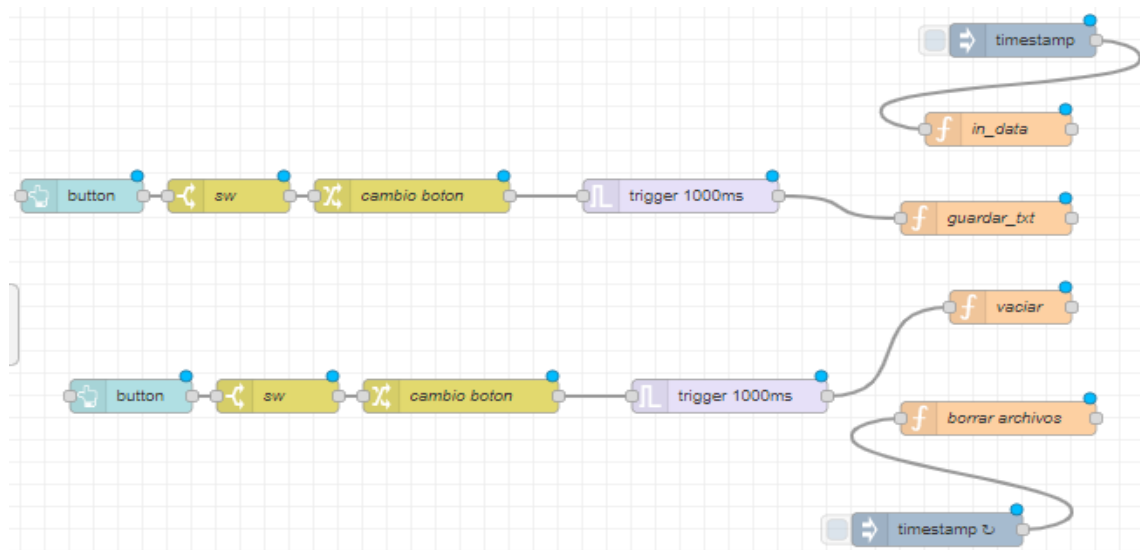
Figura 3-16 IDE de Node-RED para programación de la Raspberry Pi 4B como Gateway.



Fuente: Autor 2023

La Figura 3-16 muestra el IDE de Node-RED, una herramienta esencial para programar la Raspberry Pi 4B como Gateway en un sistema IIoT. Este entorno de desarrollo visual y amigable simplifica la creación de flujos lógicos y la configuración necesaria para el funcionamiento del sistema de monitoreo de la temperatura de la planta pasteurizadora. Por otro lado, en la Figura 3-17 se presenta el algoritmo de adquisición de datos del PLC, el cual se implementa y gestiona mediante Node-RED.

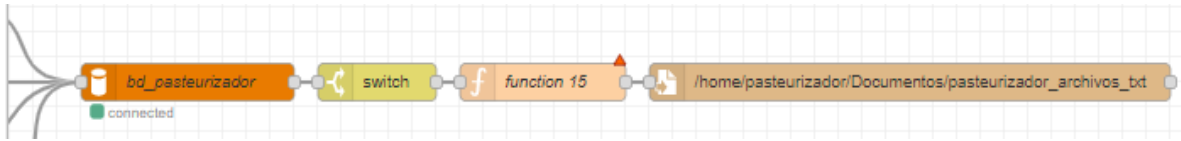
Figura 3-17 Algoritmo de adquisición de datos del PLC en Node-RED



Fuente: Autor 2023

Asimismo, Node-RED permite conectar los datos provenientes del pasteurizador a un archivo de texto, lo que facilita el almacenamiento y la gestión de la información adquirida. Por último, la Figura 3-18 ilustra la conexión de la Raspberry Pi con una base de datos en la nube, lo que posibilita el almacenamiento seguro y escalable de los datos. Estas figuras y procesos ejemplifican la importancia y versatilidad de Node-RED en la programación y configuración de la Raspberry Pi 4B como Gateway en un sistema IIoT de monitoreo y control.

Figura 3-18 Conexión de la Raspberry con Base de Datos en la nube.

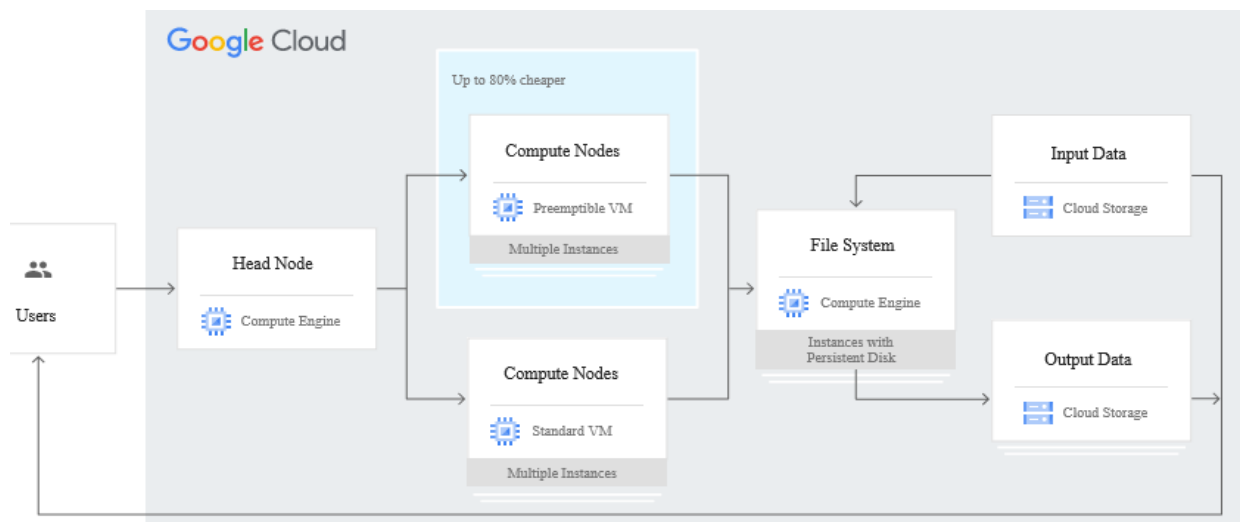


Fuente: Autor 2023

3.5.3 Configuración de la máquina virtual en la nube

Las VMs Tau son la solución más económica para las cargas de trabajo de escalado horizontal en Compute Engine. Ofrecen una relación precio-rendimiento hasta un 42 % más alta que las máquinas virtuales (*VM – Virtual Machine*) de uso general de otros proveedores de nube pública. Al elegir entre las máquinas virtuales x86 o basadas en ARM, podrás satisfacer los requisitos específicos del sistema IIoT de monitoreo de temperatura.

Figura 3-19. Arquitectura de referencia de una VM de Google Cloud



Fuente: Oficial webpage by Google Cloud (2023).

En la Figura 3-19 se observan los componentes de la VM tipo Tau recomendadas para este caso particular, seleccionada con 2 vCPU y 4GB de memoria RAM. Además, se incluye un disco persistente balanceado de 10GB para el almacenamiento de datos.

Además, para el alojamiento de la base de datos en la nube, se puede utilizar la infraestructura del sistema de monitoreo de temperatura en la planta pasteurizadora de leche. Esto proporciona una solución eficiente y escalable para almacenar y gestionar los datos generados por el sistema IIoT.

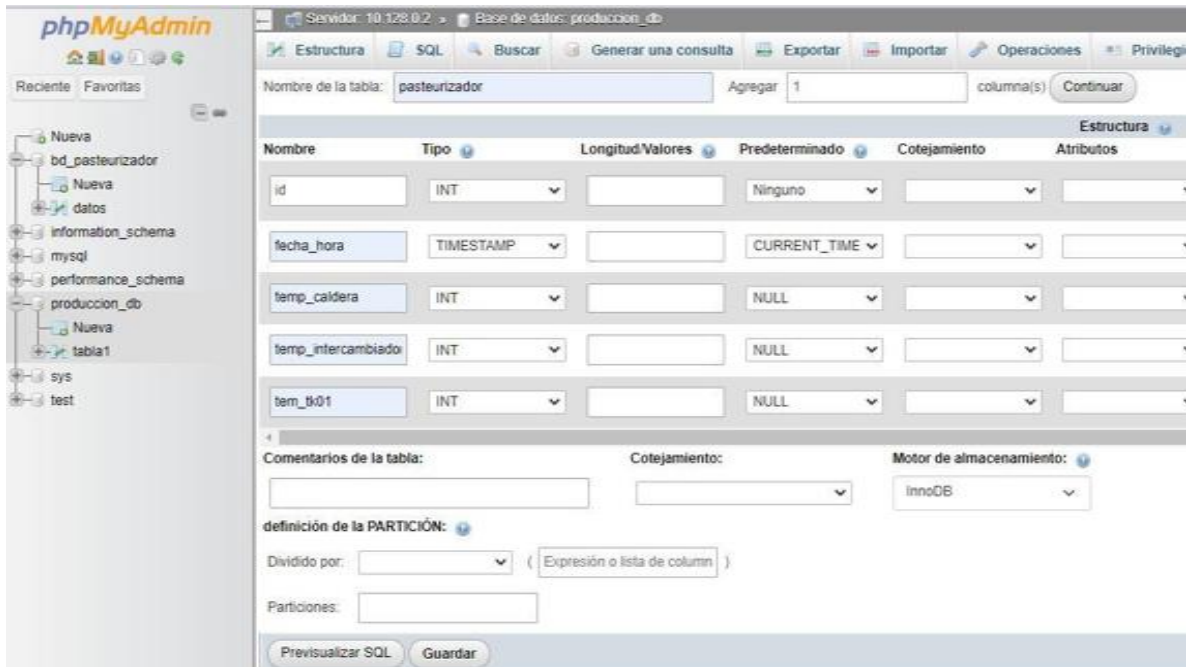
3.5.4 *Configuración de la base de datos*

Para el sistema de monitoreo y control, se ha implementado una base de datos administrada en MySQL utilizando phpMyAdmin. Esta base de datos se ha diseñado cuidadosamente para almacenar y gestionar los datos de los puntos críticos de temperatura, las cuales están claramente relacionadas en la Tabla 3-5.

El software phpMyAdmin ofrece una interfaz intuitiva (Figura 3-20) y de fácil uso que facilita la administración y manipulación de la base de datos. Mediante esta herramienta, se crean las tablas, definir campos y establecer relaciones entre los datos proveniente de los sensores en campo, asegurando una estructura coherente y eficiente para el almacenamiento de la información de temperatura.

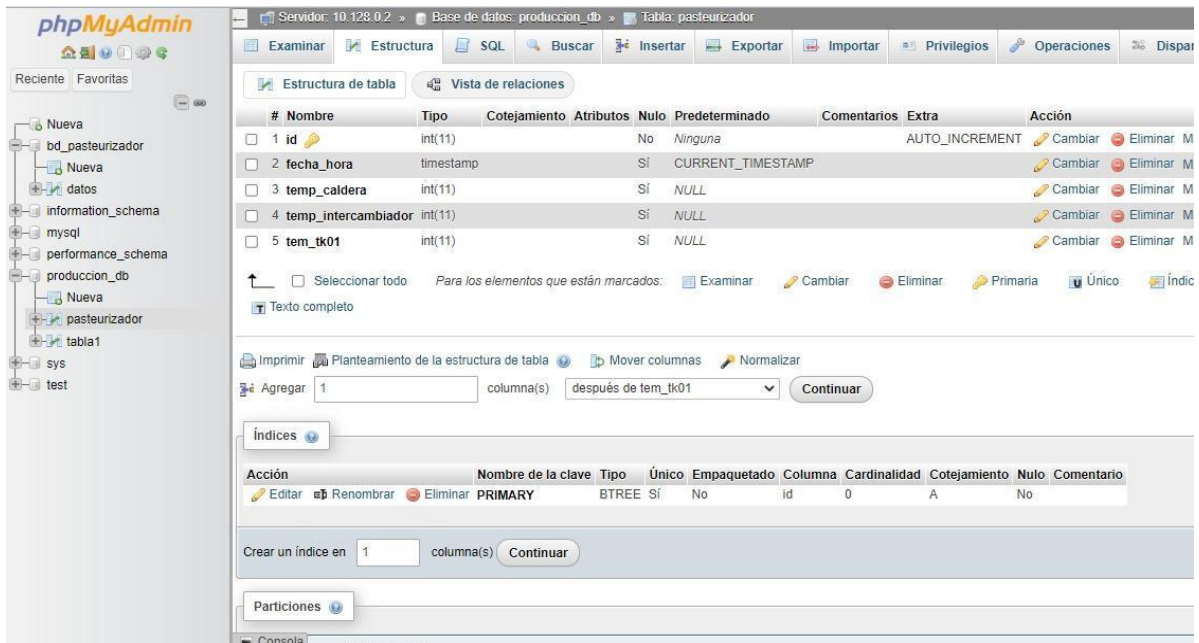
La base de datos en MySQL proporciona una solución confiable y escalable (Figura 3-21), capaz de manejar grandes volúmenes de datos generados por el sistema IIoT de monitoreo. Además, ofrece opciones avanzadas de consulta y filtrado, lo que permite realizar análisis detallados y obtener información valiosa a partir de los datos almacenados.

Figura 3-20 Interfaz gráfica del software phpMyAdmin



Fuente Autor 2023

Figura 3-21 Configuraciones de la base de datos MySQL con phpMyAdmin



Fuente: Autor 2023.

3.5.5 Configuración del Frontend

La etapa final del proceso de implementación del sistema de monitoreo IIoT de temperatura de la planta procesadora de leche, se completó con éxito gracias a la utilización de GRAFANA, una herramienta que permite la integración y visualización de los datos medidos en la planta. Para comprender plenamente el funcionamiento de GRAFANA, es esencial tener en cuenta su estrecha asociación con la base de datos MYSQL. Esta base de datos desempeña un papel crucial al recibir la información proveniente del PLC y la Raspberry Pi, permitiendo su monitoreo en tiempo real a través de representaciones gráficas.

En primer lugar, se procedió a agregar las fuentes de datos necesarias antes de iniciar la descarga e instalación de GRAFANA. A continuación, se creó un archivo llamado "Pasteurizador.lista" y se proporcionó una dirección URL específica de la cuenta en GRAFANA para su ingreso. Posteriormente, se ejecutó un comando que llevó a cabo la secuencia de pasos previamente mencionada.

La Figura 3-22 ilustra el comportamiento dinámico de la gráfica generada por GRAFANA, destacando la estabilización inicial y el primer cambio brusco de las variables de temperatura en la planta de pasteurización de leche durante una simulación en tiempo real del sistema. Este enfoque visual y gráfico proporcionado por GRAFANA resulta fundamental para comprender rápidamente los cambios y tendencias en las variables de temperatura, brindando una valiosa retroalimentación para el monitoreo y control del sistema de manera eficiente y efectiva.

Figura 3-22 Gráfica de variable de temperatura en GRAFANA



Fuente Autor

3.6. Análisis de los resultados

La implementación de un sistema de Internet de las Cosas Industrial (IIoT) con GRAFANA como interfaz de visualización de datos en tiempo real, se presenta como una solución adecuada para abordar las limitaciones en el monitoreo de temperatura del proceso de pasteurización de la leche que se encontró en la planta procesadora.

La planta procesadora de leche utiliza un proceso de pasteurización bajo la técnica "alta temperatura/corto lapso de tiempo" (HTST) el cual debe garantizarse en estricto cumplimiento de las leyes colombianas. Sin embargo, existían limitaciones en cuanto al control y monitoreo del proceso, ya que el sistema encontrado al momento de la inspección inicial solo registraba mediciones instantáneas de temperatura sin llevar un histórico del comportamiento de esta variable.

Aquí es donde entra en juego el IIoT con el servicio web de GRAFANA como solución. Al implementar un sistema de IIoT, se pueden recolectar y almacenar datos de temperatura y otras variables críticas de forma continua y a largo plazo. El PLC actúa como el dispositivo de adquisición de datos, recopilando la información de los sensores y distribuyéndola.

La Raspberry Pi, en este caso, cumple la función de Gateway de recibir los datos del PLC y almacenarlos en una base de datos centralizada, que en este caso se utiliza en una máquina virtual en Google Cloud. Este enfoque garantiza que se disponga de un registro histórico completo y confiable de las temperaturas del proceso de pasteurización.

Aquí es donde GRAFANA se convierte en una herramienta crucial. GRAFANA permite visualizar los datos adquiridos en tiempo real y crear paneles personalizados para monitorear y analizar la información de manera clara y comprensible. Con GRAFANA, los

operarios y responsables de la planta procesadora pueden obtener una visión completa y detallada de las temperaturas críticas del proceso HTST en cualquier momento.

Al integrar GRAFANA en la capa de aplicación de la arquitectura IIoT, se supera la limitación del sistema encontrada, que solo permitía el monitoreo en sitio y no proporcionaba un registro histórico adecuado. Con esta solución, se logra un monitoreo instantáneo y una gestión histórica de las temperaturas críticas de la leche durante el proceso de pasteurización. Esto no solo contribuye a la seguridad alimentaria, garantizando que se cumplan los estándares y requisitos legales, sino que también facilita la detección temprana de desviaciones y la toma de decisiones basadas en datos en tiempo real.

Entonces, la implementación de un sistema de IIoT con GRAFANA como interfaz de visualización de datos en tiempo real es una solución efectiva para mejorar el control y monitoreo del proceso de pasteurización de la leche. Permite el registro histórico de las temperaturas críticas y ofrece una visión completa y detallada del proceso, lo que contribuye a la seguridad alimentaria y facilita la toma de decisiones informadas.

4. Conclusiones

- I. Las pruebas realizadas en la Raspberry Pi 4B para evaluar diferentes modos de funcionamiento proporcionaron evidencia concluyente de la compatibilidad y viabilidad del software Node-RED, MYSQL y GRAFANA como alternativas de monitoreo, lo que brinda credibilidad al sistema implementado.
- II. Se logró desarrollar un sistema de Internet de las Cosas Industrial (IIoT) para el monitoreo de la temperatura en una planta de procesamiento de leche bovina, específicamente en el proceso de pasteurización. Este sistema permite el monitoreo remoto y la visualización en tiempo real, con la capacidad adicional de almacenar los datos en la nube.
- III. El análisis de las variables de temperatura en tiempo real demostró que el sistema de monitoreo ofrece un almacenamiento constante de datos del 100%, lo que se traduce en una efectividad para identificar fallas en el proceso de calentamiento del producto y para planificar mantenimientos con el fin de asegurar la calidad.
- IV. En el diseño de la arquitectura del sistema de monitoreo IIoT, se consideraron las características específicas de los sistemas disponibles en el mercado tecnológico, como los equipos, sensores, interfaces y servicios en la nube. Como resultado, se seleccionaron el PLC SIMATIC S7-1200, la Raspberry Pi 4, el software TIA Portal, Node-RED, phpMyAdmin en MySQL y GRAFANA como base de datos en la nube y servicio de Frontend. Esta elección permitió la visualización histórica e instantánea de los valores de temperatura, asegurando un correcto funcionamiento técnico, un diseño general adecuado y una operación eficiente del sistema.

5. Recomendaciones futuras.

A continuación, se presentan sugerencias para futuros trabajos que se pueden llevar a cabo para complementar la implementación del sistema de monitoreo mencionado anteriormente. Creación de un panel de monitoreo local: Se propone la instalación de una pantalla que permita visualizar el comportamiento de las variables relevantes en tiempo real directamente en el lugar de operación.

1. Diseño e implementación de un sistema de arranque autónomo para la planta pasteurizadora: Se recomienda desarrollar un sistema que pueda iniciar automáticamente la planta pasteurizadora según una programación establecida, sin necesidad de intervención manual.
2. Desarrollo de un sistema embebido para operar la planta pasteurizadora desde la nube: Se sugiere crear un sistema integrado que permita controlar y monitorear la planta pasteurizadora de manera remota a través de una conexión a la nube.

Estas recomendaciones tienen como objetivo mejorar la funcionalidad, la eficiencia y la flexibilidad del sistema de monitoreo, ofreciendo oportunidades para su optimización y ampliando las capacidades de operación y control.

6. Anexos

Para facilitar el acceso, análisis y revisión de todas las actividades descritas en este proyecto, se ha puesto a disposición la base de datos y los programas desarrollados a través de un código QR que puede escanearse utilizando la cámara de su teléfono celular. De esta manera, se puede acceder de manera rápida y sencilla a los recursos necesarios para consultar y reproducir los datos y resultados del proyecto:



O el siguiente enlace [CARPETA DE ARCHIVOS DE PROYECTO \(DAR CLIC\)](#)

7. Bibliografía

- Agua, Nalco. 2018. "La industria láctea". Cap. 40.7 en el Manual de agua de Nalco. 4ª ed. Nueva York: McGraw-Hill Education. <https://www-accessengineeringlibrary-com.ezproxy.uan.edu.co/content/book/9781259860973/toc-chapter/chapter40/section/section34>
- Allen Bradley 1783-us05t stratix 2000 unmanaged Ethernet a 24 V-DC Switch b374545. (n.d.).
- Arora, Sumeet, Ramachandra Gambheer y Meenakshi Vohra. 2021. "IoT: diseño con confianza y seguridad". Cap. 7 en Diseño de sistemas IoT seguros: un enfoque práctico en todas las industrias. 1ra ed. Nueva York: McGrawHill
- Banu, N. M., & Sujatha, C. (2017). IoT architecture a comparative study. Int J Pur Appl Math, 117(8), 45-49.
- Campos, O. T. (2020). La internet industrial de las cosas & la inteligencia artificial, el impacto en la economía y las oportunidades de nuevos negocios. Revista CIES Escolme, 11(2), 127-139.
- Castro, D., Coral, W., Cabra, J., Colorado, J., Méndez, D., & Trujillo, L. (2017). Survey on IoT solutions applied to Healthcare. Dyna, 84(203), 192-200.
- Cavalcante, E., Alves, M. P., Batista, T., Delicato, F. C., & Pires, P. F. (2015, May). An analysis of reference architectures for the internet of things. In Proceedings of the 1st International Workshop on Exploring Component-based Techniques for Constructing Reference Architectures (pp. 13-16).
- CEA-IoT [CEA_IoT]. (2018, noviembre 28). #AgroRIEGO, una solución para la agricultura desarrollada por el @CEA_IoT, nodo Santander <https://t.co/1xeM9Wxp3A>. Twitter.
- Cordero, franco. 2013. "Automatización y Fabricación". Cap. 1 en Automatización Industrial: Práctica. 1ra ed. Nueva York: McGraw-Hill Education.
- Cordero, franco. 2013. "Conceptos importantes". Cap. 2 en Automatización Industrial: Práctica. 1ra ed. Nueva York: McGraw-Hill Education
- De abril de, 04. (n.d.). Dirección de Alimentos y Bebidas. Gov.Co. Retrieved May 28, 2023, from https://www.invima.gov.co/documents/20143/4479795/Alerta+sanitaria_064-2023_LECHE+HIGIENIZADA.pdf/
- de Salud Pública, S. (2006). DECRETO 616 DE 2006 (FEBRERO 28).

Ding, SX (2014). Introducción. En: Diseño basado en datos de diagnóstico de fallas y sistemas de control tolerantes a fallas. Avances en Control Industrial. Springer, Ding, SX (2014). Diseño basado en datos de diagnóstico de fallas y sistemas de control tolerantes a fallas . Springer Londres.

Gobierno de Colombia. (2023, 5 mayo). Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026. Departamento Nacional de Planeación. Recuperado 19 de mayo de 2023, de de Colombia, G. (2014). Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018.

Industrial Internet Consortium: The Industrial Internet of Things Volume G1: Reference Architecture. Technical Report (2017)

Jemio Mena, Á. H., & Chaves Ríos, L. (2012). Optimización del proceso de ultra pasteurización de la compañía de alimentos Ltda, Delizia (Doctoral dissertation).

Kamel, Eman y Khaled Kamel. 2016. “Introducción a los Sistemas de Control y Automatización de PLC”. Cap. 1 en programación práctica de PLC con RSLogix 500 y LogixPro® . 1ra ed. Nueva York: McGraw-Hill Education

Linkedin.com. Recuperado el 28 de mayo de 2023, de <https://co.linkedin.com/company/cea>

Moreno, E. G. (2001). Automatización de procesos industriales. Valencia: Alfaomega.

News Center LATAM. (2017, agosto 9). Internet de las Cosas en los Ríos de Antioquia para prevenir desastres. News Center Latinoamérica. <https://news.microsoft.com/es-xl/internet-las-cosas-los-rios-antioquia-prevenir-desastres/>

Norris, Donald. 2015. “Introducción al Internet de las Cosas”. Cap. 1 en Internet de las cosas: hágalo usted mismo en proyectos caseros para Arduino, Raspberry Pi y BeagleBone Black . 1ra ed. Nueva York: McGraw-Hill Education.

Obtenido desde <https://www.dnp.gov.co/Plan-Nacional-de-Desarrollo/paginas/que-es-el-plan-nacional-de-desarrollo.aspx>.

Pinon, M. M. B., Nascimento, M. H., de AB Junior, J., Tavares, T. F. D., & de Souza Silva, V. L. (2018). Applications and Advantages of the Internet of Things (IoT) at Industry (189-194). ITEGAM-JETIA, 4(15), 189-194.

Porto Solano, O., Castellanos Acuña, L., & VillaRamírez, J. L. (2017). Power monitoring based on industrial internet of things. In Applied Computer Sciences in Engineering: 4th Workshop on Engineering Applications, WEA 2017, Cartagena, Colombia, September 27-29, 2017, Proceedings 4 (pp. 324-330). Springer International Publishing

- Principiantes, P. (n.d.). GUÍA OFICIAL DE. Mclibre.org. Retrieved May 28, 2023, from <https://www.mclibre.org/descargar/docs/revistas/magpi-books/raspberry-pi-beginners-book-4-es-202011.pdf>
- ¿Qué es la Industria 4.0? (n.d.). SAP. Retrieved May 28, 2023, from <https://www.sap.com/latinamerica/products/scm/industry-4-0/what-is-industry-4-0.html>
- Qué hacemos - Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos. (n.d.). Gov.co. Retrieved May 28, 2023, from <https://www.invima.gov.co/web/guest/que-hacemos>
- Resolución 000160 de 2022[Ministerio de Agricultura y desarrollo rural] por la cual se adopta el plan de ordenamiento productivo para la cadena láctea bovina en Colombia y se dictan otras disposiciones. 08 de abril de 2022.
- Romero-Riaño, E., Galeano-Barrera, C., Guerrero, C. D., Martínez-Toro, M., & Rico-Bautista, D. (2022). IoT applied to irrigation systems in agriculture: A usability analysis. *Revista Colombiana de Computación*, 23(1), 44-52.
- Roncancio, G., Espinosa, M., Pérez, M. R., & Trujillo, L. C. (2017, June). Spectral sensing method in the radio cognitive context for IoT applications. In 2017 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData) (pp. 756-761). IEEE.
- Sari, A., Lekidis, A., & Butun, I. (2020). Industrial networks and IIoT: Now and future trends. *Industrial IoT: Challenges, Design Principles, Applications, and Security*, 3-55.
- Savage, W. G. (1933). La pasteurización de la leche como problema técnico. *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana (OSP)*; 12 (8), ago. 1933.
- Wang, K., Wang, Y., Sun, Y., Guo, S., & Wu, J. (2016). Green industrial Internet of Things architecture: An energy-efficient perspective. *IEEE Communications Magazine*, 54(12), 48-54.
- Zumbado Gutiérrez, L., & ROMERO-ZUÑIGA, J. J. (2015). Conceptos sobre inocuidad en la producción primaria de la leche.