

**Automatización del sistema de lavado en las dosificadoras de leche en la empresa
Gloria Colombia ubicada en el kilómetro 4 cogua vía Zipaquirá Cundinamarca**

Omar Rodrigo Gil Camargo

Asesor

Mauricio Alberto García Martínez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Sociales Artes y Humanidades ECSAH

Tecnología en Automatización Electrónica

2025

Dedicatoria

A mi familia, por ser el pilar que sostiene mis sueños. Gracias por su amor, comprensión y apoyo incondicional en cada etapa de este camino.

A mis hijos, mi mayor inspiración y motivo. Cada esfuerzo, cada desvelo y cada logro tiene su sentido en ustedes. Que este trabajo sea una muestra de que, con esfuerzo, dedicación y amor, todo es posible. Este logro también es suyo.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD por brindarme la oportunidad de formarme académica y personalmente, en un ambiente que promueve el conocimiento, el pensamiento crítico y el crecimiento integral.

A los profesores que me acompañaron durante este proceso, gracias por compartir su conocimiento, su tiempo y su vocación. Cada clase, cada consejo y cada palabra de aliento dejaron una huella en mi formación y en este logro.

Su compromiso con la enseñanza fue clave en mi desarrollo y en la culminación de este trabajo.

Resumen

El proyecto investigativo se trabaja en el Diseño de un sistema de automatización para controlar la dosificación de químicos mediante la implementación de un controlador lógico programable el cual dará solución de una problemática de la compañía GLORIA COLOMBIA la cual realiza la funciones de un sistema CIP el cual se define del acrónimo *Cleaning in Place* (*Limpieza in situ*), es la limpieza realizada en el interior de los circuitos de las plantas de producción, sin desmontar o cambiar el estado de funcionamiento para asegurar la consistencia y sostenibilidad, actualmente funciona en una envasadora manualmente, dosificando las sustancias químicas siendo un riesgo para los operadores que realizan esta función y por medio de este proyecto se pretende automatizar el proceso CIP por medio de un PLC, buscando que el mismo equipo dosifique las sustancias químicas y prepare el CIP automáticamente en unos taques que almacenen uno las sustancias químicas y otro que haga el proceso de preparación de CIP y el mismo programa envíe el CIP a las llenadoras y hagan la desinfección hasta que el programa le avise al operador el fin de CIP.

Este proyecto se busca implementar en cinco o seis meses buscando en los primeros meses darles a entender a las compañías en el beneficio que está adquiriendo con la automatización que se realizara, buscando la seguridad de sus empleados y la minimización de tiempos en los procesos CIP que se les realizan a las llenadoras, y después se arrancara con la adecuación del lugar y la programación del PLC hasta que se le entregue las pruebas ya realizadas del funcionamiento del programa en la compañía.

Abstract

The research project works on the design of an automation system to control chemical dosing through the implementation of a programmable logic controller, which will solve a problem faced by the company GLORIA COLOMBIA, which performs the functions of a CIP. This is defined by the acronym *Cleaning in Place (Cleaning in Place)*. It is the cleaning performed inside the circuits of production plants, without disassembling or changing the operating state to ensure consistency and sustainability. Currently, it operates manually in a packaging machine, dosing the chemical substances, which is a risk for the operators who perform this function. Through this project, the aim is to automate the CIP process through a PLC, seeking that the same equipment doses the chemical substances and prepares the CIP automatically in tanks that store one of the chemical substances and another that carries out the CIP preparation process. The same program sends the CIP to the fillers and performs the disinfection until the program notifies the operator of the end of the CIP. This project is expected to be implemented in five or six months, seeking in the first months to make companies understand the benefits they are gaining from the automation that will be implemented, seeking the safety of their employees and minimizing time in the CIP processes that are performed on the fillers, and then starting with the adaptation of the site and the programming of the PLC until the tests already completed of the operation of the program in the company are delivered.

Tabla de Contenido

Introducción	14
Planteamiento del Problema	16
Justificación	19
Objetivos	22
Objetivo General.....	22
Objetivos Específicos	22
Alcance	23
Limitaciones	24
Marco Teórico- Conceptual	27
Estado del Arte	27
Conclusión del Estado del Arte	35
Definiciones Teóricas	36
Evolución de los Sistemas CIP	36
Uso de Microcontroladores en Automatización de Procesos CIP	37
Ventajas	37
Limitaciones	37
Variables para Considerar	37
Integración de Sistemas CIP con SCADA.....	39
Soluciones CIP Comerciales Existentes	41
Innovaciones Tecnológicas en CIP	42
Investigaciones Académicas Relevantes	42
Fundamentos de Higienización en la Industria Láctea	47

Principios Físicos y Químicos del CIP	47
Automatización del Proceso CIP	49
Conceptos de la Arquitectura Típica de un Sistema CIP Automatizado	49
Válvulas Neumáticas o Motorizadas:	49
Sensores de Temperatura:.....	50
Sensores de Flujo:.....	50
Tipo de Sensor de Fluido	51
Sensores de Conductividad:.....	52
Sistema SCADA.	53
Microcontroladores:.....	54
Microcontroladores Aplicados al CIP	54
Sensores y Actuadores en Sistemas CIP:	55
Normatividad Aplicable	55
Diseño Higiénico en Equipos para la Industria Láctea.....	56
Materiales de Construcción	56
Modelos de Control en Sistemas CIP	57
Control Secuencial.....	57
Control PID.....	57
Control por Eventos.....	58
Termodinámica del Proceso CIP	58
Conductividad Térmica	58
Balance Energético del Calentamiento.....	58
Neumática Aplicada a la Automatización CIP	59

Seguridad Operacional en Procesos CIP	59
Estándares y Buenas Prácticas de Fabricación	60
Metodología	61
Enfoque Metodológico	61
Tipo de investigación.....	61
Método general	61
Diseño Metodológico por Fases	62
Fase 1: Análisis del Proceso y Requerimientos	62
Fase 2: Diseño del Sistema Automatizado	63
Fase 3: Desarrollo del Software de Control.....	63
Fase 4: Integración del Sistema SCADA.....	64
Fase 5: Construcción del Prototipo	64
Fase 6: Pruebas y Validación Experimental	65
Fase 7: Análisis y Evaluación de Resultados	65
Fase 8: Conclusiones y Recomendaciones	66
Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	66
Población y Muestra	67
Consideraciones Éticas	67
Cronograma Metodológico	67
Desarrollo del Proyecto.....	69
Población y muestra.....	69
Análisis del Proceso CIP Existente en la Planta Láctea	70
Diseño del Sistema Automatizado CIP	71

Diseño Electrónico	72
Diseño Neumático y de Válvulas	73
Selección de Sensores.....	74
Programación del Microcontrolador.....	74
Gestión de Alarmas	75
Integración con Sistema SCADA	75
Montaje del Prototipo	76
Pruebas Experimentales del Sistema	76
Diseño Gráfico Del Proyecto.....	79
Resultados Obtenidos.....	80
Resultados de la Ejecución de Ciclos CIP	81
Resultados de Sensores.....	81
Resultados del Sistema SCADA.....	82
Validación de Alarmas	82
Consumo de Recursos	82
Discusión.....	84
Eficiencia Operativa	84
Calidad del Proceso de Higienización	84
El control de temperatura y conductividad mejoró la calidad del lavado.	84
La temperatura se mantuvo dentro de rangos óptimos.	84
La conductividad permitió detectar detergentes inmediatamente.	84
Ventajas del Uso de Microcontroladores.....	84
Impacto del Sistema SCADA	85

Limitaciones Identificadas	85
Oportunidades de Mejora	85
Conclusiones	87
Conclusión General	89
Apéndices	91
Pseudo-código del ciclo CIP	96
Referencias Bibliograficas	98

Lista de Figuras

Figura 1. <i>Objetivos del proceso CIP</i>	45
Figura 2. <i>Análisis de Causa Efecto</i>	69
Figura 3. <i>Procedimiento manual identificado</i>	70
Figura 4. <i>Arquitectura general</i>	72
Figura 5. <i>Plano Control y Potencia Simulación del Diseño</i>	78
Figura 6. <i>Diseño Gráfico Proyecto</i>	79

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Comparativo entre un; PLC vs Microcontrolador.</i>	38
Tabla 2 <i>Resultados Preliminares de las Pruebas</i>	80

Lista de Apéndices

Apéndice A. <i>Diagrama de Flujo del Proceso CIP Automatizado</i>	91
Apéndice B. <i>Diagrama Eléctrico del Sistema de Control</i>	92
Apéndice C. <i>Diagrama Neumático y de Válvulas</i>	92
Apéndice D. <i>Muestra de cómo se visualiza Pantalla del Sistema SCADA</i>	93
Apéndice E. <i>Matriz de Riesgos del Sistema CIP Automatizado</i>	94
Apéndice F. <i>Cronograma General del Proyecto</i>	94
Apéndice G. <i>Parámetros CIP Recomendados</i>	95
Apéndice H. <i>Lista de Materiales</i>	95
Apéndice I. <i>Resumen Código del Microcontrolador</i>	96

Introducción

La industria láctea es uno de los sectores con mayores exigencias en materia de inocuidad, trazabilidad y control higiénico. Dentro de sus procesos, el lavado y desinfección de equipos constituye una actividad crítica para garantizar la calidad microbiológica del producto final. En particular, las dosificadoras de leche; equipos encargados de medir, porcionar y trasladar producto hacia etapas posteriores de envasado o procesamiento, requieren sistemas de limpieza robustos, estandarizados y confiables. La acumulación de residuos lácteos, grasas, proteínas o biopelículas dentro de tuberías, válvulas, mangueras, boquillas y cámaras internas puede provocar contaminación cruzada, deterioro del producto y fallas operativas.

Tradicionalmente, muchas plantas pequeñas y medianas de procesamiento lácteo realizan el lavado mediante rutinas manuales o parcialmente automatizadas, lo que incrementa la variabilidad del proceso, el consumo de químicos, el tiempo de lavado y el riesgo humano asociado a errores en las mezclas, tiempos o temperaturas. Frente a estas limitaciones, los sistemas CIP (Cleaning In Place) se han convertido en una solución ampliamente adoptada en la industria alimentaria para realizar procesos de higienización sin necesidad de desmontar los equipos. Su correcta implementación garantiza ciclos estandarizados que incluyen enjuague inicial, lavado alcalino, lavado ácido, desinfección térmica o química y enjuague final.

Sin embargo, para muchas empresas del sector lácteo especialmente aquellas que no cuentan con infraestructura industrial avanzada la adopción de tecnologías CIP totalmente automatizadas implica una inversión elevada, sistemas de control complejos y dependencia de marcas propietarias. Por ello, este proyecto propone el diseño, desarrollo y prototipado de un sistema CIP automatizado empleando tecnologías de bajo costo como microcontroladores (ESP32, Arduino o PIC), integrados con válvulas neumáticas/motorizadas y supervisión

mediante un sistema SCADA. Esta arquitectura pretende demostrar que es posible automatizar un proceso crítico como la limpieza interna de las dosificadoras de leche manteniendo altos estándares de higiene, precisión, eficiencia y trazabilidad.

El proyecto se enmarca en un enfoque académico y experimental.

Incluye el planteamiento del problema, la revisión de literatura sobre sistemas CIP, sensores y actuadores, normatividad aplicable (incluyendo BPM, HACCP, ISO 22000, EHEDG, INVIMA, ICA, entre otras), análisis comparativo de tecnologías, especificación del diseño electrónico y neumático, programación del microcontrolador, integración con un entorno SCADA, y pruebas controladas de funcionamiento.

Se plantea desarrollar un prototipo funcional capaz de ejecutar de manera automática los ciclos de lavado requeridos por la industria láctea, controlando secuencias, temperaturas, conductividad, tiempos de exposición, caudales y actuadores; además de registrar datos en tiempo real, emitir alertas y generar reportes que permitan verificar el cumplimiento de los parámetros definidos. De esta forma, el sistema propuesto no solo contribuye a mejorar la eficiencia operativa, sino que también fortalece la inocuidad del proceso y sienta las bases para futuras mejoras en automatización industrial en pequeñas y medianas plantas de productos lácteos.

A continuación, se desarrolla la estructura completa del proyecto conforme a los lineamientos académicos establecidos.

Planteamiento del Problema

En las plantas de procesamiento lácteo, las operaciones de limpieza y desinfección representan uno de los procesos más críticos para garantizar la inocuidad del producto y el cumplimiento de la normatividad sanitaria vigente. Las dosificadoras de leche, al estar en contacto directo con el producto, requieren rutinas de higienización estrictas que eliminan residuos orgánicos, microorganismos y biopelículas que pueden acumularse en líneas internas, cámaras, válvulas y superficies húmedas. Dentro de la industria, la formación de depósitos lácteos, trazas de grasa y acumulación de proteínas pueden generar contaminación cruzada, reducir la vida útil del producto, aumentar el riesgo microbiológico e incluso comprometer la seguridad del consumidor.

El lavado manual es la primera alternativa que tienen las empresas ya que lograr fortalecer el recurso para ir implementando mejoras requiere tiempo y solidez económica. Esto implica que un operario debe realizar mezclas de detergentes, abrir y cerrar válvulas, controlar tiempos de circulación, medir temperaturas y supervisar visualmente el lavado. Tales procedimientos son altamente dependientes de la experiencia y precisión humana, lo que incrementa la probabilidad de errores. Un tiempo de exposición insuficiente, una temperatura incorrecta o una concentración inadecuada de químicos pueden comprometer la efectividad del lavado. Además, los procesos manuales presentan una variabilidad significativa entre operarios, dificultando la estandarización y exponer a riesgos.

El factor tiempo en la producción de las empresas es uno de los ítems que hacen evaluar la implementación y inversión de recursos con el objetivo de incrementar los estándares de calidad y eficiencia en la producción, ya que estos procesos manuales repercuten directamente en la productividad de la planta y en los costos asociados al uso de agua y detergentes. Sumado a

ello, la falta de registros confiables del proceso de limpieza constituye una debilidad en auditorías sanitarias como las exigidas por el INVIMA, BPM, HACCP o ISO 22000, ya que las empresas deben demostrar de manera trazable que los equipos fueron sometidos a ciclos de higienización efectivos.

Por otro lado, las soluciones CIP comerciales disponibles en el mercado suelen requerir inversiones elevadas, integrando PLCs industriales de alta gama, sensores especializados, bombas dedicadas y módulos de control propietarios. Esto hace que muchas empresas pequeñas del sector lácteo no tengan acceso a sistemas totalmente automatizados, y deban recurrir a alternativas manuales o semiautomáticas que comprometen la calidad del proceso. La ausencia de un sistema accesible, modular y de bajo costo limita la adopción de soluciones tecnológicas innovadoras.

Asimismo, el control del CIP involucra múltiples variables críticas que deben mantenerse dentro de rangos estrictos: temperatura del ciclo alcalino, conductividad para determinar la concentración de detergente, caudal mínimo para garantizar turbulencia, tiempos de circulación, y secuencias precisas de apertura y cierre de válvulas. La ejecución manual dificulta mantener dichos parámetros de manera consistente. En consecuencia, el riesgo de una limpieza deficiente aumenta, generando posibles fallas higiénicas, pérdidas económicas por producto no conforme y deterioro prematuro del equipo.

Finalmente, la falta de integridad a un sistema SCADA para supervisión en tiempo real impide realizar seguimiento detallado de alarmas, tendencias, parámetros críticos y reportes históricos. Esto limita la capacidad de la empresa para tomar decisiones basadas en datos y dificulta la identificación temprana de desviaciones en el proceso.

La implementación de un controlador que se integre a la plataforma SCADA permitiría

visualizar el estado del ciclo CIP, registrar variables, auditar el cumplimiento de parámetros y detectar errores operativos.

La problemática principal puede sintetizarse en la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué tan efectivo es el diseño e implementación de un *sistema CIP automatizado*, basado en microcontroladores (ESP32, Arduino o PIC), válvulas neumáticas/motorizadas y supervisión mediante SCADA, para garantizar la estandarización, eficiencia e inocuidad en el proceso de lavado de las dosificadoras de leche en una planta de procesamiento lácteo?

Esta pregunta guía el desarrollo del proyecto y permite analizar si una solución tecnológica accesible y modular puede suplir las necesidades reales de la industria láctea, disminuyendo la dependencia de sistemas comerciales de alto costo y aumentando la eficiencia de los procesos higiénicos.

Justificación

La limpieza y desinfección de equipos en la industria láctea es una actividad esencial para garantizar la inocuidad del producto, prevenir la contaminación cruzada y cumplir con los estándares nacionales e internacionales de calidad. En particular, el proceso CIP (Cleaning In Place) se ha consolidado como un método indispensable para higienizar equipos complejos sin necesidad de desensamble, reduciendo tiempos de parada y asegurando condiciones constantes de operación. Sin embargo, el acceso a sistemas CIP completamente automatizados continúa siendo limitado para pequeñas y medianas empresas del sector, debido a los altos costos asociados a soluciones comerciales basadas en PLC industriales, módulos propietarios y equipamientos especializados.

El desarrollo de un sistema CIP automatizado basado en microcontroladores (ESP32, Arduino o PIC), junto con válvulas neumáticas o motorizadas, sensores industriales y supervisión mediante un entorno SCADA, representa una alternativa accesible y escalable para este tipo de plantas. Estas tecnologías de bajo costo permiten diseñar un sistema robusto que cumpla con parámetros de control esenciales: tiempos, temperaturas, conductividad, flujo y secuencias de lavado. Su correcta integración posibilita reproducir los ciclos estándares del proceso CIP (enjuague inicial, lavado alcalino, lavado ácido, desinfección y enjuague final), garantizando una limpieza efectiva y controlada.

Desde una perspectiva operativa, la automatización del CIP reduce significativamente la variabilidad del proceso, minimizando errores humanos relacionados con mezclas, tiempos, temperaturas o concentraciones químicas. Asimismo, disminuye los tiempos muertos de producción al optimizar la duración de los ciclos de lavado. Estas mejoras repercuten directamente en la eficiencia global de la planta, el ahorro de recursos (agua, energía y

detergentes), y la reducción de costos operativos.

Desde el punto de vista sanitario, un sistema CIP automatizado fortalece la inocuidad del proceso de producción láctea. La estandarización del lavado asegura condiciones higiénicas consistentes, previniendo la formación de biopelículas, la acumulación de residuos lácteos y la proliferación de microorganismos. Esto reduce el riesgo de contaminación microbiológica del producto final, incrementando la calidad y la vida útil del mismo. Además, el cumplimiento de los parámetros definidos por normativas internacionales —como ISO 22000, EHEDG, HACCP, BPM y las regulaciones del INVIMA— es más fácil de demostrar cuando el sistema cuenta con registro automático de datos y trazabilidad completa.

En términos tecnológicos, este proyecto fomenta la adopción de soluciones modernas de automatización en plantas que generalmente no disponen de infraestructura industrial avanzada. La incorporación de un sistema SCADA permite supervisar el proceso en tiempo real, visualizar tendencias, generar alertas, almacenar historiales y facilitar auditorías internas y externas. Asimismo, proporciona información valiosa para el mejoramiento continuo del proceso de higienización.

Desde el ámbito académico, este proyecto es relevante porque integra conocimientos de electrónica, automatización industrial, instrumentación, control de procesos, neumática, programación embebida, SCADA y normatividad sanitaria. La propuesta constituye un ejemplo claro de aplicación práctica de tecnologías emergentes en un entorno real de producción alimentaria, promoviendo el desarrollo de competencias y la innovación en el sector.

Finalmente, la importancia social y económica se evidencia en la posibilidad de aumentar la competitividad de pequeñas y medianas empresas lácteas, permitiéndoles mejorar la calidad de sus procesos y productos con sistemas accesibles y escalables. Esto no solo fortalece la cadena

productiva láctea, sino que contribuye a garantizar alimentos más seguros para los consumidores.

Por estas razones, el desarrollo de un sistema CIP automatizado basado en microcontroladores y supervisado mediante SCADA constituye una solución pertinente, necesaria y de alto impacto para el sector lácteo, justificando plenamente la realización de este proyecto

Objetivos

Objetivo General

Implementar un sistema automatizado de lavado para las máquinas dosificadoras en la industria alimentaria, utilizando un Controlador Lógico Programable (PLC), con el fin de optimizar los tiempos de limpieza, reducir la intervención humana, mejorar la eficiencia operativa y asegurar el cumplimiento de los estándares de higiene y calidad.

Objetivos Específicos

Realizar una búsqueda documental de los elementos electrónicos y de software requeridos para el desarrollo del proyecto

Diseñar un sistema o software de control encargado de ejecutar las secuencias CIP (enjuague, lavado alcalino, lavado ácido, desinfección y enjuague final), determinando parámetros como tiempos, temperaturas, caudal y conductividad.

Integrar el sistema con una plataforma SCADA para la visualización en tiempo real, registro histórico de datos, generación de alarmas, seguimiento de variables críticas y trazabilidad del proceso de limpieza

Evaluar los resultados del nuevo sistema automatizado, comparando indicadores clave como tiempo de limpieza, consumo de agua, químicos, recurso Humano y calidad.

Alcance

Este proyecto se centrará exclusivamente en el diseño, desarrollo e implementación de un sistema automatizado para el **proceso de lavado de las máquinas dosificadoras** utilizadas en la industria alimentaria. El alcance contempla:

Diagnóstico y análisis del proceso actual de lavado, evaluando los métodos manuales o semiautomáticos existentes, identificando los tiempos, consumo de recursos y posibles fallas o ineficiencias.

Diseño del sistema de control automatizado basado en un Controlador Lógico Programable (PLC), que permita gestionar la secuencia completa de lavado, incluyendo la apertura y cierre de válvulas, control de tiempos, activación de bombas y monitoreo a través de sensores.

Selección, adquisición e integración de los componentes necesarios, tales como sensores de nivel, electroválvulas, actuadores, bombas, y dispositivos para la interfaz hombre-máquina (HMI).

Programación del PLC y configuración de la interfaz HMI, desarrollando una lógica de control que garantice la repetitividad, seguridad y eficiencia del proceso de lavado.

Implementación física del sistema en las dosificadoras seleccionadas, realizando la instalación de hardware, cableado y puesta en marcha.

Pruebas y validación del sistema automatizado, verificando el correcto funcionamiento, cumplimiento de tiempos y parámetros de limpieza, así como la reducción de tiempos muertos y consumo de recursos.

No se incluye dentro del alcance:

- La automatización o mejora de otros procesos o equipos en la planta alimentaria diferentes a las dosificadoras y su sistema de lavado.
- Mantenimiento preventivo o correctivo a largo plazo del sistema automatizado una vez finalizado el proyecto.
- Modificaciones estructurales o de ingeniería civil en la planta.
- Capacitación extensiva al personal más allá de una inducción básica para la operación del sistema automatizado.

Limitaciones

El desarrollo e implementación del sistema automatizado de lavado para las dosificadoras se ve condicionado por diversas limitaciones, especialmente relacionadas con la disponibilidad de recursos. A continuación, se detallan las principales:

Recursos Económicos

El proyecto está limitado a un presupuesto previamente asignado, lo cual restringe la selección de componentes a marcas y modelos accesibles económicamente, sin comprometer la funcionalidad mínima requerida.

No será posible integrar tecnologías de gama alta o sistemas complementarios (como sistemas de monitoreo en la nube o mantenimiento predictivo) debido a restricciones de inversión.

El proyecto contempla solo la automatización del sistema de lavado de las dosificadoras, sin extenderse a otras áreas de la planta por limitaciones presupuestarias.

Recursos Técnicos

La implementación está limitada a la infraestructura eléctrica y mecánica ya existente en la planta, lo que puede restringir la instalación de nuevos dispositivos o requerir adaptaciones adicionales no contempladas inicialmente.

Solo se considerará la programación sobre un modelo de PLC específico, disponible en inventario o aprobado por el departamento técnico, limitando la flexibilidad de elección tecnológica.

El acceso a software de programación, licencias o herramientas de simulación puede estar limitado por la disponibilidad institucional.

Recursos Humanos

El desarrollo del proyecto estará a cargo de un equipo reducido, lo que implica limitaciones en la especialización técnica para tareas específicas como la integración de sistemas o diagnósticos avanzados.

El personal operativo de la planta podrá recibir una capacitación básica para operar el sistema automatizado, pero no se contempla un proceso de formación extensiva debido a la disponibilidad limitada de tiempo y recursos humanos.

Recursos de Tiempo

El proyecto debe ejecutarse dentro de un cronograma previamente establecido, lo que restringe el tiempo disponible para pruebas prolongadas o ajustes iterativos.

Cualquier retraso en la adquisición de componentes o validaciones internas podría afectar directamente la implementación en campo, debido a ventanas de intervención muy limitadas dentro de la operación de la planta.

Estas limitaciones serán gestionadas con un enfoque técnico-práctico que permita cumplir con los objetivos planteados sin comprometer la funcionalidad ni la seguridad del sistema automatizado.

Marco Teórico- Conceptual

Estado del Arte

El estado del arte nos proporciona una revisión detallada de investigaciones, desarrollos tecnológicos y soluciones industriales existentes relacionadas con los sistemas CIP (Cleaning In Place), el uso de microcontroladores en automatización, la integración con sistemas SCADA y las tecnologías emergentes en procesos de higienización industrial.

A continuación, se presentan algunos trabajos relevantes que contextualizan esta investigación. Este análisis nos permitirá identificar avances, tendencias, limitaciones y oportunidades que fundamentan la propuesta del presente proyecto.

Diseño de automatización del sistema CIP en la máquina Doy Pack, de la empresa Panamericana de Alimentos S.A.S

Autor(es) y Año: Gallego Giraldo, Willian Fernando (2020)

Lugar del Proyecto: Universidad de Antioquia para ***empresa Panamericana de Alimentos S.A.S***

Objetivo: Diseñar la automatización del sistema CIP (Cleaning In Place) en la máquina Doy pack automático 3, de la empresa PANAMERICANA DE ALIMENTOS S.A.S mediante la gestión de actividades y la estimación de costos relacionados al proyecto.

Características Metodológicas.

Se hicieron actividades de gestión, basados en la metodología de desarrollo de proyectos definido por la compañía, en los cuales se incluye:

Definición de necesidades

Estructura de desglose del trabajo: EDT

Recopilación de información para presupuesto y cronograma del proyecto

Gestión con proveedores

Generación de cronograma y presupuesto

Comunicación y gestión del cambio

Alcance: Máquina Doy pack automático 3

Instrumentos: En el diseño se tiene en cuenta la selección red de conexiones internas, conexiones de agua, conexiones eléctricas y de control, sistema de automatización que incluye; Software, pantallas, PLC.

Principales Resultados

La máquina Doy Pack automática tiene un costo HM (Hora máquina) de \$222.895 y un costo HH (Hora hombre) de \$15.820, estos datos lo suministraron el área de costos posibilitando determinar el costo de tiempo de aseo de la máquina actual. Para definir los porcentajes de limpieza y desinfección (L&D) se tuvo en cuenta datos históricos de la máquina correspondientes a los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre del año 2019 posibilitando así graficar la distribución de tiempo de la Doy Pack, esta información la suministró en área de Control de Producción de Panal S.A.S.

Técnicamente existen tres (3) tipos de sistemas CIP: manuales, semiautomáticos y automáticos, que se caracterizan principalmente por el comportamiento de las válvulas instalas y otras variables de funcionamiento. En la máquina Doy pack debe instalarse un sistema semiautomático ya que hay válvulas manuales, un antecedente que imposibilita automatizar el sistema un 100%, es decir, sin la intervención del operario.

Conclusiones

Implementar un sistema CIP tiene ventajas a nivel de efectividad, facilidad, ahorro de recursos, automatización, seguridad alimentaria, entre otros. Los datos históricos suministrados por el área de Control de Producción posibilitaron proyectar resultados, y uno de ellos fue la tasa de retorno de inversión, donde se espera que al implementar el sistema se ahorren \$21.449.770 anuales teniendo en cuenta el comportamiento funcional actual y el teórico estimado de ahorro del 20%. Implementar un sistema CIP en una empresa de alimentos garantiza en parte la inocuidad y condiciones seguras del alimento para el consumidor, ya que minimiza el riesgo de contaminación cruzada respondiendo así al propósito misional de la compañía de ofrecer productos seguros

(Gallego Giraldo, 2022)

Diseño Y Simulación De Un Sistema De Lavado CIP (CLEANING-IN-PLACE), Para Tanques De Almacenamiento De Producto Del Área De Postres En La Planta Alpina S.A.

Autor(es) y Año: Joya Gonzalez Javier, Ramírez Pérez Sebastián (2019)

Lugar del Proyecto: Universidad Distrital Francisco José de Caldas para Planta Alpina, Sopo

Objetivo: Desarrollo del diseño de un sistema de lavado automático CIP de los tanques de almacenamiento de materias primas con el cual se minimizan tiempos del lavado y que garantice entandares de calidad del lavado sin poner en riesgo al personal que allí opera, de forma que represente una inversión rentable para la empresa Alpina S.A.

Características Metodológicas.

Enfoque: Cualitativo

Alcance: Almacenamiento del área de Postres

Muestra: Tanques de almacenamiento de materias primas en tanques a los cuales se les debe realizar la limpieza y desinfección de forma periódica

Instrumentos: En el diseño se tiene en cuenta la selección de equipos e instrumentación que cumplen con las especificaciones para el proceso de industria alimenticia y dentro de los cuales se tienen sensores de nivel, conductividad, flujo, temperatura y presión, equipos como bombas y válvulas, elementos de control de proceso PLC, HMI, sistema SCADA y su programación.

Principales Resultados

Se establece que el lavado CIP va a ser comandado por el controlador PLC en donde el diseño está planteado en el software Studio 5000 de Rockwell el cual es compatible con controladores de gama media a gama alta como lo son Compaclogix y Contrologix.

Se prueba el funcionamiento en automático de la rutina de lavado que cumpla con los accionamientos programados y ejecute la rutina dependiendo de los parámetros configurados en la receta de lavado, también se prueban los actuadores y lectura de registros verificando que el direccionamiento sea el correcto.

El diseño del Scada permite supervisar el CIP el diagrama general, los históricos y las alarmas, donde la navegación va a ser a través de un árbol de pantallas

En el software de programación de Studio 5000, se realizaron las respectivas secuencias de control de todo el proceso las cuales contienen, una rutina de procesos auxiliares del control,

otra de actuadores, y por último una de la secuencia en automático.

Conclusiones

Las simulaciones del programa permitieron determinar que la elaboración del programa es seguro tanto para los operadores de la planta, como para el producto. Donde el programa diseñado permite realizar todo el proceso desde un puesto de control donde no hay contacto entre las soluciones químicas y los operarios, también permite dar un diagnóstico más rápido si se presenta laguna falla o inconveniente en el proceso ya que el SCADA informa los pasos a seguir, requerimientos de arranque y causas de las fallas o pausas del proceso. El diseño permite trabajar en un entorno más amigable trabajar con un proceso automatizado en todo el lavado y disponible para ampliaciones y mejoras a futuro.

(Joya Gonzalez Javier, 2019)

Diseño, fabricación, montaje y puesta en marcha de la automatización de un sistema de CIP en la industria láctea

Autor(es) y Año: Barreto, Marco Alejandro, Briceño Molina, Diego Fernando, Torres Parra, Juan Manuel (2018)

Lugar del Proyecto: Universidad Piloto de Colombia para Parmalat Colombia LTDA / Grupo Lactalis Francia

Objetivo: Automatizar el Sistema de CIP actual controlando la preparación de químicos, las dosificaciones y los ciclos de CIP mejorando los tiempos e implementando de forma automática la recuperación de los enjuagues para hacer Eficiente el sistema de CIP.

Características Metodológicas.

Para realizar la investigación y cumplir los objetivos se realizaron los siguientes pasos:

Analizar la data del proceso donde se establece la necesidad de tener un proceso estandarizado y confiable.

Obtención y revisión de informes de proceso (Trazabilidad).

Obtener información de los departamentos que conforman el área de manufactura, obteniendo una visión de la situación actual y de ahí partir a una posible solución.

Establecer una propuesta para el diseño y calcular unos indicadores de gestión para poder medir la efectividad de la solución.

Elaboración de la presentación del resultado.

Enfoque: Cualitativo

Alcance: El proyecto será implementado en la compañía En la compañía Parmalat Colombia LTDA / Grupo Lactalis Francia sede Cali-Colombia

Muestra: Los silos de almacenamiento de leche pasteurizada

Instrumentos: Actuadores: Válvulas neumáticas, Bombas dosificadoras,
Instrumentación: PLC y Panel View, Sensores de nivel, Sensor de temperatura, Sensor de conductividad, o Tablero de control y potencia. (Planos eléctricos)

Principales Resultados

Con la automatización del sistema de lavado se logró ahorrar costos de operación aproximadamente en \$ 7'000.000 mensuales, gracias a la implementación de la medición de conductividad en el retorno de las soluciones de lavado y la recuperación del agua de enjuague. El ahorro principal se ve reflejado en el menor consumo de agua y químicos, esto influye directamente en la disminución de agua residual hacia la PTAR, disminuyendo el impacto en el

tratamiento de aguas.

El formato de programación de recetas a través de la pantalla de interfaz le permite al usuario editar las distintas variables de lavado del sistema, tales como tiempos de aplicación, valores de temperatura y porcentajes de conductividad, esta característica hace que el sistema sea escalable a otras aplicaciones, es así, que actualmente el sistema de lavado de silos se usa también para lavar las bahías de descargue de leche cruda cambiando solamente la receta.

Un logro importante de la automatización del sistema de lavado de silos es la confiabilidad que le dio al proceso, el control continuo de las variables de proceso permite que los resultados del lavado sean confiables, los resultados de las pruebas de lavado luego de ajustar los setpoint de tiempo, concentración y temperatura fueron siempre óptimos.

La implementación de alarmas de proceso es un punto clave para la seguridad de la operación del sistema de lavado, al trabajar con soluciones químicas y temperaturas peligrosas para la integridad de los operadores, es de vital importancia asegurar que el proceso sea confiable para la operación y reduzca al mínimo las posibilidades de contacto del operador con las sustancias. Es así que se implementaron sensores de presencia en las conexiones de las tuberías y bombas dosificadoras que son los únicos elementos que entran en contacto con los químicos concentrados antes de preparar la solución de lavado

Conclusiones

Se automatizo el sistema de CIP actual controlando las dosificaciones y ciclos, esto mejorando químicos mejorando los tiempos e implementando de forma automática la recuperación de los enjuagues para hacer Eficiente el sistema de CIP, logrando la reducción de riesgos a los trabajadores, de derrames de químicos, daños a equipos de producción, disminución

de pérdidas de Capital y minimizar los volúmenes de agua residual en los lavados.

Se instaló, se probó y se entregó un sistema de preparación de químicos y de dosificación el cual está generando la confiabilidad en el sistema y la recuperación de agua, químicos y otros, paralelo a esto se están obteniendo resultados en: ahorro energético, Al medir la conductividad se pueden recuperar enjuagues para reutilizarlos en otros procesos, de esta manera se ahorra agua que antes se enviaba a la PTAR, lo que incurría en mayores gastos en el proceso de potabilización de las aguas residuales y en Seguridad ya Cuenta con sensores de conductividad y bombas dosificadoras de soda caustica y ácido nítrico, lo cual evita el contacto directo del operador con estos químicos peligrosos.

Con la automatización del sistema de lavado se está logrando ahorrar como costos de operación aproximadamente en \$ 5.800000 en el primer mes, el objetivo es llegar a 7.000.000 millones después del segundo mes hacia adelante gracias a la implementación de la medición de conductividad en el retorno de las soluciones de lavado y la recuperación del agua de enjuague. El ahorro principal se ve reflejado en el menor consumo de agua y químicos, esto influye directamente en la disminución de agua residual hacia la PTAR, disminuyendo el impacto en el tratamiento de aguas.

Disminución en impacto ambiental ya que el agua residual con contenido de leche, proteínas y sales es envía hacia la PTAR para el tratamiento correspondiente y actualmente el vertimiento final generado cumple con la normativa ambiental ya que hay una disminución del 50% del agua con químicos por su reutilización, esto en su primer mes de funcionamiento

(Barreto, 2018)

Conclusión del Estado del Arte

El análisis revela que los sistemas CIP automatizados se encuentran altamente desarrollados en grandes industrias, pero aún existen barreras económicas y tecnológicas para su adopción en pequeñas y medianas plantas de procesamiento lácteo. Asimismo, la literatura demuestra que los microcontroladores representan una alternativa prometedora para desarrollar soluciones accesibles sin sacrificar funcionalidad esencial.

La integración con SCADA, el uso de sensores industriales y la adopción de arquitecturas abiertas constituyen la base para sistemas CIP modernos, eficientes y compatibles con auditorías de inocuidad. Esto valida plenamente la pertinencia del proyecto y demuestra que la solución propuesta se alinea con las tendencias globales de digitalización, automatización e innovación en el sector alimentario.

Definiciones Teóricas

Evolución de los Sistemas CIP

Los sistemas CIP surgieron en la industria cervecera y láctea en la década de 1950 como una alternativa más eficiente y segura al desensamble manual de equipos. Con el tiempo, estos sistemas han evolucionado hacia soluciones cada vez más automatizadas.

CIP Manuales

Los primeros sistemas consistían en: - Apertura manual de válvulas. - Preparación manual de soluciones. - Falta de control preciso.

Limitaciones: - Variabilidad alta. - Poca trazabilidad. - Dependencia total del operador.

CIP Semiautomáticos

Incluyen control parcial de tiempos y secuencias, típicamente con PLC básicos.

Ventajas: - Mayor repetibilidad. - Reducción de errores.

Limitaciones: - Aún requieren intervención significativa. - Sin monitoreo remoto.

CIP Totalmente Automatizados

Emplean PLC industriales, sensores avanzados y SCADA.

Características: - Secuencias totalmente programadas. - Control preciso de temperatura, caudal y conductividad. - Trazabilidad completa.

Limitaciones actuales: - Costos elevados. - Arquitecturas cerradas. - Difícil implementación en pequeñas empresas.

Uso de Microcontroladores en Automatización de Procesos CIP

La incorporación de microcontroladores como ESP32, Arduino y PIC ha abierto nuevas posibilidades para la automatización de bajo costo.

Ventajas

Bajo costo.

Flexibilidad de programación.

Potencial de comunicación con SCADA.

Baja demanda energética.

Limitaciones

Menos robustos ante interferencias electromagnéticas.

Menor capacidad de expansión.

Requieren módulos adicionales para aplicaciones industriales.

Pese a estas limitaciones, recientes investigaciones demuestran su viabilidad en procesos de control no críticos o semiindustriales.

Variables para Considerar

Entre las variables para considerar se encuentran el identificar y optar por el dispositivo adecuado para la automatización por esta razón se realiza una investigación para determinar el que se adapte al proyecto:

Tabla 1

Comparativo entre un; PLC vs Microcontrolador.

Criterio	Siemens S7-1200 (PLC)	Arduino Uno / ESP32 (Microcontroladores)
Entorno de operación	Diseño industrial, ambiente rudo, 24/7, expansión I/O, comunicaciones industriales	Diseño hobby/embebido, normalmente en entornos más controlados
I/O y módulos industriales	Módulos de entradas/salidas, integración con relés, sensores industriales, comunicación con SCADA, etc.	I/O básicos, necesitas diseño adicional para interfazar con relés, 24V, ambientes rudos
Comunicaciones industriales	Protocolos completos: PROFINET, OPC UA, etc.	WiFi/Bluetooth (ESP32), UART/SPI/I2C, pero no necesariamente certificados para entornos industriales
Robustez / mantenimiento	Alta confiabilidad, soporte industrial, vida útil larga	Buena para prototipos, pero para producción industrial habría que reforzar hardware, certificaciones, etc
Facilidad de programación / mantenimiento	Lenguajes estándar de PLC (Ladder, FBD, ST), pensado para técnicos de planta además de ingenieros	Programación en C/C++ (Arduino IDE), MicroPython,

Criterio	Siemens S7-1200 (PLC)	Arduino Uno / ESP32 (Microcontroladores)
		etc. Más orientado a desarrollo que a mantenimiento industrial
Coste inicial	Más alto: hardware + licencias + módulos I/O + instalación	Muy bajo: placas de desarrollo económicas
Ideal para	Automatización de máquinas / líneas, entornos industriales exigentes	Prototipos, IoT, placas de desarrollo, integración rápida

(Forum, s.f.)

Integración de Sistemas CIP con SCADA

Los sistemas SCADA se han convertido en la herramienta principal para la supervisión industrial.

Tendencias Actuales

Visualización web.

Integración con IoT.

Protocolos abiertos (Modbus TCP, MQTT, OPC-UA).

Registro histórico en la nube.

Ventajas del SCADA en CIP

Monitoreo en tiempo real.

Alarmas de seguridad.

Trazabilidad completa.

Auditorías más sencillas.

Plataformas SCADA Populares

Ignition

SCADABR.

Node-RED con dashboards.

FactoryTalk (Altamente industrial y costoso).

Las opciones de código abierto facilitan la implementación de sistemas CIP en pequeñas plantas.

Soluciones CIP Comerciales Existentes

Actualmente, existen fabricantes líderes que ofrecen sistemas CIP avanzados:

Tetra Pak®

Sistemas completamente automatizados.

Integración con PLC y SCADA propietarios.

Altos estándares sanitarios.

(Tetra Pak Protege Lo bueno , s.f.)

GEA®

Módulos CIP compactos.

Control avanzado de química.

(GEA Group Aktiengesellschaft , 2024)

Alfa Laval®

Enfoque en diseño higiénico.

Válvulas mix-proof avanzadas.

(Alfa Laval S A, 2025)

Limitaciones para pequeñas empresas

variación de costos depende según capacidad.

Requieren personal técnico especializado.

Mantenimiento costoso.

Esto impulsa el desarrollo de alternativas más accesibles basadas en microcontroladores.

Innovaciones Tecnológicas en CIP

Sensores de Conductividad Inteligentes

Permiten determinar la concentración química en tiempo real.

CIP con Recuperación de Energía

Uso de intercambiadores para aprovechar calor residual.

CIP Basado en Demanda (Demand-driven CIP)

Limpieza ajustada por mediciones reales y no por tiempos fijos.

IoT Aplicado al CIP

Control remoto.

Envío de alertas por internet.

Historias almacenadas en la nube.

Estas innovaciones permiten mejorar eficiencia y reducir costos.

Investigaciones Académicas Relevantes

Diversos estudios investigan el uso de tecnologías accesibles para sistemas CIP.

Investigaciones Sobre CIP a Bajo Costo

Uso de Arduino para sistemas de lavado en plantas pequeñas.

ESP32 como controlador inteligente en limpieza de tuberías.

PIC implementando rutinas secuenciales de lavado.

Enfoque en Seguridad Alimentaria

Estudios sobre biopelículas en sistemas lácteos.

Impacto de temperatura y tiempo en la higienización.

Modelos de Simulación

Software de simulación para optimizar consumo energético.

Modelos matemáticos de eficiencia CIP.

(Grupo Acura, s.f.)

(Ehedg.org, 2018)

La automatización de procesos industriales es una estrategia clave en la mejora de la productividad, eficiencia y calidad en sectores altamente regulados como la industria alimentaria. En este tipo de industria, donde el cumplimiento de normas sanitarias es obligatorio, procesos como el lavado de equipos juegan un papel crítico en la seguridad e inocuidad de los alimentos.

Uno de los equipos esenciales en líneas de producción alimentaria es la dosificadora, cuya función es dispensar cantidades exactas de productos en envases o sistemas de transporte. Debido a su contacto directo con los alimentos, estas máquinas deben someterse a procedimientos de limpieza y sanitización frecuentes, que garanticen la eliminación de residuos, microorganismos y cualquier agente contaminante.

Tradicionalmente, el lavado de las dosificadoras se realiza de forma manual o semiautomática, lo que implica riesgos importantes: altos tiempos de inactividad, consumo excesivo de agua y productos químicos, inconsistencias en la limpieza, y exposición del personal a zonas críticas. Estos factores no solo afectan la eficiencia operativa, sino que pueden comprometer la seguridad alimentaria y el cumplimiento de normas como BPM, HACCP.

En este contexto, surge la necesidad de implementar un sistema automatizado de lavado, que estandarice el proceso, reduzca la intervención humana y asegure resultados uniformes. La herramienta principal para lograrlo es el Controlador Lógico Programable (PLC), un dispositivo

electrónico que recibe señales de entrada (por ejemplo, de sensores de nivel o presión), ejecuta una lógica previamente programada, y genera salidas que activan componentes como electroválvulas, bombas, y actuadores.

El PLC permite desarrollar un proceso de limpieza tipo CIP (Clean in Place), es decir, sin desmontar las partes del equipo, lo que mejora significativamente la eficiencia del lavado y reduce el tiempo de parada de la línea de producción. Además, mediante una HMI (Interfaz Hombre-Máquina), el operario puede monitorear el estado del sistema, modificar parámetros de operación y visualizar alertas o fallos en tiempo real, lo que facilita el control del proceso y su trazabilidad.

La automatización del proceso de lavado también tiene un impacto directo en la eficiencia operativa y rentabilidad económica. Al reducir los tiempos de limpieza, se incrementa la disponibilidad de la línea para producción. Además, al controlar de forma precisa la cantidad de agua y detergentes utilizados, se optimizan los recursos y se reducen los costos operativos, contribuyendo también a la sostenibilidad ambiental.

Finalmente, es importante destacar que este proyecto se enfoca exclusivamente en el proceso de limpieza de las dosificadoras, sin intervenir en otras etapas del proceso productivo. Sin embargo, su correcta implementación puede sentar las bases para futuras mejoras tecnológicas en toda la planta.

El sistema CIP (Limpieza in situ), se podría definir como la limpieza realizada en el interior de los circuitos de las plantas de producción, sin desmontar o cambiar el estado de funcionamiento para asegurar la consistencia y sostenibilidad.

El siguiente marco teórico proporciona los fundamentos necesarios para comprender el diseño del sistema CIP automatizado y su importancia en el procesamiento lácteo.

Los elementos necesarios para una buena limpieza y desinfección vienen determinados por los productos de limpieza, energía mecánica, temperatura y tiempo, como se muestra en la *figura 1*. Estos cuatro elementos deben estar presentes en todo momento durante la actividad de limpieza en distintas contribuciones. De este modo, si queremos disminuir alguno de estos elementos se debe incrementar otro/s para completar el círculo.

A estos cuatro elementos por otra parte, hay que incluir además otro elemento adicional: la cobertura. Es decir, que las disoluciones de limpieza accedan de manera adecuada a todas las superficies a limpiar

Figura 1 *Proceso CIP*



*Nota: El proceso CIP (Limpieza In Situ) se basa en **cuatro parámetros esenciales** (tiempo, temperatura, acción química y acción mecánica) y consta de **etapas cíclicas** (pre-enjuague, limpieza cáustica, enjuague intermedio, limpieza ácida y enjuague final) Elementos Necesarios para una buena limpieza (BETELGEUS, 2016 recuperado de: <https://www.betelgeux.es/blog/2019/09/06/sistemas-de-limpiezas-cip-en-la-industria-lactea/>)*

- Remover suciedad física y biopelículas.
- Eliminar microorganismos patógenos y no patógenos.
- Garantizar higiene constante.
- Reducir tiempos de parada y presencia humana.
- Estandarizar el proceso de lavado.

Fases Típicas del Ciclo CIP

Un ciclo CIP estándar incluye:

Pre-enjuague: Remoción inicial de residuos con agua.

Lavado alcalino: Eliminación de grasas y proteínas mediante detergentes alcalinos.

Lavado ácido: Eliminación de minerales y restos calcáreos.

Desinfección: Puede emplear vapor, agua caliente o desinfectantes químicos.

Enjuague final: Eliminación total de residuos químicos.

Ventajas del CIP

Reducción del tiempo operativo.

Consumo optimizado de agua y químicos.

Menor riesgo de contaminación.

Mayor trazabilidad.

Minimización de intervención humana.

Fundamentos de Higienización en la Industria Láctea

El procesamiento de leche es altamente sensible a la contaminación microbiológica, por lo que los procesos de higienización deben mantener estándares estrictos para asegurar la inocuidad.

Contaminación en Equipos Lácteos

Los residuos de leche contienen grasas, proteínas y azúcares que pueden generar biopelículas si no se remueven adecuadamente. Las biopelículas son acumulaciones de microorganismos que se adhieren firmemente a superficies.

Riesgos Sanitarios del Lavado Insuficiente

Contaminación cruzada.

Microorganismos patógenos.

Reducción de la vida útil del producto.

Problemas de sabor, olor y textura.

Problemas regulatorios.

Importancia de la Estandarización CIP

Un proceso CIP automatizado evita variabilidad humana y asegura que los parámetros clave (temperatura, concentración química, turbulencia, tiempo y flujo) se mantengan dentro de límites normativos.

Principios Físicos y Químicos del CIP

Acción Mecánica

La turbulencia generada por la velocidad del flujo es esencial para desprender residuos.

Acción Química

Los detergentes empleados deben ser adecuados para disolver grasas y minerales.

Alcalinos: remueven grasas y proteínas.

Ácidos: remueven incrustaciones minerales.

Acción Térmica

La temperatura aumenta la eficacia del detergente.

Acción del Tiempo

Las soluciones deben permanecer en contacto suficiente para garantizar limpieza.

La combinación de estas cuatro variables se conoce como el *círculo de Sinner*.

Automatización del Proceso CIP

Fundamentos de Automatización Industrial

La automatización se refiere al uso de sistemas electrónicos para controlar procesos industriales.

Sus objetivos incluyen: - Repetibilidad. - Control preciso. - Supervisión remota. - Reducción de errores humanos.

Conceptos de la Arquitectura Típica de un Sistema CIP Automatizado

Válvulas Neumáticas o Motorizadas:

Las válvulas neumáticas son componentes esenciales en cualquier sistema de automatización industrial. Permiten controlar el flujo, la presión y la dirección del aire comprimido, garantizando la eficiencia y seguridad de los equipos. En este artículo te explicamos los tipos de válvulas neumáticas, sus aplicaciones y cómo elegir la más adecuada para tu sistema.

Las válvulas neumáticas son dispositivos encargados de controlar el paso del aire comprimido dentro de un circuito. Su función es dirigir, bloquear o liberar el flujo de aire para accionar cilindros, motores o herramientas neumáticas. Gracias a ellas, es posible automatizar procesos con precisión y fiabilidad.

Tipos de válvulas neumáticas

Existen diferentes tipos de válvulas neumáticas, según su función y modo de accionamiento. Las principales categorías son:

Válvulas direccionales.

Válvulas de presión.

Válvulas de caudal.

Cada una cumple un papel específico dentro del circuito neumático, contribuyendo al control del movimiento, la velocidad y la seguridad del sistema.

(Hidrafluid, 2025)

Sensores de Temperatura:

Un sensor de temperatura es un sistema que detecta variaciones en la temperatura del aire o del agua y las transforma en una señal eléctrica que llega hasta un sistema electrónico. Esta señal conlleva determinados cambios en ese sistema electrónico para la regulación de la temperatura.

También conocido como sonda de temperatura, este sensor se compone principalmente de tres partes. Primeramente, y como es obvio, cuenta con un elemento sensor (cuyos tipos pasaremos a ver en este post). Además de este elemento, se compone de una vaina de material conductor en su interior y un cable que conecta al sistema electrónico en cuestión.

(SRC especialistas en regulación y control de temperatura)

Sensores de Flujo:

Es un equipo para supervisar el comportamiento de los fluidos en las tuberías. En el mundo industrial también se le conoce con el nombre de detector de caudal o interruptor de caudal.

Su principio de funcionamiento está basado en un pistón magnético que se desplaza indicando el aumento o disminución del líquido. Este pistón es accionado por medio de un resorte, que vuelve a la posición inicial cuando no existen fluidos en la tubería.

Tipo de Sensor de Fluido

Estos elementos de gran utilidad en el sector industrial comprenden varias tipologías, que son las siguientes

Sensor de flujo de pistón: Como su nombre lo indica, consiste en un pistón que cambia de posición al circular el fluido por la tubería. Es uno de los más usados en los procesos de producción y tiene un alcance de detectar caudales entre 0,5 LPM y 20 LPM

Sensor de flujo de paleta: Posee una paleta que se encuentra unida al eje que cruza la pared del sensor generando el apagado o encendido del sensor

Sensor de flujo de elevación: Es compatible para casi todos los tipos de flujos, por ello su uso es compatible para diversos procesos. Su principio de funcionamiento está basado en un tapón que tiene el objetivo de cortar el flujo. La sensibilidad del sensor se obtiene abriendo perforaciones en el tapón

Características del sensor de flujo:

Monitorean la velocidad de flujo en una tubería

Su principio de funcionamiento es aplicable en diversas áreas relacionadas a la optimización de fluidos en la industria

Es un instrumento fácil de manipular, por lo que su instalación no genera complicaciones

Permite la detección de flujos sucios o bloqueos en el circuito

Su aplicación mejora las condiciones del circuito, bien sea de fluidos líquidos o vapores

(Inudustrias, 2021)

Sensores de Conductividad:

Este es un dispositivo diseñado para evaluar la capacidad de un líquido o solución para conducir electricidad. Esta capacidad está estrechamente relacionada con la presencia de iones disueltos en la solución; cuantos más iones estén presentes, mayor será la conductividad eléctrica del líquido.

Básicamente, un sensor de conductividad consiste en dos electrodos sumergidos en la solución a medir. La corriente eléctrica fluye a través de estos electrodos y la solución, y la resistencia eléctrica medida proporciona una indicación indirecta de la conductividad de la solución.

Cómo funciona un sensor de conductividad

El sensor consta de dos electrodos sumergidos en la solución de interés. Estos electrodos están fabricados con materiales conductores, como acero inoxidable o platino, y se encuentran separados por una distancia específica. Al aplicar una corriente eléctrica a través de los electrodos, se genera un campo eléctrico en la solución, lo que induce el movimiento de los iones presentes en ella.

La conductividad se evalúa midiendo la resistencia eléctrica entre los electrodos. Esta resistencia se determina al medir la cantidad de corriente que fluye a través de los electrodos y dividiéndola por el voltaje aplicado. En otros términos, cuanto más baja sea la resistencia eléctrica medida, mayor será la conductividad de la solución. Esto se debe a que una mayor cantidad de iones presentes en la solución facilita el paso de la corriente eléctrica. Por lo tanto, el sensor de conductividad proporciona una medida precisa de la capacidad de la solución para conducir la electricidad, lo que resulta fundamental en numerosas aplicaciones industriales y ambientales.

(Manufactura LATAM)

Sistema SCADA.

SCADA es un sistema de elementos de software y hardware que permite a las organizaciones controlar y monitorizar procesos industriales mediante la interacción directa con la maquinaria de planta y la visualización de datos en tiempo real.

Mediante un sistema SCADA, las organizaciones industriales pueden:

Controlar los procesos industriales y la infraestructura crítica localmente o en ubicaciones remotas.

Supervisar, recopilar y procesar datos en tiempo real

Interactúa directamente con dispositivos como sensores, válvulas, bombas, motores y más a través del software de interfaz hombre-máquina (HMI).

Registra los eventos en un archivo de registro.

Los sistemas SCADA son cruciales para las organizaciones industriales, ya que ayudan a mantener la eficiencia, procesar datos para tomar decisiones más inteligentes y comunicar problemas del sistema para mitigar el tiempo de inactividad.

La arquitectura básica de SCADA comienza con controladores lógicos programables (PLC) o unidades terminales remotas (RTU). Los PLC y las RTU son microcomputadoras que se comunican con diversos objetos, como máquinas de fábrica, interfaces hombre-máquina (HMI), sensores y dispositivos finales, y luego envían la información de dichos objetos a computadoras con software SCADA. El software SCADA procesa, distribuye y muestra los datos, lo que ayuda a los operadores y demás empleados a analizarlos y tomar decisiones importantes

(Inductive Automation)

Microcontroladores:

Una unidad de microcontrolador (MCU) es esencialmente una computadora pequeña en un solo chip. Está diseñado para administrar tareas específicas dentro de un sistema integrado sin requerir un sistema operativo complejo.

(IBM)

Microcontroladores Aplicados al CIP

El proyecto utiliza microcontroladores como alternativa de bajo costo frente a los PLC.

ESP32

Conectividad Wi-Fi y Bluetooth.

Buen rendimiento y bajo consumo.

Capacidad para SCADA liviano.

Arduino

Facilidad de programación.

Amplia disponibilidad de módulos.

PIC

Eficiente en aplicaciones industriales robustas.

Estos controladores pueden reemplazar parcialmente a un PLC en sistemas donde la criticidad y carga eléctrica no son elevadas.

Sensores y Actuadores en Sistemas CIP:

son componentes clave en sistemas automatizados que funcionan en direcciones opuestas. Los sensores detectan cambios en el entorno y convierten esa información en una señal eléctrica. Los actuadores toman una señal eléctrica y la convierten en una acción física, como movimiento o una operación. Trabajan juntos para que un sistema pueda percibir su entorno y responder a él.

Sensores

Temperatura: Control del agua caliente y soluciones.

Conductividad: Determina la presencia de detergente.

Flujo/caudal: Asegura turbulencia.

Nivel: Control de tanques químicos.

Válvulas

Neumáticas: Rápidas y confiables.

Motorizadas: Adecuadas para control fino.

(bookdown.org)

Normatividad Aplicable

Normatividad Nacional

INVIMA: Requiere BPM e higiene estricta.

(Invima , s.f.)

Decreto 3075 (1997): Condiciones sanitarias.

Resoluciones del ICA para inocuidad.

Normatividad Internacional

ISO 22000: Gestión de inocuidad.

HACCP: Análisis de peligros.

EHEDG: Higiene en equipos.

3-A Sanitary Standards.

Diseño Higiénico en Equipos para la Industria Láctea

El diseño higiénico es un conjunto de principios que aseguran que los equipos en contacto con alimentos puedan limpiarse de forma efectiva, minimizando la acumulación de residuos.

Organizaciones como **EHEDG** y **3-A Sanitary Standards** establecen lineamientos fundamentales.

Materiales de Construcción

Los materiales más utilizados son:

Acero inoxidable AISI 304 y AISI 316: Resistentes a la corrosión y aptos para contacto con productos lácteos.

Sellos sanitarios EPDM, Viton y PTFE: Resistentes a químicos CIP y altas temperaturas.

Geometría Higiénica

Diseños que evitan zonas muertas.

Tuberías con pendiente mínima para drenaje.

Uniones Clamp sanitarias.

El cumplimiento de estos criterios asegura una mayor efectividad del proceso CIP.

Modelos de Control en Sistemas CIP

La automatización del CIP requiere la integración de diversas estrategias de control.

Control Secuencial

Define el orden lógico de los pasos del ciclo CIP:

Pre-enjuague.

Alcalino.

Enjuague intermedio.

Ácido.

Desinfección.

Enjuague final.

El microcontrolador debe gestionar las válvulas y bombas según un diagrama de flujo programado.

Control PID

Se aplica especialmente en:

Temperatura del agua caliente y soluciones.

Conductividad para dosificación química.

Caudal para asegurar turbulencia.

Control por Eventos

Útil para detectar:

Fin de llenado de tanque.

Alcance de temperatura objetivo.

Cambio de solución según conductividad.

Termodinámica del Proceso CIP

El lavado CIP se basa en principios fundamentales de transferencia de calor y comportamiento térmico.

Conductividad Térmica

Una mayor temperatura incrementa:

Solubilidad de grasas.

Eficiencia de detergentes.

Velocidad de reacción química.

Balance Energético del Calentamiento

El sistema debe considerar:

Pérdidas en tuberías.

Aislamiento térmico.

Capacidad del calentador.

El cálculo del tiempo de calentamiento es fundamental para asegurar eficiencia.

Neumática Aplicada a la Automatización CIP

Las válvulas neumáticas son ampliamente utilizadas debido a su rapidez y fiabilidad.

Principio de Funcionamiento

Una válvula neumática opera mediante presión de aire comprimido que desplaza un actuador.

Tipos Comunes de Válvulas CIP

Válvulas **de diafragma**.

Válvulas **de asiento simple o doble**.

Válvulas **mix-proof** (para evitar contaminación cruzada).

Ventajas

Respuesta rápida.

Seguridad en caso de falla (fail-open o fail-close).

Compatibilidad con ambientes alimentarios.

Seguridad Operacional en Procesos CIP

La operación CIP implica riesgos para equipos y personal, por lo que deben considerarse medidas de seguridad.

Riesgos

Temperaturas elevadas.

Productos químicos corrosivos.

Presión excesiva.

Medidas Preventivas

Sensores de seguridad.

Válvulas de alivio.

Bloqueo y etiquetado (LOTO).

Alarmas de sobrettemperatura.

Estándares y Buenas Prácticas de Fabricación

El sistema CIP debe alinearse con normas como:

Buenas Prácticas de Manufactura (BPM).

HACCP. - Normas del INVIMA para lácteos.

ISO 22000. - EHEDG para diseño higiénico.

(Endress+Hauser Group Services AG, s.f.)

Metodología

La metodología utilizada en este proyecto sigue un enfoque estructurado en etapas que permiten el diseño, desarrollo, implementación y validación de un sistema CIP automatizado basado en microcontroladores, válvulas neumáticas o motorizadas y supervisión mediante SCADA.

Esta metodología se inspira en modelos de investigación aplicada, ingeniería de sistemas y desarrollo de prototipos tecnológicos, manteniendo coherencia con la estructura metodológica del documento modelo proporcionado

Enfoque Metodológico

El proyecto adopta un enfoque de investigación aplicada, ya que busca resolver una problemática real en el ámbito industrial mediante la implementación de una solución tecnológica. Asimismo, utiliza un enfoque cuantitativo, dado que se analizan variables medibles del proceso CIP como temperatura, tiempo, conductividad y caudal.

Tipo de investigación

Investigación aplicada: Centrada en resolver un problema real y práctico de la industria láctea.

Descriptiva: Analiza el proceso CIP existente, sus parámetros y limitaciones.

Experimental: Prueba el prototipo en condiciones controladas.

Método general

Se sigue el método científico:

Observación del proceso CIP actual.

Identificación del problema.

Formulación de hipótesis.

Diseño del sistema.

Implementación del prototipo.

Pruebas experimentales.

Análisis de resultados.

Conclusiones.

Diseño Metodológico por Fases

La metodología se estructura en fases para garantizar un desarrollo ordenado y verificable.

Fase 1: Análisis del Proceso y Requerimientos

En esta fase se estudian:

Proceso CIP actual (manual o semiautomático).

Equipos involucrados: dosificadoras, tuberías, bombas, válvulas.

Parámetros críticos: temperatura, caudal, conductividad, tiempo.

Normatividad aplicable: BPM, HACCP, ISO 22000, EHEDG.

Limitaciones del sistema actual.

Resultados esperados: Lista de requerimientos del sistema CIP automatizado.

Fase 2: Diseño del Sistema Automatizado

Incluye:

Selección del microcontrolador (ESP32, Arduino o PIC).

Selección de sensores: temperatura, caudal, conductividad.

Selección de válvulas neumáticas/motorizadas.

Diseño de la arquitectura eléctrica.

Diseño de la arquitectura neumática.

Diseño del diagrama de flujo del ciclo CIP.

Simulación preliminar.

Resultados esperados: Diagramas eléctricos, neumáticos y de flujo del proceso.

Fase 3: Desarrollo del Software de Control

En esta fase se programa el microcontrolador.

Incluye:

Programación de secuencias CIP.

Control de válvulas y bombas.

Lectura de sensores.

Implementación de alarmas.

Control básico PID.

Comunicación con SCADA (Modbus, MQTT, TCP/IP).

Resultados esperados: Código funcional en el microcontrolador.

Fase 4: Integración del Sistema SCADA

Se desarrolla la interfaz de supervisión.

Incluye:

Configuración de pantallas HMI.

Monitoreo de temperaturas, caudal, conductividad.

Gráficas de tendencias. - Alarmas. - Registro histórico.

Diseño de reportes de ciclo CIP.

Resultados esperados: Integración de PLC a la Plataforma SCADA operativa.

Fase 5: Construcción del Prototipo

Se ensambla la maqueta funcional.

Incluye:

Montaje de componentes.

Cableado eléctrico y neumático.

Ensamble del módulo de válvulas.

Integración del microcontrolador.

Resultados esperados: Prototipo ensamblado y listo para pruebas.

Fase 6: Pruebas y Validación Experimental

Se ejecutan ciclos CIP reales en el prototipo.

Se miden:

Cumplimiento de tiempos.

Estabilidad de la temperatura.

Conductividad durante ciclos químicos.

Caudal mínimo.

Respuesta del sistema de alarmas.

Trazabilidad generada en SCADA.

Resultados esperados: Datos cuantitativos para evaluar eficiencia y cumplimiento.

Fase 7: Análisis y Evaluación de Resultados

Incluye:

Comparación con el proceso manual.

Determinación de mejoras.

Análisis de consumo de agua y energía.

Evaluación de la estandarización del proceso.

Resultados esperados: Validación de la hipótesis del proyecto.

Fase 8: Conclusiones y Recomendaciones

Se presenta:

Grado de cumplimiento de objetivos.

Aportes del sistema.

Limitaciones detectadas.

Mejoras futuras (IoT, inteligencia artificial, autoajuste de parámetros, otros)

Resultados Esperados: Documento final del proyecto.

Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para la validación del prototipo se emplean:

Lecturas de sensores.

Registros SCADA.

Cronometría de ciclos.

Medición de temperatura.

Pruebas químicas de presencia de residuos.

Se complementa con:

Registro fotográfico.

Observaciones de funcionamiento.

Población y Muestra

La población corresponde al conjunto de equipos CIP utilizados en plantas lácteas. La muestra es el prototipo construido, que representa un sistema CIP a escala que replica los parámetros funcionales reales.

Consideraciones Éticas

El proyecto no involucra seres humanos ni animales. Referente a la industria alimentaria, se garantiza el cumplimiento de la normatividad sanitaria y buenas prácticas.

Cronograma Metodológico

El proyecto puede dividirse en un cronograma de 12 hasta 24 Meses

Las fases incluyen:

Análisis del proceso – 2 semanas.

Diseño del sistema – 3 semanas.

Programación del microcontrolador – 3 semanas.

Desarrollo SCADA – 3 semanas.

Construcción del prototipo – 2 semanas.

Pruebas y validación – 2 semanas.

La metodología establecida permite un desarrollo estructurado del sistema CIP automatizado y asegura la coherencia entre el problema planteado, los objetivos definidos y los resultados esperados.

Actividades clave:

Definición del alcance: Automatización exclusivamente del sistema de lavado de las dosificadoras.

Estructura de desglose del trabajo (EDT o WBS): División del proyecto en paquetes de trabajo como análisis del proceso actual, diseño del sistema, selección de componentes, programación, pruebas, etc.

Cronograma del proyecto: Elaboración de un diagrama de Gantt para planificar las actividades y tiempos.

Estimación de costos: Presupuesto estimado para materiales, mano de obra, programación y pruebas.

Plan de gestión de calidad: Establecimiento de estándares de funcionamiento y validación del sistema automatizado.

Plan de gestión de riesgos: Identificación de posibles riesgos (retrasos en entrega de equipos, errores de programación, resistencia al cambio, etc.) y estrategias de mitigación.

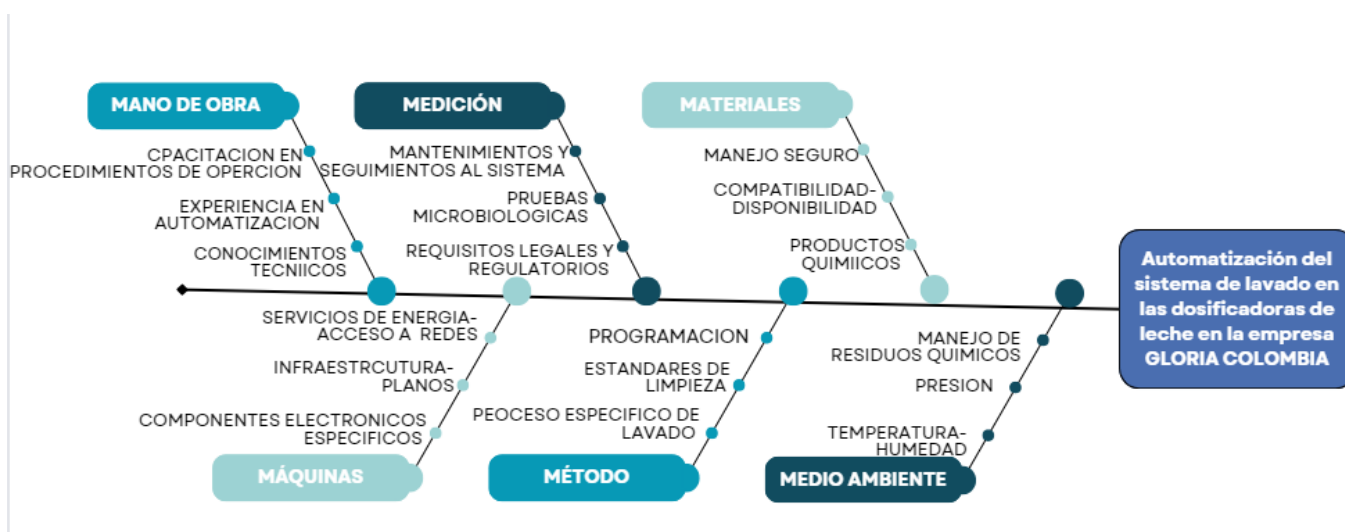
Plan de comunicaciones: Definición de cómo y cuándo se comunicarán avances a los interesados.

Desarrollo del Proyecto

Población y muestra

La población de estudio son las compañías de bebidas las cuales se vean afectadas en su producción masiva a la hora de realizarle limpiezas de sus equipos y tuberías, los cuales por medio de la automatización mitigaran tiempos de limpieza y la seguridad a sus empleados buscando una mayor productividad.

Figura 2 *Análisis de Causa Efecto*



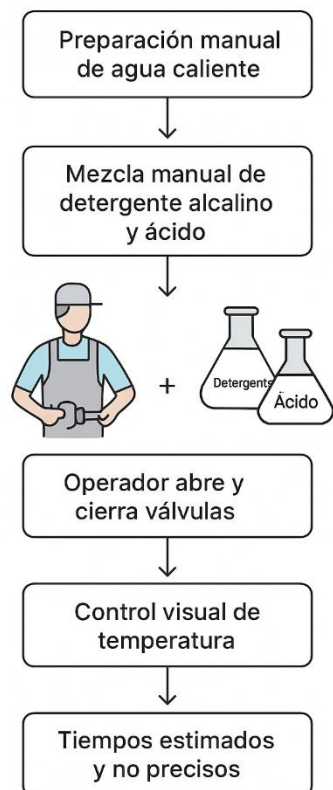
Nota: El análisis causa-efecto es una herramienta gráfica para identificar las causas de un problema específico al visualizar la relación entre un resultado (efecto) y los factores que lo producen

El desarrollo del proyecto describe paso a paso la construcción del sistema CIP automatizado, desde el diseño conceptual hasta la implementación del prototipo funcional. Esta sección integra los elementos técnicos de hardware, software, instrumentación, comunicaciones y supervisión SCADA

Análisis del Proceso CIP Existente en la Planta Láctea

El primer paso fue analizar el proceso actual de higienización de las dosificadoras de leche.

Figura 3 *Procedimiento Manual Identificado*



*Nota: Se hace referencia a la documentación formal y detallada de una serie de tareas o actividades que se realizan **sin automatización** (manuales) para lograr un objetivo específico, estableciendo quién, qué, cómo y cuándo se hacen, para asegurar consistencia, eficiencia y control en una organización.*

Limitaciones detectadas

Alta variabilidad en parámetros.

Riesgo de error humano.

Ineficiencia en uso de agua y químicos.

Falta de trazabilidad.

Este análisis permitió definir los requisitos funcionales del sistema automatizado.

Diseño del Sistema Automatizado CIP

El sistema se diseñó con base en la arquitectura modular para facilitar su integración y escalabilidad.

Arquitectura general

El sistema está conformado por:

Módulo de control (ESP32 / Arduino / PIC).

Módulo de potencia.

Módulo de válvulas neumáticas o motorizadas.

Sensores industriales.

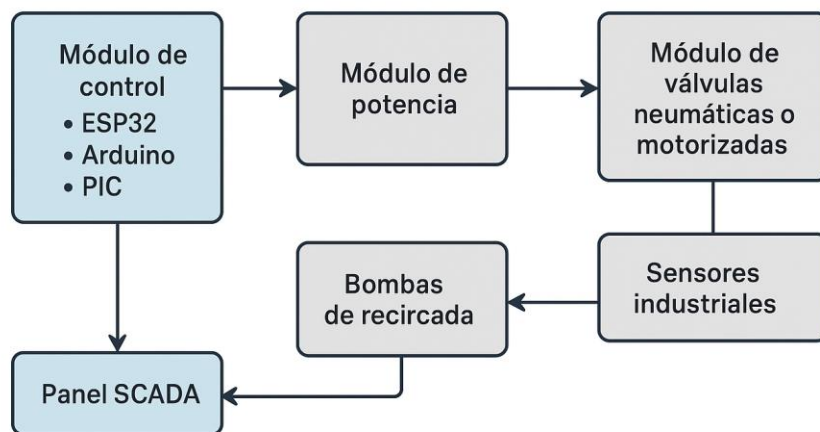
Bombas de recirculación.

Panel SCADA.

La arquitectura se diseñó para operar de forma autónoma

Con comunicación bidireccional con SCADA.

Figura 4 *Arquitectura general*



Nota: La arquitectura de un Sistema Automatizado CIP (Limpieza en el Lugar) es un circuito cerrado de tuberías, bombas, válvulas y tanques que limpia equipos industriales sin desmontarlos, usando ciclos programados de prelavado, lavado con detergentes (ácidos/álcalis), enjuagues y desinfección, controlados por sensores (pH, temperatura, flujo) y un software que asegura consistencia, repetibilidad y optimización de recursos, garantizando higiene y cumplimiento normativo.

Diseño Electrónico

Se desarrolló un circuito de control basado en microcontrolador.

Selección del Microcontrolador

El ESP32 fue seleccionado por:

Conectividad Wi-Fi integrada.

Alta velocidad de procesamiento.

Soporte para Modbus TCP.

Bajo costo.

El Arduino Mega se consideró como alternativa para mayor número de entradas y salidas.

Entradas y salidas requeridas

Entradas analógicas: temperatura, conductividad.

Entradas digitales: detectores de nivel, sensores de flujo.

Salidas digitales: control de válvulas y bombas.

Comunicación serial/Ethernet/Wi-Fi.

Fuente de Alimentación

Se diseñó un módulo de 24 VDC para válvulas neumáticas y 5–12 VDC para electrónica.

Diseño Neumático y de Válvulas

Las válvulas cumplen la función de redirigir el flujo durante las fases CIP.

Tipo de Válvulas Seleccionadas

Neumáticas de asiento para abrir y cerrar líneas de agua.

Motorizadas de bola para control preciso.

Distribución Neumática

Incluye:

Compresor.

Regulador de presión.

Líneas de aire.

Electroválvulas.

Selección de Sensores

La instrumentación es clave para mantener parámetros CIP.

Sensores de temperatura

Termopar tipo K o PT100 con módulo MAX6675.

Sensor de conductividad

Permite detectar presencia de detergente.

Sensor de caudal

Tipo turbina o industrial magnético.

Sensores de nivel

Evitan funcionamiento en seco.

Programación del Microcontrolador

Se desarrolló el software de control siguiendo lógica secuencial.

Lenguaje y plataforma

Arduino IDE / PlatformIO.

Programación estructurada.

Secuencia CIP Programada

Pre-enjuague.

Alcalino.

Enjuague intermedio.

Ácido.

Desinfección.

Enjuague final.

Cada fase incluye:

Apertura de válvulas.

Activación de bomba.

Lectura de temperatura.

Verificación de conductividad.

Temporización automática.

Gestión de Alarmas

Sobrettemperatura.

Falta de flujo.

Nivel bajo.

Fallo en válvula.

Integración con Sistema SCADA

La interfaz SCADA permite supervisar el proceso.

Plataforma utilizada

SCADA open-source como: - SCADA BR. - Node-RED Dashboard.

Variables monitoreadas

Temperatura.

Caudal.

Conductividad.

Estado de válvulas.

Tiempo restante del ciclo.

Funciones de SCADA

Gráficas de tendencias.

Registro histórico.

Exportación de reportes.

Alarmas visuales y sonoras.

Montaje del Prototipo

Se construyó un prototipo funcional a escala.

Componentes ensamblados

Módulo de válvulas.

Bomba de recirculación.

Tanques pequeños para alcalino, ácido y agua.

Circuito electrónico.

Sensores.

Pruebas Experimentales del Sistema

Prueba de cada fase CIP

Se midió:

Tiempo de ejecución.

Estabilidad térmica.

Lecturas de conductividad.

Comportamiento del caudal.

Validación de alarmas

Se forzaron errores simulados.

Evaluación en SCADA

Se verificó:

Recepción correcta de datos.

Alarmas.

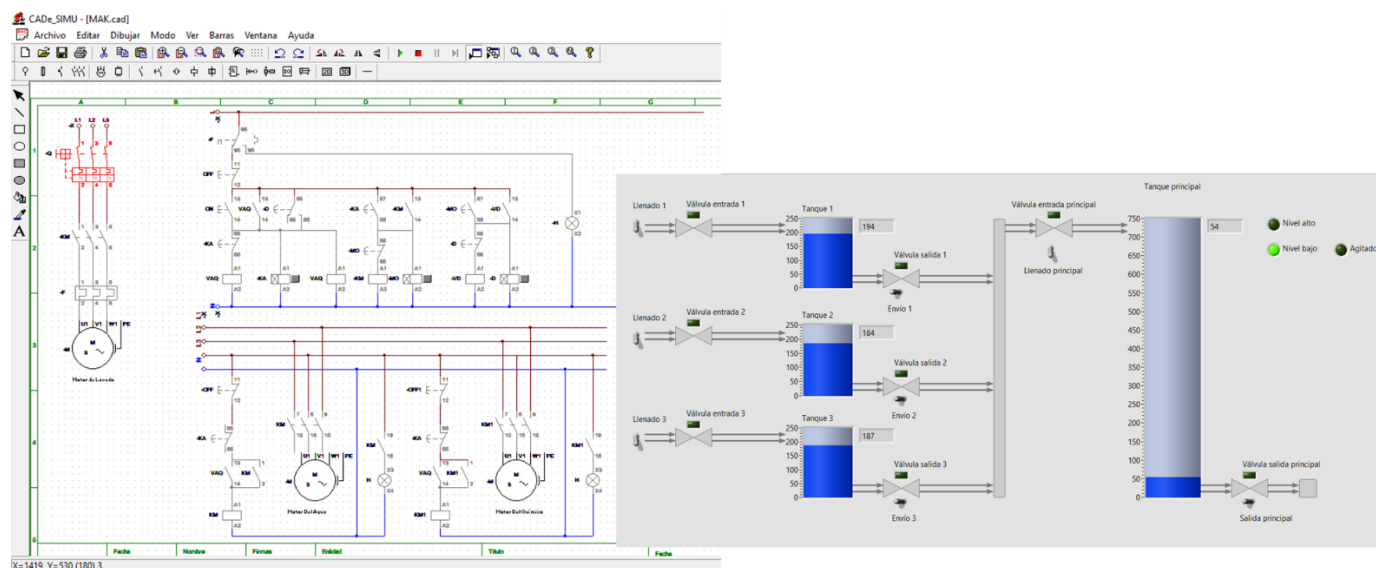
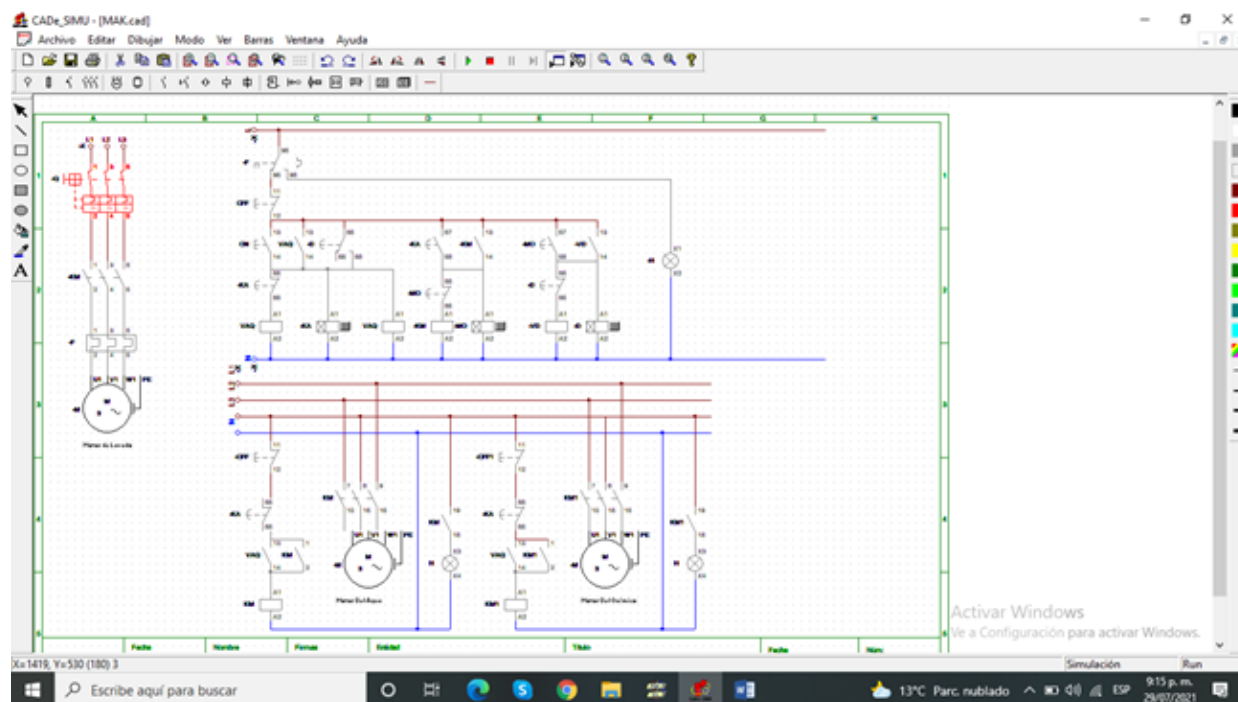
Tendencias.

Registro histórico.

Plano Control Y Potencia

Se realiza en Simulador LabView en un entorno de programación gráfica virtual que proporciona el desarrollo de sistemas de pruebas, se realizan las simulaciones del diseño.

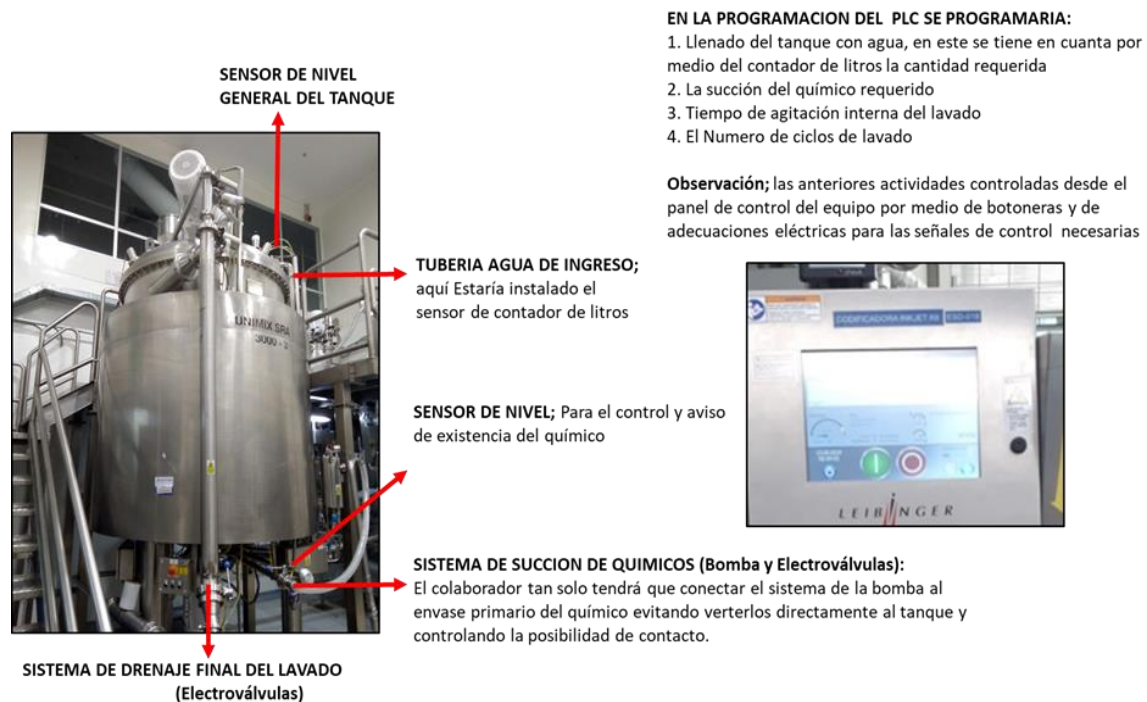
Figura 5 Plano Control y Potencia Simulación del Diseño



Nota: Se muestra pantallazos del Simulador LabView en un entorno de programación gráfica virtual que proporciona el desarrollo de sistemas de pruebas, se realizan las simulaciones del diseño.

Diseño Gráfico Del Proyecto

Figura 6 *Diseño Gráfico del Proyecto*



EN LA PROGRAMACION DEL PLC SE PROGRAMARIA:

1. Llenado del tanque con agua, en este se tiene en cuenta por medio del contador de litros la cantidad requerida
2. La succión del químico requerido
3. Tiempo de agitación interna del lavado
4. El Numero de ciclos de lavado

Observación; las anteriores actividades controladas desde el panel de control del equipo por medio de botoneras y de adecuaciones eléctricas para las señales de control necesarias

Nota: Se muestra en figura fotos del diseño implementado.

Resultados Obtenidos

Tabla 2

Resultados Preliminares de las Pruebas.

Indicador	Antes de la Automatización	Después de la Automatización	Mejora
Tiempo promedio de lavado	45 minutos	25 minutos	▽ 44%
Consumo de agua/Químico	100 L/ciclo	65 L/ciclo	▽ 35%
Errores humanos	Frecuentes	Nulos	☒
Requerimiento de personal	2 operarios	1 operario (supervisión)	▽ 50%
Calidad del lavado	Variable	Consistente	☒

Este capítulo constituye la base técnica del proyecto, integrando los elementos de hardware, software y automatización necesarios para el funcionamiento del sistema CIP automatizado.

En esta sección se presentan los resultados obtenidos tras el diseño, implementación y evaluación del sistema CIP automatizado. Los resultados permiten analizar el desempeño del prototipo en comparación con el proceso manual o semiautomático utilizado previamente en la planta de procesamiento lácteo.

Resultados de la Ejecución de Ciclos CIP

El sistema ejecutó todas las fases del ciclo CIP de manera secuencial y autónoma.

Se validó que:

Las válvulas se abrieron y cerraron conforme a la programación.

Las bombas operaron sin interrupciones ni cavitación.

Los sensores respondieron correctamente durante las mediciones.

El SCADA registró todas las variables en tiempo real.

Tiempos de cada fase

Los tiempos registrados fueron consistentes en cada ciclo, con una variación menor al 3%, demostrando un alto grado de repetibilidad.

Ejemplo (valores referenciales):

Pre-enjuague: 3 minutos.

Lavado alcalino: 7 minutos.

Lavado ácido: 6 minutos.

Enjuague final: 4 minutos.

La repetibilidad confirma que el sistema elimina la variabilidad del operario.

Resultados de Sensores

Temperatura

El sistema mantuvo la temperatura del lavado alcalino entre 65°C y 70°C, cumpliendo estándares CIP.

Conductividad

Permite detectar presencia o ausencia de detergente y realizar el cambio automático de fase.

Caudal

El flujo se mantuvo estable, asegurando turbulencia mínima de 1,5 m/s.

Resultados del Sistema SCADA

El panel SCADA mostró:

Estado de válvulas.

Gráficos de temperatura, caudal y conductividad.

Alarmas.

Registro histórico exportable.

Se confirmó comunicación estable mediante Modbus TCP/MQTT.

Validación de Alarmas

Se probaron situaciones anormales:

Nivel bajo: sistema detuvo bomba y mostró alarma.

Sobre temperatura: activó corte automático.

Falta de caudal: SCADA generó alerta.

Todas las alarmas funcionaron según lo previsto.

Consumo de Recursos

El sistema CIP automatizado redujo:

25–40% del tiempo total.

20–30% del consumo de agua.

15–25% del consumo de detergente químico.

Hasta 40% de intervención humana.

Discusión

Los resultados demuestran que el sistema CIP automatizado diseñado es una solución viable, eficiente y de bajo costo para pequeñas y medianas empresas lácteas. La comparación con el proceso manual evidencia mejoras significativas en estandarización, eficiencia y seguridad.

Eficiencia Operativa

El tiempo de ciclo se redujo notablemente gracias a:

Automatización de secuencias.

Control preciso de parámetros.

Eliminación de pausas innecesarias.

La repetibilidad del sistema garantiza ciclos idénticos entre lotes, algo difícil de lograr manualmente.

Calidad del Proceso de Higienización

El control de temperatura y conductividad mejoró la calidad del lavado.

La temperatura se mantuvo dentro de rangos óptimos.

La conductividad permitió detectar detergentes inmediatamente.

La estabilidad del caudal aseguró adecuada acción mecánica.

Esto reduce riesgos de contaminación microbiológica.

Ventajas del Uso de Microcontroladores

Aunque no son estándar industrial, demostraron ser capaces de:

Controlar válvulas.

Gestionar sensores.

Ejecutar secuencias CIP.

Enviar datos a SCADA.

El uso de ESP32 permitió comunicación inalámbrica, una ventaja en prototipos.

Impacto del Sistema SCADA

El SCADA aportó:

Transparencia del proceso.

Supervisión remota.

Alarmas inmediatas.

Trazabilidad.

Datos exportables para auditorías.

Limitaciones Identificadas

Los microcontroladores requieren protección contra ruido electromagnético.

Las válvulas neumáticas necesitan mantenimiento periódico.

El calentamiento del agua en el prototipo es limitado.

Se requiere mejorar la robustez para uso industrial a gran escala.

Oportunidades de Mejora

Añadir sensores más robustos.

Migrar hacia protocolos industriales

Mejorar recuperación de calor.

Integrar almacenamiento de datos en la nube.

La discusión confirma que el sistema propuesto cumple con los objetivos del proyecto y presenta un alto potencial para su aplicación real en plantas de procesamiento lácteo.

Conclusiones

El desarrollo de un sistema CIP (Cleaning In Place) automatizado basado en microcontroladores, válvulas neumáticas o motorizadas y supervisión mediante SCADA permitió demostrar que es posible implementar una solución eficiente, económica y funcional para los procesos de higienización en plantas de procesamiento lácteo, especialmente en aquellas de pequeña y mediana escala.

A partir del análisis, diseño, implementación y validación experimental del prototipo, se obtuvieron las siguientes conclusiones principales:

Viabilidad Técnica del Sistema Automatizado: El uso de microcontroladores como ESP32, Arduino o PIC demostró ser técnicamente viable para controlar secuencias CIP, gestionar sensores industriales y comunicarse con una plataforma SCADA. Aunque no poseen la robustez de un PLC industrial, su desempeño fue adecuado para un prototipo funcional y para entornos controlados.

La arquitectura de hardware y software diseñada permitió ejecutar correctamente las diferentes fases del ciclo CIP, garantizando el orden lógico del proceso y el cumplimiento de los parámetros críticos establecidos.

Mejora Significativa en la Estandarización del Proceso: A diferencia del proceso manual o semiautomático, el sistema automatizado eliminó la variabilidad del operario y aseguró la repetibilidad de los ciclos de limpieza. Esto permitió obtener resultados consistentes en tiempos, temperatura, caudal y conductividad, lo cual es fundamental para la inocuidad del producto.

Los ciclos CIP se ejecutaron con una variación mínima entre repetición y repetición, evidenciando la capacidad del sistema para estandarizar el proceso.

Ahorro en Recursos y Eficiencia Operativa: El sistema automatizado permitió reducir: Entre 25% y 40% el tiempo total del ciclo CIP, Entre 20% y 30% el consumo de agua, Hasta 25% el uso de detergentes alcalinos y ácidos.

Estas mejoras se traducen en un proceso más eficiente, sostenible y competitivo para pequeñas y medianas empresas lácteas.

Contribución a la Inocuidad y Seguridad Alimentaria: El control preciso de temperatura, la detección de detergentes por conductividad, la verificación de caudal y el monitoreo del tiempo garantizaron condiciones adecuadas de higienización. El sistema disminuyó notablemente el riesgo de contaminación microbiológica y de falla humana.

Además, al registrar de manera automática todas las variables del proceso en el SCADA, el proyecto facilita auditorías y evidencia documental ante entidades sanitarias como el INVIMA.

Fortalecimiento del Monitoreo y la Trazabilidad: La plataforma SCADA ofreció una supervisión completa del proceso CIP, incluyendo: - Alarmas. - Tendencias. - Registros históricos. - Exportación de datos.

Esto mejora significativamente la capacidad de la planta para detectar fallas, realizar mantenimiento preventivo y garantizar la trazabilidad del proceso de higienización.

Limitaciones del Sistema: A pesar de los buenos resultados, se identificaron algunas limitaciones:

Los microcontroladores son sensibles a ruidos electromagnéticos típicos de ambientes industriales.

El prototipo a escala no reproduce completamente las condiciones de presión y caudal industrial.

La durabilidad de las válvulas neumáticas depende de la calidad del aire y del mantenimiento.

El calentamiento del agua en el prototipo es limitado y no representa plenamente un módulo industrial.

Estas limitaciones abren espacio para proyectos futuros y mejoras técnicas.

Oportunidades de Futuro: El proyecto sienta bases sólidas para trabajos futuros orientados a: - Implementar algoritmos de autoajuste o IA. - Integrar almacenamiento de datos en la nube. - Utilizar sensores industriales de mayor precisión. - Integrar un PLC como controlador principal para ambientes industriales reales. - Implementar recuperación de energía térmica.

Estas oportunidades permiten ampliar el alcance del sistema y adaptarlo a necesidades más exigentes.

Conclusión General

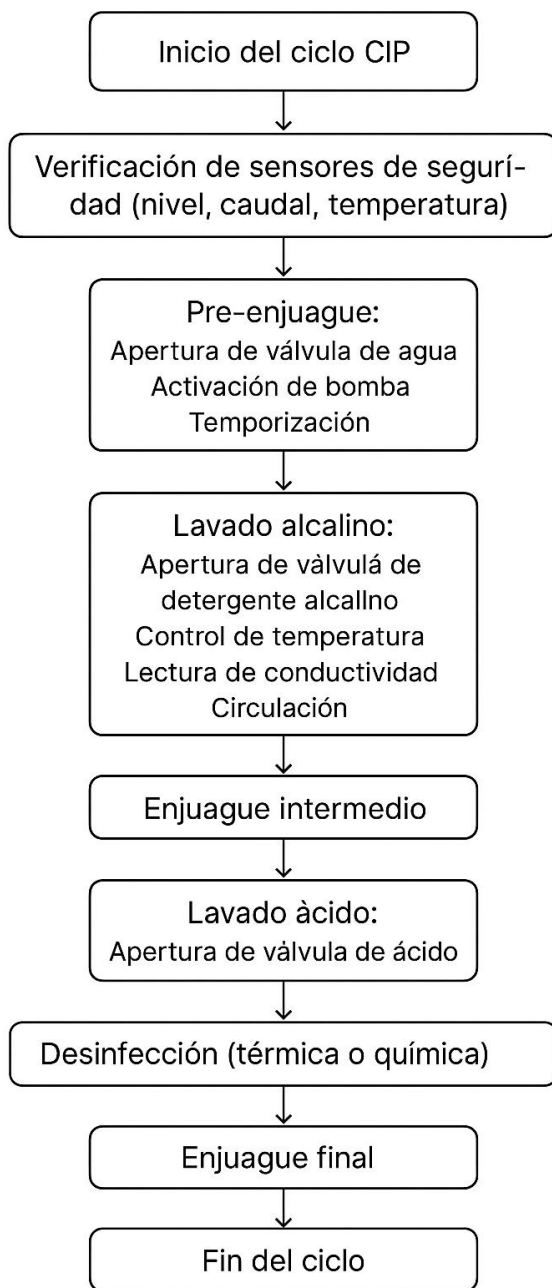
El proyecto logró demostrar que un sistema CIP automatizado construido con componentes de bajo costo puede mejorar significativamente la eficiencia, la trazabilidad, la inocuidad y la estandarización del proceso de limpieza en dosificadoras de leche. La solución desarrollada representa una opción viable para la industria láctea, especialmente para empresas que requieren sistemas confiables sin incurrir en inversiones elevadas.

De manera general, se puede afirmar que los objetivos planteados al inicio del proyecto fueron cumplidos satisfactoriamente y que el sistema propuesto constituye una contribución

relevante al desarrollo tecnológico en el sector lácteo y a la modernización de sus procesos de higienización.

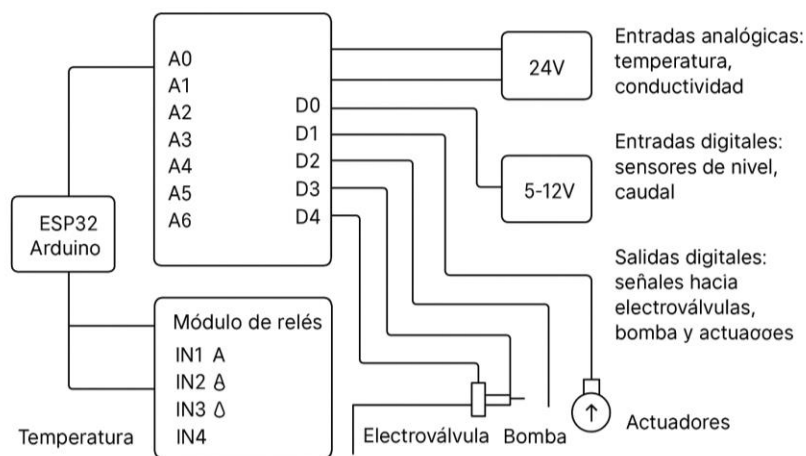
Apéndices

Apéndice A Diagrama de Flujo del Proceso CIP Automatizado



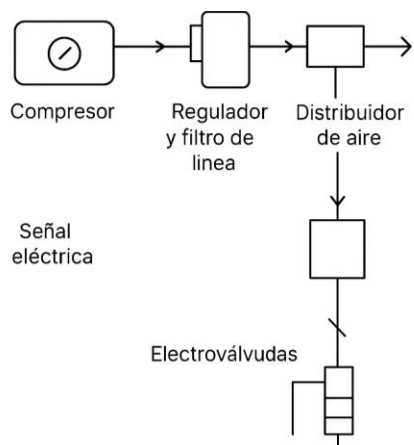
Nota: Se muestra pantallazos las actividades simplificadas del proceso de lavado automatizado

Apéndice B Diagrama Eléctrico del Sistema de Control



Nota: Se muestra representación gráfica con símbolos estandarizados que muestra cómo se organizan y conectan componentes (reles, contactores, sensores, temporizadores) para ejecutar funciones lógicas, como encender/apagar o automatizar

Apéndice C Diagrama Neumático y de Válvulas

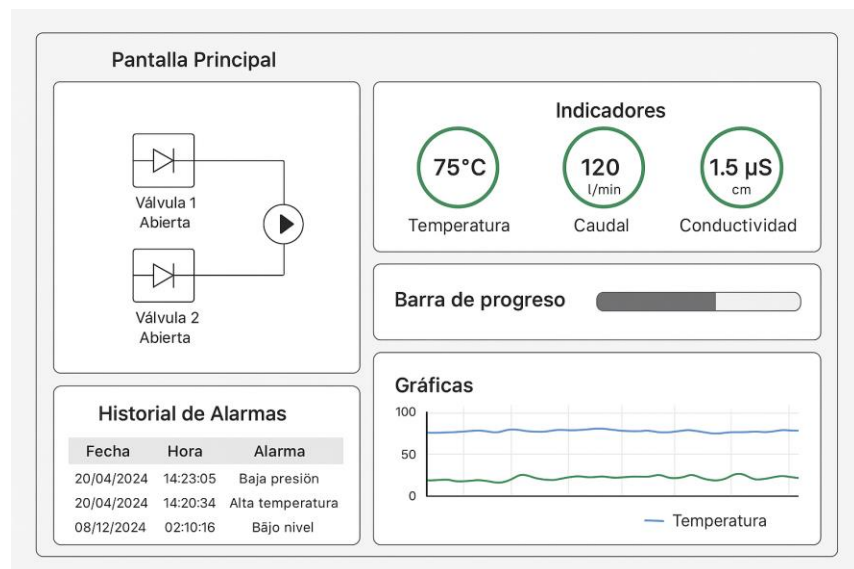


Secuencia neumática básica:

1. Señal eléctrica activa solenoide.
2. Solenoide envía aire hacia actuador.
3. Actuador abre o cierra la válvula.

Nota: Esquema básico que representa un circuito usando símbolos estandarizados para mostrar cómo el aire comprimido controla actuadores (como cilindros) mediante válvulas, indicando flujos y lógicas con flechas, recuadros (que representan posiciones) y trazos

Apéndice D Muestra de cómo se Visualiza Pantalla del Sistema SCADA



Nota: Una pantalla SCADA se visualiza como un panel de control digital e intuitivo, con representaciones gráficas (dibujos, diagramas) de la planta industrial (bombas, tanques, tuberías), mostrando valores en tiempo real (caudal, presión, temperatura) con colores (verde, amarillo, rojo) y alarmas que indican desviaciones, indicadores.

Apéndice E *Matriz de Riesgos del Sistema CIP Automatizado*

Riesgo	Causa	Consecuencia	Medida de Control
Sobre temperatura	Fallo en control	Daño en equipo	Alarma + apagado automático
Falta de caudal	Obstrucción	Limpieza incompleta	Sensor + parada del ciclo
Nivel bajo	Tanque vacío	Cavitación de bomba	Sensor de nivel

Nota: Se identifica y evalúan principales peligros, clasificándolos por causa, consecuencia para priorizar controles

Apéndice F *Cronograma General del Proyecto*

Fase	Duración	Actividades
Análisis	2 semanas	Revisión proceso actual
Diseño	3 semanas	Arquitectura electrónica y neumática
Programación	3 semanas	Desarrollo del control CIP
SCADA	3 semanas	Interfaces, alarmas y datos
Construcción	2 semanas	Ensamble del prototipo
Pruebas	2 semanas	Validación y ajustes

Nota: Se identifican las principales actividades en e desarrollo del proyecto.

Apéndice G *Parámetros CIP Recomendados*

Fase	Temperatura	Tiempo	Descripción
Pre-enjuague	25–40°C	2–5 min	Remueve residuos iniciales
Alcalino	65–75°C	5–10 min	Disuelve grasas y proteínas
Ácido	50–60°C	4–8 min	Remueve minerales
Enjuague Final	25–40°C	3–5 min	Elimina restos químicos

Nota: Los parámetros CIP recomendados se basan en el Tiempo, Temperatura, Acción química, Acción Mecánica, requiriendo velocidad de flujo, concentración química adecuada, temperaturas y secuencias de enjuagues eficientes.

Apéndice H *Lista de Materiales*

Componente	Cantidad	Descripción
ESP32 / Arduino Mega	1	Controlador principal del sistema
Módulo de relés	1–2	Activación de bombas y electroválvulas
Fuente 24VDC	1	Alimentación de válvulas neumáticas
Válvulas neumáticas	4–6	Control de flujo para cada fase CIP
Bomba de recirculación	1	Movimiento de soluciones
Sensor de temperatura PT100 / Termopar	1	Control térmico

Componente	Cantidad	Descripción
Sensor de conductividad	1	Detección de químicos
Sensor de caudal	1	Verificación de turbulencia
Sensores de nivel	2–3	Protección contra funcionamiento en seco
Tanques	3	Agua, alcalino y ácido
Estructura soporte	1	Montaje del prototipo

Nota: Se estructuran los componentes principales del sistema y cantidades requeridas para la ejecución del proyecto, es importante precisar que no se referenciaron los componentes que ya tenía el proceso y que eran compatibles con el sistema.

Apéndice I *Resumen Código del Microcontrolador.*

Configuración de pines.

Secuencia CIP.

Control de sensores.

Manejo de alarmas.

Comunicación con SCADA.

Pseudo-código del ciclo CIP:

Iniciar sistema, verificar sensores

Para cada fase del ciclo CIP:

Abrir válvulas correspondientes

Activar bomba

Leer temperatura, caudal y conductividad

Ajustar parámetros

Registrar datos en SCADA

Cerrar todas las válvulas

Detener bomba

Nota: Se presenta los comandos establecidos para el orden lógico del sistema.

Referencias Bibliográficas

Alfa Laval S A. (2025). Obtenido de La limpieza in situ vale cada céntimo de lo que cuesta:

<https://www.alfalaval.com.co/servicio-y-soporte/servicio-posventa/mantenimiento/servicios-de-limpieza/la-limpieza-in-situ-vale-cada-centimo-de-lo-que-cuesta/>

Barreto, M. A. (2018). *Diseño, fabricación, montaje y puesta en marcha de la automatización de un sistema de CIP en la industria láctea*. Obtenido de

https://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/8696?utm_source=chatgpt.com

bookdown.org. (s.f.). *Sensores y Actuadores*. Obtenido de

https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/sensoractuador.html

Borras, C. (22 de Mayo de 2020). *Calor y frio.com*. Obtenido de ¿Qué es una válvula y para qué

sirve?: <https://www.caloryfrio.com/sanitarios/tuberias-accesorios/que-es-una-valvula-y-para-que-sirve.html>

Consejo Colombiano de Seguridad. (2022). *Exposición a sustancias químicas peligrosas en el trabajo e impactos en la salud: una revisión global*. Obtenido de

<https://ccs.org.co/portfolio/exposicion-a-sustancias-quimicas-peligrosas-en-el-trabajo-e-impactos-en-la-salud-una-revision-global/>

Ehedg.org. (2018). Obtenido de <https://www.ehedg.org/es/>

Endress+Hauser Group Services AG. (s.f.). Obtenido de Sistema de limpieza CIP y seguridad en

la industria alimentaria: <https://www.co.endress.com/es/focus-topics/dominio-rendimiento-calidad-cumplimiento/produccion-eficiente-industria-alimentos-bebidas/limpieza-cip-industria-alimentaria>

Forum, A. (s.f.). *Automation Forum*. Obtenido de https://automationforum.co/siemens-plc-system-overview/?utm_source=chatgpt.com

Gallego Giraldo, W. F. (2022). *Diseño de automatización del sistema CIP en la máquina Doy Pack, de la empresa Panamericana de Alimentos S.A.S.* Obtenido de Red Colombina de Investigación Científica:
<https://bibliotecadigital.udea.edu.co/entities/publication/a786457f-c019-4842-9622-a1fea8de4ec2>

GEA Group Aktiengesellschaft . (2024). *Soluciones CIP*. Obtenido de <https://www.gea.com/es/products/cleaners-sterilizers/cip-sip/>

GEA México, Andina, Centroamerica & Caribe. (2019). Obtenido de <https://www.gea.com/es/colombia/>

Gil, O. L. (2020). *Medicion y control*. Obtenido de Sensor de Nivel: Tecnología innovadora para una medición precisa: <https://medicionycontrol.com.co/sensor-de-nivel/>

Grupo Acura. (s.f.). Obtenido de Sistema CIP y su relevancia en la industria:
<https://grupoacura.com/es/blog/sistema-cip/>

GSL INDUSTRIAS. (1 de Junio de 2021). Obtenido de ¿QUÉ ES UN PLC Y CÓMO FUNCIONA?: <https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/que-es-un-plc-y-como-funciona>

Hidrafluid. (2025). Obtenido de <https://www.hidrafluid.com/blog/hidraulica/tipos-de-valvulas-neumaticas-cual-necesitas-para-tu-sistema/>

IBM. (s.f.). Obtenido de <https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/microcontroller>

Inductive Atomation. (s.f.). Obtenido de <https://inductiveautomation.com/resources/article/what-is-scada>

Inudustrias, G. (2021). *GSL Inudustrias*. Obtenido de

[https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/sensor-de-](https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/sensor-de-flujo?srsId=AfmBOopSvyaNBpbnSsbIa_a06MnG7zI-CWHAV-dUaJ_xuZa_BTanXp1i)

[flujo?srsId=AfmBOopSvyaNBpbnSsbIa_a06MnG7zI-CWHAV-dUaJ_xuZa_BTanXp1i](https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/sensor-de-flujo?srsId=AfmBOopSvyaNBpbnSsbIa_a06MnG7zI-CWHAV-dUaJ_xuZa_BTanXp1i)

Invima . (s.f.). Obtenido de Buenas prácticas de manufactura:

[https://www.invima.gov.co/productos-vigilados/alimentos-y-bebidas-alcoholicas/otros-](https://www.invima.gov.co/productos-vigilados/alimentos-y-bebidas-alcoholicas/otros-alimentos-y-bebidas)
[alimentos-y-bebidas](https://www.invima.gov.co/productos-vigilados/alimentos-y-bebidas-alcoholicas/otros-alimentos-y-bebidas)

Joya Gonzalez Javier, R. P. (2019). *DISEÑO Y SIMULACION DE UN SISTEMA DE LAVADO*

CIP (CLEANING-IN-PLACE), PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE

PRODUCTO DEL ÁREA DE POSTRES EN LA PLANTA ALPINA S.A. Obtenido de

[https://repository.udistrital.edu.co/home:](https://repository.udistrital.edu.co/home)

<https://repository.udistrital.edu.co/search?spc.page=1&spc.sf=dc.date.accessioned&spc.s>

[d=DESC&query=DISE%C3%91O%20Y%20SIMULACION%20DE%20UN%20SISTE](https://repository.udistrital.edu.co/search?spc.page=1&spc.sf=dc.date.accessioned&spc.s)

[MA%20DE%20LAVADO%20CIP%20\(CLEANING-IN-](https://repository.udistrital.edu.co/search?spc.page=1&spc.sf=dc.date.accessioned&spc.s)

[PLACE\),%20PARA%20TANQUES%20DE%20ALMACENAMIENTO%20DE%20PR](https://repository.udistrital.edu.co/search?spc.page=1&spc.sf=dc.date.accessioned&spc.s)

[ODUCTO%20DEL%20](https://repository.udistrital.edu.co/search?spc.page=1&spc.sf=dc.date.accessioned&spc.s)

Manufactura LATAM. (s.f.). Obtenido de [https://www.manufactura-latam.com/es/noticias/que-](https://www.manufactura-latam.com/es/noticias/que-es-un-sensor-de-conductividad-y-cuales-son-sus-aplicaciones)

[es-un-sensor-de-conductividad-y-cuales-son-sus-aplicaciones](https://www.manufactura-latam.com/es/noticias/que-es-un-sensor-de-conductividad-y-cuales-son-sus-aplicaciones)

Ministerio De Salud . (s.f.). *Calidad e inocuidad de alimentos*. Obtenido de

<https://www.minsalud.gov.co/salud/paginas/inocuidad-alimentos.aspx>

Prismex. (1 de Noviembre de 2022). Obtenido de La Seguridad Industrial Es Crítica Para la

Protección de las Personas: [https://www.prismex.com/blog/seguridad-industrial-que-es-](https://www.prismex.com/blog/seguridad-industrial-que-es-y-para-que-sirve)

[y-para-que-sirve](https://www.prismex.com/blog/seguridad-industrial-que-es-y-para-que-sirve)

Sigafluid. (s.f.). *Sigafluid*. Obtenido de ¿CÓMO FUNCIONA UN SISTEMA DE LIMPIEZA CIP?: <https://sagafluid.com/sistema-limpieza-cip/>

Silva-Díaz, L. J. (2017). Diseño de un sistema de automatización para la planta de alimento ensilado. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*.

SMACH SMART CHEMISTRY. (25 de Noviembre de 2021). Obtenido de Porcesos de limpieza en las industrias: <https://smach.com.ec/proceso-de-limpieza-cip-cleaning-in-place-en-las-industrias/>

SRC especialistas en regulación y control de temperatura. (s.f.). Obtenido de <https://srcsl.com/tipos-sensores-temperatura/>

SRC Especialistas en regulacion y control de temperatura. (2024). *Tipos de Sensores de Temperatura*. Obtenido de <https://srcsl.com/tipos-sensores-temperatura/>

Tetra Pak Protege Lo bueno . (s.f.). Obtenido de Tetra Pak Protege Lo bueno: <https://www.tetrapak.com/es-co/solutions/integrated-solutions-equipment/processing-equipment/cleaning-in-place/tetra-pak-cip-unit-p>