



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE
TEMPERATURA EN UN PROTOTIPO DE CALDERO UTILIZANDO TIA
PORTAL Y HMI**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Electrónica

AUTOR: ROOSEVELT ADSAEL SANTOS MONTERO

TUTOR: ING. VICENTE PEÑARANDA

Guayaquil – Ecuador
2024-2025

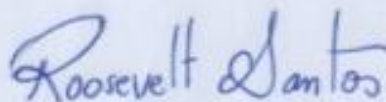
**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Roosevelt Adsaël Santos Montero con documento de identificación N° 0929343655, manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación

Guayaquil, 21 de febrero del año 2025.

Atentamente,



Roosevelt Adsaël Santos Montero

092934365-5

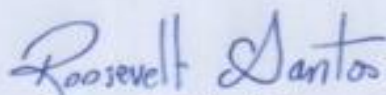
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Roosevelt Adsaël Santos Montero, con documento de identificación N° 0929343655, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales de la obra titulada: "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA EN UN PROTOTIPO DE CALDERO UTILIZANDO TIA PORTAL Y HMI", la cual ha sido desarrollada como requisito para optar por el título de Ingeniera en Electrónica y Automatización. En virtud de esta cesión, la Universidad Politécnica Salesiana queda facultada para ejercer plenamente los derechos patrimoniales sobre la mencionada obra.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento de la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 21 de febrero del año 2025.

Atentamente,



Roosevelt Adsaël Santos Montero

092934365-5

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Vicente Avelino Peñaranda Idrovo con documento de identificación N° 0916113426, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA EN UN PROTOTIPO DE CALDERO UTILIZANDO TIA PORTAL Y HMI.", realizado por Roosevelt Adsaël Santos Montero con documento de identificación N° 0929343655, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 21 de febrero del año 2025.

Atentamente,



Vicente Avelino Peñaranda Idrovo

0916113426

DEDICATORIA.

Dedico esta tesis a Dios por haberme guiado por el camino del bien, a mi padre Mavil Santos Sócola por enseñarme perseverancia y dedicación son la clave del éxito, a mi madre Blanca Montero por enseñarme a ser la persona que soy con sabiduría, paciencia, tenacidad, esfuerzo y fortaleza, quien a pesar de todos los problemas que he tenido en mi vida supo guiarme para ser un hombre de bien digno de mi familia y por ende de la sociedad. A mi hermanita Lorena Santos que siempre supo apoyarme en los momentos difíciles para alcanzar mis objetivos propuestos para llegar hacia el éxito.

A mis profesores, por compartir su conocimiento, por su paciencia y por incentivarme a dar siempre lo mejor de mí en todo momento.

A mis amigos, por ser mi refugio en los momentos difíciles, por las risas y por recordarme que cada esfuerzo vale la pena.

Y, sobre todo, a mí mismo, por no rendirme, por confiar en mi capacidad y por demostrarme que los sueños, con esfuerzo y determinación, pueden hacerse realidad.

AGRADECIMIENTO

Al culminar este arduo camino académico, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible este logro.

A la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil, por brindarme la oportunidad de adquirir conocimientos, explorar nuevas ideas y superar mis propios límites. Cada espacio de este campus ha sido un entorno de aprendizaje y crecimiento invaluable, permitiéndome desarrollarme tanto académica como personalmente.

A mis estimados tutores de tesis, Vicente Peñaranda, cuya orientación y compromiso fueron fundamentales para la culminación de este trabajo. Sus valiosas sugerencias, su dedicación incansable y su capacidad para fomentar el pensamiento crítico han sido pilares esenciales en la construcción de esta investigación. Les agradezco profundamente por su tiempo y paciencia, que fueron la base sobre la cual edificué cada parte de este proyecto.

Este logro no es solo mío, sino también de todos aquellos que han sido parte de mi viaje. Estas palabras de gratitud reflejan mi profundo reconocimiento por su influencia y apoyo constante. Que nuestras conexiones perduren en el tiempo y continúen inspirándonos a todos.

Finalmente agradezco en primer lugar a Dios, cuya guía ha iluminado mi camino hacia esta meta. Reconozco con humildad que todo es posible gracias a su generosidad y compasión.

A mis padres, por ser el pilar de mi vida, por su confianza inquebrantable en mí y por cada sacrificio realizado para brindarme una educación y un futuro mejor. A mi hermana, por su aliento y compañía, que hicieron este camino mucho más llevadero. Este logro no es solo mío, sino también de ustedes. Gracias por estar a mi lado, por creer en mí y por ser una parte esencial de mi vida y crecimiento.

Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño e implementación de un sistema de control de temperatura en un prototipo de caldero, utilizando el entorno de desarrollo TIA Portal y una interfaz de operación HMI. La automatización de este proceso busca mejorar la eficiencia en la regulación térmica.

Para ello, se utilizó un PLC Siemens S7-1500, que se encarga del procesamiento de señales provenientes de sensores de temperatura y la activación de actuadores para el control del sistema. Se establecieron parámetros de control mediante un algoritmo de lógica programada, ajustado para mantener la temperatura dentro de un rango óptimo. Además, se diseñó una interfaz HMI que permite la supervisión en tiempo real del sistema, facilitando la interacción del operador con el proceso.

En el desarrollo del proyecto, se realizaron pruebas experimentales para evaluar el desempeño del sistema, midiendo la respuesta ante variaciones de temperatura y condiciones externas. Los resultados obtenidos evidenciaron una mejora significativa térmica del control en comparación con métodos manuales tradicionales.

Este trabajo representa una contribución importante en el campo de la automatización industrial, ya que proporciona la gestión térmica en sistemas de calderas.

Abstract

The objective of this project is the design and implementation of a temperature control system in a boiler prototype, using the TIA Portal development environment and an HMI operation interface. The automation of this process seeks to improve efficiency in thermal regulation.

For this, a Siemens S7-1500 PLC was used, which is responsible for processing signals from temperature sensors and activating actuators to control the system. Control parameters were established using a programmed logic algorithm, adjusted to maintain the temperature within an optimal range. In addition, an HMI interface was designed that allows real-time supervision of the system, facilitating the operator's interaction with the process.

In the development of the project, experimental tests were carried out to evaluate the performance of the system, measuring the response to variations in temperature and external conditions. The results obtained showed a significant thermal improvement in control compared to traditional manual methods.

This work represents an important contribution to the field of industrial automation, as it provides thermal management in boiler systems.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I	INTRODUCCIÓN	17
II	PROBLEMA.....	18
III	OBJETIVOS	19
3.1	OBJETIVO GENERAL	19
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
IV	FUNDAMENTO TEÓRICO	20
4.1	PRINCIPIO DE LOS CALDEROS	20
4.2	CLASIFICACION DE LOS CALDEROS	21
IV.2.1	CALDERO PIROTUBULAR	21
IV.2.2	CALDERO ACUOTUBULAR.....	21
4.3	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE	23
4.4	HUMAN-MACHINE INTERFACE	24
4.5	SENSOR DE TEMPERATURA	25
4.6	PROTOTIPO: CALDERO.....	26
4.7	PARTES DEL PROTOTIPO DE CALDERO.....	27
IV.7.1	CARCAZA.....	27
IV.7.2	HOGAR.....	27
IV.7.3	TUBOS.....	28
IV.7.4	ESPEJOS.....	28

IV.7.5	COMPUERTAS	29
V	MARCO METODOLÓGICO.....	29
V.1.1	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL CALDERO UTILIZANDO UN SOFTWARE DE MODELADO 3D: AUTODESK INVENTOR	30
V.1.2	MEDIDAS	31
V.1.3	CONSTRUCCION DEL CALDERO PIROTUBULAR.....	32
5.2	PROGRAMACIÓN TIA PORTAL Y HMI	34
VI	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	37
VII	CRONOGRAMA.....	49
VIII	PRESUPUESTO.....	50
IX	CONCLUSIONES	51
X	RECOMENDACIONES.....	52
XI	REFERENCIAS.....	53
XII	ANEXOS	60

I INTRODUCCIÓN

En el presente Trabajo de Titulación, se enfoca en la implementación de un sistema de control de temperatura en un prototipo de caldero utilizando TIA PORTAL y HMI. Este proyecto contribuye al desarrollo de capacidades técnicas y un manejo más referencial del ámbito laboral, mejorando la formación de los estudiantes de la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA - GUAYAQUIL, preparándolos de forma técnica. Con esto se brinda una oportunidad de aprendizaje y actualización tecnológica. De esta manera, se los prepara para enfrentar los retos futuros de una industria cada vez más orientado hacia la automatización y la experiencia en los procesos industriales.

II PROBLEMA

En la actualidad, el control de temperatura en los procesos industriales, como los que involucran el manejo de calderos, depende en gran medida de la intervención manual, lo que presenta desafíos críticos tanto para los operarios como para la eficiencia de las empresas. La manipulación manual de estos sistemas implica una supervisión constante y ajustes repetitivos, lo que puede generar estrés físico y mental en los trabajadores, además de aumentar el riesgo de errores humanos. Estas condiciones afectan tanto la productividad como la precisión en la operación del caldero, llevando a variaciones indeseadas en los parámetros de funcionamiento de temperatura, fallos en la calidad del producto final e incluso riesgos de seguridad para el personal y los equipos (Paganelli, 2024).

En el ámbito académico, el desarrollo de sistemas automatizados para el control de temperatura en calderos se ha vuelto una competencia esencial para preparar a los estudiantes en soluciones prácticas e innovadoras. Sin embargo, muchas instituciones educativas, incluida la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA - GUAYAQUIL, carecen de prototipos y guías prácticas que permitan a los estudiantes experimentar integrando herramientas como TIA Portal y HMI. La implementación de estas tecnologías es clave para que los futuros profesionales adquieran habilidades relevantes que puedan ser aplicadas en la automatización industrial, optimizando procesos y asegurando la sostenibilidad de estos (Plazas Agudelo, 2024).

III OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema de control de temperatura para un prototipo de caldero, utilizando el software TIA Portal y una interfaz HMI.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar la estructura mecánica del caldero utilizando un software de modelado 3D.
- Diseñar un control PID de temperatura en el PLC usando TIA Portal para la operación del prototipo de caldero.
- Desarrollar una interfaz HMI que permite la supervisión del sistema de control de temperatura, facilitando la visualización de datos, alarmas y el ajuste de parámetros de temperatura en tiempo real.
- Implementar la programación del PLC y HMI en un módulo del Laboratorio de Automatización Industrial.

IV FUNDAMENTO TEÓRICO

4.1 PRINCIPIO DE LOS CALDEROS

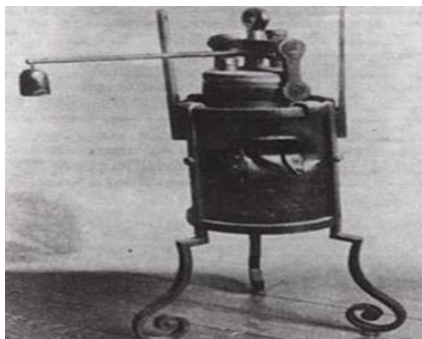
Las calderas de vapor son máquinas a presión que transforman el calor de una fuente de energía en vapor de agua, un recurso ampliamente utilizado en la industria. Su funcionamiento se basa en un proceso de combustión que genera energía calórica, la cual se transfiere al agua para convertirla en vapor y esta puede ser utilizada para varios funcionamientos (Baidal, 2023).

Desde el siglo XIX, en la Revolución Industrial, las calderas desempeñaron un papel primordial. James Watt desarrolló su primera máquina a vapor, inspirándose en los conceptos del físico francés Denis Papin, quien anteriormente había diseñado un dispositivo capaz de calentar agua para generar vapor. Este invento tenía una capacidad de almacenar 150 litros de agua y regulaba la presión a través de un sistema de válvulas que venían incorporados a ello (Baidal, 2023).

El uso del vapor se popularizó rápidamente y se convirtió en una de las principales fuentes de energía en la industria, ya que permitía impulsar grandes máquinas. Hoy en día, estas máquinas han seguido modernizándose con nuevas tecnologías que optimizan su rendimiento y eficiencia energética (Baidal, 2023). En la figura 1 se observa uno de los primeros calderos industriales.

Figura 1

Caldero siglo XIX



Nota: Calderos utilizados a principios del siglo XIX (Velasco, 2023).

4.2 CLASIFICACION DE LOS CALDEROS

IV.2.1 CALDERO PIROTUBULAR

Las calderas de vapor pirotubulares son un tipo de equipo térmico que emplea los gases calientes generados en la combustión para calentar el agua que circula dentro de sus tubos. Este sistema es ampliamente utilizado en la industria, especialmente en procesos de manufactura, generación de energía y diversas aplicaciones de producción, debido a su eficiencia y confiabilidad (Baidal, 2023).

Su estructura está compuesta por un cilindro que contiene agua y en cuyo interior se distribuyen tubos que entran en contacto con los gases calientes. A medida que estos gases atraviesan los tubos, transfieren su calor al agua circundante, lo que provoca su vaporización. El vapor resultante se acumula en un tambor ubicado en la parte superior de la caldera, desde donde se dirige hacia su aplicación específica (Baidal, 2023).

Una de las razones por las que este tipo de caldera es tan popular es su diseño sencillo y su facilidad de uso. Al tener un menor número de piezas móviles en comparación con otros modelos, su mantenimiento es más práctico y menos costoso. Además, su construcción compacta y liviana permite que su instalación y transporte sean más ágiles y eficientes (Baidal, 2023).

IV.2.2 CALDERO ACUOTUBULAR

Las calderas acuotubulares de vapor funcionan aprovechando los gases de combustión para calentar agua que circula a través de tubos, generando así vapor. En este tipo de caldera, el agua se encuentra dentro de los tubos, mientras que los gases calientes los rodean externamente para transferir el calor. A medida que el agua se calienta, se convierte en vapor, el cual es recolectado en un tambor ubicado en la parte superior. Estas calderas son ampliamente utilizadas en

aplicaciones de alta presión, como la generación de energía y el calentamiento de procesos industriales (Baidal, 2023).

Su diseño se basa en la disposición de múltiples tubos organizados estratégicamente para optimizar la transferencia de calor. Generalmente, estos tubos están fabricados con acero u otros materiales resistentes a altas temperaturas y se conectan a los tambores de la caldera en ambos extremos. Los gases de combustión fluyen sobre los tubos, transmitiendo calor y elevando la temperatura del agua en su interior (Baidal, 2023).

Una de las mayores ventajas de las calderas acuotubulares es su alta eficiencia térmica, lograda gracias a su amplia superficie de calentamiento y a la rápida transferencia de calor. Esto permite que alcancen presiones y temperaturas superiores en comparación con las calderas pirotubulares. Además, su capacidad de responder rápidamente a variaciones en la demanda de vapor las hace ideales para procesos que requieren arranques y paradas frecuentes (Baidal, 2023).

Como tal un Caldero como tal genera vapor al pasar gases calientes a través de tubos sumergidos en agua, su control de temperatura es crucial para el funcionamiento y seguridad ya sea para los estudiantes o la industria (Perez, 2018).

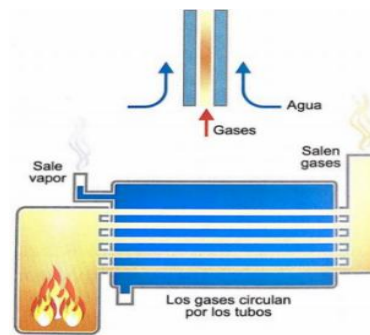
Los gases de combustión, provenientes de un hogar o cámara de combustión, fluyen a través de una serie de tubos internos dentro del caldero (Díaz, 2020).

Los controladores PID se utilizan para mantener estas variables dentro de rangos seguros. Con TIA Portal y HMI, se puede diseñar y simular el control, permitiendo validar el sistema sin riesgos. Estas herramientas facilitan el monitoreo y permiten ajustar el diseño antes de la implementación física, optimizando la operación del caldero haciendo un buen funcionamiento de él (Alexander D. C., 2019).

Mientras los gases atraviesan los tubos como se visualiza en la Figura 1, el calor es transferido a través de las paredes metálicas hacia el agua circundante. Esto provoca que el agua absorba la energía térmica y se convierta en vapor. El vapor generado puede utilizarse para procesos industriales, calefacción o generación de energía (Perez, 2018). En la figura 2 se observa un caldero pirotubular.

Figura 2

Flujo del caldero piro tubular.



Nota: Figura referente del manejo del caldero pirotubular y su uso (Eisa.cl., 2024).

4.3 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

Como se logra visualizar en la figura 3, el Controlador Lógico Programable de Siemens es un controlador lógico programable ideal para la automatización industrial, reconocido por su diseño modular que facilita su integración en sistemas complejos. Este controlador se destaca por su flexibilidad, permitiendo adaptarlo a diversas soluciones personalizadas, lo que lo convierte en una opción eficiente para una variedad de aplicaciones industriales. Su programación es sencilla, ya que se realiza a través de un software intuitivo, lo que hace más accesible el control y monitoreo de los procesos. Además, está diseñado para resistir condiciones adversas, como vibraciones y

temperaturas extremas, lo que garantiza su fiabilidad y rendimiento en entornos industriales exigentes (GARCÍA, 2020).

Figura 3

PLC: Controlador Lógico Programable.



Nota: Es una computadora industrial que usa la ingeniería para la automatización de procesos (A&C Ingeniería., 2024).

4.4 HUMAN-MACHINE INTERFACE

El HMI de Siemens como se logra visualizar en la Figura 4, es un panel diseñado para hacer más fácil la interacción entre el operador y los sistemas de automatización industrial. Con su pantalla táctil de 7 pulgadas, permite visualizar y controlar los procesos de manera clara y sencilla, proporcionando una experiencia de uso intuitiva. Esta interfaz combina hardware y software para recopilar información sobre el proceso, mostrar el estado de las máquinas, generar alertas cuando hay riesgos y analizar los datos relevantes. Su función principal es ofrecer un medio fácil de usar para supervisar y gestionar sistemas automatizados, optimizando la operatividad en entornos industriales (Salas, 2019).

Figura 4

Pantalla HMI Siemens.



Nota: Panel de control o pantalla que permite a un usuario interactuar con una máquina, software o sistema. (Google.com., 2024).

4.5 SENSOR DE TEMPERATURA

La termocupla tipo J como se logra ver en la figura 5 es un sensor de temperatura que utiliza hierro y cobre-níquel para generar un voltaje proporcional a la temperatura. Su rango de medición va aproximadamente de -210°C a 760°C , aunque en aplicaciones industriales se recomienda usarla hasta 650°C para mayor precisión. Es muy utilizada en la industria debido a su costo accesible y buena estabilidad en temperaturas moderadas. (Mauricio, 2019).

Su instalación se realizó en un punto estratégico del caldero para garantizar una lectura representativa de la temperatura del sistema (Mauricio, 2019).

Figura 5

Termocupla tipo J



Nota: Sensor de temperatura que se compone de dos metales diferentes unidos en un extremo (GRM, 2024).

4.6 PROTOTIPO: CALDERO

Este diseño y simulación permite implementar un control de temperatura en el prototipo de caldero como se observa en la figura 6, logrando una operación más segura, con esto se puede simular y verificar el comportamiento del control en un entorno virtual, lo que hace posible ajustar parámetros de temperatura y prever fallos sin poner en riesgo el equipo real. La simulación como tal facilita observar cómo responde el sistema ante distintos escenarios de temperatura, y realizar ajustes para optimizar el proceso (Felipe, 2021).

Además, la incorporación del HMI de Siemens brinda una interfaz práctica y clara para que los estudiantes supervisen y gestionen el prototipo de caldero, mostrando datos importantes de manera intuitiva y permitiendo tomar decisiones informadas. Esta interfaz contribuye a reducir errores, ya que el operador tiene una visualización completa del control y recibe alertas cuando las variables están fuera de los rangos establecidos (Felipe, 2021).

4.7 PARTES DEL PROTOTIPO DE CALDERO

IV.7.1 CARCAZA

La carcasa de un caldero, como su nombre lo sugiere, es la envoltura que protege y cierra el cilindro a presión de la caldera. Al igual que el resto de sus componentes, está fabricada con planchas de acero diseñadas para soportar altas temperaturas. En esta parte del caldero se realizan los orificios necesarios para inspeccionar el lado de agua, entre los cuales se encuentran el MANHOLE u orificio para el acceso de una persona, y el HANDHOLE, que es un orificio más pequeño para facilitar el acceso manual del cual se está utilizando (Baidal Gómez, 2023).

IV.7.2 HOGAR

La cámara en la que se lleva a cabo el proceso de combustión en un caldero se conoce como el hogar. Este espacio es fundamental en el funcionamiento del caldero, ya que es donde se genera la energía térmica mediante la llama. A partir de esta energía, se extrae el calor necesario para calentar el agua contenida en el caldero llevándola a su punto de ebullición de 100°C y transformarla en vapor (Arellano Reyes, 2024).

El diseño del hogar es crucial, ya que debe garantizar una combustión eficiente, maximizando el aprovechamiento del combustible utilizado, ya sea gas, carbón, biomasa u otro. Además, el material con el que está construido el hogar debe ser resistente a las altas temperaturas y a los posibles efectos corrosivos de los gases generados durante la combustión (Arellano Reyes, 2024).

En este espacio, se produce una transferencia de calor directa hacia las superficies que están en contacto con el agua dentro del caldero (Arellano Reyes, 2024).

IV.7.3 TUBOS

En un caldero pirotubular, los tubos desempeñan un papel clave al conducir los gases calientes generados durante la combustión por su interior. Estos tubos están rodeados por agua que, al absorber el calor, se convierte en vapor. Este diseño permite una transferencia de calor eficiente, asegurando el funcionamiento adecuado del caldero (Muñoz Chalén, 2021).

Con esto los tubos cumplen dos funciones fundamentales. En primer lugar, son responsables de transferir el calor generado por la combustión al agua circundante, facilitando así el proceso de generación de vapor. En segundo lugar, actúan como tensores estructurales, ayudando a prevenir que los espejos del caldero se deformen o abomben debido a las altas presiones internas. Este doble propósito hace que los tubos sean componentes esenciales en el diseño y la operación de los calderos pirotubulares (Muñoz Chalén, 2021).

IV.7.4 ESPEJOS

Los espejos son componentes fundamentales en un caldero, diseñados como planchas circulares de acero de alta resistencia. En ellos se realizan perforaciones precisas que permiten alojar tanto los tubos como el hogar del caldero. Su función principal es cerrar herméticamente el espacio destinado a la acumulación de agua y vapor, asegurando así que el sistema opere de manera eficiente y segura (Vallejos Abanto, 2024).

Además de su función estructural, los espejos contribuyen a mantener la integridad del caldero bajo condiciones de alta presión y temperatura. Gracias a su diseño robusto y a los materiales utilizados, los espejos garantizan que el agua y el vapor permanezcan confinados dentro del sistema, evitando fugas y favoreciendo una transferencia de calor óptima hacia el agua para la generación de vapor (Vallejos Abanto, 2024).

IV.7.5 COMPUERTAS

Las compuertas de un caldero, al igual que otros componentes clave, están fabricadas de acero debido a su alta resistencia a las temperaturas y presiones generadas durante el funcionamiento. Su función principal es sellar el lado de fuego del caldero, evitando la fuga de gases y garantizando la eficiencia del sistema. Además, estas compuertas juegan un papel crucial en desviar los gases de combustión, obligando a atravesar los diferentes pasos de la caldera para maximizar la transferencia de calor hacia el agua (Heredia Balladares, 2022).

La compuerta posterior, en particular, está diseñada para resistir condiciones más extremas, ya que es la que recibe el impacto directo de la llama durante el proceso de combustión. Para protegerla y prolongar su vida útil, parte de su superficie está sellada para que así el calor vaya unidireccional para mayor funcionamiento. Este material es capaz de soportar altas temperaturas y reduce el desgaste causado por la exposición constante al calor intenso, asegurando así un funcionamiento seguro del caldero (Heredia Balladares, 2022).

V MARCO METODOLÓGICO

La implementación y simulación del proyecto utiliza herramientas de automatización industrial, permitiendo una validación gradual de cada fase, el proyecto adoptó una implementación de un sistema de control de temperatura en un prototipo de caldero. A través del uso de software especializado como TIA Portal y HMI, se desarrolló un programa que permite monitorear y regular la temperatura, optimizando el funcionamiento del sistema térmico (Mendoza, 2024).

A lo largo de este marco metodológico, las condiciones necesarias para simular y analizar de manera integral el impacto del sistema automatizado, estableciendo las bases para una posible implementación física y contribuyendo al avance tecnológico en el control de procesos térmicos industriales, pero con ello enfocado en futuras prácticas en el ámbito estudiantil (Mendoza, 2024).

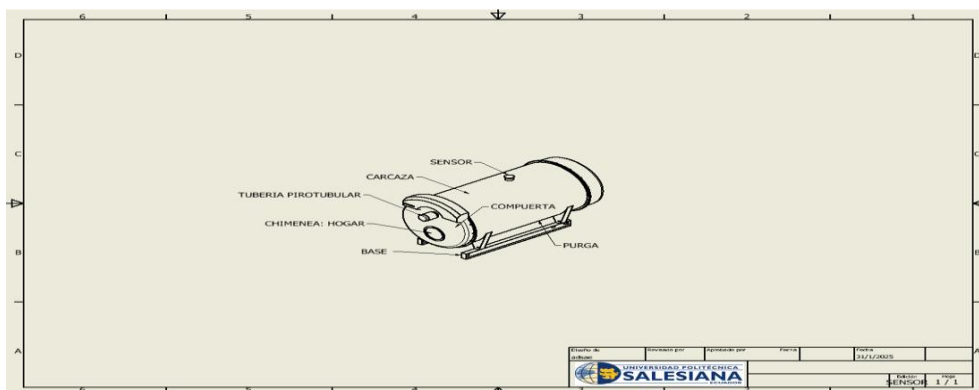
V.1.1 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL CALDERO UTILIZANDO UN SOFTWARE DE MODELADO 3D: AUTODESK INVENTOR

El diseño de la estructura mecánica del caldero se llevó a cabo utilizando Autodesk Inventor, un software de modelado 3D me permite desarrollar una representación del sistema que se va a aplicar. A través de esta herramienta, se definieron las dimensiones, materiales y componentes estructurales, asegurando que el caldero cumpliera con los requisitos de resistencia, eficiencia térmica y seguridad de fugas de vapor como tal.

El modelado en 3D facilita la visualización y optimización del diseño antes de su fabricación, permitiendo realizar análisis estructurales y ajustes en la geometría para mejorar su desempeño o tener una visión del modelo que se vaya a emplear como se observa en la figura 6.

Figura 6

Modelado Plantilla



Nota: Diseño en plantilla del Caldero con sus partes señalizadas.

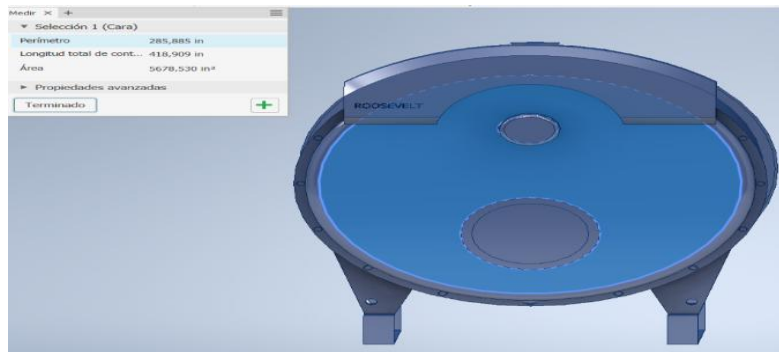
V.1.2 MEDIDAS

Las medidas tomadas para el diseño del caldero fueron obtenidas para su correcto ensamble y compatibilidad con el sistema de control de temperatura. Se registraron dimensiones clave como el diámetro, la altura y el espesor del material, asegurando una distribución óptima del calor y la resistencia estructural adecuada.

Además, se consideraron los espacios para la instalación de sensores y actuadores, permitiendo su correcta integración dentro del sistema automatizado. Estas medidas fueron verificadas y ajustadas en el modelo 3D desarrollado en Autodesk Inventor como se logra visualizar en la figura 7 y 8, asegurando que el diseño final cumpliera con los requerimientos técnicos y operativos establecidos en el proyecto.

Figura 7

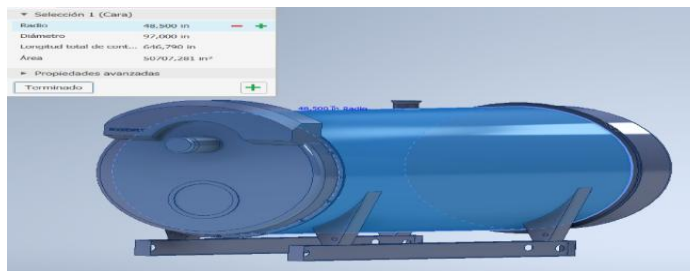
Parte Frontal del Caldero



Nota: Parte del diseño de la parte frontal del Caldero.

Figura 8

Parte Lateral del Caldero



Nota: Formato del diseño del Caldero de su parte lateral.

V.1.3 CONSTRUCCION DEL CALDERO PIROTUBULAR

La construcción del caldero pirotubular se llevó a cabo siguiendo el diseño previamente modelado en Autodesk Inventor, asegurando que cada componente cumpliera con las medidas establecidas. Se utilizó material resistente a altas temperaturas y presión, garantizando la seguridad del sistema.

El proceso inicia como se observa en la figura 9-10-11 y 12 con el corte y ensamblaje de las partes estructurales, incluyendo el cuerpo del caldero, los tubos de fuego y las cámaras de combustión. Posteriormente, se realizaron soldaduras de alta precisión para asegurar la estanqueidad y resistencia mecánica de la estructura.

Una vez ensamblado, el caldero fue sometido a pruebas de integridad y ajustes finales como la ubicación de chimenea hornilla y salidas de gases con ello verificando su correcto funcionamiento antes de la integración con el sistema de control de temperatura automatizado.

Figura 9

Ensamble del Cuerpo de la Caldera



Nota: Forma del caldero y medidas obtenidas a partir del modelo requerido.

Figura 10

Ensamble de base y orificios



Nota: Ubicación de tubos para el paso del calor.

Figura 11

Soldadura de Tubos



Nota: Soldaduras para la ubicación de tubos para el paso del calor.

Figura 12

Ubicación de Chimenea y Hornilla



Nota: Ubicación de chimenea y hornilla para un estable uso del prototipo de caldero.

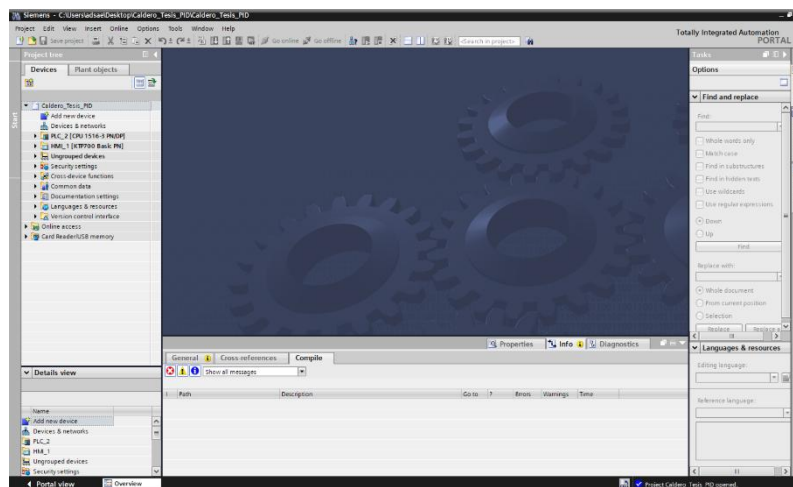
5.2 PROGRAMACIÓN TIA PORTAL Y HMI

En la presente programación se aplica el uso de TIA PORTAL para ser partidario de la simulación y uso del manejo de control de la termocupla tipo J.

Se selecciona o se crea un módulo PLC para iniciar la programación como se logra visualizar en la figura 13.

Figura 13

Selección del programa para la programación

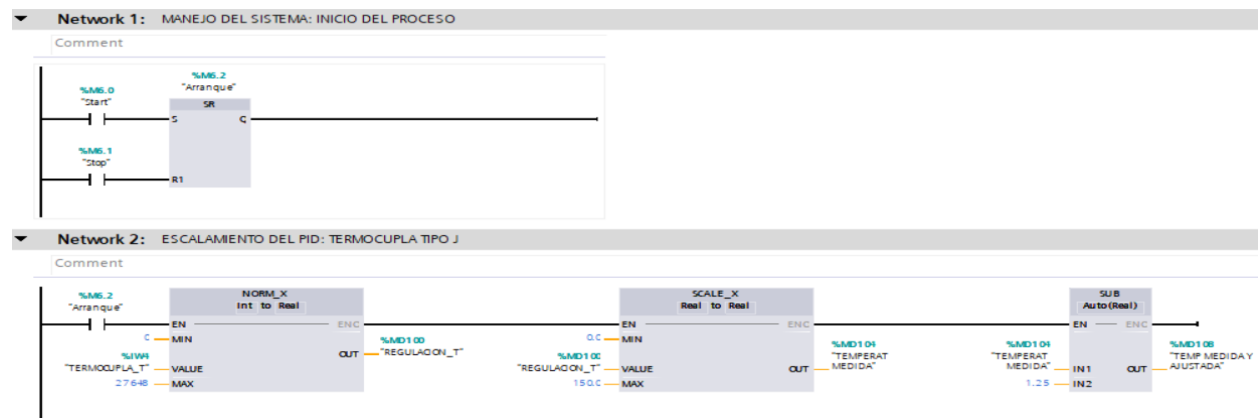


Nota: Inicio del proceso de programación el TIA PORTAL.

Se usa el comando de INICIO para darle arranque al proceso de censo de temperatura del prototipo de caldero, con esto se ubican los bloques de escalamiento los cuales permite darle un valor mínimo y máximo a la tabla del PID, este administra los valores analógicos los cuales se ubican como entrada en el escalamiento y con esto habilita una gráfica como tal para poder visualizar el proceso que la termocupla adquiere de la temperatura del vapor que adquiere, después se ubica un bloque SUB como se observa en la figura 14 del cual sirve para poder regular como tal los valores medio o estables que se obtienen del escalamiento o de los bloques NORM y SCALE.

Figura 14

Programación de bloques de Arranque.

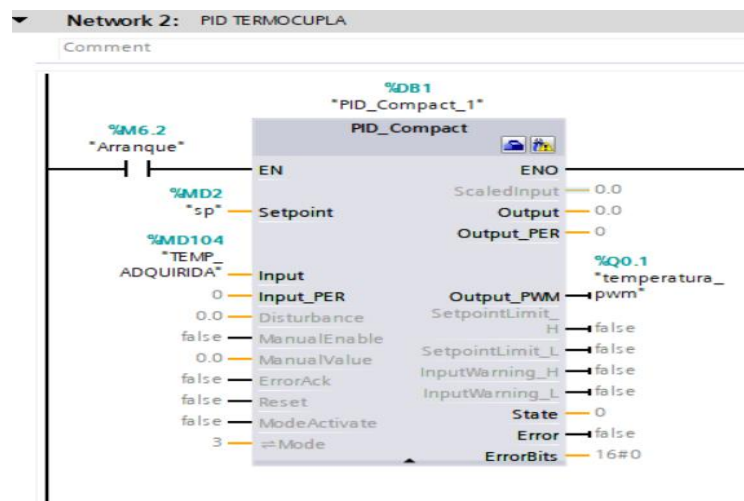


Nota: Bloques para el uso de escala del PID usando NORM y SCALE.

Luego se ubica un comando de CYCLIC INTERRUPT lo cual ayuda a ubicar los comandos para poder utilizar el bloque PID del cual es encargado de usar la función de transferencia para poder visualizar la gráfica del cual se visualiza en el SETPOINT y medidas de salida de valores como tal de la Termocupla como se puede observar en la figura 15.

Figura 15

Control PID



Nota: Uso del Bloque PID ubicando las señales de la termocupla en INPUT.

Como tal después de realizar la programación como tal se ubica pantallas HMI para poder visualizar como tales presentaciones, comando y graficas del mismo, con la finalidad de visualizar todo el proceso y accionamientos que se ubicar con botones para modificar ya sea valores o cambio de pantallas según sea administrado con los TAGS como se visualiza en la figura 16.

Figura 16

Tags de programación

	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...
1	Tag_1	Default tag table	Bool	%Q0.0	☐	☒	☒	☒
2	pwm_Pid	Default tag table	Bool	%I0.0	☐	☒	☒	☒
3	TEMP	Default tag table	Int	%MW0	☐	☒	☒	☒
4	REGULACION_T	Default tag table	Real	%MD100	☐	☒	☒	☒
5	TEMP_ADQUIRIDA	Default tag table	Real	%MD104	☐	☒	☒	☒
6	TEMP_MEDIDA Y AJUSTADA	Default tag table	Real	%MD108	☐	☒	☒	☒
7	TERMOCUPLA_T	Default tag table	Int	%IW4	☐	☒	☒	☒
8	sp	Default tag table	Real	%MD2	☐	☒	☒	☒
9	Start	Default tag table	Bool	%M6.0	☐	☒	☒	☒
10	Stop	Default tag table	Bool	%M6.1	☐	☒	☒	☒
11	Arranque	Default tag table	Bool	%M6.2	☐	☒	☒	☒
12	temperatura_pwm	Default tag table	Bool	%Q0.1	☐	☒	☒	☒
13	<Add new>				☒	☒	☒	☒

Nota: Uso de todos los tags utilizados en la programación

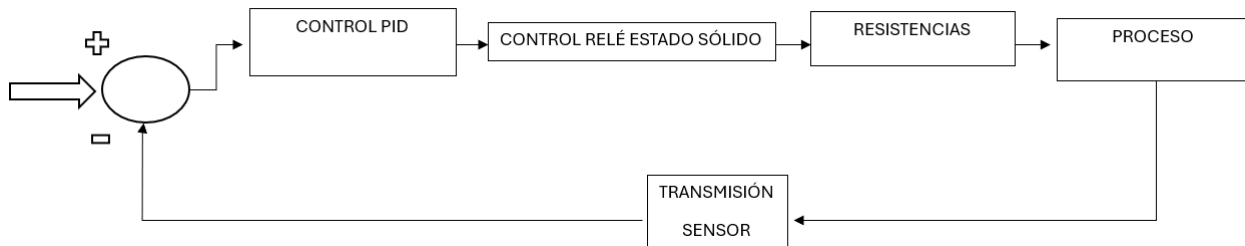
Con esto en un diagrama de bloques representa un sistema de control de temperatura con un lazo de retroalimentación. La señal de entrada representa la temperatura deseada. Esta señal es comparada con la temperatura real del proceso, generando un error que es enviado al controlador PID.

El controlador PID procesa el error y envía una señal al relé de estado sólido, el cual regula el encendido y apagado de las resistencias que calientan el sistema. A medida que las resistencias generan calor, la temperatura del proceso cambia.

El sensor mide la temperatura del sistema y transmite la información de regreso al controlador, cerrando el lazo de control. El controlador ajusta continuamente la salida para mantener la temperatura en el valor deseado como se observa en la figura 17.

Figura 17

Diagrama de bloques.



Nota: Diagrama de bloques del proceso PID dentro del programa TIA PORTAL.

VI ANÁLISIS DE RESULTADOS

El modelado 3D representa un prototipo de caldero de tipo horizontal, diseñado para contener y calentar un fluido dentro de su estructura cilíndrica. Su forma permite una distribución uniforme del calor, lo que es fundamental para el un proceso eficiente de transferencia térmica. En este diseño se observa una cubierta frontal que puede servir como acceso para mantenimiento, inspección o la instalación de dispositivos de control, además de una boquilla superior que podría utilizarse para la entrada o salida de fluidos o vapor.

En el contexto de la implementación de un sistema de control de temperatura, este caldero serviría como el equipo principal sobre el cual se desarrollaría la automatización. Para ello, se integraría un PLC que recibe datos del sensor de temperatura ubicado estratégicamente en la estructura del caldero. Con esta información, el sistema de control ajustaría el mecanismo de calentamiento, asegurando que el fluido alcance y mantenga la temperatura deseada sin sobrepasar los límites de seguridad.

El uso del HMI permitiría monitorear en tiempo real las variables de temperatura y ajustar parámetros según sea necesario. A través del software TIA Portal, se programarían las condiciones

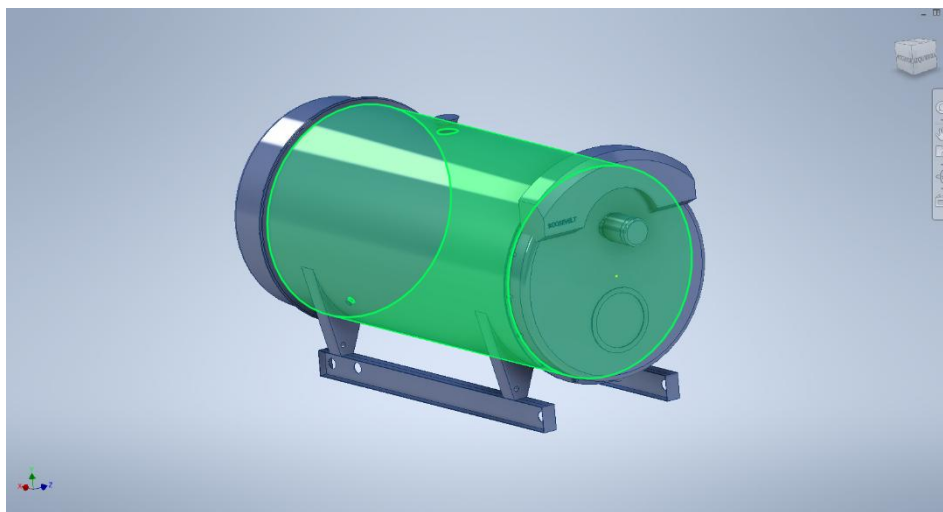
de operación del caldero, estableciendo rangos de temperatura óptimos y activando alarmas en caso de desviaciones fuera del margen permitido.

El diseño del caldero también considera aspectos estructurales importantes, como la estabilidad y resistencia de los materiales ante la presión y la temperatura a la que se encuentra sometido. Se ha incorporado una base que soporta el peso total del equipo y proporciona un montaje seguro, evitando vibraciones o movimientos no deseados durante su funcionamiento.

Este modelo como se observa en la figura 18 serviría como punto de partida para realizar pruebas experimentales dentro del desarrollo del sistema de control, permitiendo la integración de distintos componentes electrónicos y de automatización.

Figura 18

Diseño 3D



Nota: Diseño 3D de un caldero en la aplicación AutoDesk Inventor.

El sistema de control de temperatura diseñado en TIA Portal demostró su rendimiento de temperaturas, logrando mantener la temperatura del caldero dentro de los parámetros establecidos y reduciendo tanto las oscilaciones como el sobrecalentamiento. El controlador presentó una respuesta de establecimiento medio, permitiendo estabilizar la temperatura en un tiempo óptimo.

La integración de la interfaz HMI mantiene la supervisión en tiempo real, facilitando la interacción del usuario con el sistema. A través de botones y gráficas, se logró una operación intuitiva.

Al compararlo con métodos tradicionales, se identificaron áreas de mejora, como la incorporación de un control PID autoajutable para optimizar el desempeño, la implementación de monitoreo remoto, el uso de algoritmos predictivos para anticipar variaciones de temperatura y varias incorporaciones de sensores que se pueden habilitar como sensores de nivel, regulación de temperatura y cálculos de presión.

Si cuentas con datos específicos, como registros de medición o gráficos, puedo apoyarte en su interpretación y complementar el análisis con mayor entendimiento.

En el análisis y resultados está el manejo y uso del Prototipo de Caldero con su programación y uso de la Termocupla tipo J.

Como tal el prototipo de Caldero debe alcanzar temperaturas de 100°C para que alcance el agua como tal un punto de ebullición y el sensor comience a transmitir señales la cual se las interpreta en el escalado PID del programa como se puede observar en la figura 19.

Figura 19

Conexión del sensor y Prototipo de Caldero al módulo PLC

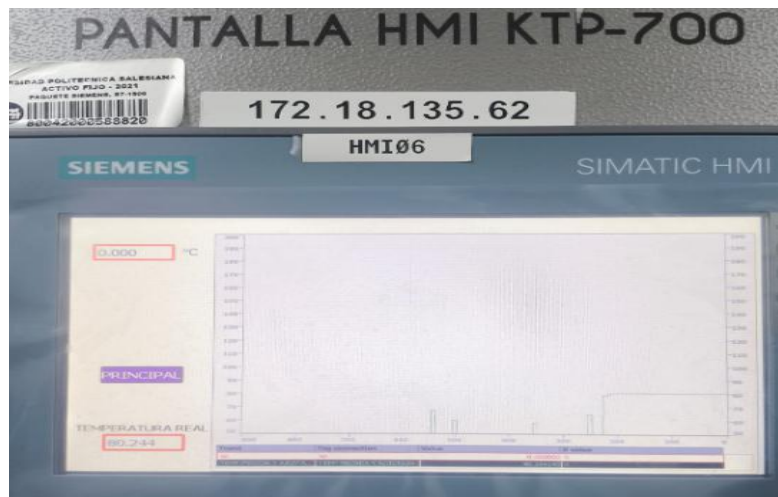


Nota: Proceso de control PID con el uso de la Termocupla tipo J.

En el paso de programación a los módulos se observa el programa de PANTALLA HMI con la visualización de datos de un SETPOINT de mínimo de 0°C y de máximo 50°C, con esto se observa en la figura 20 que la variación de temperaturas va elevándose hasta alcanzar una estabilidad de 50°C o el requerido para no obtener problemas con la presión del Caldero.

Figura 20

Pantalla HMI, Grafica PID



Nota: El setpoint se mantiene en 50 °C administrado por el PID.

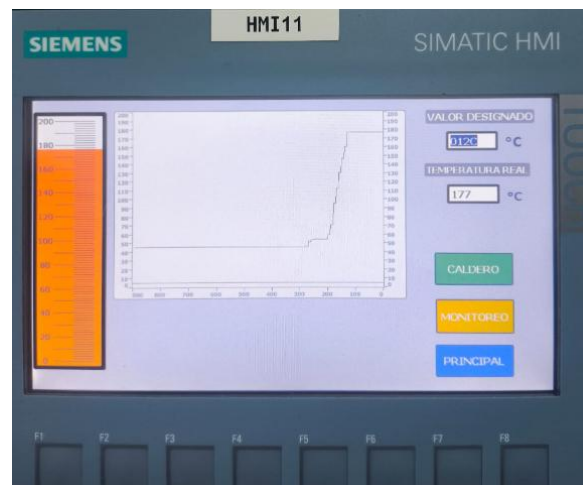
Se observa en la figura 21 que el valor asignado es de 200°C, mientras que la temperatura real es de 176°C, lo que indica que el sistema ha alcanzado el valor deseado.

La curva en la pantalla representa la evolución de la temperatura con una tendencia escalonada. Esto sugiere un comportamiento característico de un control ON-OFF o PID con una respuesta por tramos. El aumento y la estabilización de la temperatura podrían indicar que el sistema está funcionando correctamente, pero la diferencia entre el setpoint y la temperatura actual muestra que aún está en proceso de calentamiento.

Si el sistema ya ha estado en operación y presenta oscilaciones o caídas en la temperatura, puede ser necesario revisar la eficiencia del control implementado. La inercia térmica del caldero, la pérdida de calor o una calibración inadecuada del controlador pueden afectar la estabilidad del sistema. El ajuste de los parámetros del control puede mejorar la respuesta y optimizar el rendimiento del caldero.

Figura 21

Estabilización del programa.



Nota: Regulación de Parámetros de Escala en la Pantalla HMI.

La pantalla muestra la supervisión en tiempo real de un caldero pirotubular a través del HMI. En el centro se observa la representación del caldero con la distribución del calor en su interior, lo que indica que el proceso de calentamiento está activo. La lectura del punto de ebullición marca un valor regular entre 170 y 176°C, lo que sugiere que el sistema está ajustado para monitorear las condiciones térmicas.

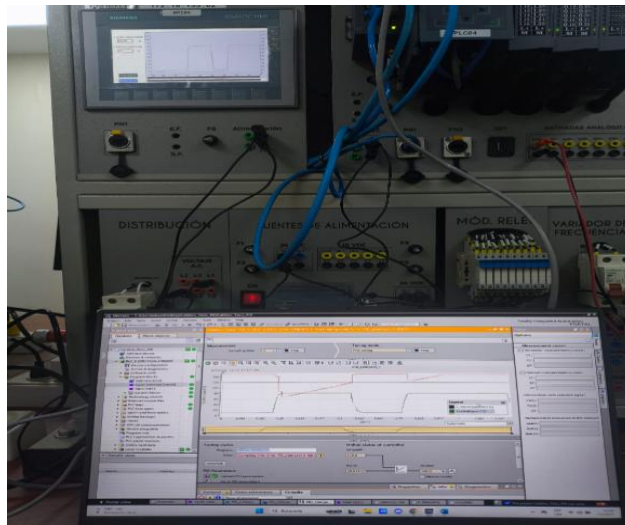
En el lateral derecho, un indicador de temperatura refleja visualmente el estado del sistema, mostrando una escala que probablemente permite identificar fácilmente si se encuentra dentro de

los parámetros operativos adecuados. Los botones en la pantalla brindan opciones de interacción para iniciar o detener el proceso y acceder a la visualización de datos en forma gráfica.

El diseño de la interfaz facilita la supervisión y control del caldero, permitiendo al estudiante verificar el estado del proceso de manera intuitiva como se observa en la figura 22.

Figura 22

Regulación de temperatura, valores digitales y reales.



Nota: Proceso de regulación de datos con la Termocupla.

El sistema de control implementado en el prototipo de caldero pirotubular, basado en la integración de un PLC y una HMI, permite optimizar la gestión térmica del proceso mediante un monitoreo y regulación en tiempo real. A través de la interfaz gráfica, los estudiantes pueden visualizar de manera clara la evolución de la temperatura, realizar ajustes en los parámetros operativos y analizar el comportamiento del sistema con base en datos históricos representados en gráficos de tendencia. Esta capacidad de supervisión es fundamental para garantizar un control

preciso y eficiente del caldero, reduciendo la variabilidad térmica y mejorando el desempeño del sistema.

En la primera parte, se observa un gráfico de tendencias que refleja cómo varía la temperatura del caldero a lo largo del tiempo. Este tipo de representación es clave para analizar la respuesta del sistema a la estrategia de control implementada. La diferencia entre la temperatura real y el valor asignado puede estar influenciada por diversos factores, como la inercia térmica del caldero, la eficiencia del controlador PID o incluso las condiciones ambientales externas. Si la regulación térmica presenta oscilaciones significativas o tiempos de respuesta prolongados, es posible que sea necesario realizar ajustes en los parámetros del controlador.

En la segunda parte, la interfaz de la HMI muestra una representación visual del caldero pirotubular con un indicador del punto de ebullición, el cual se registra en 100°C. La inclusión de este dato sugiere que el sistema está diseñado para monitorear el estado térmico, probablemente ajustando la temperatura de operación según las condiciones del agua y la presión en el interior del caldero. Además, se observa una escala de temperatura en el lateral derecho, que facilita la interpretación rápida del estado del sistema. Los botones en la interfaz permiten a los estudiantes interactuar con el proceso, brindando opciones para iniciar o detener el calentamiento y acceder a gráficos más detallados sobre el comportamiento térmico del sistema.

El diseño se centra en un "Monitor de Operaciones" que incluye diferentes secciones. A la izquierda, hay indicadores visuales que muestran el estado del sistema, como inicio, control PID y parada. Estos indicadores probablemente cambian de color según el estado del proceso.

En la parte derecha, se encuentra la sección del sensor de temperatura, que incluye una barra graduada de 0 a 200°C y un indicador visual para la termocupla, lo que permite monitorear

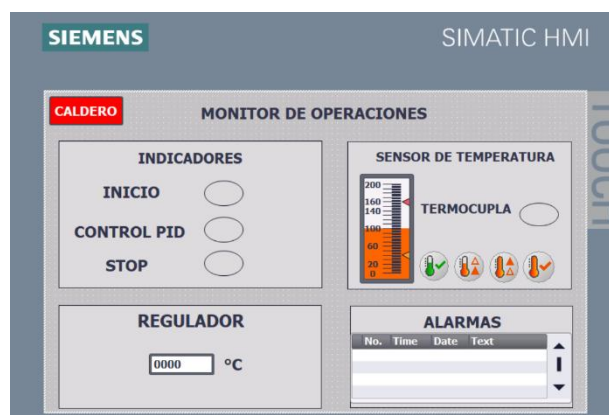
la temperatura en tiempo real. Además, hay iconos de estado que señalan si la temperatura está en niveles normales, de advertencia o críticos.

En la parte inferior, se observa un regulador con un campo numérico donde el operador puede ingresar la temperatura deseada en grados Celsius. A la derecha, hay una tabla de alarmas que registra eventos importantes, como sobrecalentamiento o fallos del sensor.

En general en la figura 23 está el HMI que facilita la supervisión y control del proceso de calentamiento del caldero, permitiendo ajustes y alertando sobre posibles fallos en el sistema.

Figura 23

Pantalla de Monitoreo.



Nota: Pantalla para monitoreo total del sistema del proceso de control de temperatura.

La imagen muestra la interfaz del software TIA Portal en la sección de configuración y monitoreo de un controlador PID, utilizado para regular la temperatura en un sistema automatizado.

En el área principal de la pantalla se muestra una gráfica que se puede distinguir diferentes curvas que representan el setpoint o valor deseado de temperatura, la temperatura real medida por

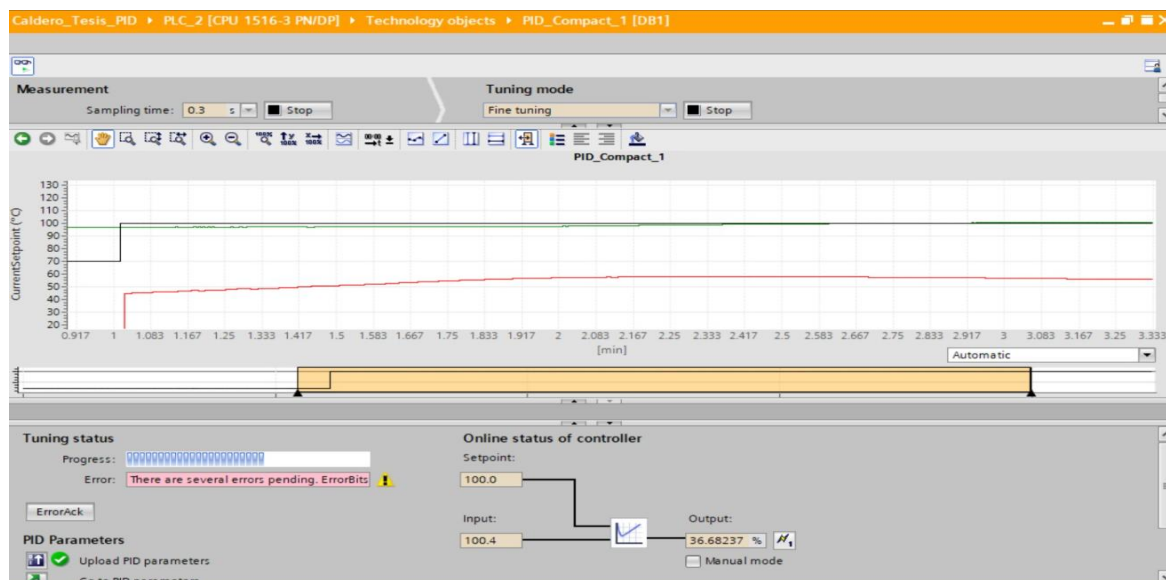
el sistema y la salida del controlador en porcentaje. El setpoint está fijado en 100°C, mientras que la temperatura medida se encuentra en 100.4°C, lo que indica que el sistema ha alcanzado prácticamente el valor de referencia.

En la sección de estado en línea del controlador, se pueden ver los valores actuales del proceso. El setpoint está ajustado en 100°C, mientras que la temperatura medida es de 100.4°C. La salida del PID se encuentra en 36.68%, lo que indica el nivel de esfuerzo del controlador para mantener la temperatura en el valor deseado. El sistema se encuentra en modo automático, lo que significa que el PID está actuando sin intervención manual, regulando la temperatura de forma autónoma.

Como se observa en la figura 24, refleja el proceso de ajuste de un sistema de control PID en un entorno industrial, con un monitoreo en tiempo real de la respuesta del sistema y la posibilidad de realizar ajustes para optimizar su comportamiento alcanzo una mayor estabilidad.

Figura 24

PID



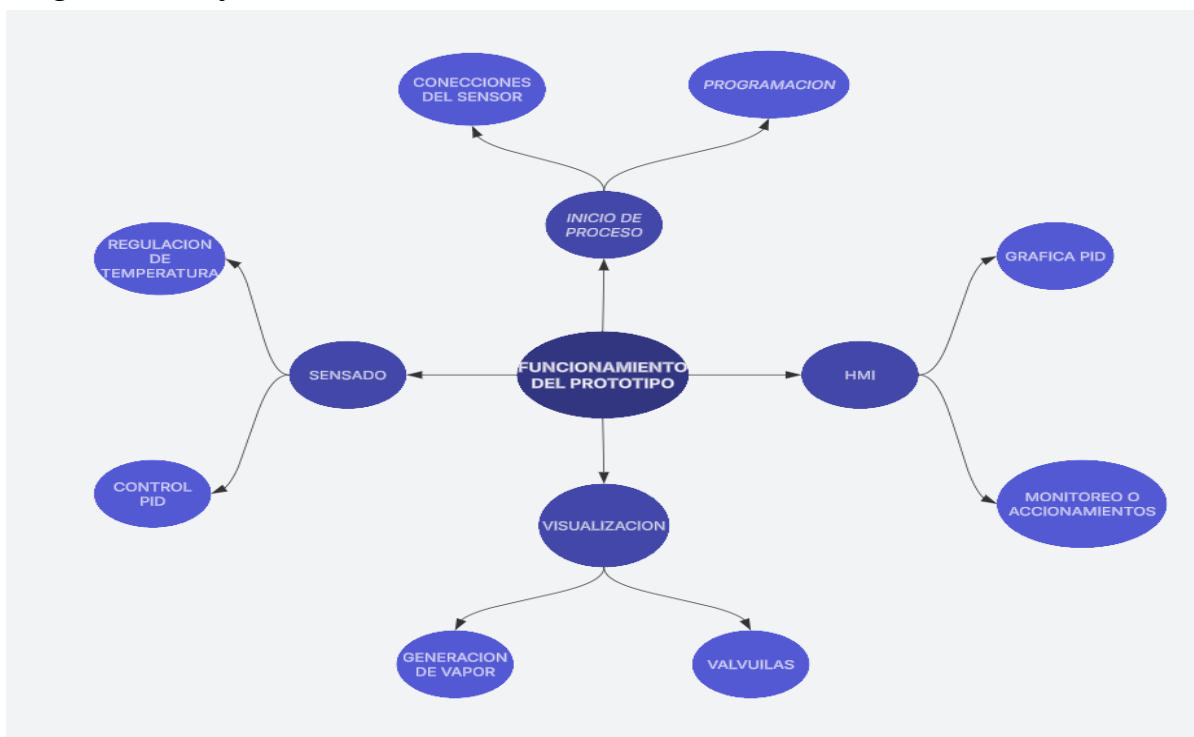
Nota: Pruebas de control de temperatura en un SETPOINT de 100°C.

El diagrama representa la estructura del funcionamiento del prototipo de caldero automatizado desarrollado en la tesis. En el centro, el funcionamiento del prototipo se conecta con diferentes procesos esenciales que interactúan para lograr un control eficiente de la temperatura y la generación de vapor.

El proceso como se visualiza en la figura 25 inicia con la configuración del sistema, que incluye la conexión de sensores y la programación del PLC. Estas etapas aseguran que el sistema pueda medir correctamente la temperatura y ejecutar las órdenes definidas en el software de control. La información recogida por el sensor es procesada para determinar la temperatura en tiempo real, permitiendo que el sistema tome decisiones automáticas basadas en la lógica del controlador PID. Este controlador ajusta la temperatura mediante la activación o desactivación de los elementos de calentamiento, minimizando el error entre la temperatura asignada y la real.

Figura 25

Diagrama de Flujo



Nota: Diagrama de flujo del proceso del funcionamiento del prototipo.

La representación gráfica del comportamiento del sistema PID facilita la supervisión en tiempo real, mientras que el monitoreo de los accionamientos permite la interacción del operador con los diferentes elementos del caldero.

En conjunto, el diagrama ilustra la integración de sensores, controladores y la interfaz de usuario en un sistema automatizado que optimiza la regulación de temperatura en el caldero. La interacción entre estos componentes permite garantizar un funcionamiento estable y seguro, facilitando la supervisión y el ajuste de parámetros en tiempo real. La aplicación de control PID contribuye a una respuesta eficiente del sistema, mientras que la HMI proporciona una herramienta intuitiva para la supervisión y el ajuste de variables, mejorando el rendimiento del proceso de calentamiento.

El diagrama de flujo presentado ilustra el funcionamiento del prototipo de control de temperatura en un caldero, desarrollado utilizando el PLC y programado en TIA Portal. Este sistema tiene como objetivo mantener la temperatura del caldero dentro de un rango óptimo mediante el uso de sensores, un controlador PID y una interfaz HMI para la supervisión y control del proceso.

El sistema comienza con la configuración inicial y la verificación de los elementos que lo conforman. Dos aspectos fundamentales en esta etapa son las conexiones del sensor que se conectan los sensores de temperatura al PLC para garantizar la captura precisa de datos.

En TIA Portal se configura la lógica de control, estableciendo los lazos de retroalimentación, los umbrales de temperatura, las condiciones de activación y desactivación de los actuadores, así como la comunicación con la HMI.

Una vez que el sistema está en funcionamiento, los sensores comienzan a medir la temperatura dentro del prototipo de caldero. Esta información se envía al PLC, donde se analiza para determinar si la temperatura se encuentra dentro del rango deseado o si se requieren ajustes.

El censado es un paso crítico, ya que una lectura incorrecta podría llevar a una regulación ineficiente, afectando el desempeño del sistema.

Con los datos obtenidos por el sensor, el sistema implementa un control PID para ajustar la temperatura de manera correcta.

El PID actúa sobre los elementos de calefacción del caldero, aumentando o reduciendo la energía suministrada según la desviación entre el valor real y el valor deseado. Además, este algoritmo minimiza el sobrecalentamiento y las oscilaciones, garantizando un control.

VII CRONOGRAMA

Para el desarrollo del Proyecto de Titulación, se organizó un plan de actividades semanal que abarca 10 semanas, desde octubre hasta enero, coincidiendo con el ciclo académico 65. Este cronograma es una herramienta fundamental que me permite estructurar y coordinar el progreso del proyecto en cada una de sus etapas. Su objetivo es garantizar que las tareas planificadas se lleven a cabo de manera eficaz y en el tiempo previsto. Tal como se detalla en la Tabla 1, la fase que requiere mayor dedicación es la implementación del proyecto.

Tabla 1

Cronograma

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES			
ACTIVIDADES	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Presentación del tema y desarrollo inicial del proyecto de titulación.	X		
Reuniones con el tutor y validación del tema de titulación.	X		
Ejecución del proyecto de titulación.		X	
Entrega del primer borrador al tutor para revisión.		X	X
Finalización del documento de titulación.			X

VIII PRESUPUESTO

Como se puede visualizar en la Tabla 2, la implementación del proyecto se realiza usando un módulo disponible en el Laboratorio de Automatización de la Universidad Politécnica Salesiana, los costos estimados en el presupuesto se han calculado considerando los aspectos necesarios y básicos para llevar adelante el proyecto de manera adecuada.

Tabla 2: Presupuesto

CANTIDAD	MATERIALES	PRECIO UNITARIO	TOTAL
60H	HORAS DE INGENIERÍA	\$2.87	\$172.2
1	TERMOCUPLA TIPO J	\$14	\$14
1	PROTOTIPO CALDERO	\$200	\$200
2	LLAVE DE PASO	\$2	\$4
1	CILINDRO DE GAS	\$6	\$6
TOTAL			\$396.2

IX CONCLUSIONES

La implementación del sistema de control de temperatura en el prototipo de caldero, utilizando TIA Portal y una interfaz HMI, permitió una regulación del proceso térmico. A lo largo del desarrollo y las pruebas realizadas, se demostró que la automatización reduce significativamente las variaciones de temperatura, manteniéndola dentro del rango óptimo de operación.

El sistema automatizado permitió a través del uso de un controlador PID, la regulación de temperatura del caldero permitió mejorar la estabilidad del sistema al minimizar las oscilaciones térmicas y reducir el tiempo de respuesta ante variaciones de carga. A través del ajuste de los parámetros proporcional, integral y derivativo, se logró una compensación efectiva de errores, evitando tanto el sobrecalentamiento como la subutilización del sistema. Durante las pruebas experimentales, se evidenció que el control PID optimizado mantuvo la temperatura en niveles cercanos al setpoint establecido, demostrando su capacidad para operar de bajo de diferentes condiciones. Además, la integración con la HMI facilitó la supervisión en tiempo real y el ajuste de parámetros, permitiendo una mayor flexibilidad y adaptabilidad en la gestión térmica del prototipo de caldero.

La metodología utilizada en este proyecto puede ser aplicada en procesos industriales que requieran un control térmico preciso, como en la industria alimentaria, química o textil. La integración de sensores, PLC y HMI en un entorno automatizado demostró ser una solución efectiva y adaptable a distintas necesidades. Además, la escalabilidad del sistema permite que en el futuro se puedan incorporar mejoras, como el monitoreo remoto, el uso de inteligencia artificial para la optimización del control o la integración con otros sistemas de automatización industrial, lo que potenciaría aún más su funcionalidad y aplicabilidad en entornos de mayor complejidad.

X RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un ajuste fino de los parámetros del controlador PID para mejorar aún más la estabilidad del sistema. Esto puede lograrse mediante técnicas avanzadas de sintonización. Un PID bien ajustado reduce el tiempo de estabilización y minimiza las oscilaciones de temperatura, mejorando el rendimiento general del caldero.

Para mejorar la supervisión y el control del proceso, se sugiere integrar un sistema de monitoreo remoto utilizando comunicación industrial como lo es PROFINET. Esto permitiría a los operadores visualizar datos en tiempo real desde cualquier ubicación y realizar ajustes sin necesidad de estar físicamente en la planta. Además, el monitoreo remoto facilitaría la detección temprana de fallos y optimizaría el mantenimiento preventivo.

Se recomienda incorporar sensores adicionales, como sensores de presión y nivel de agua, para complementar la medición de temperatura y mejorar la seguridad del sistema. La integración de estas variables en el control permitiría una regulación más adecuada del caldero y evitaría riesgos operativos, como la sobrepresión o el funcionamiento con niveles inadecuados de agua.

XI REFERENCIAS

- Eisa.cl. (19 de noviembre de 2024). *Energías Industriales*. Obtenido de <https://www.eisa.cl/category/alanzas/>
- Termocuplas tipo J, Com.ec. (19 de noviembre de 2024). *Electro Industrial Vinueza*. Obtenido de <https://www.eivinueza.com.ec/instrumentos-de-medicion/termocuplas/termocuplas-tipo-j.html>
- A&C Ingeniería. (19 de noviembre de 2024). *PLC S7-1200 - A&C Ingeniería*. Obtenido de <https://aycingenieria.com/plc-s7-1200/>
- Aguilar, J. D. (10 de septiembre de 2022). “*DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL SISTEMA TERMICO DE LAS CASA DE MAQUINAS DEL HOSPITAL GENERAL*”. Obtenido de [file:///C:/Users/adsae/Downloads/Tesis%20I.M.%20693%20-%20Salazar%20Aguilar%20Jairo%20David%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/adsae/Downloads/Tesis%20I.M.%20693%20-%20Salazar%20Aguilar%20Jairo%20David%20(1).pdf)
- Alexander, C. K., & Sadiku, M. (2006). *Fundamentos de Circuitos Eléctricos*. McGraw-Hill.
- Alexander, D. C. (10 de febrero de 2019). *SIMULACIÓN DE LA COMBUSTIÓN EN UNA CALDERA PIROTUBULAR POR CFD*. Obtenido de https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/36591/TFG_AlexanderDiazCastillo.pdf?sequence=3
- Arellano Reyes, M. A. (2024). *Rediseño de un conjunto de quemadores industriales Diésel para su funcionamiento mixto Diésel/gas de síntesis, usados en la puesta en marcha de grandes*

- calderas de carbón de lecho fluidizado.* Obtenido de <https://manglar.uninorte.edu.co/handle/10584/11907>
- Baidal Gómez, F. D. (2023). *Desarrollo de un caldero que emplee combustible orgánico para la generación de energía mediante vapor* . Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25791>
- Baidal, J. V. (2023). *DESARROLLO DE UN CALDERO QUE EMPLEE COMBUSTIBLE ORGANICO PARA LA GENERACION DE ENERGIA MEDIANTE VAPOR.* Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/25791/1/UPS-GT004511.pdf>
- Cabanillas Mendoza, C., Valdéz, L., Cabrera, C., Merino, C., Bentz, E., & Provasi, P. F. (2019). Ley de Faraday y Ley de Biot y Savart: Campo magnético de una espira circular en un punto fuera del eje. 243. Obtenido de https://repositorio.unne.edu.ar/bitstream/handle/123456789/48205/RIUNNE_FACENA_AR_Cabanillas_Mendoza-Valdez-Cabrera.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cordova, V. G. (11 de julio de 2023). *Diseño y construcción de un caldero de 7.5 BHP para generación de vapor.* Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/12424>
- Díaz, S. P. (02 de abril de 2020). *MODELADO Y SIMULACIÓN DE UNA CALDERA DE VAPOR.* Obtenido de https://www.ecosimpro.com/wp-content/uploads/2015/02/C01_05_es.pdf
- Elvis, D. M. (09 de Marzo de 2018). “*Modificación del sistema de combustión de calderas pirotubulares de 300 y 600 BHP de quemar petróleo residual a gas licuado de petróleo para disminuir la contaminación ambiental*”. Obtenido de <https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/3816>

- Fabricio, R. C. (23 de julio de 2018). *Diseño del sistema de distribución de vapor y selección del caldero para el hospital San Juan de Dios*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7026>
- Faraday, M. (1831). *Experimental Researches in Electricity* (Vol. 3). Royal Society of London.
- Felipe, P. G. (07 de enero de 2021). *Diseño e implementación de un sistema de automatización y control de un caldero industrial de vapor saturado para Construcciones Mecánicas S.A.* Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/items/66d7d81c-62dd-447e-a45c-05fb70282814>
- Fragiel, J. A. (16 de septiembre de 2018). *Desarrollo de una simulación básica de una*. Obtenido de <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/3114/Desarrollo+de+una+simulacion+basi+ca+de+una+caldera+de+vapor+mediante+Arduino.pdf;jsessionid=794C7EC8CA4C87E64F0CAE48170BBA00?sequence=1>
- Furlan García, L. A. (2017). Metodología de Medición de la Eficiencia Energética en Cocinas de Inducción para el Ecuador.
- GANGOTENA, J. A. (15 de mayo de 2024). *ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE UNA CALDERA PIROTUBULAR DE 100 BHP PARA EL HOSPITAL DE ATENCIÓN INTEGRAL DEL ADULTO MAYOR EN LA CIUDAD DE QUITO-ECUADOR*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/27425/1/TTS1804.pdf>
- GARCÍA, C. T. (07 de abril de 2020). *ESTRUCTURACIÓN DE SISTEMAS DE CONTROL DE EVENTOS DISCRETOS*. Obtenido de

https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/568982/DocsTec_6843.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gil Pozo, M. J. (2014). Fundamentos e implementación del calentamiento por inducción electromagnética, aplicado en cocinas residenciales.

Google.com. (21 de julio de 2024). *Hmi - Google search*. Obtenido de https://www.google.com/search?sca_esv=03e995a0e07cb544&sxsrf=ADLYWIIcRjDCLp41IhhBOczpAhR1ePxTJQ:1732055035335&q=hmi&udm=2&fbs=AEQNm0CbCVgAZ5mWEJDg6aoPVcBgWizR0-0aFOH11Sb5tlNhdwTBRAFlvB_IDmZx89cGs2ue7FURV_91BQlUXtNPz_DkqJuLeNK-0HYy1khPJEFzqcDi3r9bHC3O_KGOc

GRM. (2024). *Sonda de temperatura PT100*. Obtenido de <https://www.grm.com.es/es/producto/instrumentacion/temperatura/indicadores-de-temperatura/sonda-de-temperatura/>

Heredia Balladares, C. A. (2022). *Análisis de la eficiencia energética y elaboración de un plan de mantenimiento de los calderos pirotubulares de la Empresa RIOLAC*. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/18854>

HVH. (1994). *HVH Industrial Solutions*. Obtenido de <https://hvhindustrial.com/es/blog/principios-de-calentamiento-por-inducci%C3%B3n>

Jesús, M. L. (09 de 08 de 2022). *Estudio técnico económico para el reemplazo de un caldero en el proceso de producción de harina de pescado y su incidencia en la rentabilidad de la empresa Industria Atunera S.A.C Piura 2020*. Obtenido de <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/9277?show=full>

- Larco, V. D., & Pérez, R. E. (2018). Análisis del Modelo Matemático de una Bobina Plana de Calentamiento por Inducción y Optimización de su Eficiencia. (U. P. Salesiana, Ed.)
- Larrea, A. (22 de enero de 2020). <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7026>. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3062/1/25T00196.pdf>
- Lenz, H. F. (1834). *Ueber die Bestimmung der Richtung der durch elektrodynamische Vertheilung erregten galvanischen Ströme*. Annalen der Physik und Chemie.
- Lope, I; Acero, J; Carretero, C. (2015). Analysis and Optimization of the Efficiency of Induction Heating Applications with Litz-Wire Planar and Solenoidal Coils. 5089-5101.
- Martínez Ledesma, J. A. (2013). Desarrollo de un inversor resonante para calentamiento por inducción electromagnética. 12.
- Martínez Ledesma, J. A. (2013). *Desarrollo de un Inversor Resonante por Calentamiento por Inducción Electromagnética*. Instituto Politécnico Nacional. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19317/1/CD-8686.pdf>
- Mauricio, H. R. (19 de febrero de 2019). *Implementacion de un sistema de instrumentación con sensores de temperatura y de flujo en cada etapa del gasificador Downdraft GEK*. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/13380/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-224.pdf>
- Meeker, D. (25 de Octubre de 2015). *femm.info*. Obtenido de <https://www.femm.info/Archives/doc/manual42.pdf>
- Mendoza, A. S. (2024). *Análisis de pérdidas y cálculo de eficiencia en una caldera pirotubular de 2bhp*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9842466>
- MIRANDA., E. W. (12 de enero de 2018). *ESTUDIO DE PARÁMETROS DE COMBUSTIÓN EN UN CALDERÍN DE 2 BHP Y SU EFECTO SOBRE LA EFICIENCIA*. Obtenido de

<https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/d4a2d842-2f7b-4992-a335-ba7636530dbc/content>

Muñoz Chalén, Á. I. (2021). *Manejo de las calderas industriales y su impacto en el medio ambiente en la ciudad de Guayaquil*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19836>

Paganelli, V. B. (01 de marzo de 2024). *ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE UN CALDERO PIROTUBULAR CON TURBULENCIADORES*. Obtenido de <https://dicit-uagrm.edu.bo/wp-content/uploads/2024/08/3-ARTICULO-Vanessa-Bautista.pdf>

Perez, S. (04 de agosto de 2018). *Modelado y simulacion de calderas pirotubulares en con EcosimPro*. Obtenido de <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/18303>

Plazas Agudelo, F. A. (24 de septiembre de 2024). *Implementación de un sistema de purgas automáticas para la caldera pirotubular de la empresa Tecnoquímicas en el municipio de Villa Rica–Cauca*. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/64139>

PRISCO, J. C. (11 de marzo de 2020). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CALDERA QUE USA COMO COMBUSTIBLE CÁSCARA DE JATROPHA CURCA* . Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/47242358.pdf>

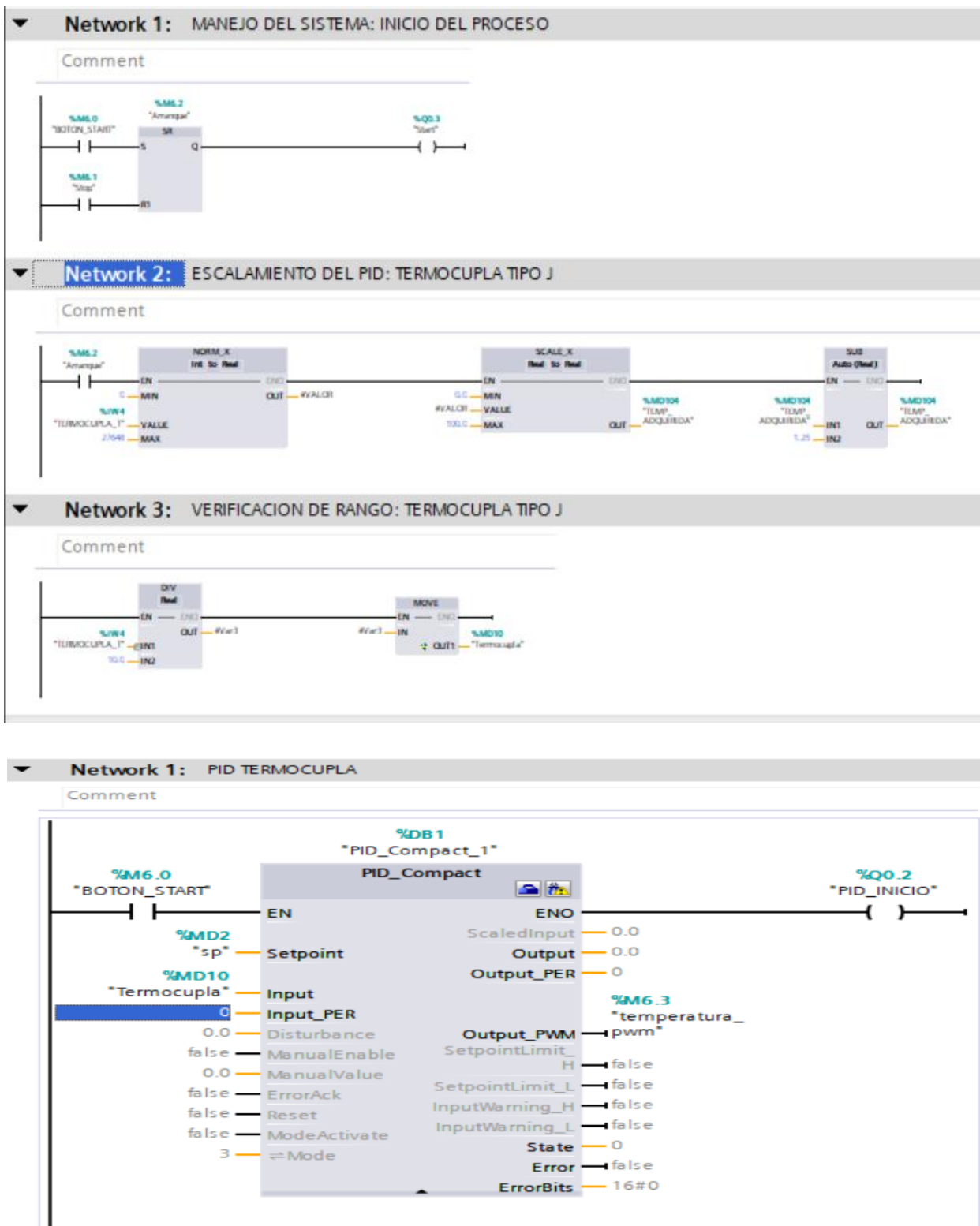
Rojas Valdez, R. D. (22 de junio de 2021). *Desarrollo de un controlador DMC para el control de la presión del vapor de una caldera pirotubular de una planta de fosfato bicálcico*. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/19525>

RTE INEN 101. (2017). Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 101. *Artefactos Electrodomésticos para Cocción por Inducción*. Ecuador.

- Salas, E. (03 de octubre de 2019). *Implementacion de un sistema interfaz HMI para la adquisicion de datos en pruebas de transformadores*. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/13380/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-224.pdf>
- Vallejos Abanto, Y. F. (2024). *Análisis de Caldera Pirotubular de 60 BHP para Aumentar la Eficiencia, en el Comedor Universitario de la UNT*. Obtenido de <https://dspace.unitru.edu.pe/items/27847e96-90b6-4c55-a151-32ab28f77771>
- Velasco, S. (2023). *La Caldera: Un viaje a través de la historia y la evolución tecnológica*. Obtenido de <https://www.ecovismexico.com/blog/la-caldera-un-viaje-a-traves-de-la-historia-y-la-evolucion-tecnologica>

XII ANEXOS

Programación y pruebas.



Caldero_Tesis_PID ▸ PLC_2 [CPU 1516-3 PN/DP] ▸ Program blocks ▸ Main [OB1]

Main

	Name	Data type	Default value	Comment
1	Input			
2	Initial_Call	Bool		Initial call of this OB
3	Remanence	Bool		=True, if remanent data are available
4	Temp			
5	VALOR	Real		
6	Var2	Int		

