# Implementación de un sistema de purgas automáticas para la caldera pirotubular de la empresa Tecnoquímicas en el municipio de Villa Rica – Cauca

Fausto Andrés Plazas Agudelo

Asesor

MSc. Álvaro José Cervelion Bastidas

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería

Ingeniería Electrónica

2024

## Dedicatoria

Dedico este trabajo primeramente a Dios, quien me dio la fuerza y sabiduría para superar las dificultades a lo largo de mi carrera. También a mi familia, por su apoyo incondicional y por impulsarme a lograr con éxito mi carrera.

**Agradecimientos**

Quiero expresar mi agradecimiento a los docentes del programa de ingeniería electrónica por su orientación y apoyo durante todo el proceso, su contribución fue muy valiosa a lo largo de mi carrera. También agradezco a mi familia por su apoyo incondicional.

## Resumen

Una caldera es un elemento esencial dentro de los procesos de manufactura en la industria, ya que suministra el vapor necesario para el control ambiental y el procesamiento de materias primas. Un proceso vital dentro del funcionamiento de una caldera es el purgado que permite la evacuación de residuos que tiene el agua utilizada para la generación del vapor.

Actualmente en la caldera de la empresa Tecnoquímicas (Planta Villa Rica - Cauca) este proceso de purga se realiza de forma manual lo que implica riesgos para el personal operativo como son posibles quemaduras y exposición a maniobras peligrosas en un equipo que posee vapor industrial a altas presiones (120 PSI) y temperaturas superiores a los 70 °C.

En este documento se presenta la automatización del sistema de purga de la caldera pirotubular de la empresa Tecnoquímicas, mediante la utilización de PLC con el objetivo de realizar este proceso de forma automática, por medio de elementos electromecánicos que se encargan de realizar las funciones de apertura y cierre de las válvulas encargadas de la función de purgado.

Por medio del sistema de purgas automáticas se logra disminuir la hora hombre (Mano de obra) en la caldera, por otra parte, se logran optimizar los recursos utilizados para la generación de vapor y se eliminan los posibles riesgos al no ser necesaria la manipulación manual de los elementos involucrados en la purga.


***Palabras clave*:** Manufactura, Automatización, Caldera, PLC (Controlador Lógico Programable), sistema de purgas.

## Abstract

A boiler is an essential element within manufacturing processes in the industry, since it supplies the steam necessary for environmental control and the processing of raw materials. A vital process within the operation of a boiler is purging, which allows the evacuation of waste from the water used for steam generation.

Currently in the boiler of the Tecnoquímicas company (Villa Rica - Cauca Plant) this purging process is carried out manually, which implies risks for operating personnel such as possible burns and exposure to dangerous maneuvers in equipment that has industrial steam at high pressures (120 PSI) and temperatures above 70 °C.

This document presents the automation of the purging system of the fire-tube boiler of the Tecnoquímicas company, through the use of PLC with the objective of carrying out this process automatically, through electromechanical elements that are responsible for performing the opening functions. and closing of the valves responsible for the purging function.

Through the automatic purge system, it is possible to reduce the man hour (Labor) in the boiler, on the other hand, the resources used for steam generation are optimized and possible risks are eliminated as manual handling of the boiler is not necessary. the elements involved in the purge.


***Keywords:*** Manufacturing, Automation, Boiler, PLC (Programmable Logic Controller), purge system.

## Tabla de contenido

Introducción ..... 9

Descripción del Problema ..... 10

Recolección de datos ..... 11

Planteamiento del Problema ..... 12

Sistematización del Problema ..... 13

Justificación ..... 16

Objetivos ..... 17

Objetivo General ..... 17

Objetivos Específicos ..... 17

Estado del arte ..... 18

Tipo de estudio ..... 21

Marco contextual ..... 23

Marco teórico ..... 25

Marco normativo ..... 28

Metodología ..... 30

Conclusiones ..... 44

Recomendaciones ..... 46

Plan de mantenimiento ..... 46

Plan de mantenimiento correctivo ..... 46

Plan de mantenimiento predictivo ..... 47

Plan de mantenimiento preventivo ..... 47

Referencias bibliográficas ..... 49

## Lista de Tablas

**Tabla 1** *Recursos para la implementación*…….…….....…...33

**Tabla 2** *Selección de PLC*……. ……..……..….....35

## Lista de Figuras

**Figura 1** "*Comparación de las purgas manuales vs las automáticas"*…….…...14

**Figura 2** *"Diagrama de flujo Metodología*"…….....31

**Figura 3** *"Válvula tipo actuador"*……...…..36

**Figura 4** "*Plano eléctrico / neumático*"…….……...37

**Figura 5** "*Algoritmos – Programación Ladder*"**...**……..…….38

**Figura 6** "*Algoritmos – Programación Bloques de función*"**...**…….…….39

**Figura 7** "*Exterior del gabinete de control*"……..……...…...41

**Figura 8** "*Interior del gabinete de control*"**.**…….……..…….…….....41

**Figura 9** "*Actuadores neumáticos*"……..…….……42

**Figura 10** "*Caldera pirotubular*"……...……...42

## Introducción

En la actualidad en muchos de los procesos industriales que se realizan en una planta de producción utilizan el vapor industrial, el cual es empleado en los diferentes procesos como el control de condiciones ambientales (humedad relativa - temperatura), las cuales deben ser controladas para garantizar un ambiente limpio e ideal, esto depende de las actividades que se realizan en las áreas (limpieza, manufactura, envase y empaque).

Actualmente en la planta de Tecnoquímicas se cuenta con una caldera pirotubular, la cual se encarga de generar el vapor requerido para los diferentes procesos en las áreas.

El proceso de purgas en la caldera actualmente se realiza de forma manual, lo que implica una serie de peligros e imprecisiones a la hora de la operación de este equipo.

Para este caso se hará énfasis en la optimización de insumos y la disminución de mano de obra en actividades que se pueden automatizar por medio de una serie de componentes que facilitan ciertas actividades. Por otra parte, se emplearán dispositivos electrónicos que son programables (PLC) y ofrecen la posibilidad de ser programados por medio de software especializado y también por instrucciones manuales desde el hardware de estos.

Por lo anterior, se implementará un sistema de purgas automáticas, donde se contará con un cronograma de actividades con los respectivos tiempos para ejecutar las actividades o pasos del proyecto, así como se calcularán costos acordes a los requerimientos, se realizarán simulaciones del proceso a automatizar, se dará forma al proyecto por medio de esquemas (Planos eléctricos) y simulaciones mediante software especializado, en donde se podrá evidenciar la viabilidad y aplicabilidad del proyecto.

## Descripción del Problema

Actualmente en la planta Tecnoquímicas (Villarrica - Cauca) se utiliza una caldera de 100 BHP (boiler horsepower) para suministrar vapor industrial a sus procesos, dentro de los cuales se pueden resaltar el área de manufactura, donde se utiliza el vapor para calentar los reactores que fabrican productos semisólidos (Cremas medicadas), por otra parte el vapor generado se utiliza para calentar agua por medio de intercambiadores de placas, la cual se utiliza en las áreas de lavado, por ultimo y no menos importante el vapor se utiliza en las unidades manejadoras (UMAS) para controlar  la temperatura y la humedad relativa en los cubículos internos. Debido a la criticidad del suministro de vapor es muy importante garantizar el correcto funcionamiento y prolongación de la vida útil de la caldera.

El proceso de purgas de fondo en la caldera se está realizando manualmente, lo que implica un riesgo de quemadura al manipular válvulas a alta presión (120 PSI) y alta temperatura (70 a 90°C). Además, al ser un proceso manual se cuenta con un porcentaje de error humano que se representa en un tiempo incorrecto de purga en una de las válvulas (normalmente debería ser de 10 a 15 segundos dependiendo de la calidad del agua), por otra parte, se puede presentar la no realización de estas purgas por algún motivo como olvido o falta de personal.

## Recolección de Datos

Para el sistema de purgas automáticas de la caldera pirotubular de la empresa tecnoquímicas se tienen en cuenta los datos recolectados a lo largo de la instalación de la caldera y su operación, evidenciando así la necesidad de automatizar las purgas con el fin de tener un proceso autónomo y más seguro.

En la actualidad para estos sistemas se opta por la automatización con el fin de aprovechar al máximo los recursos y tener un sistema más seguro.

Se consideran las normas actuales en Colombia para este tipo de sistemas.

Por otra parte, se analizan los tiempos e intervalos de las purgas de acuerdo con el tratamiento químico al cual es sometida el agua, este punto es crucial para la determinación de cómo se va a realizar el proceso de purgas.

Adicionalmente se analizan y evalúan los riesgos de realizar este proceso de forma manual, se recolecta información acerca de los riegos de quemaduras y la manipulación de válvulas que llevan fluidos con alta presión, llegando a la conclusión de que es mejor realizar estas tareas de alto riego de forma autónoma sin la intervención de una persona.

## Planteamiento del Problema

En las calderas de vapor industrial, las purgas son esenciales para mantener el rendimiento y la seguridad, a continuación, se explicará su importancia y función deseada.

Si no se realizan las purgas, las impurezas se acumulan en el agua de la caldera, estas impurezas pueden causar incrustaciones, corrosión y otros problemas a raíz de la calidad del agua utilizada. Las purgas tienen como objetivo eliminar parte del agua con impurezas, con el fin de renovarla y evitar que se depositen en el fondo de la caldera.

La purga de fondo está situada en el fondo de la caldera, y elimina las impurezas acumuladas, esta purga debe ser de apertura rápida para arrastrar únicamente las impurezas y no descompensar en gran medida el nivel óptimo de la caldera.

Dicho lo anterior se ve la necesidad de realizar las purgas de manera estricta y eficiente, para lo cual se recurrirá a la automatización de este proceso, con el fin de optimizarlo, minimizar riesgos físicos y alargar la vida útil de la caldera.

## Sistematización del Problema

### ¿Por qué son Necesarias las Purgas?

Garantizar el buen funcionamiento de la caldera permite extender su vida útil y optimizar sus funciones. Para esto, es imprescindible realiza purgas regularmente, tanto del fondo como de la superficie.

En una caldera, junto al agua de ingreso penetran sales disueltas, a la vez que el vapor que sale no contiene impurezas, lo que produce un aumento de la concentración de sólidos disueltos. Por este motivo, es indispensable realizar la purga de fondo de la caldera regularmente, ya que los sólidos se van al fondo, y la purga de superficie para mantener un nivel de sólidos totalmente disueltos (STD) dentro de los límites requeridos para el óptimo funcionamiento del generador de vapor.

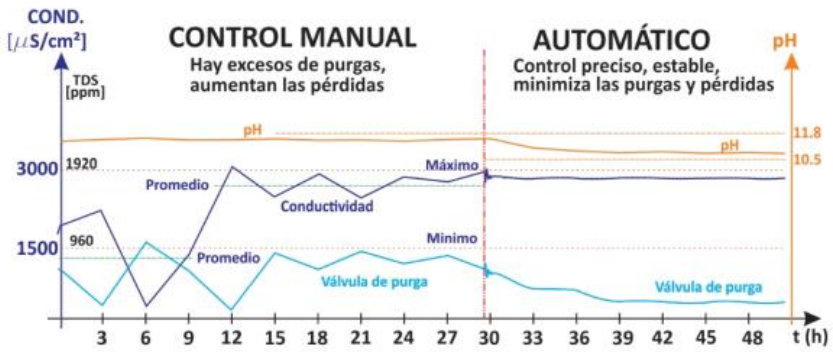
El riesgo de posibles quemaduras es inminente al realizarlas de forma manual, por este motivo, además de la optimización de recursos y garantizar el correcto funcionamiento de la caldera son importantes las purgas.

### ¿Como se Puede Mejorar el Proceso de Purgas Utilizando Automatización?

Al implementar un sistema automático por medio de un controlador lógico programable (PLC) se garantiza la realización oportuna y eficiente de las purgas, esto es posible utilizando componentes electromecánicos, los cuales son controlados por el PLC, en el cual se establecen los tiempos de purgas y frecuencias necesarias para el correcto funcionamiento del equipo. A continuación, en la figura 1 se muestra una comparación de las purgas manuales vs las automáticas, teniendo en cuenta la conductividad a lo largo de 48 horas.

***Figura 1***

*Comparación de las purgas manuales vs las automáticas*




*Fuente.* https://www.siiba.conadesuca.gob.mx/siiaca/Consulta/verDoc.aspx?num=1689

## ¿Por qué es Importante Garantizar una Excelente Calidad del Agua en una Caldera?

El agua en una caldera es el principal componente, que se encarga de generar vapor al estar expuesta a altas temperaturas. Esta agua a pesar de que cuenta con tratamiento químico que se hace para reducir y/o eliminar las impurezas presentes tales como sólidos en suspensión, sólidos disueltos y materia orgánica, contienen residuos no deseables, los cuales se acumulan en el fondo de la caldera, estos residuos se tratan de eliminar en su mayoría con las purgas, para así evitar problemas de incrustación y corrosión en las tuberías internas.

## ¿Por qué es Importante Contar con un Control Preciso de las Purgas?

Las purgas deben realizarse con la mayor precisión posible para evitar la descompensación del nivel en la caldera, al tenerlas controladas se garantiza la eliminación justa del agua, para así mismo ser renovada cíclicamente.

**¿Cómo se Puede Evitar el Riesgo de Quemaduras al Realizar las Purgas?**

Este riesgo se puede eliminar implementando un control de purgas automáticas, por medio de dispositivos electrónicos como PLC, para realizar el control de estas, estos dispositivos en conjunto con elementos electromecánicos (actuadores rotativos y acoples de válvulas) permiten tener un sistema autónomo que no requiere la intervención humana en esta labor.

## Justificación

Cuando se habla de automatización de procesos es de resaltar que se realiza un avance tanto en la parte tecnológica como en los tiempos y eficiencia en el o los procesos que se aplica.

Social y personalmente es un gran logro el poder realizar este proyecto ya que contribuye al crecimiento profesional y a que el trabajo sea más sencillo y con menos riesgos gracias a la correcta aplicación de las diferentes tecnologías.

Con este proyecto se busca poder optimizar los tiempos de ejecución de dicha labor, así como la disminución de riesgo físico (quemaduras) al intervenir el equipo, por otra parte, se garantiza la ejecución de una forma sincrónica y constante, lo que se ve reflejado en un mejor funcionamiento del equipo previniendo daños a largo plazo y la optimización de los químicos que se adicionan al agua en este proceso.

# Objetivos

## Objetivo General

Implementar un Sistema de purgas automáticas para la caldera pirotubular de la empresa Tecnoquímicas en el municipio de Villa Rica – Cauca

## Objetivos Específicos

Diseñar un sistema de control automático para purgas de caldera.

Implementar el sistema de control automático para purgas de caldera.

Evaluar el desempeño del sistema de control automático para purgas de caldera.

## Estado del arte

Para la automatización de Purgas en Calderas es muy importante conocer y aplicar los siguientes conceptos:

### Control de Purga Automático

Su principal objetivo es garantizar el equilibrio tanto físico como químico en la caldera, realizando el proceso de purga de forma autónoma.

### PLC

Es un dispositivo electrónico (Controlador Lógico Programable), el cual permite realizar funciones por medio de una serie de instrucciones que se le programan de acuerdo con las necesidades que se tengan, el PLC es ampliamente utilizado en las industrias para automatizar procesos, agilizando los tiempos de operación y minimizando errores.

### Automatización

La automatización implica el uso de sistemas de control, como ordenadores, autómatas programables, robots y tecnologías de la información para manejar diferentes procesos productivos y maquinarias en la industria, eliminando al máximo la intervención de la mano de obra y reemplazando las operaciones peligrosas por operaciones automatizadas.

La automatización es una evolución de la mecanización en la industria, que utiliza dispositivos de alta capacidad de control para lograr procesos de fabricación o producción eficientes. Aula (2023).

### Parámetros de Control en una Caldera

Alcalinidad: Esta consiste en controlar el nivel de alcalinidad que posee el agua.

Sólidos suspendidos: Regular la cantidad de impurezas que tiene el agua en suspensión.

**Métodos de Control**

Purga automática: Regula la calidad del agua eliminando los sólidos suspendidos en el agua.

Sensores de control: Detectan algunos valores que estén fuera de los límites y activan la purga automática.

Dispositivos electrónicos: Realizan las purgas de manera sincrónica y autónoma por medio de controladores, plc, computadores, entre otros.

**Beneficios de la Automatización**

Precisión: Control exacto de las purgas, minimización de solidos disueltos en la caldera.

Eficiencia: Al minimizar los sólidos disueltos en el agua, aumenta la eficiencia de la caldera por que el agua utilizada esta más libre de impurezas.

Reducción de costos: Optimización en el consumo de químicos utilizados para mantener las propiedades ideales del agua usada, disminución en las intervenciones manuales.

Seguridad: Al tener un sistema automático se garantiza la disminución de intervenciones manuales en el sistema, lo que minimiza los riesgos físicos al manipular la caldera.

**Entrega de Vapor**

La automatización de las purgas mantiene un mayor porcentaje de vapor entregado.

Equilibra el sistema de funcionamiento de la caldera para los procesos.

En resumen, la automatización de purgas es esencial para optimizar la operación de las calderas, garantizando eficiencia y seguridad. Chica & Guerrero (2011).

**Precisión y Consistencia**

Las purgas automáticas se realizan por medio de dispositivos electrónicos como sensores, PLC, controladores, a los cuales se les define una serie de instrucciones por medio de algoritmos precisos (programación).

Mantienen los niveles de las impurezas del agua dentro de los límites ideales de manera constante y eficiente.

Evitan fluctuaciones y errores humanos que pueden ocurrir con las purgas manuales.

**Eficiencia Energética**

Las purgas manuales pueden ser excesivas y poco precisas, lo que se puede ver reflejado en pérdida de calor y en un desperdicio de energía y agua.

Un sistema automático ajusta la cantidad de purga según las condiciones reales (Medidas por sensores o establecidas manualmente en un PLC), minimizando la pérdida de calor, reduciendo los costos operativos y garantizando el aprovechamiento al máximo del agua utilizada.

**Seguridad y Confiabilidad**

Las purgas manuales pueden ser peligrosas si no se realizan correctamente.

Las purgas automáticas garantizan un funcionamiento seguro y constante, evitando riesgos para el personal y la integridad de la caldera.

**Optimización del Mantenimiento**

Las purgas automáticas registran datos y alertan sobre desviaciones.

Facilitan el mantenimiento preventivo y la detección temprana de problemas.

En resumen, la automatización mejora la eficiencia, seguridad y confiabilidad del sistema de purgas en una caldera. Recursos (2024)

# Tipo de estudio

## Estudio de Viabilidad

Este estudio evalúa la viabilidad técnica, económica y operativa del proyecto, el cual incluye los siguientes puntos.

### Análisis de Costos y Beneficios

Evaluar los costos de implementación y operación del sistema de purgas automáticas con los beneficios esperados, como la reducción de costos de mantenimiento y operación, ahorro de combustible y materias primas como el agua y químicos para su tratamiento.

### Impacto Ambiental

Analizar cómo el sistema de purgas automáticas puede reducir el impacto ambiental, especialmente en términos de ahorro de agua, disminución de químicos y emisiones.

## Estudio de Ingeniería

Este estudio se centra en los aspectos técnicos, de diseño, operación e implementación del sistema de purgas automáticas, por medio de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de ingeniería electrónica en la Universidad Nacional Abierta a Distancia (UNAD).

### Diseño del Sistema

Especificar los componentes del sistema, como válvulas automáticas, sistema neumático y componentes eléctricos / electrónicos para el control y potencia del sistema.

### Integración de las Purgas con los Sistemas Existentes en la Caldera

Planificar cómo el nuevo sistema se va a integrar con la caldera y los diferentes componentes que posee actualmente.

### Simulación y Modelado

Utilizar software de simulación para modelar el comportamiento del sistema y optimizar su diseño.

### Estudio de Seguridad

Este estudio asegura que el sistema de purgas automáticas cumpla con todas las normativas de seguridad:

### Análisis de Riesgos

Identificar y evaluar los riesgos que tiene el sistema actual (manual) para así poder implementar las mejoras correspondientes desde la automatización.

### Cumplimiento Normativo

Se debe asegurar que el sistema cumpla con todas las normativas locales de seguridad.

### Estudio de Mantenimiento y Operación

Este estudio se enfoca en la operación y mantenimiento del sistema:

### Plan de Mantenimiento

Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para asegurar el correcto funcionamiento continuo del sistema.

### Capacitación del Personal

Planificar la capacitación del personal encargado de operar y mantener el sistema.

### Monitoreo y Control

Establecer procedimientos para el monitoreo continuo del sistema y la respuesta a posibles fallos.

# Marco contextual

## Ubicación y Funcionalidad del Vapor en los Procesos

El proyecto se implementará en la compañía tecnoquímicas (Villarrica Cauca), debido a la importancia que tiene el suministro de vapor para los procesos tanto de condiciones ambientales, como para las áreas de manufactura y servicios generales de limpieza.

Cabe resaltar que el vapor juega un papel muy importante en la compañía, ya que por medio de este se logran controlar las condiciones ambientales como la humedad relativa y la temperatura, En las áreas de manufactura su uso es primordial para calentar los reactores donde se fabrican los productos, donde por medio del vapor se calientan y funden las diferentes materias primas utilizadas en los procesos. Finalmente, en las áreas de lavado es necesario contar con suministro de agua caliente para la limpieza de instrumentos y equipos, esta agua caliente se obtiene por medio de intercambiadores de calor, donde pasa el agua por intercambiador de placas que son calentadas por vapor y así luego de pasar por el intercambiador se obtiene el agua caliente.

## Importancia del Proyecto

El proyecto de automatización de purgas para una caldera tiene como objetivo principal mejorar la eficiencia operativa, disminuir la mano de obra y prolongar la vida útil de la caldera. Las purgas permiten la eliminación de impurezas y sólidos disueltos, manteniendo la calidad del agua dentro de los parámetros óptimos. Esto no solo reduce el riesgo de corrosión y formación de incrustaciones, sino que también mejora la transferencia de calor, reduce el consumo de combustible y optimiza el proceso de purgas realizándolo de manera autónoma.

## Contexto Industrial

En el contexto industrial, las calderas son fundamentales para la producción continua y eficiente de vapor. La implementación de un sistema de purgas automáticas es crucial para garantizar la operación segura y eficiente de las calderas. Las industrias se benefician de este tipo de proyectos gracias a la optimización de recursos, prolongación de la vida útil de la caldera y la operación segura y eficiente de esta.

## Beneficios Ambientales

Además de los beneficios operativos, un sistema de purgas bien diseñado contribuye a la sostenibilidad ambiental. Al mantener la eficiencia de la caldera, se reduce el consumo de combustible y, por ende, las emisiones de gases generados por la combustión. Asimismo, la correcta gestión de las purgas minimiza el impacto ambiental del agua eliminada en cada purga.

## Justificación del Proyecto

La justificación del proyecto radica en la necesidad de mantener la eficiencia y seguridad de las operaciones industriales. Las purgas regulares y controladas son esenciales para evitar problemas operativos y costosos mantenimientos no programados. Además, la inversión en un sistema de purgas se recupera rápidamente gracias a la reducción en el consumo de combustible, disminución en las intervenciones manuales y los costos de mantenimiento.

# Marco teórico

## Control de Purga Calderas

En las calderas se usa agua que lleva un tratamiento químico, esto con el fin de garantizar la calidad de esta, estos químicos que se le adicionan al agua pueden causar daños y problemas en la caldera, como por ejemplo corrosión, incrustación, arrastre de solidos como lodo entre otros. Las purgas en la caldera ayudan a eliminar el agua, renovándola y evitando que se acumulen estos químicos.

## Propuesta de Mejora Tecnológica para el Uso Racional del Vapor, Agua y Energía

En este artículo se habla acerca de una propuesta de mejora tecnológica en el sistema de generación de vapor en una refinería, la cual consiste en reducir de los costos de producción, por medio de una serie de mejoras al proceso analizadas con métodos como diagramas de Causa-Efecto, paretos y graficas de comparación. Este articulo aporta a la idea de proyecto ya que tiene una metodología de análisis efectiva y basada en datos y cifras a la hora de presentar resultados (Lobelles & Yera, 2022).

## La Automatización Desde la Perspectiva del Empleado

Este articulo da una perspectiva acerca del pensamiento de los empleados frente a la automatización, los cuales manifiestan que la automatización es muy útil y están en pro de esta siempre y cuando se utilice para facilitar o mejorar el trabajo, y desde otro punto de vista están en contra cuando se emplea para reemplazar labores específicas, pues consideran esto como una amenaza ya que se sienten reemplazados de cierta forma.

En este caso lo que se está haciendo con la automatización de las purgas de la caldera y el apagado del compresor es facilitar el trabajo de la persona encargada de estas labores, que

aunque se están reemplazando por un sistema automático deben tener una debida supervisión y ajuste dependiendo de las necesidades. Acedo et al. (2020)

**El Factor Humano y su Papel en la Transición a la Industria 5.0: una Revisión Sistemática y Perspectivas de Futuro**

En esta publicación se aborda la temática del gran aporte del factor humano en el desarrollo de la industria 5.0, la cual está enfocada en la automatización de procesos con el fin de aumentar eficiencia y productividad, minimizando tiempos y costos.

Esta publicación aporta de manera significativa al proyecto planteado, ya que resalta la importancia del factor humano en los procesos automáticos, reconociendo así las ideas y mejoras que se plantean con el fin de volver los procesos más eficientes y productivos, que al final es lo que busca la idea del proyecto presentado. (Carro Suárez, J., & Sarmiento Paredes, S. 2022).

**Relevancia de la Ejecución Experimental de Proyectos con Microcontroladores en el Aprendizaje de la Ingeniería Electrónica**

Este documento habla acerca de la importancia y utilidad de los microprocesadores en el aprendizaje de la ingeniería electrónica.

Los microcontroladores contribuyen en las áreas del campo laboral para los perfiles académicos de los ingenieros en las especialidades de informática, electrónica, automática o de telecomunicaciones.  Esto se debe al auge y su utilización masiva en la industria.

El conocimiento de programación de estos chips y sus periféricos integrados pueden abrirle las puertas del mundo laboral a muchos de nuestros estudiantes, debido a su gran utilidad en muchos sectores, de la mano de los conocimientos adquiridos como profesionales se pueden ofrecer soluciones muy efectivas. (Díaz Ronceros, E. 2020).

**Sistema de Purgas Automáticas para Caldera**

Los sistemas automáticos están diseñados para mejorar y optimizar los procesos en la industria, en el caso de las calderas hay un factor muy importante en el cual se debe prestar mucha atención y consiste en el tratamiento del agua utilizada tanto la parte química, como la disposición y renovación de esta.

Existen diferentes formas y métodos para realizar la renovación del agua, para este caso se hará énfasis en las purgas de fondo y superficiales, el cual consiste en renovar una cantidad considerable de agua, por medio de sistemas electrónicos aplicados a la industria. Estos sistemas se componen de controladores lógicos programables, relés, circuitos integrados, CPU's. Todo depende del alcance que se desee obtener y la aplicación del método.

Teniendo en cuenta los anteriores ejemplos, se puede resaltar la importancia de la automatización en los procesos industriales, en donde se pueden optimizar los recursos utilizados para el funcionamiento de la caldera, se puede tener una mayor confiabilidad en cuanto a la disponibilidad del recurso (vapor), así como se logran reducir los riesgos físicos al máximo. Por otra parte, desde la perspectiva del personal se logra un gran avance en cuento a la disminución de las intervenciones por parte de este, realizando una transición de los procesos manuales a automáticos.

## Marco normativo

En Colombia, la regulación de calderas los sistemas de purga están orientados a garantizar la seguridad, la eficiencia y la sostenibilidad de las operaciones industriales. Las normativas que son aplicables abarcan desde la calidad del agua hasta los procedimientos de operación y mantenimiento de las calderas, a continuación se muestran las leyes más relevantes.

### Resolución 2018 del Ministerio de Trabajo

Esta resolución establece los requisitos técnicos y de seguridad para la operación de calderas en Colombia. (Ministerio de trabajo, 2018).

### Ley 9ª de 1987

Esta ley regula la fabricación, instalación y operación de calderas, cilindros para gases comprimidos y otros recipientes a presión. (*Ley 7 de 1987 - Gestor Normativo*, s. f.)

### Reglamento Técnico de Calderas

Este reglamento, desarrollado por los Ministerios de Protección Social y de Minas y Energía, proporciona directrices detalladas para el diseño, fabricación, operación y mantenimiento de calderas. (Ministerio de trabajo, 2018).

### Normas de Seguridad Industrial

Existen diversas normativas locales que regulan la seguridad en la operación de calderas, incluyendo la necesidad de sistemas de purgas automáticas para prevenir accidentes y mejorar la eficiencia operativa. (SafetYA, 2024).

## Procedimientos y Requisitos

### Calidad del Agua

Las normativas establecen los parámetros de calidad del agua que debe mantenerse mediante las purgas automáticas. Esto incluye límites para la conductividad, sólidos disueltos y otros contaminantes. (Ministerio de la protección social ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2007).

### Frecuencia y Control de Purgas

Las purgas deben realizarse de manera regular y controlada para mantener la eficiencia de la caldera. (Ministerio de trabajo, 2018).

El cumplimiento del marco normativo es esencial para garantizar la seguridad, eficiencia y sostenibilidad de un proyecto de purgas automáticas en una caldera en Colombia. Estas regulaciones no solo aseguran el correcto funcionamiento del sistema, sino que también contribuyen a la protección del medio ambiente y la reducción de costos operativos.

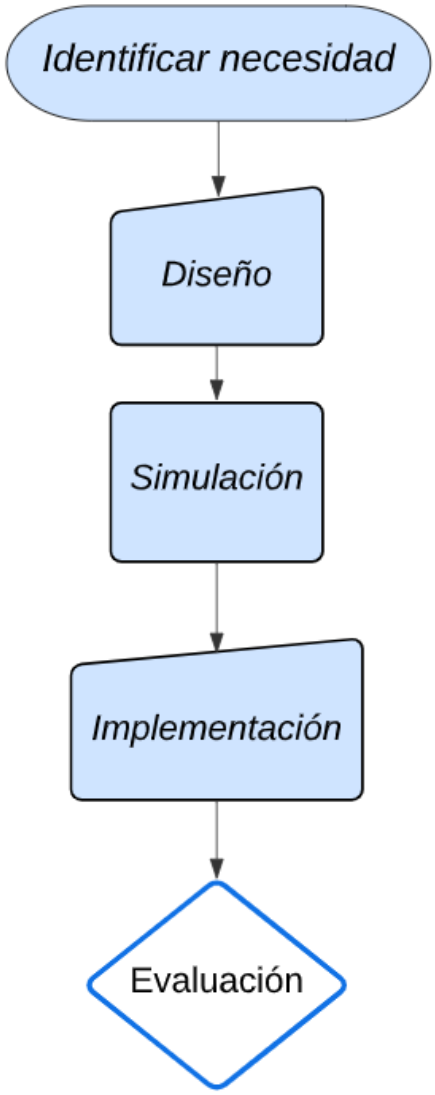
## Metodología

Para el desarrollo del presente trabajo se tomó como base la metodología utilizada por González et. al (2018) y se ajustó a las necesidades que se tienen actualmente en la compañía Tecnoquímicas en la ciudad de Villarrica Cauca.

La elaboración del diseño de las purgas automáticas tiene como finalidad obtener un sistema autónomo, funcional y eficiente; según lo anterior, y para dar solución al problema planteado, se ha seleccionado un sistema que tenga la capacidad de realizar purgas de forma sincrónica e independiente, para lograrlo se está haciendo uso de una metodología de diseño que pueda garantizar un sistema confiable por medio de conexiones eléctricas / electrónicas y neumáticas correctas, para así poder minimizar los riesgos y posibles errores y, en caso de que se presenten, poder corregirlos de la manera más eficiente posible. Para poder llevarlo a cabo es importante tener las simulaciones y planteamientos del proyecto, para así, poder comprobar el resultado esperado y la verificación del funcionamiento antes de implementarlo de manera física; para esto, se implementó el sistema en el software de simulación CadeSimu V4.2 y LogoSoft, en donde se tienen las herramientas necesarias para plantear el funcionamiento del sistema. En la figura 2 se presenta la metodología utilizada por medio de un diagrama de flujo.

***Figura 2***

*Diagrama de flujo Metodología*




*Fuente.* Elaboración propia.

## Identificar la Necesidad

Actualmente el ahorro tanto de recursos, la disminución de riesgos y de mano de obra es uno de los grandes objetivos de las compañías, es por esto por lo que se recurre a diferentes métodos, estrategias y mejoras en los procesos en las diferentes áreas en las cuales es posible tener un ahorro representativo.

El problema que se tiene en el momento en la compañía donde se busca realizar las mejoras consiste en eliminar el tiempo de mano de obra que se utiliza para realizar purgas a caldera (Purgas cada 4 horas), actualmente estas purgas las realiza una persona que está dedicada al monitoreo y operación de equipos auxiliares de la compañía (Caldera, chillers, compresores, unidades manejadoras, extractores, etc.), lo que se busca con este proyecto es realizar una instalación de electroválvulas controladas por un PLC que se encargará de realizar las purgas de forma automática sin necesidad de intervención por parte de una persona. Esto libera tiempo a dicha persona, el cual puede utilizar para realizar otras labores, al realizar esta labor manualmente hablamos de aproximadamente 10 minutos por cada purga, esto cada 3 horas a lo largo del día en los tres turnos estaría liberando 80 minutos si lo realizamos de forma automática.

Esta problemática entorpece la labor de las personas y desgasta el realizar una acción repetitiva día tras día, además genera un alto riesgo de quemaduras. Al eliminar esta labor se busca poder asignar otras tareas o mejorar las que ya tiene la persona en cuestión y elimina los posibles riesgos existentes.

# Diseño

## Recursos Necesarios

***Tabla 1***

*Recursos Para la Implementación*

| RECURSO | DESCRIPCIÓN | PRESUPUESTO |
|---|---|---|
| **Equipo Humano** | Programación, instalación y puesta en marcha de los sistemas. | $ 2’000.000 |
| **Equipos y Software** | Computador<br>PLC Logo V8<br>2 electroválvulas 5/2<br>2 actuadores NC neumáticos | $ 2’550.000 |
| **Viajes y Salidas de Campo** | N/A | N/A |
| **Materiales y suministros** | Gabinete de control<br>Manguera tubin 6mm (20 mts)<br>Racores 1/8” x 6mm (12 und)<br>Reguladores de flujo (4 und)<br>Cable de control 18 AWG (20 mts)<br>Terminales tubulares (50 und)<br>Muletilla de 2 posiciones<br>Breacker tripolar<br>Relés 24 VDC – 220 VAC<br>Indicadores luminosos 24 v (Verde - Rojo)<br>Amarras plásticas 150 mm (1 paquete) | $ 1’300.000 |
| **TOTAL** | | **$ 5’850.000** |

*Fuente.* Elaboración propia.

En la tabla 1 se presentan los recursos necesarios para poder llevar a cabo la implementación del sistema de purgas automáticas.

Para el diseño del proyecto se tienen en cuenta las siguientes especificaciones técnicas.

**Alimentación (Potencia)**

Para la alimentación del sistema se necesita un suministro eléctrico que puede ser de 110 VAC – 220 VAC. Adicionalmente se requiere presión de aire comprimido 4 – 6 Bar.

**Control**

Suministro eléctrico 24 VDC.

**Visualización**

Indicadores led de operación.

**Operación**

Selector de operación (on / off).

Parada de emergencia.

**Instrumentación**

Actuadores de giro neumáticos.

Electroválvulas 5/2.

**Selección de PLC**

Para la selección del PLC se debe tener en cuenta las características necesarias para cumplir con los requerimientos, además de que cuente con un protocolo de comunicación comercial y práctico. A continuación, en la tabla 2 se presentan las características consideradas para la selección del PLC a utilizar en el proyecto.

***Tabla 2***

*Selección de PLC*

| **Controlador Lógico Programable** | **Voltaje de alimentación (220 VAC)** | **Entradas / salidas digitales (2 entradas 4 salidas)** | **Protocolo de comunicación (Profinet estándar)** | **Lenguaje de programación (Ladder)** |
|---|---|---|---|---|
| Allen Bradley | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ |
| B&R | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ |
| Logo V8 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

*Fuente.* Elaboración propia

El PLC seleccionado corresponde a un Logo V8 de la marca Siemens, el cual cumple con los requerimientos necesarios y justos, como el voltaje de alimentación, las entradas y salidas disponibles, el protocolo de comunicación y el lenguaje de programación para la implementación del sistema de purgas automáticas.

Una vez se ha seleccionado el PLC se pueden realizar las respectivas simulaciones en software especializado para comprobar el funcionamiento y realizar los ajustes que se consideren pertinentes.

A continuación, en la figura 3 se presenta el actuador de giro neumático seleccionado, el cual es un elemento de uso particular para la aplicación requerida.

Este tipo de actuadores se utilizan normalmente en válvulas pequeñas y medianas, donde el torque requerido no es tan alto, son actuadores confiables por su función simplificada de giro, estos actuadores rotativos constan de dos cámaras de aire con un pistón o una membrana de fuelle. Dependiendo del diseño, la presión del aire obliga al pistón a moverse creando un movimiento rotativo. Los actuadores rotativos neumáticos son duraderos, ofrecen una gran fuerza en relación con su tamaño y pueden utilizarse en entornos de alta exigencia (temperatura y presión). Kolstad, C. (2024).

***Figura 3***

*Válvula tipo actuador*

*Fuente. (Pneumatic Cylinder Manufacturer, Solenoid Valve, Air Suspension Valve Supplier - Ningbo Alita Pneumatic Co., Ltd., s. f.*

## Simulación

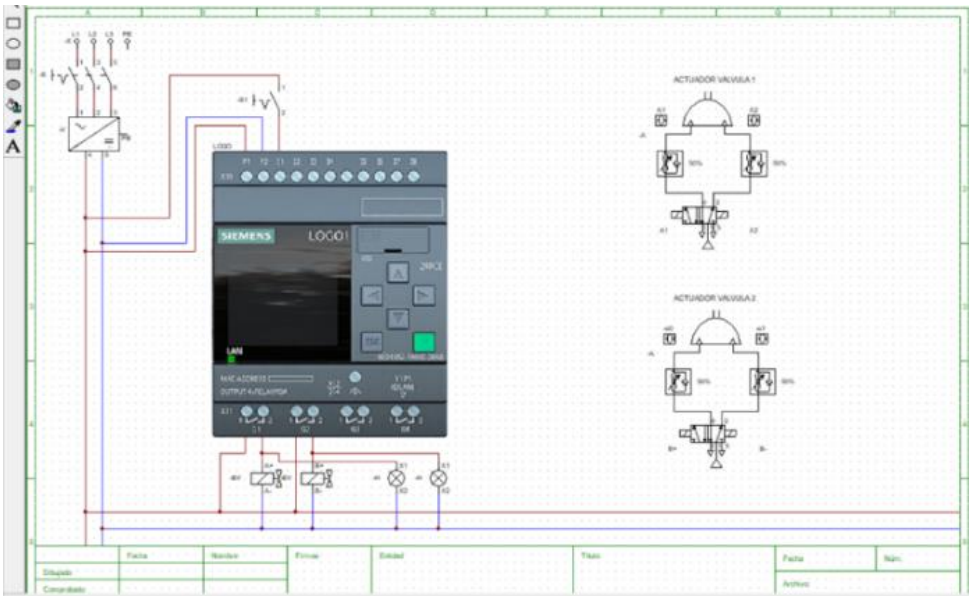
Para las simulaciones se utilizó el software CadeSimu y LogoSoft, en donde se realizaron las diferentes conexiones (Potencia, control y neumáticas).

En la figura 4 se observa la conexión eléctrica de alimentación del PLC las conexiones de salida para las 2 electroválvulas y los 2 indicadores luminosos realizados en el software Cade Simu. Paralelo se observa el esquema de los dos actuadores que corresponden a los elementos que realizarán la apertura y cierre de las válvulas de purga de la caldera.

Los actuadores neumáticos se encargan de abrir y cerrar las dos válvulas de la purga (una para cada extremo de la caldera), que sirven para evacuar equitativamente el agua en los dos extremos de la caldera, para evacuar todos los sólidos suspendidos. Esta evacuación de agua se debe realizar alternadamente para no descompensar el nivel de agua en la caldera, garantizando la apertura de cada válvula independiente por un tiempo establecido según la calidad del agua.

***Figura 4***

*Plano eléctrico / neumático.*

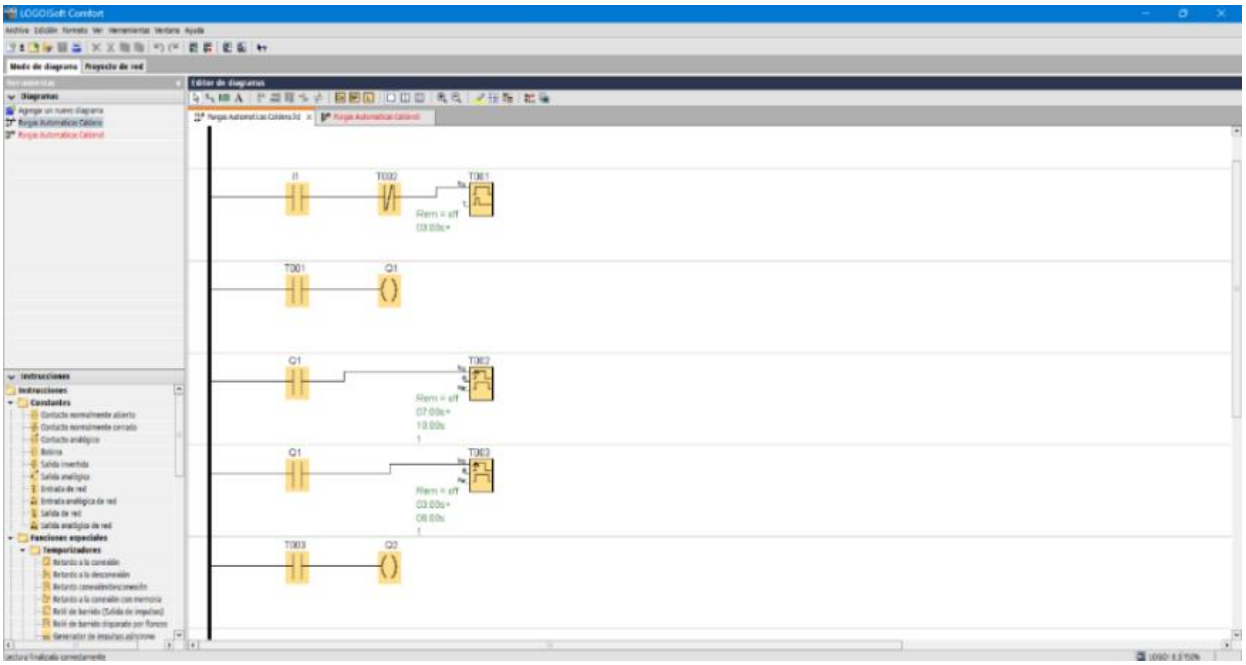



*Fuente.* Elaboración propia.

En la figura 5 se presentan las líneas de programación en lenguaje Ladder, las cuales corresponden a las instrucciones dadas para accionar las electroválvulas que comandan a los actuadores neumáticos, los cuales se abren por medio de timers ajustables de acuerdo con la necesidad (para este caso se establece un tiempo de accionamiento de 10 segundos), de forma individual y con un lapso de tiempo de accionamiento de 3 segundos, garantizando que se abra solo una válvula a la vez.

***Figura 5***

*Algoritmos – Programación Ladder*



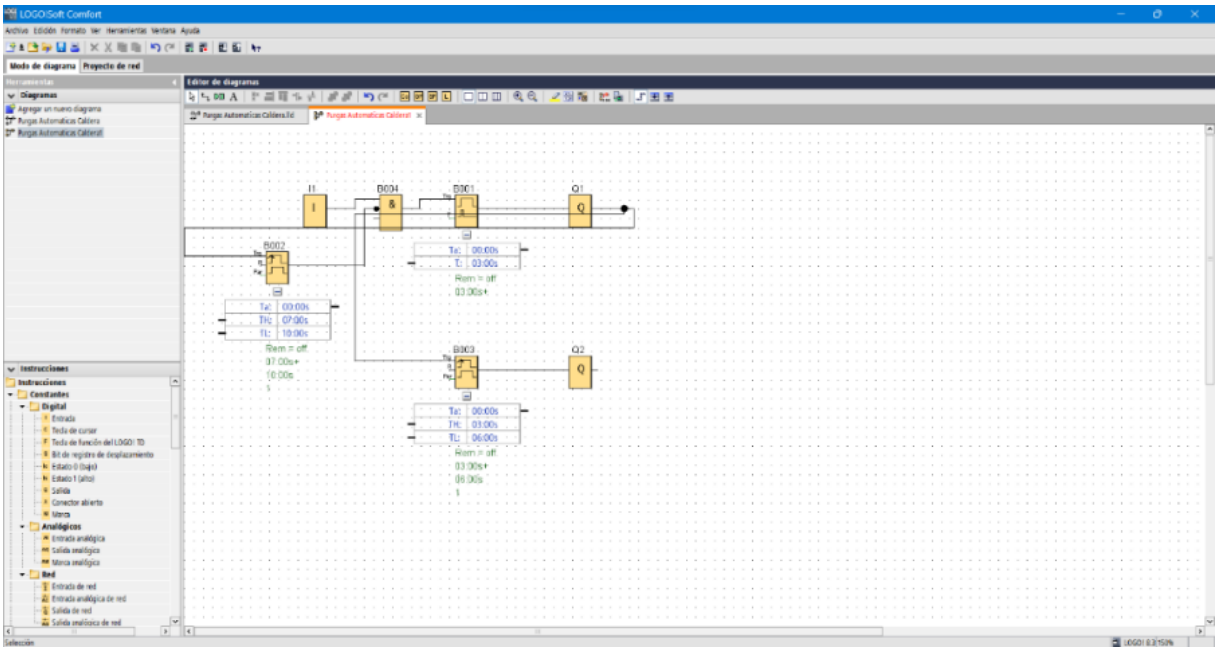
*Fuente.* Elaboración propia.

En la figura 6 se presentan las líneas de programación en bloques de función, estos bloques realizan las mismas funciones del programa en Ladder y son un complemento al programa, dependiendo en que lenguaje se desee manejar este.

A continuación, se presenta una URL de un video donde se explica con mayor detalle la simulación del sistema de purgas automáticas.

***Figura 6***

*Algoritmos – Programación en bloques de función.*




*Fuente.* Elaboración propia.

## Explicación de la Simulación

https://youtu.be/s-BDIzFVbOM

## Implementación

En la implementación, una vez se realizaron las respectivas simulaciones se procede a llevar al plano físico todo el sistema, para lo cual se realiza el montaje eléctrico y neumático en el equipo, teniendo en cuenta el factor de la temperatura para los dispositivos eléctricos. Se ubica en una posición en donde esto no sea un posible problema, además en las conexiones neumáticas se utilizó manguera tubing de nylon de 6mm para alta temperatura >80°C (Calibre de la pared de la manguera 2 mm) y como complemento a esto los racores usados, también son para alta temperatura.

En el gabinete están los diferentes componentes electrónicos que permiten el control del sistema, así como los indicadores luminosos conectados en paralelo con la señal de activación de las electroválvulas, con el fin de tener una señal visual cuando se accionen las válvulas. Por otra parte, un selector manual el cual permite encender y apagar el sistema y finalmente una parada de emergencia para detener de inmediato el sistema en caso de ser necesario.

Para la apertura y cierre de las válvulas se instalan 2 actuadores neumáticos rotativos, los cuales mueven las válvulas de las purgas.

A continuación, se presentan las figuras de la implementación del sistema de purgas automáticas en la caldera.

En la figura 7 se observa la parte exterior del gabinete donde se tienen los indicadores luminosos, el selector on/off del sistema y la parada de emergencia.

***Figura 7***

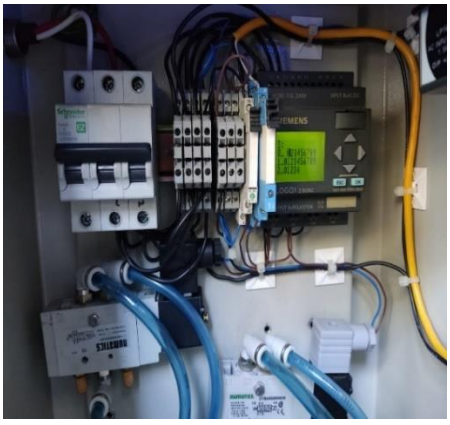
*Exterior del gabinete de control.*

*Fuente.* Elaboración propia.

En la figura 8 se muestra el interior del gabinete de control donde se tiene la alimentación eléctrica, borneras de control, relés, PLC y las electroválvulas 5/2.

***Figura 8***

*Interior del gabinete de control.*

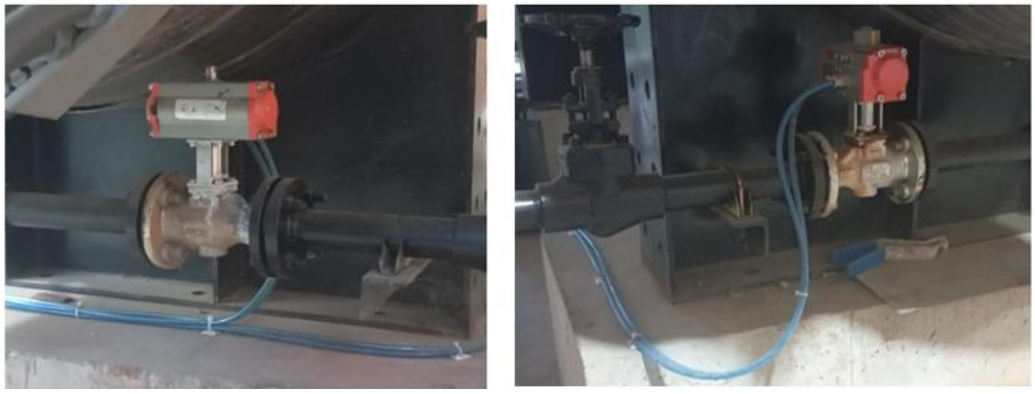


*Fuente.* Elaboración propia.

En la figura 9 se observan los dos actuadores neumáticos encargados de la apertura y cierre automático de las dos válvulas de purga.

***Figura 9***

*Actuadores neumáticos.*



*Fuente.* Elaboración propia.

En la figura 10 se tiene una toma completa de la caldera con su gabinete principal, en el cual se encuentra su sistema de control y potencia y el gabinete del sistema de purgas automaticas.

***Figura 10***

*Caldera pirotubular.*

*Fuente.* Elaboración propia.

## Evaluación

Para la evaluación se realizó el análisis con respecto al tiempo de operación que se tenía antes (80 minutos al día de forma manual), con el sistema implementado se eliminó este tiempo, ya que trabaja de forma autónoma, por otra parte, se eliminó el riesgo de posibles quemaduras al realizar este proceso de forma manual.

Otro punto muy importante a resaltar es la optimización del agua eliminada, ya que el tiempo de purga es preciso, así solo se evacua el agua necesaria, esto tiene dos impactos que son el ahorro de agua y correcto funcionamiento y prolongación de la vida útil de la caldera, debido a que se eliminan las impurezas de manera correcta y evita la corrosión e incrustamiento de las tuberías.

## Conclusiones

La automatización en la industria es muy importante ya que contribuye al desarrollo tecnológico y ofrece soluciones eficaces en los procesos en donde se implementa.

Con el desarrollo del proyecto se logra profundizar en las diferentes necesidades o problemas que se buscan solucionar, así como nos lleva a buscar la forma más efectiva de poder llevar a cabo el mismo por medio de los conocimientos adquiridos a lo largo del proceso académico.

Se logra identificar el problema a solucionar en un entorno real, donde se pueden aplicar los diferentes conocimientos adquiridos durante la carrera (Ingeniería electrónica), así mismo se lleva a cabo una planeación organizada enfocada en el cumplimiento del proyecto, para esto se logran aterrizar las ideas y propuestas con el fin de dar cumplimiento al resultado que se desea, se estiman gastos y presupuestos necesarios para el mismo, por ultimo y no menos importante se planean los tiempos estimados en los cuales se debe realizar el desarrollo y ejecución completa de la solución propuesta.

Una vez se ha logrado llevar el proyecto a un nivel más avanzado, materializándolo de cierta forma gracias a la simulación y planteamiento de idea de proyecto, volviéndola así más tangible y aterrizando lo que se ha venido proponiendo.

Por medio de los planos eléctricos y las simulaciones en software se puede evidenciar que las propuestas son viables y se pueden llevar a cabo, en el caso de las purgas de la caldera se puede evidenciar una gran ventaja u opción que es variar los tiempos de las purgas de manera independiente de acuerdo con la necesidad, así mismo para el apagado del compresor se puede ajustar el tiempo a gusto, dependiendo de lo que se requiera o considere

Se resalta la importancia del mantenimiento de nuestros sistemas, esto con el fin de poder garantizar su correcto funcionamiento, así como la disponibilidad de estos, logramos profundizar a detalle cada uno de estos mantenimientos dando las instrucciones y acciones esperadas con los mismos.

Por otra parte, se reconocen las posibles mejoras a implementar en nuestros sistemas a corto y mediano plazo, esto con el fin de llevar más allá nuestros conocimientos y de ofrecer mejoras y soluciones más efectivas, innovadores y eficientes desde nuestro campo de acción que es la ingeniería, además de retarnos a mejorar cada día más tanto en el ámbito estudiantil, personal y profesional.

# Recomendaciones

## Plan de Mantenimiento

Como plan de mantenimiento se pueden establecer una serie de rutinas las cuales garanticen el correcto funcionamiento, confiabilidad y durabilidad de los sistemas implementados. Dentro de estas rutinas se pueden tener rutas de inspección visual, análisis termográfico, mediciones eléctricas y cambios de piezas de desgaste por su uso.

## Plan de Mantenimiento Correctivo

En el plan de mantenimiento correctivo se contemplan emergencias por daños improvistos que pueden suceder en cualquier momento por causas como caídas de tensión, recalentamiento de elementos como mangueras, actuadores, acoples, etc.

Para estos casos se debe tener un inventario de repuestos e insumos disponibles para poder solucionar de manera efectiva alguna falla o daño que implique corrección.

Dentro de los insumos y repuestos tenemos:

- Manguera tubin 6mm (10 mts Aproximadamente)
- Racores 1/8” x 6mm (4 und)
- Reguladores de flujo (4 und)
- Indicadores luminosos 24 v (Verde - Rojo)
- Amarras plásticas 150 mm (1 paquete)
- Relés 24 VDC – 220 VAC (2 und)
- Electroválvula 5/2

Estos repuestos, aunque puedan parecer innecesarios o costoso tenerlos en stock son muy importantes para poder solucionar o corregir algún daño improvisto que se llegue a presentar, además al tenerlos en stock también se pueden utilizar para los respectivos cambios en los mantenimientos preventivos si aún se cuenta con ellos.

**Plan de Mantenimiento Predictivo**

Para el mantenimiento preventivo de nuestro sistema se podría hacer énfasis en el análisis termográfico de las conexiones eléctricas (Potencia y control) para identificar posibles malas conexiones, sulfatación, cortocircuito, recalentamiento de dispositivos entre otros, este análisis se puede realizar con una cámara termográfica ya sea sencilla que solo permita la visualización y se llene una tabla con los datos obtenidos, o una cámara más avanzada la cual genera un reporte automático con las fotografías tomadas, esto depende del recurso con el que se disponga en el momento.

Las rutinas de inspección visual son una parte muy importante y crucial para este mantenimiento preventivos, ya que por medio de estas se pueden identificar posibles daños o fallas antes de que sucedan y gracias a esto se puedan intervenir a tiempo.

**Plan de Mantenimiento Preventivo**

Dentro del mantenimiento preventivo se incorporan las actividades que contribuyen al correcto funcionamiento de los sistemas, garantizando su efectividad y ampliando la disponibilidad.

Las actividades a realizar en este mantenimiento abarcan tanto la parte de la limpieza de los diferentes elementos (Actuadores, electroválvulas, dispositivos electrónicos como PLC, módulos y relés), así como el cambio de elementos que presenten desgaste y puedan ocasionar fallas como mangueras, acoples, válvulas, soportes, cableado, terminales, relés.

Para este mantenimiento se deben disponer de consumibles como limpiadores electrónicos, manguera tubin, acoples, amarras, cinta aislante, entre otros que se consideren pertinentes.

**NOTA:** Cabe resaltar que para la ejecución de los mantenimientos anteriormente mencionados se debe disponer de herramientas adecuadas, insumos y conocimientos en el área electromecánica, esto con el fin de poder llevar a cabo los mismos de la mejor manera, garantizando la ejecución de dichas actividades de forma pertinente y eficaz.

## Referencias Bibliográficas

Acedo et. al (2020). *Imaginarios de la robotización: la automatización desde la perspectiva del empleado. Estudios Sociológicos de el Colegio de México, 38(113), 567-600*. https://doi.org/10.24201/es.2020v38n113.1923

Actuador neumático - Ningbo Alita Pneumatic Co., Ltd. - página 1. (s. f.). https://es.made-in-china.com/co_alitapneumatic/product-group/pneumatic-actuator_uhinnriosy_1.html

Aula. (2023, 6 octubre). *Automatización Industrial: Qué es y cómo funciona. Formación para la Industria.* https://www.cursosaula21.com/que-es-la-automatizacion-industrial/

Córdoba, M. (2011). *Formulación y evaluación de proyectos.* https://elibro net.bibliotecavirtual.unad.edu.co/es/ereader/unad/69169?page=128

Carro, J & Sarmiento Paredes, (2022). *El factor humano y su rol en la transición a Industria 5.0: una revisión sistemática y perspectivas futuras* https://revistas.unam.mx/index.php/entreciencias/article/view/81727

Chica & Guerrero (2011). *DISEÑO DEL CONTROL AUTOMÁTICO DE GASES DE COMBUSTIÓN EN LA CALDERA DE INGENIO MARÍA LUISA S.A.* https://red.uao.edu.co/server/api/core/bitstreams/0c74973e-59e7-4003-bc99-07bf82368e53/content

Díaz, E. (2020). *Relevancia de la ejecución experimental de proyectos con microcontroladores en el aprendizaje de la ingeniería electrónica* https://www.lareferencia.info/vufind/Record/PE_60519966f4ac7d8d71a84caf39beaea5

González et. al (2018). *Automatización de una caldera pirotubular utilizando el internet de las cosas como medida de monitoreo y seguridad. Revista de Ingeniería Mecánica diciembre 2018 Vol.2 No.8 12-17.* https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ingenieria_Mecanica/vol2num8/Revista%20_de%20_Ingenier%C3%ADa_Mec%C3%A1nica_V2_N8_3.pdf

Kolstad, C. (2024, 19 septiembre). *Actuador neumático rotativo - cómo funciona*. https://tameson.es/pages/actuador-neumatico-rotativo-como-funciona

Lobelles, G. & Yera, E. (2022). *PROPUESTA DE MEJORA TECNOLÓGICA PARA EL USO RACIONAL DEL VAPOR, AGUA Y ENERGÍA ASOCIADA EN LA REFINERÍA CIENFUEGOS S.A.* http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S22234861202200010005 1&langs

Ministerio de la protección social ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (2007) *características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua* https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/2115%20-%202007.pdf

Ministerio de trabajo. (2018). *Reglamento técnico de calderas.* https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/59676/PROYECTO+DE+RESOLUCION+POR+LA+CUAL+SE+EXPIDE+EL+REGLAMENTO+TECNICO+DE+CALDERAS.pdf/1a7449ce-9575-7c61-2173-499a99f3ad4a

Montealegre et. al (2018). *Metodología de diseño electrónico aplicado en circuito detector de agua. Redes de Ingeniería.* https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/REDES/article/view/12969

Muhammad et. al (2020). *Smart agriculture using internet of things with Raspberry Pi. In 2020 10th IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering* https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9204927

Nieto, S. (2019). *Solución de problemas desde el enfoque de la ingeniería.* https://repository.unad.edu.co/handle/10596/33558

Oteri, M. (2020). *The Arduino e-kit as Applied in Engineering, Science and Technology e-learning. Sixth International Conference on e-Learning (econf), Sakheer, Bahrain.* https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9385459

Prabha et. al. (2022). *Real Time Facial Emotion Recognition Methods using Different Machine Learning Techniques. In 2022 3rd International Conference on Smart Electronics and Communication.* https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9952133

Rashmi et. al (2022). *Smart Attendance System Using RFID and Face ID. In 2022 International Conference on Communication, Computing and Internet of Things.* https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9768003

Recursos, V. (2024, 30 enero). *Automatización de calderas industriales: más productividad y menos costos. VING Innovación.* https://ving.com.mx/index.php/2024/01/10/automatizacion-de-calderas-industriales-mas-productividad-y-menos-costos/

Robayo, F. (2017). *Metodologías de Diseño y Diagramas de Flujo.* http://hdl.handle.net/10596/11268

Rojas, G. (2023). *Metodología de la investigación para anteproyectos.* https://elibro-net.bibliotecavirtual.unad.edu.co/es/ereader/unad/229656?page=132

Ruiz, R. (2005). *Diseño de circuitos electrónicos de conmutación, Instituto Politécnico Nacional.* https://elibro-net.bibliotecavirtual.unad.edu.co/es/ereader/unad/72214?page=22

SafetYA. (2024). *Resolución 1857 de 2024 - Trabajo en calderas.* https://safetya.co/normatividad/resolucion-1857-de-2024/

Yifan et. al (2022). *Arduino-based Unmanned Intelligent Delivery Cart Design. In 2022 IEEE 5th Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference.* https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=10019877

Zahera, M. (2018). *Gestión integrada de proyectos innovadores: curso básico.* https://elibro-net.bibliotecavirtual.unad.edu.co/es/ereader/unad/123077?page=124