



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

AUTOMATIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO DE TUBERÍAS DE PRESIÓN  
DE CALDERAS INDUSTRIALES A TRAVÉS DE UN CONTROLADOR PID  
(SIMULACIÓN EN SIMULINK)

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero Industrial.

AUTORES:

Pablo Enrique Cárdenas Caamaño

Jaime Antonio Barahona Bustamante

TUTOR: Ing. Genaro Eliceo Díaz Solís. MSIG

Guayaquil-Ecuador

2024

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Jaime Antonio Barahona Bustamante con documento de identificación N° 0932290331 y Pablo Enrique Cárdenas Caamaño con documento de identificación N° 0958405417 manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos 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, noviembre 2024

Atentamente,



Jaime Antonio Barahona Bustamante

0932290331



Pablo Enrique Cárdenas Caamaño

0958405417

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

Nosotros, Jaime Antonio Barahona Bustamante con documento de identificación No. 0932290331 y Pablo Enrique Cárdenas Caamaño con documento de identificación No. 0958405417, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Automatización del mantenimiento de tuberías de presión de calderas industriales a través de un controlador PID (Simulación en Simulink)”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Industrial, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento cuando entregamos el trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 12 de febrero del año 2024


Atentamente,



---

Jaime Antonio Barahona Bustamante

0932290331



---

Pablo Enrique Cárdenas Caamaño

0958405417

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Genaro Eliceo Díaz Solís con documento de identificación N° 0912186467 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: "AUTOMATIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO DE TUBERÍAS DE PRESIÓN DE CALDERAS INDUSTRIALES A TRAVÉS DE UN CONTROLADOR PID (SIMULACIÓN EN SIMULINK)", realizado por Jaime Antonio Barahona Bustamante con documento de identificación N° 0932290331 y por Pablo Enrique Cárdenas Caamaño con documento de identificación N° 0958405417, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción proyecto tecnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 20 de 02 del año 2024

Atentamente,



Ing.Genaro Eliceo Díaz Solís.MSIG

N°0912186467

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto va dedicado a mi familia que me a apoyado en estos cinco largos años de carrera universitaria, brindándome apoyo económico y emocional; ayudándome a seguir adelante y por apoyarme tanto en los buenos momentos como en los malos.

Pablo Enrique Cárdenas Caamaño

El presente proyecto se lo dedico madre, mis tías y mi abuela que me han apoyado toda mi vida, brindándome su ayuda en los momentos que lo necesite, y me han inspirado a seguir a delante.

Jaime Antonio Barahona Bustamante

## **AGRADECIMIENTO**

Primero que nada, agradezco a Dios por permitirme llegar a este punto, lleno de salud y determinación a pesar de todos los problemas que he tenido en el transcurso de mi carrera. Agradezco a mi familia por su apoyo incondicional, a mis amigos Marianella Ortiz y Carlos Ribadeneira. A mis compañeros que me acompañaron en esta travesía, y especialmente a Pablo Cárdenas, quien, a pesar de haber pasado por momentos difíciles, siempre estuvo allí para ayudarme. También quiero expresar mi gratitud a todos mis docentes, que me han acompañado y brindado su conocimiento. Agradezco al ingeniero Iván Suárez, quien me inspiró a seguir adelante. Finalmente, agradezco a la Ing. Fabiola Terán y al vicerrector, Raúl Jimmy Álvarez Guale, quienes me han guiado en los momentos tan difíciles que he pasado.

Jaime Antonio Barahona Bustamante

Agradezco a mi familia por el apoyo incondicional que me han brindado, su esfuerzo y amor incondicional ha sido lo que me ha dado la oportunidad de avanzar al éxito y me permitirá superar los diferentes desafíos que me proporcione la vida.

también quiero agradecer a aquellas personas que de alguna forma han formado parte de quien soy ahora, ya sea brindándome conocimiento, apoyo o experiencia.

Pablo Enrique Cárdenas Caamaño

## RESUMEN

En este proyecto técnico se analiza y diseña un modelo para el mantenimiento de las tuberías de las calderas industriales mediante la implementación de sensores y controladores, controlados mediante un Control Proporcional Integral Derivativo (PID), ayudando a la conservación y buen rendimiento en las tuberías; las cuales son puntos críticos en las industrias. Por eso deben ser sometidas a mantenimientos generales y constantes para asegurar su correcto funcionamiento.

En el proceso de mantenimiento de tuberías y reparación de daños. Mayoritariamente es difícil encontrar la raíz del problema, lo cual perjudica gravemente el tiempo de operación de las calderas; lo que se resume en la reducción de la eficiencia en gran nivel.

Mathlab es una gran herramienta de simulación para procesos industriales, ya que cuenta con una gran variedad de piezas utilizables para una buena simulación. Las cuales nos dar una representación aproximada de lo que esta pasando en un proceso.

El controlador PID se usa mucho en sistemas de control industrial por su simplicidad y efectividad en el control de procesos, ya que posee una retroalimentación que se ajusta continuamente la salida del proceso en función del error entre el valor deseado y el valor medido. Para el correcto funcionamiento del PID es necesario el uso de sensores, los cuales ayudaran a la retroalimentación del sistema utilizado. Con esta retroalimentación el controlador podrá operar o dar señales a los distintos actuadores, los cuales se encargarán de aliviar presiones o temperatura que pueden salirse de los parámetros deseados.

Existe una gran variedad de marcas controladores PID, cada una de ellas tienen una gran variedad de productos para las especificaciones técnicas que se necesite.

Se propone un diseño de simulación en simulink, para demostrar el rendimiento y eficiencia de un controlador PID aplicado en las tuberías para monitorear:

variaciones en rendimiento, posibles averías, y detección de problemas; los cuales pueden llegar a tener repercusiones graves. Resumen de la investigación

El modelo comienza por establecer las condiciones que debe cumplir el agua de alimentación de las calderas para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro, y se describen las impurezas que pueden estar presentes en el agua de alimentación y los efectos que pueden tener en el sistema. Finalmente, se presentan los distintos tratamientos que se pueden aplicar al agua de alimentación para eliminar o reducir las impurezas.

#### Conclusiones del modelo

El modelo concluye que el uso de controladores PID puede proporcionar una mejora significativa en el control de la temperatura en sistemas de calderas industriales. El controlador PID permite mantener la temperatura dentro de los parámetros deseados incluso en condiciones variables, lo que puede ayudar a evitar problemas como la formación de incrustaciones y el sobrecalentamiento.

#### Recomendaciones

También se recomienda que el agua de alimentación de las calderas industriales sea sometida a un proceso de tratamiento para eliminar o reducir las impurezas. Este tratamiento puede ayudar a mejorar la eficiencia y la seguridad del sistema, prolongando su vida útil de los equipos.

#### Aplicaciones potenciales

Los resultados del modelo tienen aplicaciones potenciales en una amplia gama de industrias que utilizan calderas, como la generación de energía, la fabricación y la industria alimentaria. El uso de controladores PID puede ayudar a mejorar la eficiencia y la seguridad en estas operaciones, reduciendo los costes y los riesgos para el personal



### Puntos clave

Los controladores PID pueden proporcionar una mejora significativa en el control de la temperatura y presión en sistemas de las calderas industriales.

El agua de alimentación de las calderas industriales debe someterse a un proceso de tratamiento para eliminar o reducir las impurezas.

Los resultados del estudio tienen aplicaciones potenciales en una amplia gama de industrias.

**Palabras clave:** Calderas industriales, Control de temperatura, Controladores PID, Impurezas, Tratamiento del agua, Eficiencia, Seguridad, Desgaste

## ABSTRACT

This technical Project analyzes and designs a model for the maintenance of industrial boiler pipes by implementing sensors and controllers, controlled by a Proportional Integral Derivative (PID) Control, helping the conservation and good performance of the pipes; which are critical points in industries. That is why they must be subjected to general and constant maintenance to ensure their proper functioning.

In the process of pipeline maintenance and damage repair, it is mostly difficult to find the root cause of the problem, which seriously impairs the operation time of the boilers; which is summarized in the reduction of efficiency to a great extent.

Matlab is a great simulation tool for industrial processes, as it has a wide variety of usable pieces for a good simulation. Which will give us an approximate representation of what is happening in a process.

The PID controller is widely used in industrial control systems for its simplicity and effectiveness in process control, as it has a feedback that is continuously adjusted to the process output depending on the error between the desired value and the measured value. For the correct operation of the PID it is necessary the use of sensors, which will help the feedback of the system used. With this feedback the controller will be able to operate or give signals to the different actuators, which will be in charge of relieving pressure or temperature that can go out of the desired parameters.

There is a wide variety of PID controller brands, each of which has a huge range of products for the technical specifications that are needed.

A simulation design in simulink is proposed to demonstrate the performance and efficiency of a PID controller applied in pipelines to monitor: variations in performance, possible failures, and detection of problems; which can have serious repercussions.

Summary of the research

The model begins by establishing the conditions that the boiler feedwater must meet to ensure efficient and safe operation, and the impurities that may be present in the feedwater and the effects they may have on the system are described. Finally, the different treatments that can be applied to the feed water to eliminate or reduce impurities are presented.

### Model Conclusions

The model concludes that the use of PID controllers can provide significant improvement in temperature control in industrial boiler systems. The PID controller allows the temperature to be maintained within the desired parameters even under varying conditions, which can help avoid problems such as scaling and overheating.

### Recommendations

It is also recommended that the feed water of industrial boilers be submitted to a treatment process to eliminate or reduce impurities. This treatment can help improve the efficiency and safety of the system, prolonging the life of the equipment.

### Potential applications

The model results have potential applications in a wide range of industries that use boilers, such as power generation, manufacturing and the food industry. The use of PID controllers can help improve efficiency and safety in these operations, reducing costs and risks to ++

### Key Points

PID controllers can provide a significant improvement in temperature and pressure control in industrial boiler systems.

Feed water for industrial boilers must undergo a treatment process to remove or reduce impurities.

The results of the study have potential applications in a wide range of industries.

Keywords: Industrial boilers, Temperature control, PID controllers, Impurities, Water treatment, Efficiency, Safety, Wear and tear

## INDICE GENERAL

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	I
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	IV
DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTO .....	VI
RESUMEN .....	VII
ABSTRACT .....	X
INDICE GENERAL .....	XIII
INDICE DE FIGURAS.....	XVI
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO 1 .....	1
<b>1.1 PROBLEMÁTICA</b> .....	2
<b>1.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	2
<b>1.1.2 JUSTIFICACIÓN</b> .....	3
<b>1.1.3 GRUPO OBJETIVO O BENEFICIARIO</b> .....	4
<b>1.1.4 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS</b> .....	5
OBJETIVO GENERAL.....	5
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	5
CAPITULO 2 .....	6
<b>2.1 MARCO TEÓRICO</b> .....	6
2.1.1 PID.....	6
<b>2.1.2 MATLAB</b> .....	9
<b>2.1.3 SENSORES</b> .....	10

2.1.4 ACTUADORES .....	13
2.1.5 VALVULAS INDUSTRIALES: .....	13
2.1.6 CALDERAS INDUSTRIALES .....	16
2.1.7 TUBERIAS .....	17
2.1.8 UNIDADES DE MEDIDAS .....	20
2.1.9 MANTENIMIENTO .....	22
2.1.10 TIPOS DE MANTENIMIENTO .....	24
Mantenimiento preventivo: .....	24
El mantenimiento predictivo .....	27
Mantenimiento correctivo .....	29
Capítulo 3 .....	30
<b>3.1 MARCO METODOLOGICO.</b> .....	31
3.1.1 METODO APLICADO .....	31
<b>3.1.2 IDENTIFICACION DE LAS VARIABLES:</b> .....	33
CONTRUCCION DE LA SIMULACION MEDIANTE EL USO DE SIMULINK: .	37
CAPITULO 4 .....	43
<b>4.1. RESULTADOS.</b> .....	43
<b>4.1.1 ESTABLECER POSIBLES PROBLEMAS.</b> .....	43
4.1.2 CRONOGRAMA.....	51
<b>CONCLUSIONES.</b> .....	52
4.2. RECOMENDACIONES. ....	55
<b>4.2.1. RECOMENDACIONES GENERALES</b> .....	55
<b>4.2.2. RECOMENDACIONES PARA EL AGUA DE ALIMENTACION DE CALDERAS</b> .....	57
<b>4.2.3. CONDICIONES QUE DEBE CUMPLIR EL AGUA</b> .....	57
<b>4.2.4. IMPUREZAS QUE SE PUEDEN ENCONTRAR</b> .....	58
<b>4.2.5. EFECTO DE LAS IMPUREZAS</b> .....	59

<b>4.2.6. POSIBLES TRATAMIENTOS PARA EL AGUA.....</b>	<b>60</b>
4.3. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS. ....	63
4.4. TRABAJOS CITADOS .....	63

## INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1:</i> Funcionamiento de un controlador PID en el proceso .....	7
<i>Figura 2:</i> sensor de temperatura .....	11
<i>Figura 3:</i> Sensor de nivel tipo radar .....	12
<i>Figura 4:</i> Sensores de proximidad capacitivos.....	12
<i>Figura 5:</i> válvula de regulación .....	14
<i>Figura 6:</i> válvula de retención .....	14
<i>Figura 7:</i> valvula de alivio.....	15
<i>Figura 8:</i> Caldera de vapor .....	17
<i>Figura 9:</i> Tuberías de presión .....	18
<i>Figura 10:</i> Tubería no presurizada.....	18
<i>Figura 11:</i> Tuberías de acero negro.....	19
<i>Figura 12:</i> tabla de magnitudes .....	21
<i>Figura 13:</i> Tabla de Cambio de unidades de temperatura.....	22
<i>Figura 14:</i> Inspección de equipos.....	25
<i>Figura 15:</i> Limpieza de equipo .....	25
<i>Figura 16:</i> Lubricación de equipo .....	26
<i>Figura 17:</i> Ajuste de un equipo .....	26
<i>Figura 18</i> .....	27
<i>Figura 19:</i> Análisis de temperatura .....	28
<i>Figura 20:</i> Análisis de aceite.....	28
<i>Figura 21:</i> Análisis de ultrasonido .....	29
<i>Figura 22:</i> Reparación .....	30



<i>Figura 23:</i> Reemplazo.....	30
<i>Figura 24:</i> Formula general .....	32
Figura 25: Cálculo de la presión final con respecto al tiempo .....	35
<i>Figura 26:</i> Imagen del bloque Constant sacado de la biblioteca de Simulink.....	37
<i>Figura 27:</i> Imagen de la configuración del bloque Constant .....	38
<i>Figura 28:</i> Bloque de controlador PIDs adquirido de las galerías de simulink.....	39
<i>Figura 29:</i> Parametros del controlador PIDs dado por automated tuning.....	39
<i>Figura 30:</i> Bloque de transferencia .....	40
<i>Figura 31:</i> Bloque de transferencia con numerador y denominador colocado .....	40
Figura 32: Bloque de constante con la temperatura inicial. ....	41
<i>Figura 33:</i> Bloque Product encargado de multiplicar los datos. ....	41
<i>Figura 34:</i> Bloque sum .....	42
<i>Figura 35:</i> Bloque display.....	42
<i>Figura 36:</i> Bloque scope.....	42
<i>Figura 37:</i> Sistema de caldera con un error de -0.0001388.....	45
<i>Figura 38:</i> Sistema sin controlador PIDs.....	47
Figura 39: Respuesta de la temperatura respecto al tiempo del sistema sin controlado PIDs .....	47
Figura 40: Sistema con controlador PIDs .....	50
<i>Figura 41:</i> Respuesta de la temperatura respecto al tiempo del sistema con controlado PIDs .....	50

## **INTRODUCCION**

El mantenimiento automatizado de los tubos de presión de calderas industriales es un aspecto clave para garantizar la eficiencia operativa, la seguridad y la vida útil prolongada de estos sistemas críticos en muchos procesos industriales. En este contexto, la introducción de los controladores PID surgió como una solución tecnológica avanzada que permite un control preciso e inmediato de diversos parámetros críticos en los sistemas de tuberías de presión, como la temperatura, la presión y el flujo.

Este enfoque combina la capacidad de respuesta y adaptabilidad de la automatización con la experiencia y el conocimiento técnico de los operadores, lo que permite optimizar el funcionamiento de la caldera, reducir el tiempo de inactividad y reducir los costos relacionados con el mantenimiento. En este artículo, veremos cómo el uso de controladores PID en el mantenimiento industrial de tubos de presión de calderas no solo mejora la eficiencia y confiabilidad de estos sistemas, sino que también contribuye significativamente a la confiabilidad operativa y al cumplimiento legal.

## **CAPITULO 1**

### **1.1 PROBLEMATICA**

#### **1.1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA**

Dentro del contexto industrial las tuberías de presión de las calderas industriales son componentes críticos que están expuestos a condiciones extremas, como temperatura y presión. Y son propensas a romperse, lo que puede provocar accidentes graves que pueden perjudicar a un proceso, o llegar a resultar en pérdidas materiales y humanas.

El mantenimiento preventivo de las tuberías de presión es de primordial importancia para asegurar la seguridad y fiabilidad de las calderas y asegurar un buen resultado en la producción. Sin embargo, el mantenimiento preventivo tradicional es laborioso y requiere personal cualificado para localizar y prevenir posibles fallos.

El uso de un controlador Control Proporcional Integral Derivativo (PID) puede ayudar a detectar fallos en las tuberías de presión de las calderas de forma más eficaz. El controlador PID mide continuamente los valores del sistema y la compara con la entrada deseada en el proceso. Si hay una diferencia en la salida con la entrada, el controlador PID generara una señal de error. La señal de error puede utilizarse para identificar posibles fallos en las tuberías de presión o dar en consideración que la caldera no está cumpliendo con su función al 100%.

Esto ayuda a poder identificar los problemas de manera más eficaz y rápida, pudiendo solucionar, o prevenir el problema en sus etapas más tempranas; logrando así mantener el equipo en buen estado y con un correcto funcionamiento.

### **1.1.2 JUSTIFICACION**

El controlador PID es una herramienta de control para el monitoreo y controlar los procesos determinados. El cual usaremos para controlar las presiones, que nos ayudarán a prevenir fallos y a buscar puntos de inflexión, que nos permitirán tener una noción de fallos antes de que suceda y perjudique a la producción de la empresa.

La propuesta del trabajo incorpora la ejecución de un sistema de control controlado por un PID para el monitoreo y ajuste en tiempo real de variables críticas en tubos de calderas industriales. Esto implica instalar sensores adecuados para medir variables como temperatura, presión y flujo y configurar el controlador PID para regular estas variables dentro de un rango óptimo. Además, se deben establecer criterios y algoritmos de diagnóstico para detectar variables extrañas y planificar actividades de mantenimiento preventivo.

El propósito de este trabajo es estudiar y desarrollar un modelo de aplicación de un controlador PID en tubos de calderas industriales para mejorar la eficiencia operativa y prevenir fallas y riesgos asociados.

### 1.1.3 GRUPO OBJETIVO O BENEFICIARIO

El uso del controlador PID para el mantenimiento y prevención de fallos en tuberías de presión, muchas empresas podrían sacar provecho de esta herramienta; detectando fallos y errores críticos que podrían perjudicar su producción o algún proceso en específico mediante el control y monitoreo de las presiones.

Beneficios que se pueden obtener de la implementación del PID:

- Control de presión preciso: los controladores PID pueden ajustar automáticamente válvulas y actuadores para conservar la presión dentro del nivel requerido. Proporciona un control preciso y estable de la presión de los tubos de la caldera.
- Respuesta rápida a las perturbaciones: los controladores PID pueden responder rápidamente a las perturbaciones de la presión. Si los requisitos del vapor o las condiciones del funcionamiento cambian repentinamente, el controlador PID ajustará los parámetros de control para minimizar el efecto de estas perturbaciones y restaurar rápidamente la presión deseada.
- Reducir el error de control: La combinación de acciones proporcionales, integrales y derivadas del controlador PID ayuda a reducir el error de control. La operación proporcional corrige los errores actuales, la operación integral se encarga de la corrección de errores acumulados a lo largo del tiempo y la operación derivada ayuda a predecir futuras tendencias de errores. Esta combinación proporciona un control más preciso y reduce la posibilidad de desviaciones significativas en la línea de presión.
- Adaptabilidad a diferentes condiciones: los controladores PID son altamente adaptables y se pueden ajustar para satisfacer las

necesidades específicas de diferentes condiciones de operación. Pueden tener múltiples configuraciones de ganancia para optimizar el rendimiento del control en diferentes rangos operativos para un mantenimiento más eficiente de las líneas de presión de calderas industriales.

- **Facil implementación:** los controladores PID se utilizan ampliamente y son relativamente sencillos de implementar y ajustar. Además, hay muchas herramientas y algoritmos disponibles para optimizar y ajustar los controladores PID, lo que facilita su implementación y uso en el mantenimiento de tuberías de presión de calderas industriales.

En resumen, la aplicación del controlador PID al mantenimiento de tuberías de presión de calderas industriales puede mejorar el control de presión, responder rápidamente a las perturbaciones, reducir los errores de control, adaptarse a diferentes condiciones de trabajo y ser fácil de implementar y usar. Estas ventajas ayudan a las calderas industriales a operar de manera más eficiente, segura y confiable.

#### **1.1.4 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS**

##### **OBJETIVO GENERAL**

Automatización del mantenimiento de tuberías de presión de calderas industriales a través de un controlador PID (Simulación en Simulink)

##### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer posibles problemas.
- Establecer uno o varios controladores PID.
- Establecer un algoritmo de control y detección de fallos.
- Programar una alerta si los valores del controlador no son regulares.
- Evaluar resultados y beneficios obtenidos con la aplicación del PID.

## **CAPITULO 2**

### **2.1 MARCO TEORICO**

#### **2.1.1 PID**

El controlador PID se usa mucho en sistemas de control industrial por su simplicidad y efectividad controlando procesos. Según (Astrom, 2006), "El controlador PID es un controlador de retroalimentación que ajusta continuamente la salida del proceso en función del error entre el valor deseado y el valor medido".

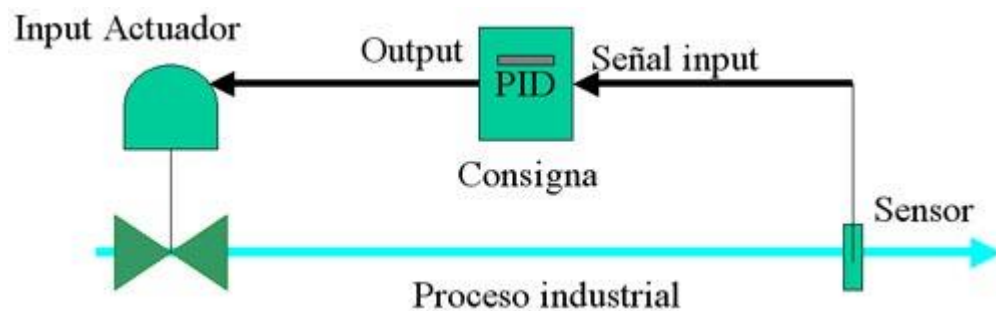
La aplicación de un controlador PID en el mantenimiento de tuberías de presión de calderas industriales es esencial para garantizar el funcionamiento seguro y eficiente del sistema. Según (Chen, 2011), "El control de la presión en las tuberías de las calderas es crítico para mantener la estabilidad del proceso y prevenir situaciones de sobrepresión o subpresión que puedan comprometer la seguridad y el rendimiento del sistema".

El término proporcional (P) del controlador PID ajusta la salida en función del error presente en el sistema. Según (Ogata, 2010), "El término proporcional produce una respuesta inmediata y proporcional al error presente, lo que ayuda a reducir el error proporcional y mejorar la precisión del control".

El término integral (I) del controlador PID considera la integral acumulada del error a lo largo del tiempo. Según (Franklin, 2014), "El término integral elimina el error constante o en estado estacionario, ya que acumula y compensa el error pasado. Esto mejora la exactitud del control y ayuda a mantener el sistema en el valor deseado a largo plazo".

El término derivativo (D) del controlador PID tiene en cuenta la tasa de cambio del error. Según (Åström, 2008), "El término derivativo proporciona una respuesta rápida a los cambios en el error, lo que ayuda a reducir la oscilación del sistema y mejorar la estabilidad del control".

*Figura 1: Funcionamiento de un controlador PID en el proceso*



*Fuente: comeval*

## MARCAS DE CONTROLADORES PID



Estos son unos ejemplos y características de las marcas de controladores PID que podemos encontrar en el mercado:

### **HONEYWELL:**

Honeywell es un proveedor líder de soluciones de control y automatización. Ofrece una amplia gama de controladores PID, incluyendo controladores clásicos, controladores de saturación, controladores de ganancia proporcional variable y controladores de autoajuste.

### **SIEMENS:**

Siemens es una empresa de tecnología global que productos y servicios de automatización. Ofrece una línea de controladores PID que incluye controladores clásicos, controladores de saturación, controladores de ganancia proporcional variable y controladores de autoajuste.

### **ROCKWELL AUTOMATION:**

Rockwell Automation es un proveedor líder de soluciones de automatización industrial. Ofrece una amplia gama de controladores PID, incluyendo controladores clásicos, controladores de saturación, controladores de ganancia proporcional variable y controladores de autoajuste.

**OMRON:** Omron es una empresa que ofrece una línea de controladores PID que incluye controladores clásicos, controladores de saturación y controladores de autoajuste.

### **OTRAS MARCAS DE CONTROLADORES PID**

- Yokogawa
- Azbil
- Schneider Electric
- Emerson
- Delta
- Fuji Electric
- Keyence
- Panasonic

#### **2.1.2 MATLAB**

(abreviatura de "MATrix LABoratory") es un entorno de programación y software de cálculo numérico ampliamente utilizado en ingeniería, ciencia y matemáticas.

Según (Astrom, 2006), Matlab es una de las herramientas más potentes en informática, análisis numérico, diseño y sistemas.

Su entorno fácil de usar, además de su potente núcleo computacional, y las capacidades de visualización gráfica lo convierten en una parte integral del sistema de control, diseño, optimización e implementación.

### 2.1.3 SENSORES

Los sensores son dispositivos que convierten los cambios en las características de la energía en unas señales eléctricas. Los sensores industriales son utilizados para medir una variedad de parámetros en las distintas operaciones de fabricación, como temperatura, presión, nivel, flujo, velocidad, posición, proximidad e intensidad. Debido a la necesidad de poder medir los cambios de temperatura en las calderas de uso industrial se utilizará sensores de temperatura.

#### **Tipos de sensores;**

- **Sensores de temperatura:** Estos sensores calculan los cambios en la temperatura.
- **Sensores de presión:** Estos sensores miden cambios en la presión.
- **Sensores de nivel:** Sensores que miden el nivel de un líquido o sólido.
- **Sensores de velocidad:** Estos sensores detectan la velocidad a la que se transporta un objeto.
- **Sensores de posición:** Estos sensores miden la posición de un objeto en un plano determinado.

Los sensores industriales se utilizan en una amplia gama de aplicaciones industriales, que incluyen:

- **Control de procesos:** Los sensores son utilizados para controlar y monitorear la temperatura, la presión y el flujo en un ambiente industrial. Por ejemplo, un sensor de temperatura puede utilizarse para controlar la temperatura de un horno.

*Figura 2: sensor de temperatura*



*Fuente: fricaval89*

- **Automatización:** Los sensores se utilizan para automatizar las operaciones industriales. Por ejemplo, un sensor de nivel puede utilizarse para controlar el llenado de un tanque en un punto específico

*Figura 3: Sensor de nivel tipo radar*



*Fuente: JSindustrial*

- **Seguridad:** Los sensores se utilizan para respaldar la seguridad de la empresa y los obreos. Por ejemplo, un sensor de proximidad puede utilizarse para detectar la presencia de personas ~~o~~ objetos en zonas peligrosas.

*Figura 4: Sensores de proximidad capacitivos*



*Fuente: weg*

#### **2.1.4 ACTUADORES**

Un actuador es un dispositivo que convierte la energía en movimiento o fuerza. Se utiliza para controlar el estado de un sistema, proceso o máquina. Los actuadores se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, y su uso es cada vez más requerido en los procesos industriales. Los actuadores se utilizan para controlar procesos industriales, como los cambios en la temperatura, el aumento o deceso de la presión y la entrada de flujo necesario en los procesos para garantizar un resultado deseado.

#### **2.1.5 VALVULAS INDUSTRIALES:**

Las válvulas son dispositivos que controlan el flujo de líquidos, gases y otros materiales en los sistemas de tuberías. Se utilizan en unas muchas aplicaciones industriales, incluidas las petroquímica, alimentaria, farmacéutica, agua y saneamiento.

Las válvulas industriales son utilizadas para:

- Controlar el flujo de fluidos, gases y otros materiales en los sistemas de tuberías.
- Prevenir fugas, reducir el consumo de energía y proteger los equipos críticos.
- Garantizar el funcionamiento seguro y eficiente de una amplia gama de procesos industriales.

Existen varios tipos de Válvulas de seguridad diseñadas con diferentes especificaciones.

**Válvulas de control de fluidos o de regulación:** Estas válvulas se utilizan para controlar el caudal que fluye a través del sistema.

*Figura 5: válvula de regulación*



*Fuente: comeval*

**Válvulas de retención:** estas válvulas permiten que el caudal fluya en una dirección y evitan que el caudal fluya en la dirección opuesta. Ejemplos tales como las válvulas de clapeta, las válvulas de bola y las válvulas de columpio.

*Figura 6: válvula de retención*



*Fuente: Asimer*

**Válvulas de alivio:** Estas válvulas se utilizan para proteger equipos y sistemas contra una presión excesiva. Las válvulas suelen estar diseñadas en un ángulo de 90° para facilitar la extracción de fluido del sistema.

*Figura 7: valvula de alivio*



*Fuente: Asimer*

Las válvulas industriales son esenciales para el funcionamiento seguro y eficiente de una amplia gama de procesos industriales. Ayudan a prevenir fugas, reducir el consumo de energía y proteger los equipos críticos.



### 2.1.6 CALDERAS INDUSTRIALES

Es una máquina cuyo objetivo principal es la generación de vapor. En términos sencillos es el corazón de la industria, ya que mueve la gran parte de procesos en esta misma el calor generado puede proceder de cualquier fuente utilizando un medio líquido o gaseoso.

La caldera industrial es una maquinaria o dispositivo industrial cuyo objetivo principal es la generación de vapor. El calor generado puede provenir de una fuente de energía que se convierta en energía utilizable a través de un medio en fase líquida o gaseosa. Las calderas industriales son equipos fundamentales para una vasta variedad de procesos industriales, ya que el vapor que generan se utiliza para diversas aplicaciones, tales como:

- **Generación de energía eléctrica:** El vapor producido por las calderas se utiliza para impulsar las turbinas de las centrales térmicas, generando así electricidad.
- **Procesos industriales:** El vapor se utiliza en numerosos procesos industriales como la esterilización de alimentos, la refinación de petróleo, la fabricación de papel y cartón, el curtido de cueros, etc.
- **Calefacción:** El vapor también se puede utilizar para calentar edificios y hogares.

*Figura 8: Caldera de vapor*



*Fuente: ATTSU*

### 2.1.7 TUBERIAS

Es un conducto utilizado para el transporte de fluidos, como el agua, gas, petróleo o productos químicos, para aplicaciones cotidianas, así como industriales. Las tuberías pueden estar elaboradas de una amplia gama de materiales, incluidos acero, hierro, aluminio, PVC y hormigón.

Las tuberías industriales se pueden fabricar de muchas maneras, incluidas las siguientes:

- **Extrusión:** Este método se utiliza para fabricar tuberías de plástico o metal.
- **Enrollado:** Este método se utiliza para fabricar tuberías de acero.
- **Forjado:** Este método se utiliza para fabricar tuberías de acero o hierro.

En términos industriales las tuberías son las venas que alimentan a todos los procesos. Muchos de los procedimientos en las industrias llevan a cabo el uso de

tuberías, las cuales soportan se diseñan para resistir condiciones extremas; como temperatura y presión. Y se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **Tuberías de presión:** Estas tuberías están diseñadas para transportar fluidos a altas presiones.

*Figura 9: Tuberías de presión*



*Fuente: Serena Doria*

- **Tuberías no presurizadas:** Estas tuberías están diseñadas para transportar fluidos a presiones bajas o sin presión.

*Figura 10: Tubería no presurizada*



*Fuente Endress+Hauser*

Industriales que utilizan tuberías de origen industrial:

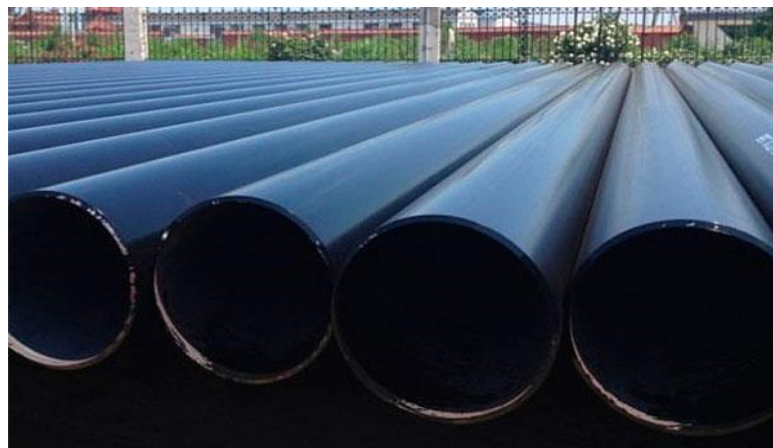
- **Producción de energía:** se utilizan para transportar agua, vapor y otros fluidos en plantas de energía.
- **Producción de petróleo y gas:** cumplen la función de transportar el crudo, gas natural y derivados.
- **Procesamiento químico:** utilizadas para el transporte de productos químicos en plantas de procesamiento químico.
- **Fabricación:** Se utilizan para transportar fluidos en fábricas.

Existen tres requisitos los cuales debe cumplir para su buen uso;

- **Resistencia:** Las tuberías industriales están obligadas a ser lo suficientemente resistentes para soportar altos niveles de presión y diferentes niveles de temperatura.
- **Durabilidad:** Las tuberías industriales deben ser lo suficientemente duraderas para soportar el desgaste y la corrosión.
- **Seguridad:** Las tuberías industriales deben ser seguras para el transporte de fluidos.

### **Tuberías de acero negro**

**Figura 11: Tuberías de acero negro**



*Fuente Euroval*

Las tuberías de acero negro; son un tipo de tuberías hechas de acero al carbono que no han sido recubiertas con un revestimiento de protección. Su superficie de color negro es debido a la oxidación del hierro durante el proceso de fabricación. Las tuberías de acero negro son fuertes y resistentes. La dureza de estas tuberías evita que se agrieten y les permite soportar altas cargas. Además, las tuberías de acero negro son uniformes, lo que significa que su resistencia a la tensión es la misma a lo largo de toda la longitud del tubo. Esto garantiza que los diámetros de las tuberías sean consistentes y predecibles

Sin embargo, las tuberías de acero negro también tienen algunas desventajas, que incluyen:

- **Resistencia limitada a la corrosión:** Las tuberías de acero negro no son tan resistentes a la corrosión como otros tipos de tuberías, como las tuberías de acero inoxidable.
- **Requisitos de mantenimiento:** Las tuberías de acero negro pueden requerir un mantenimiento más frecuente que otros tipos de tuberías.

### 2.1.8 UNIDADES DE MEDIDAS

Las unidades de medidas es la representación de la magnitud física de un evento determinado. Estos mismo son usadas en una gran diversidad de procesos industriales, para saber con exactitud lo que está pasando dentro de estos mismos, en cada deseado.

Existen dos tipos de magnitudes, las cuales se denominan magnitudes fundamentales.

## Magnitudes fundamentales

Las magnitudes fundamentales son las unidades básicas del Sistema Internacional de Unidades (SI). Importan porque fundan la base de todas las demás magnitudes. Esto significa que todas las demás magnitudes se pueden definir en términos de las magnitudes fundamentales. Gracias a ellas, podemos describir cualquier propiedad imaginable, desde la distancia entre dos puntos hasta la fuerza que ejerce un cuerpo.

## Magnitudes derivadas

Las magnitudes derivadas son "lenguajes" adicionales del mundo físico, contruidos sobre la base de siete cantidades básicas (longitud, masa, tiempo, etc.). Se utilizan para describir cosas más complejas que no tienen palabras propias, como velocidad (distancia dividida por el tiempo) o fuerza (un empuje que cambia el movimiento y trayectoria). Estas "palabras" derivadas se miden en unidades combinadas con unidades básicas como metros por segundo o newtons.

*Figura 12: tabla de magnitudes*

Magnitudes	Sistemas de medida			Símbolos		
	Fundamentales	CGS	MKS	Técnico	CGS	MKS
Longitud	Centímetro	Metro	Metro	cm	m	m
Masa	Gramo	Kilogramo	Unidad técnica de masa	g	kg	UTM
Tiempo	Segundo	Segundo	Segundo	s	s	s
Intensidad de corriente	—	Amperio	—	—	A	—
Temperatura	—	Kelvin	—	—	K	—
Cantidad de sustancia	—	Mol	—	—	mol	—
Intensidad luminosa	—	Candela	—	—	cd	—
Derivadas	CGS	MKS	Técnico	CGS	MKS	Técnico
Fuerza	Dina	Newton	Kilopondio	Dyn	N	Kp o Kgf
Energía	Ergio	Julio	Kilográmetro	Er	J	Kgm
Potencia	$\frac{\text{Ergio}}{\text{Segundo}}$	Vatio	$\frac{\text{Kilográmetro}}{\text{Segundo}}$	Er/s	W	Kgm/s

Fuente: Parainfo

Figura 13: Tabla de Cambio de unidades de temperatura

De	A	Factor de conversión
<b>Factores de conversión de las fórmulas</b>		
<b>9/5 = 1,8</b>		<b>9/4 = 2,25</b>
		<b>10/8 = 1,25</b>
Fahrenheit	Celsius	$C = (F - 32) / 1,8$
Fahrenheit	Kelvin	$K = (F + 459,67) / 1,8$
Fahrenheit	Rankine	$Ra = F + 459,67$
Fahrenheit	Réaumur	$Re = (F - 32) / 2,25$
Celsius	Fahrenheit	$F = C \times 1,8 + 32$
Celsius	Kelvin	$K = C + 273,15$
Celsius	Rankine	$Ra = C \times 1,8 \times 32 + 459,67$
Celsius	Réaumur	$Re = C \times 0,8$
Kelvin	Celsius	$C = K - 273,15$
Kelvin	Fahrenheit	$F = K \times 1,8 - 459,67$
Kelvin	Rankine	$Ra = K \times 1,8$
Kelvin	Réaumur	$R = (K - 273,15) \times 0,8$
Rankine	Celsius	$C = (Ra - 32 - 459,67) / 1,8$
Rankine	Fahrenheit	$F = Ra - 459,67$
Rankine	Kelvin	$K = Ra/1,8$
Rankine	Réaumur	$Re = (Ra - 32 - 459,67) / 2,25$
Réaumur	Celsius	$C = Re \times 1,25$
Réaumur	Fahrenheit	$F = Re \times 2,25 + 32$
Réaumur	Kelvin	$K = Re \times 1,25 + 273,15$
Réaumur	Rankine	$Ra = Re \times 2,25 + 32 + 459,67$

Fuente: Parainfo

### 2.1.9 MANTENIMIENTO

Serie de actividades sistemáticas y planificadas que se realizan de forma continua con el fin de mantener o renovar equipos o instalaciones en su continuo y adecuado funcionamiento. El propósito del mantenimiento es aumentar la vida útil del equipo, reducir los costos del proceso y mejorar la rentabilidad y la seguridad del

equipo. Esto es necesario porque, por ley, las calderas deben recibir un mantenimiento regular, incluso si no tienen ningún fallo específico.

- Es obligatorio, ya que la ley establece que las calderas necesitan mantenimiento constante, para asegurar la integridad de la industria y su personal.
- Es más seguro, para la integridad y salud de los obreros y para el área de trabajo de la empresa. Sin mantenimiento o control preventivo constante, las calderas pueden averiarse y en algunos casos pueden llegar a explotar y provocar pérdidas humanas y materiales. Lo que se resume en pérdidas económicas.
- Es más económico, ya que permite detectar posibles averías antes de que ocurran y así solucionar el problema; antes de que afecte al resto de la maquinaria.

En el caso de calderas industriales, el mantenimiento es fundamental para garantizar su seguridad y su buen funcionamiento adecuado. Las calderas son equipos complejos que operan a altas temperaturas y presiones, y requieren un mantenimiento regular para evitar fallas y accidentes.

Beneficios del mantenimiento en calderas;

- **Mayor seguridad:** Regular el mantenimiento, ayuda a detectar y corregir problemas que podrían provocar futuras fallas o accidentes.
- **Mayor eficiencia:** Un mantenimiento adecuado puede mejorar la eficiencia de las calderas, y entregar un producto lo que se traduce en ahorros de energía y costos.
- **Mayor productividad:** El mantenimiento regular ayuda a reducir el tiempo de inactividad en las calderas, lo que permite mantener la producción en constancia.



El mantenimiento de calderas industriales debe ser realizado por personal bien calificado y experimentado, ya que son maquinas con un alto riesgo. La programación de un mantenimiento debe estar diseñados con ciertos criterios de acuerdo con las características específicas de cada caldera y las condiciones de operación en las que se encuentre.

#### **2.1.10 TIPOS DE MANTENIMIENTO**

##### **Mantenimiento preventivo:**

Es un conjunto de acciones sistemáticas y planificadas que se toman para evitar daños o fallas en equipos y sistemas. Incluye inspección de rutina, limpieza, lubricación y ajuste del equipo., según las recomendaciones del fabricante o los criterios establecidos por el tipo de empresa. El mantenimiento preventivo es una inversión muy importante para las empresas, ya que ayuda a mejorar la seguridad, la eficiencia y la productividad.

Acciones de mantenimiento preventivo realizadas con mayor frecuencia incluyen:

- **Inspección:** La inspección consiste revisión de los equipos para diagnosticar signos de desgaste, deterioro o mal funcionamiento.

**Figura 14: Inspección de equipos**



*Fuente: comparasofware*

- **Limpieza:** La limpieza consiste en eliminar la mugre, partículas y los residuos no deseados de los equipos.

**Figura 15: Limpieza de equipo**



*Fuente: computecs*

- **Lubricación:** La lubricación consiste en aplicar lubricantes a los equipos para reducir el desgaste y la reducción de ruido.

*Figura 16: Lubricación de equipo*



*Fuente: Interflon*

- **Ajuste:** El ajuste consiste en ajustar los componentes de los equipos para asegurar su funcionamiento correcto.

*Figura 17: Ajuste de un equipo*



*Fuente: SYZ*

## El mantenimiento predictivo

Este es un tipo de mantenimiento que implica el uso de métodos y herramientas que permiten predecir el estado de los equipos y detectar posibles fallas antes de que ocurran.

Técnicas de mantenimiento predictivo:

- **Análisis de vibraciones:** Consiste en detectar cambios en el comportamiento vibracional de los equipos, lo que puede indicar un desgaste, deterioro y movimientos no deseados.

*Figura 18: análisis de vibración*



*Fuente CEC.EPN*

- **Termografía:** La termografía consiste en detectar variaciones termodinámicas en los equipos, lo que puede indicar un sobrecalentamiento o un problema de refrigeración.

*Figura 19: Análisis de temperatura*



*Fuente Ingenieros Asesores*

- **Análisis de aceite:** Consiste en detectar las partículas de desgaste en el aceite de los equipos, lo que puede indicar un problema de lubricación.

**Figura 20: Análisis de aceite**



*Fuente CBM*

- **Análisis de ultrasonidos:** El análisis de ultrasonidos consiste en detectar grietas o defectos en los equipos mediante la comparación sonora, la cual recopila los datos de sonido en el aire usando sondas.

*Figura 21: Análisis de ultrasonido*



*Fuente Terotecnic*

### **Mantenimiento correctivo**

Conjunto de actividades que se realizan para reparar o reemplazar equipos o sistemas que han fallado o dejado de funcionar correctamente, rehabilitándolos para volver a su correcto funcionamiento en las operaciones y procesos. Se basa en la detección y corrección de fallas o averías, una vez que estas han ocurrido.

Las actividades de mantenimiento correctivo que se realizan con mayor frecuencia incluyen:

**Reparación:** La reparación consiste en corregir los defectos o fallas en los equipos o sistemas para que vuelvan a su función correctamente.

*Figura 22: Reparación*



*Fuente Talleres automotrices.com*

**Reemplazo:** El reemplazo consiste en la sustitución los equipos o sistemas que han fallado por otros nuevos o reacondicionados

*Figura 23: Reemplazo*



*Fuente tracs*

### **3.1 MARCO METODOLOGICO.**

#### **3.1.1 METODO APLICADO**

Se ha empleado la ley de Gay-Lussac para calcular la temperatura final del sistema de caldera (formula sacada de (ALBERT, 2017)) la cual enuncia que si se mantiene constante el volumen de una masa de gas, la presión aumenta linealmente con la temperatura.

Sin embargo, dado que la temperatura de la caldera de vapor industrial en este problema particular debe mantenerse por debajo o igual que 100 grados Celsius, la ecuación debe resolverse de modo que la incógnita a resolver sea la temperatura final. Para garantizar un funcionamiento óptimo y seguro de la caldera, la ley de Gay-Lussac cálculo debe ajustarse para que permanezca dentro de los límites de funcionamiento especificados del sistema.

Como resultado de este requisito específico, las ecuaciones originales tuvieron que reconfigurarse, convirtiéndose la temperatura final en la incógnita clave a determinar.

Esta adaptación de formulación no solo cumple con los estándares de seguridad, sino que también cumple con los requisitos regulatorios y de eficiencia para la operación de sistemas de vapor industriales. El objetivo básico es garantizar la estabilidad y fiabilidad de la caldera optimizando al mismo tiempo el rendimiento térmico según criterios de temperatura predeterminados.

Por lo tanto, resolviendo las ecuaciones con cuidado y detalle, será posible determinar la temperatura final requerida para cumplir con los parámetros operativos especificados.



**Figura n: Ley de gay-Lussac (ALBERT, 2017)**

*Figura 24: Formula general*

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

*Fuente: ecuacionde*

Para despejar la fórmula para T2 en la ley de Gay-Lussac para conseguir un incremento de temperatura estable se siguieron los siguientes pasos:

$$\frac{P1 * V1}{T1} = \frac{P2 * V2}{T2}$$

$$V1 = V2$$

$$\frac{P1 * V1}{T1 * V1} = \frac{P2 * V2}{T2 * V1}$$

$$\frac{P1}{T1} = \frac{P2}{T2}$$

$$T2 \frac{P1}{T1} = \frac{P2}{T2} T2$$

$$T2 \frac{P1}{T1} = \frac{P2}{1}$$

$$T2 \frac{P1}{T1 \frac{P1}{T1}} = \frac{P2}{\frac{P1}{T1}}$$

$$T2 = \frac{P2 * T1}{P1}$$

### 3.1.2 IDENTIFICACION DE LAS VARIABLES:

En el diseño del sistema de calderas automatizado mediante un controlador PID para el mantenimiento de las tuberías de presión, se ha tomado en consideración la naturaleza crítica de las calderas industriales de alta presión, las cuales tienen la capacidad de alcanzar temperaturas de hasta 100 grados Celsius. Es fundamental destacar que, en este contexto, las tuberías de acero negro emergen como la elección predominante, ya que estas demostraron una resistencia térmica óptima al operar en un rango de temperaturas que oscila entre 440 y 540 grados Celsius, según los informes de (Metalúrgicas, 2019) Además, se anticipa que las calderas industriales recibirán un flujo constante de agua como parte integral de su funcionamiento.

La significativa capacidad térmica de las calderas y la resistencia específica de las tuberías de acero negro a las elevadas temperaturas establecen el marco fundamental para la implementación del sistema automatizado. Al explorar estos datos en conjunto se pueden obtener los siguientes datos:

T: tiempo de duración de la simulación; hay distintos tipos de horarios de trabajo para las calderas industriales, pero para el sistema sea optado por usar 8 horas/día de trabajo para las calderas y dado que la simulación se encuentra en segundos se procedió a transformar las horas a segundos como se demuestra a continuación:

$$1 \text{ hora} = 60 \text{ minutos}$$

$$1 \text{ minuto} = 60 \text{ segundos}$$

$$8 \text{ horas} * \frac{60 \text{ minutos}}{1 \text{ hora}} * \frac{60 \text{ segundos}}{1 \text{ minuto}} = 28,800 \text{ segundos}$$

T1: la temperatura inicial de la caldera se dará en grados Celsius y estará dado por la temperatura ambiente, dado que la temperatura ambiente usualmente ronda los 20 a 25 grados Celsius se a decidido a utilizar 20 grados Celsius.

T2: la temperatura final será el resultado al que queremos llegar en este caso una temperatura de continua de 100 grados Celsius.

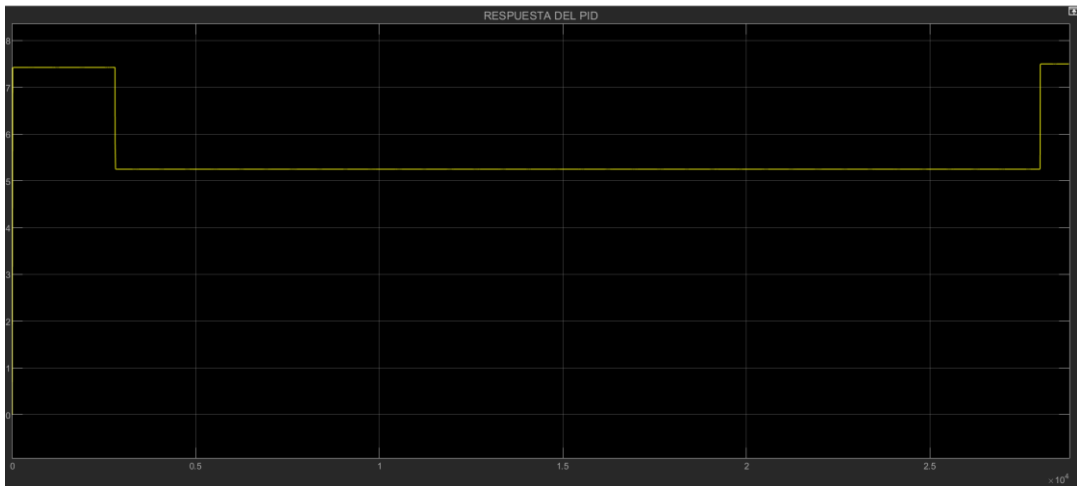
P1: la presión inicial de 1,5 bar fue obtenida por medio de los datos técnicos de las máquinas de vapor dados por (kiefner)

P2: La determinación de la presión final se llevará a cabo mediante el uso de controladores proporcionales, integrales y derivativos (PIDs). Este enfoque es crucial, ya que la presión final debe ajustarse de manera proporcional al incremento de la temperatura en el sistema. Los controladores PIDs, al combinar componentes proporcionales, integrales y derivativos, permitirán una regulación precisa de la presión en respuesta a las variaciones de temperatura. Esta estrategia asegurará no solo una adaptación eficiente a los cambios térmicos, sino también la estabilidad y la optimización del proceso al mantener la presión final en consonancia con las condiciones térmicas cambiantes. De esta manera, la utilización de los controladores PIDs se convierte en un elemento esencial para tener un control dinámico y exacto de la presión en relación con las variaciones de temperatura en el sistema.

Respuesta dada por el controlador PIDs:

En la siguiente imagen se muestra los resultado obtenido por el controlador PIDs P2:7.5 bar

**Figura 25: Cálculo de la presión final con respecto al tiempo**





*Fuente:* (MathWorks, Simscape)

Comprobación de la presión final calculada por el controlado PID según la Ley de Gay-Lussac:

$$\frac{P1}{T1} = \frac{P2}{T2}$$

$$T2 * \frac{P1}{T1} = \frac{P2}{T2} * T2$$

$$P2 = \frac{P1}{T1} * T2$$

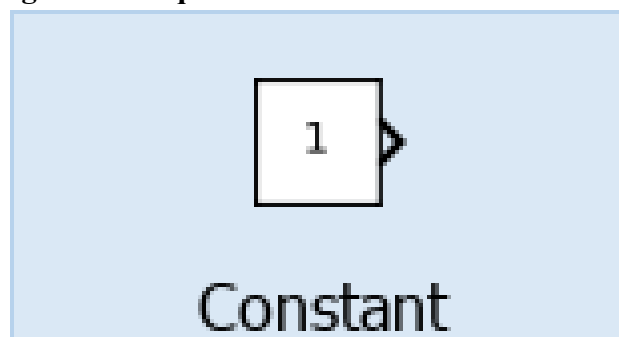
$$P2 = \frac{100^{\circ}\text{C} * 1,5\text{bar}}{20^{\circ}\text{C}}$$

$$P2 = 7,5\text{bar}$$

### CONSTRUCCION DE LA SIMULACION MEDIANTE EL USO DE SIMULINK:

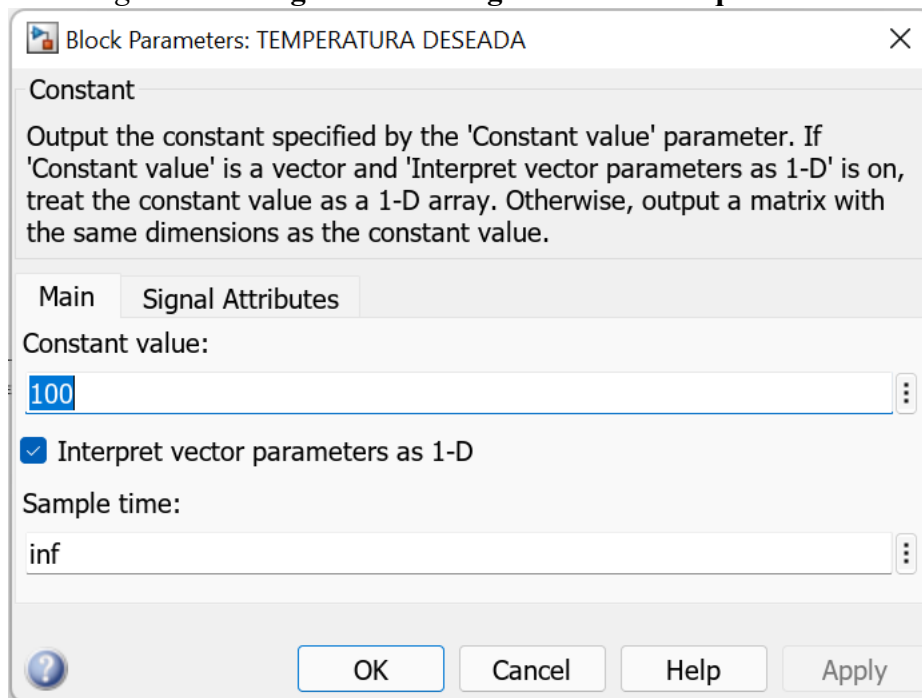
Para comenzar la creación de la construcción de la simulación en la aplicación de Simulink propiedad de MATLAB se especificó la variable a encontrar mediante el uso del bloque Constant (imagen n), dado que en este sistema de caldera la variable a encontrar es la temperatura final se especificó que se quería una temperatura de 100°C mediante el uso del bloque Constant (imagen n)

*Figura 26: Imagen del bloque Constant sacado de la biblioteca de Simulink*



*Fuente: autores*

*Figura 27: Imagen de la configuración del bloque Constant*



*Fuente: autores*

Luego se procede a implementar un bloque PIDs para poder controlar la variable P2 y esta crezca linealmente junto con el incremento de la temperatura, el bloque PIDs es sacado desde la galería de simulink (imagen 28) y los parámetros de controlador PIDs se darán mediante el uso del automated tuning (función propia del controlador PIDs para medir los posibles error respecto al tiempo que puedan ocurrir en el sistema y corregirlos usando las variables Proporcional, Integrar y Derivativa) imagen de los parámetros dados mediante el uso de automated tuning (imagen 29).

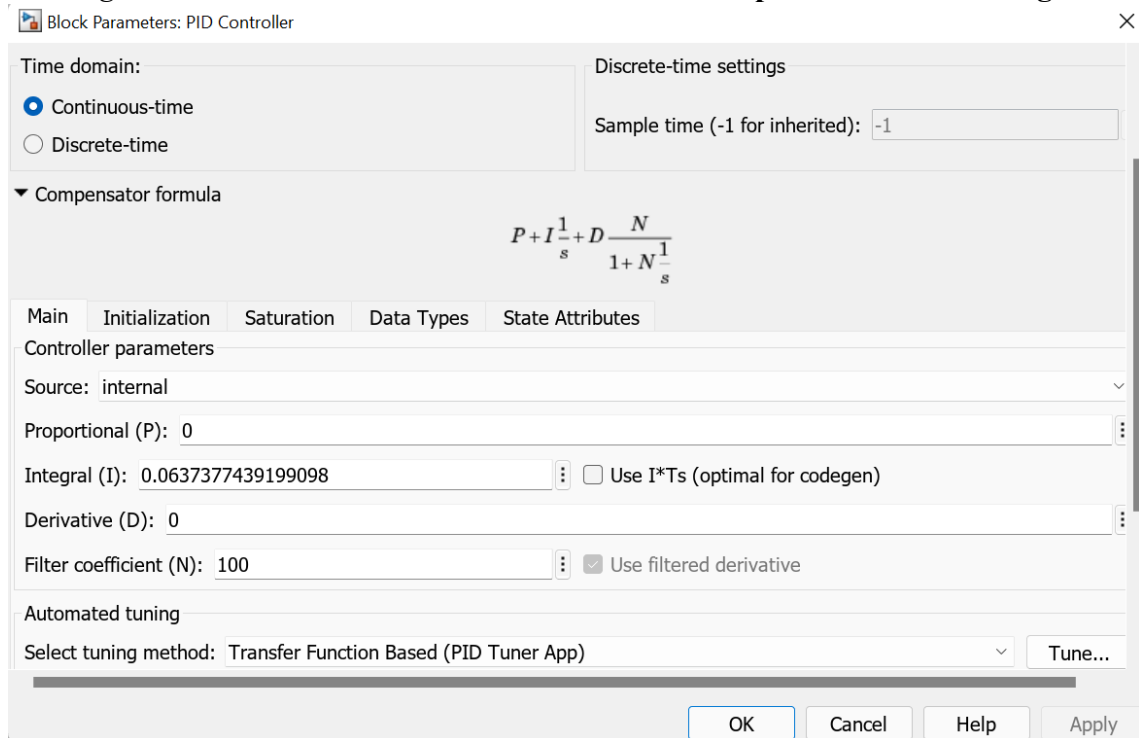
Figura 28: Bloque de controlador PIDs adquirido de las galerías de simulink



## PID Controller

Fuente: autores

Figura 29: Parámetros del controlador PIDs dado por automated tuning



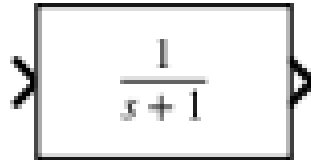
Fuente: (MathWorks, Simscape)

Continuando con la construcción del sistema en Simulink se procede a utilizar el bloque de función de transferencia (imagen 30) para que el controlador



PIDs pueda controlar los valores de P2 como antes se mencionó y los divide por los valores de P1(imagen 31)

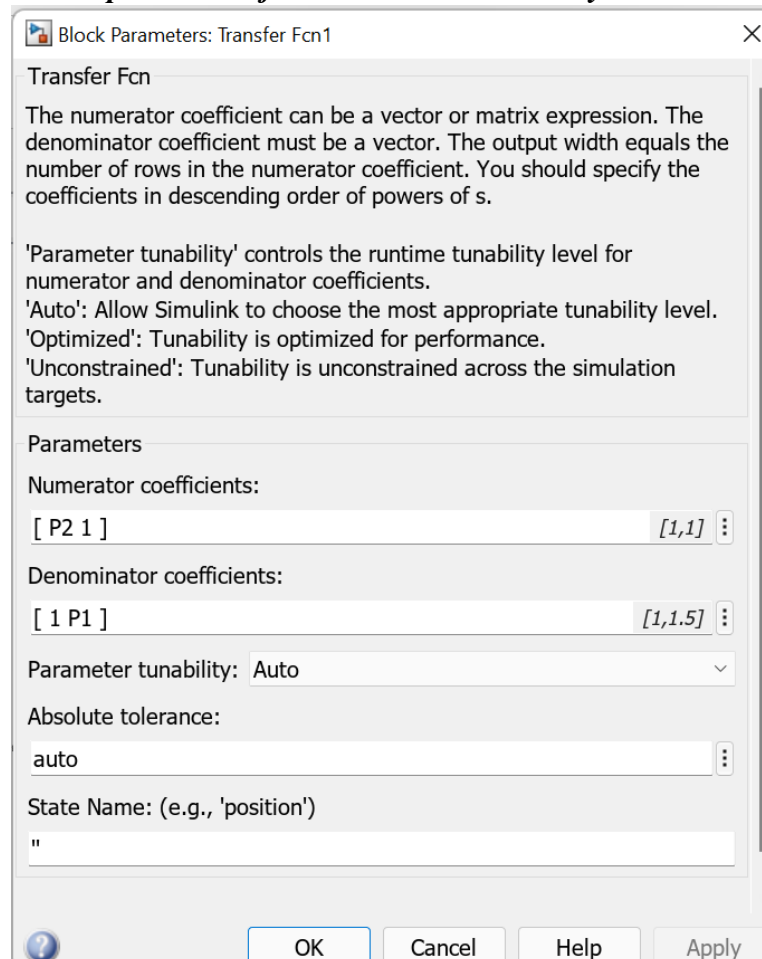
*Figura 30: Bloque de transferencia*



Transfer Fcn

*Fuente:* (MathWorks, Simscape)

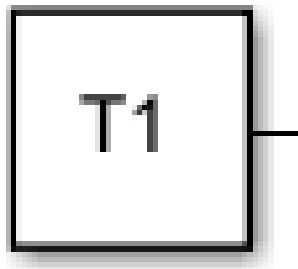
*Figura 31: Bloque de transferencia con numerador y denominador colocado*



*Fuente:* (MathWorks, Simscape)

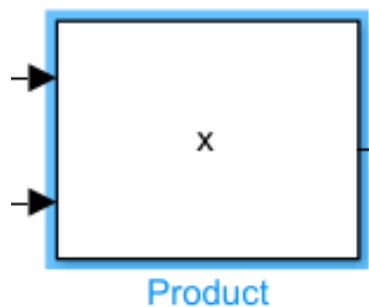
Se utiliza otro bloque de constante para poder asignar la temperatura 1(imagen 32) y se coloca un bloque Product(imagen 33) para poder multiplicar el resultado de las presiones controladas por el PIDs y la temperatura(imagen 34)

**Figura 32: Bloque de constante con la temperatura inicial.**



*Fuente:* (MathWorks, Simscape)

**Figura 33: Bloque Product encargado de multiplicar los datos.**



*Fuente:* (MathWorks, Simscape)

Se conectan los diferentes bloques usando el bloque sum(imagen 34) y se coloca un display(imagen 35) y un scope(imagen 36) para visualizar el resultado

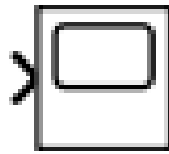
*Figura 34: Bloque sum*



Sum

*Fuente:* (MathWorks, Simscape)

*Figura 35: Bloque display*



Scope

*Fuente:* (MathWorks, Simscape)

*Figura 36: Bloque scope*



Display

*Fuente:* (MathWorks, Simscape)

## **CAPITULO 4**

### **4.1.RESULTADOS.**

#### **4.1.1 ESTABLECER POSIBLES PROBLEMAS.**

Se han identificado y planteado dos situaciones potenciales que podrían manifestarse en las calderas industriales. En el primer escenario, se considera un aumento no deseado en la temperatura de las calderas industriales (incremento no deseado de 30 grados Celsius a los 2800 segundo), mientras que en el segundo escenario se aborda la posibilidad de una disminución abrupta de la temperatura en dichos sistemas (descenso no deseado de 30 grados Celsius a los 28000 segundos). Estas problemáticas fueron seleccionadas como pruebas cruciales para analizar y validar el desempeño de los controladores PID en condiciones operativas variadas.

- Establecer posibles problemas.

Se han identificado y planteado dos situaciones potenciales que podrían manifestarse en las calderas industriales. En el primer escenario, se considera un

aumento no deseado en la temperatura de las calderas industriales (incremento no deseado de 30 grados Celsius a los 2800 segundo), mientras que en el segundo escenario se aborda la posibilidad de una disminución abrupta de la temperatura en dichos sistemas (descenso no deseado de 30 grados Celsius a los 28000 segundos). Estas problemáticas fueron seleccionadas como pruebas cruciales para analizar y validar el desempeño de los controladores PID en condiciones operativas variadas.

- Establecer uno o varios controladores PID.

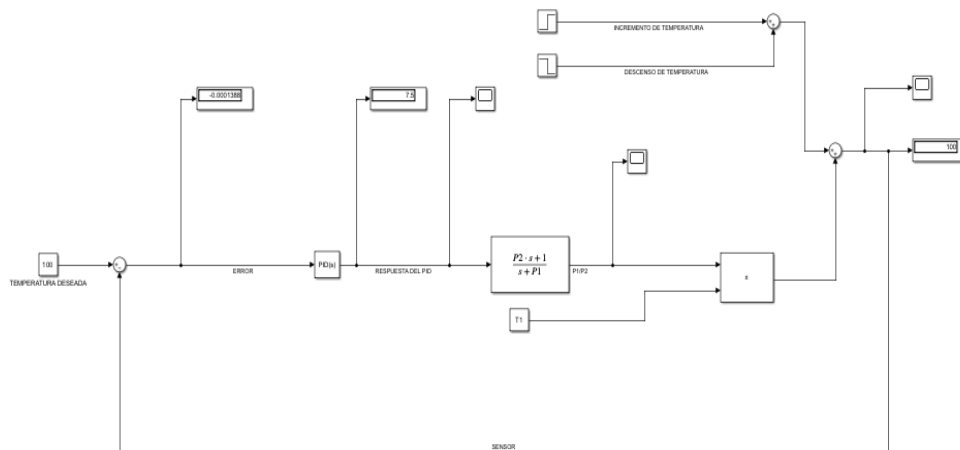
Dado que la incógnita en este sistema de caldero es la temperatura final y la variable a regular es la presión final, se ha incorporado solo un controlador proporcional, integral y derivativo (PIDs). Este controlador ha sido diseñado para supervisar y ejecutar la operación matemática esencial P2/P1, asegurando así un control preciso de la presión final en respuesta a las variaciones térmicas. La implementación del controlador PIDs se vuelve imperativa para lograr una regulación efectiva de la temperatura final, garantizando al mismo tiempo la estabilidad del sistema y la capacidad de adaptarse dinámicamente a las fluctuaciones en las condiciones de operación. En consecuencia, el controlador PIDs desempeña un papel crucial al proporcionar un mecanismo de control avanzado que optimiza la relación que hay entre la temperatura final y la presión final en el sistema de caldero.

- Programar una alerta si los valores del controlador no son regulares.

El controlador PID desempeñará su función al identificar el margen de error mediante la comparación entre la temperatura objetivo que buscamos para el sistema y la temperatura que el sistema alcanzaría sin la intervención del controlador PID, como se ilustra en la imagen 37. Este proceso implica evaluar la discrepancia entre

la temperatura deseada y la temperatura actual del sistema, lo que nos proporciona el error. Este error es luego desglosado y analizado en sus tres componentes fundamentales: proporcional, integral y derivativo. Cada uno de estos elementos juega un papel crucial en el ajuste y la regulación de la salida del sistema, permitiendo al controlador PID trabajar de manera eficiente para minimizar el error, mejorar la respuesta del sistema y mantener un control preciso de la temperatura en el entorno. Este enfoque integral de análisis del error es esencial para lograr un control dinámico y efectivo en situaciones diversas.

*Figura 37: Sistema de caldera con un error de -0.0001388*



*Fuente:* (MathWorks, Simscape)

- Evaluar resultados y beneficios obtenidos con la aplicación del PID.

Con el propósito de evaluar exhaustivamente los resultados y las ventajas derivadas de la incorporación de un controlador PIDs, se llevó a cabo una comparación a través de la implementación de dos sistemas de calderos: uno sin la aplicación de un controlador PIDs y otro con dicha automatización. Este enfoque

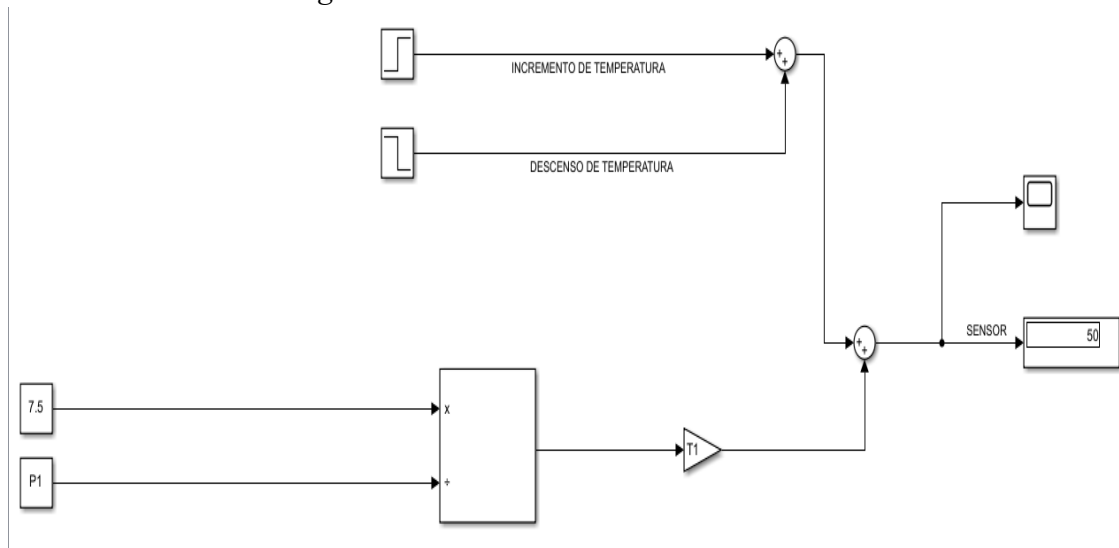
permitió analizar de manera detallada cómo se comporta el sistema en ausencia de automatización, proporcionando una base sólida para la comparación. La evaluación se centró en diversos aspectos, como el tiempo de respuesta del sistema ante cambios en las condiciones, así como en la identificación de posibles problemas no deseados y su impacto en el sistema. Esta metodología de análisis comparativo brinda una perspectiva integral sobre los beneficios obtenidos a través de la implementación del controlador PIDs, permitiendo identificar las mejoras significativas en términos de eficiencia, respuesta y manejo de situaciones no deseadas en comparación con el sistema no automatizado.

**-Sistema sin controlador PIDs(Como se puede observar en la siguiente imagen 38)**

El sistema de caldero diseñado sin la inclusión de un controlador PIDs, cuyos parámetros son definidos por el controlador PIDs, demuestra su capacidad para alcanzar la temperatura final deseada de 100 grados Celsius. Sin embargo, evidencia limitaciones notables al enfrentarse a perturbaciones, como se ilustra en la imagen 39. En particular, se destaca que el sistema se ve desafiado por situaciones de error o fallos en el caldero, como se evidencia cuando se produce un aumento de temperatura de 30 grados Celsius a los 2800 segundos y una disminución abrupta de temperatura a los 28000 segundos. En estas circunstancias, el caldero, carente de un controlador PIDs, exhibe una incapacidad para reaccionar eficazmente frente a tales inconvenientes, resultando en una temperatura final de tan solo 50 grados Celsius en el segundo escenario mencionado. En este contexto, se hace evidente que el sistema carece de la capacidad necesaria para hacer frente a perturbaciones significativas, lo cual, en última instancia, se traduce en la incapacidad para lograr la evaporación del

agua de manera adecuada. La inclusión de un controlador PID se expone como una solución crucial para abordar estos desafíos, mejorando la capacidad de respuesta y estabilidad del sistema ante condiciones imprevistas.

**Figura 38: Sistema sin controlador PID**

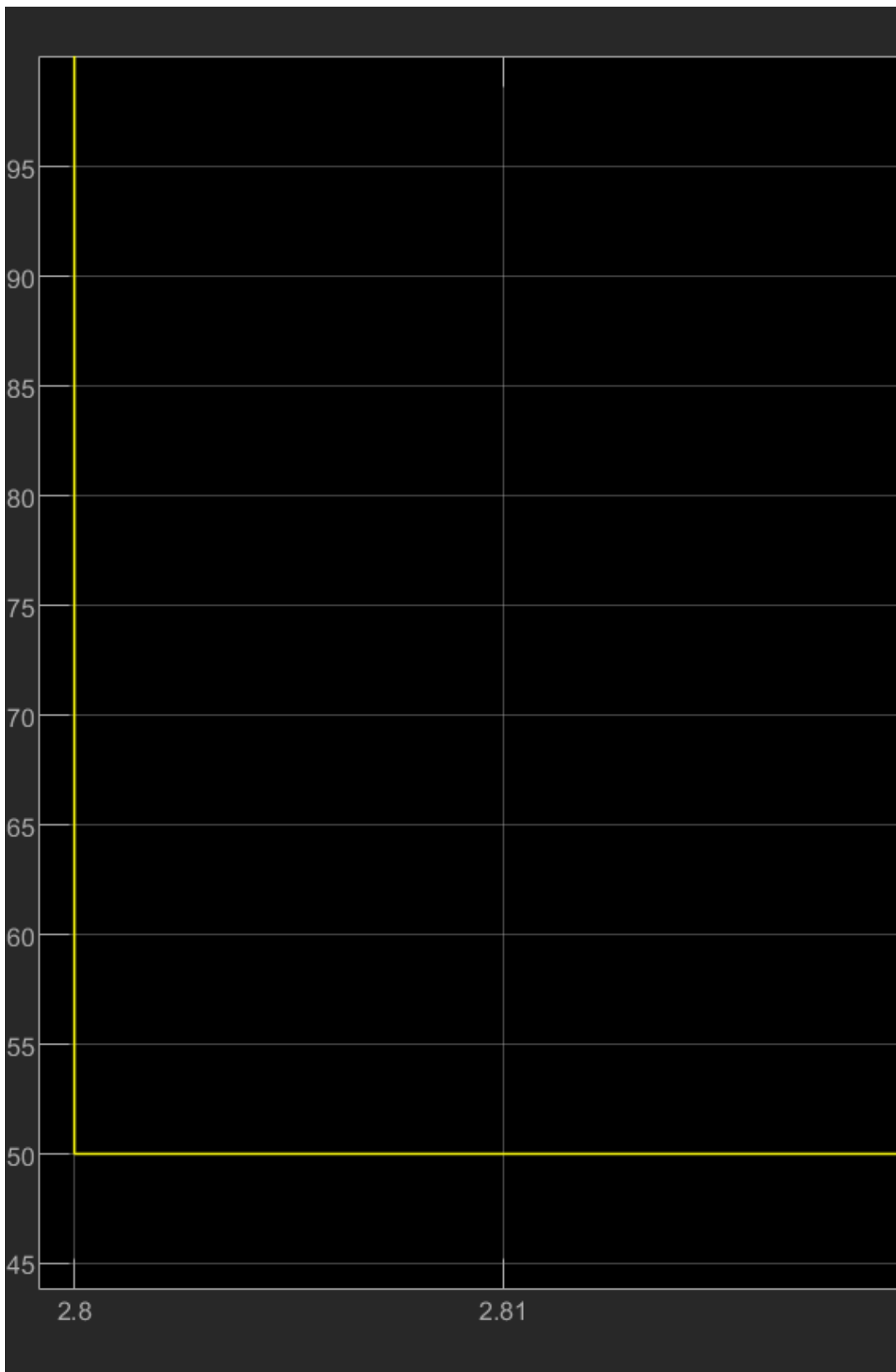


Fuente: (MathWorks, Simscape)

**Figura 39: Respuesta de la temperatura respecto al tiempo del sistema sin controlado PID**





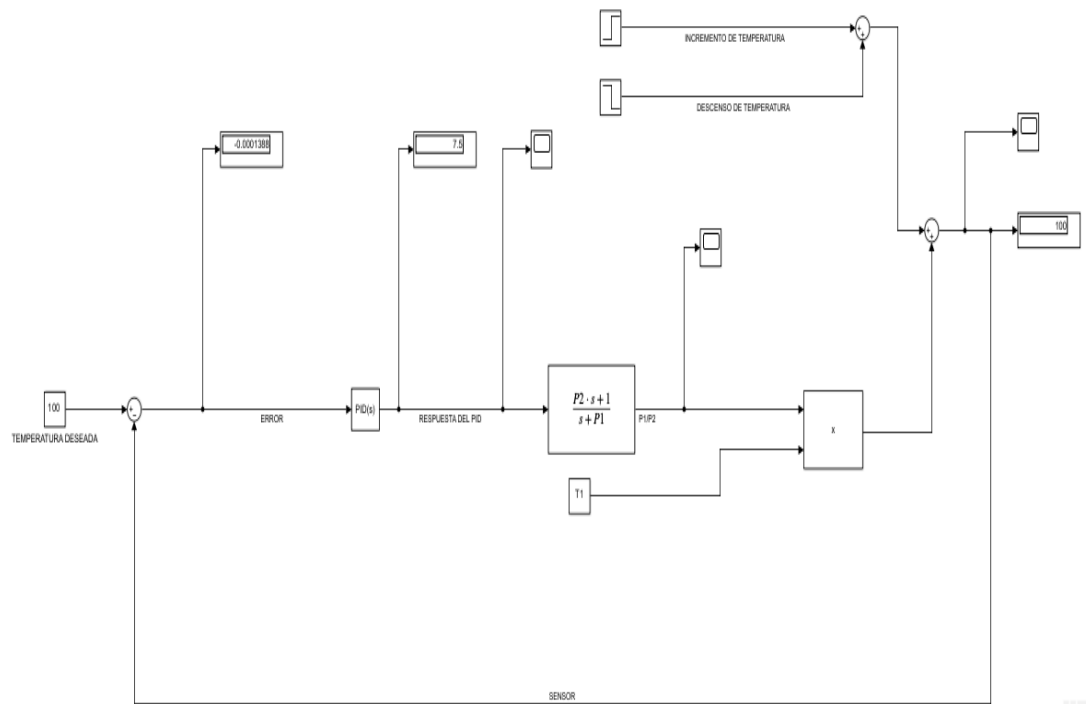


*Fuente:* (MathWorks, Simscape)

**-Sistema con controlador PIDs(Como se puede observar en la siguiente imagen 40)**

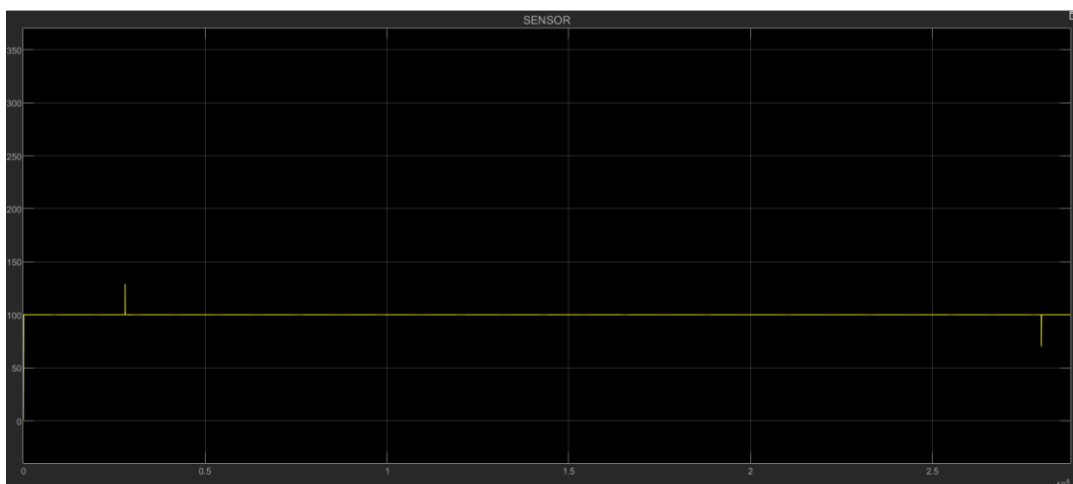
A diferencia del sistema previo, que carecía de un controlador PIDs para la vigilancia y corrección de posibles errores en la caldera, el sistema actual, equipado con un controlador PIDs implementado, demuestra una capacidad sobresaliente para gestionar y resolver dichos problemas, tal como se evidencia en la imagen 41. En esta representación gráfica, se presenta un escenario donde la caldera experimenta un error a los 2800 segundos, provocando un incremento no deseado de temperatura de 30 grados Celsius. Posteriormente, a los 28000 segundos, se produce un descenso en la temperatura de 30 grados Celsius. Sin embargo, gracias a la presencia del controlador PIDs, el sistema tiene la destreza de identificar de manera precisa y rápida estos fallos, logrando corregirlos en un intervalo promedio de tan solo 30 segundos. Este nivel de capacidad de respuesta y corrección demuestra la eficacia del controlador PIDs al monitorear activamente las condiciones del sistema y ajustar las variables pertinentes para sostener un control óptimo de la temperatura en situaciones adversas. La implementación de esta tecnología se revela como una solución valiosa para mejorar la robustez y la adaptabilidad del sistema de caldera frente a eventos inesperados.

**Figura 40: Sistema con controlador PIDs**



Fuente: (MathWorks, Simscape)

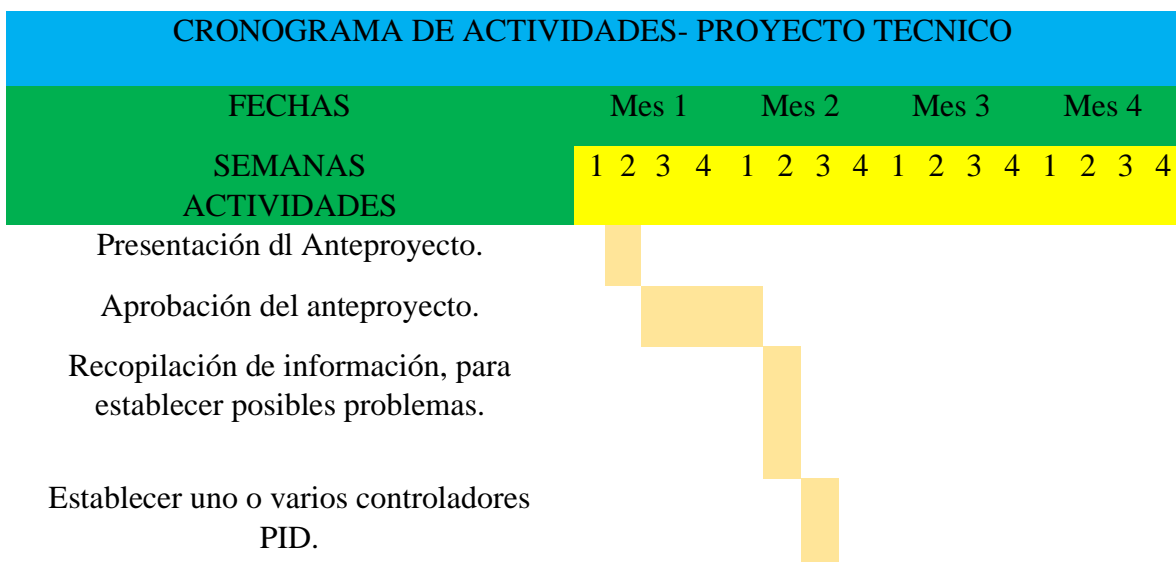
**Figura 41: Respuesta de la temperatura respecto al tiempo del sistema con controlado PIDs**

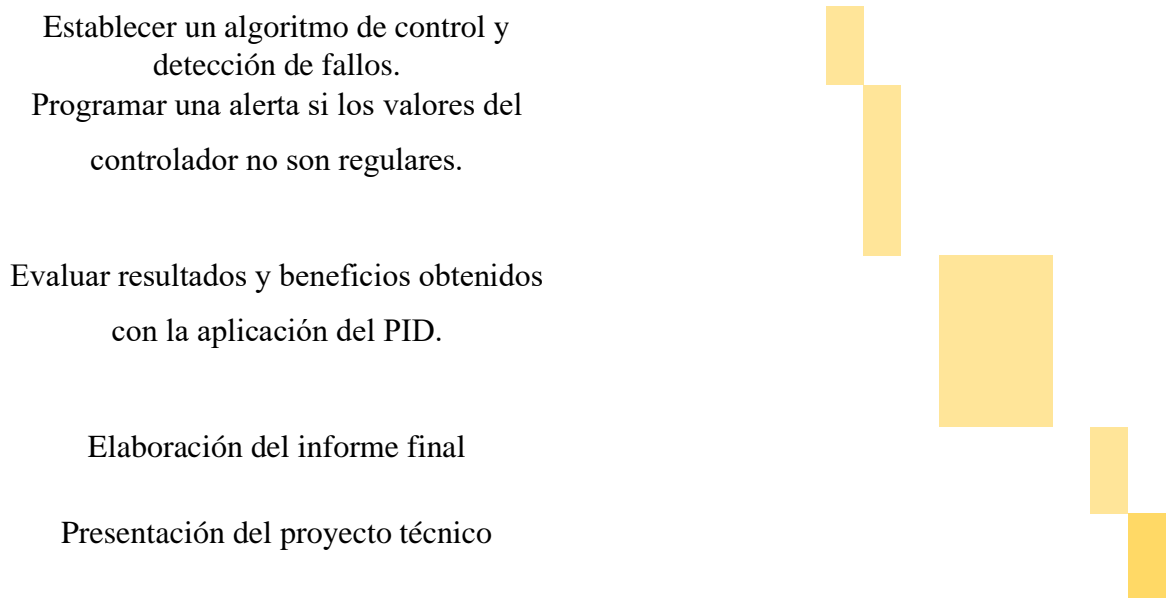




Fuente: (MathWorks, Simscape)

### 4.1.2 CRONOGRAMA.





## I. PRESUPUESTO.

<b>Presupuesto para el proyecto técnico</b>	
<b>Egreso (dólares)</b>	
<b>Detalle del costo del proyecto</b>	<b>Valores</b>
Documentación	\$ 150
Controlador PID	\$62.50
Capacitación de las metodologías	\$150
Gastos varios	\$100
Sensores de Presión con sensor de Temperatura	\$130
<b>Total de egresos</b>	<b>\$592.50</b>

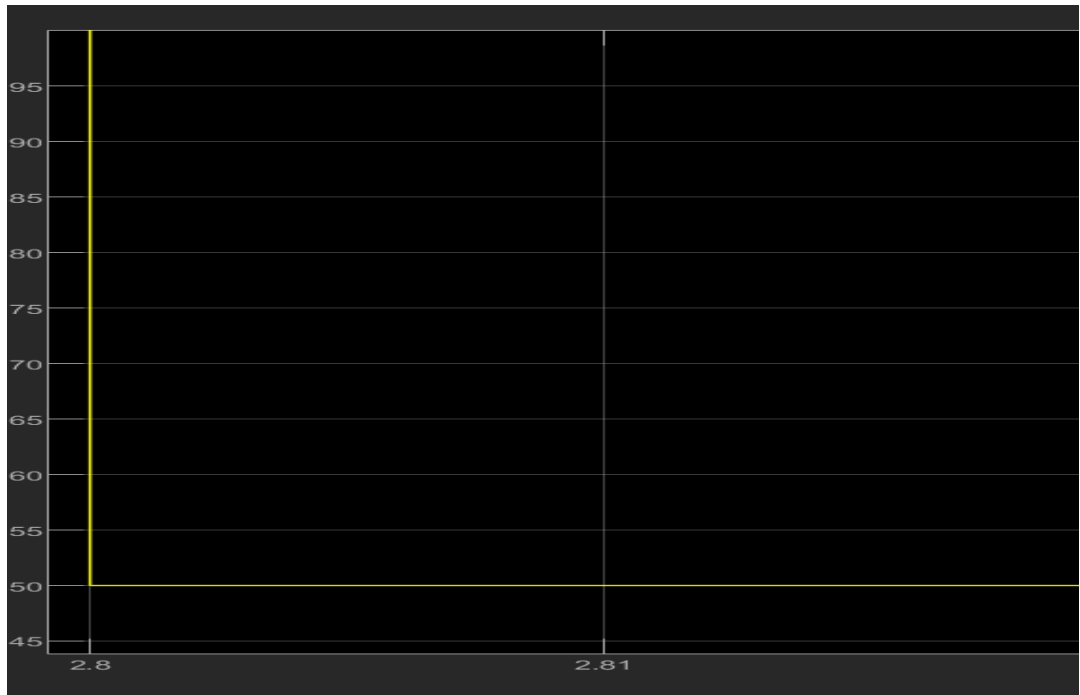
## CONCLUSIONES.

Podemos concluir que gracias a la introducción y aplicación del controlador PIDs se ha disminuido significativamente la necesidad de supervisión humana en el

monitoreo de la caldera esto debido a que ya no es necesario la participación de la mano de obra humana gracias a la automatización del PIDs.

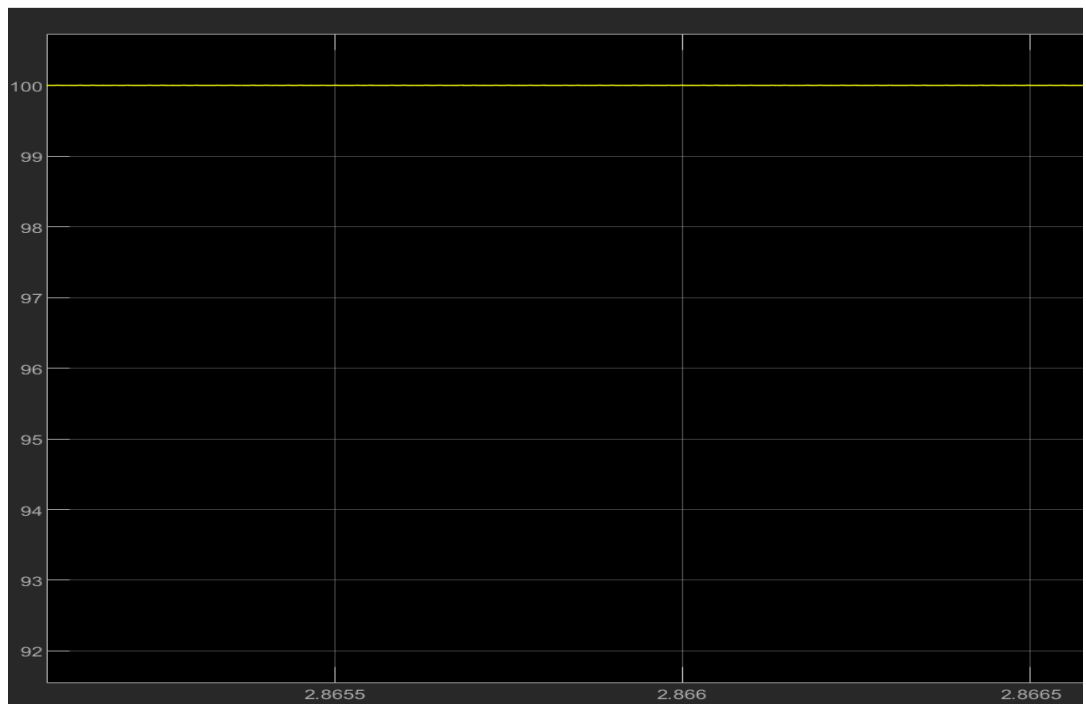
También podemos concluir que el controlador ha demostrado regular la temperatura de manera altamente eficaz, aprovechando la capacidad de ajustar la salida en proporción a los errores del sistema. Por otro lado, se evidencia que las calderas sin acceso a controladores PID son incapaces de adaptarse automáticamente a tales desafíos, lo que perpetúa su dependencia de la intervención humana, incrementando así la probabilidad de ocurrencia de accidentes y errores en el proceso, esto se puede comprobar comparando la figura número 39 y la figura 41 donde se puede observar que en un sistema de con las mismas calderas y las mismas variables un sistema de calderas sin un sistema de controlador PIDs es incapaz de afrontar y corregir los errores que puedan ocurrir a lo largo del sistema obteniendo una temperatura final de 50 grados Celsius teniendo en cuenta que la temperatura deseada son 100 grados Celsius mientras que en un sistema que si cuenta con un controlador PIDs la temperatura se mantiene de forma constante y a pesar de tener leves interrupciones nos da un resultado de 100 grados Celsius .

**Figura 39:** Respuesta de la temperatura respecto al tiempo del sistema sin controlado PIDs



Fuente: (MathWorks, Simscape)

**Figura 41:** Respuesta de la temperatura respecto al tiempo del sistema con controlado PIDs



Fuente: (MathWorks, Simscape)

## **4.2.RECOMENDACIONES.**

### **4.2.1. RECOMENDACIONES GENERALES**

#### **Seleccione un controlador PID adecuado para la aplicación:**

Los controladores PID vienen en una variedad de tipos y modelos, cada uno con sus propias ventajas y desventajas.

#### **Consulte con un experto en control PID:**

Un experto en control PID puede ayudarlo a seleccionar y configurar el controlador PID adecuado para la aplicación que necesite.

#### **Calibre el controlador correctamente:**

La calibración adecuada del controlador es esencial para garantizar un rendimiento óptimo. El controlador debe ser calibrado en condiciones de funcionamiento reales para garantizar el control de la caldera con gran precisión.

#### **Realice un mantenimiento regular del controlador:**

El controlador debe ser mantenido regularmente para garantizar su buen funcionamiento.

#### **Monitoree el rendimiento del controlador:**



Es importante monitorear el rendimiento del controlador para detectar cualquier problema potencial.

**Utilice el controlador PID regular el vapor:**

La temperatura del vapor es una de las variables muy importante a controlar en una caldera industrial. El controlador PID se utiliza para sostener la temperatura del vapor dentro de los límites especificados.

La presión del vapor también es una variable importante que controlar en una caldera industrial.

Es importante mantener controlados estos valores ya que la irregularidad de estos, provoca daños irreversibles dentro de las tuberías.

**Utilice el controlador PID para controlar el flujo de combustible:**

El flujo de combustible es una variable muy importante de controlar en una caldera industrial, para garantizar una combustión eficiente; manteniendo el flujo constante deseado.

**Considere el uso de un controlador PID con funciones avanzadas:**

Este tipo de controladores tiene muchas funciones, como la auto-sintonización o el control de múltiples bucles.

#### **4.2.2. RECOMENDACIONES PARA EL AGUA DE ALIMENTACION DE CALDERAS**

El agua proviene de diversas fuentes, incluidos ríos, lagos, pozos y precipitaciones.

Los ríos y pozos son muy importantes para alimentar generadores de vapor y fines industriales. Por la naturaleza de la fuente, el agua transporta y disuelve impurezas, lo que la hace inadecuada para el consumo y el uso industrial.

En el contexto específico de la generación de vapor y otras operaciones industriales, la fuente de agua es un factor clave a considerar.

Aunque los ríos y pozos son las principales fuentes para tales fines, en realidad, el agua de estos recursos naturales puede contener varios elementos indeseables. Estos pueden incluir sedimentos y minerales disueltos.

El desafío es gestionar eficazmente estas impurezas para el agua utilizada en los procesos industriales y los generadores de vapor cumpla con los estándares prescritos.

Esto es especialmente importante porque la presencia de impurezas no sólo afecta el funcionamiento del equipo, sino que también afecta la calidad del producto final. Por lo tanto, la gestión y el tratamiento adecuados del agua se convierten en un aspecto esencial para mantener la eficiencia y la integridad en las operaciones industriales que dependen de este importante recurso.

#### **4.2.3. CONDICIONES QUE DEBE CUMPLIR EL AGUA**

Según (Bahamondes) El agua que se vaya a utilizar para una caldera de uso industrial debe cumplir los siguientes requisitos:

- a) Debe ser clara, con la turbidez inferior a 10 ppm.
- b) No debe contener dureza no carbónica.
- c) La dureza del agua no debe exceder los 35 ppm.
- d) No debe tener aceites.
- e) Es preciso que no haya oxígeno.

#### **4.2.4. IMPUREZAS QUE SE PUEDEN ENCONTRAR**

Según (Bahamondes) Las impurezas que suele traer consigo el agua sin tratamiento proveniente de las fuentes descritas se pueden clasificar en la siguiente forma:

a) Sólidos en suspensión:

- Barro.
- Materias orgánicas.
- Tierra.

b) Sales disueltas:

- Sales de calcio y magnesio.
- Cloruros de sulfatos alcalinos.

c) Gases disueltos:

- Aire.

#### 4.2.5. EFECTO DE LAS IMPUREZAS

A) Los sedimentos, como el barro y otros sólidos, tienden a depositarse en el fondo de la caldera, creando un depósito fangoso que propicia el sobrecalentamiento de las placas inferiores. (Bahamondes) Estos calentamientos excesivos pueden ocasionar deformaciones que representan riesgos considerables. La eliminación de estos depósitos se realiza mediante una extracción de fondo, conocidas como purgas de fondo.

Se considera óptimo según (Bahamondes) erradicar estas impurezas antes de que el agua entre en la caldera, ya sea mediante procesos de filtración o decantación. En el caso específico de las materias orgánicas, se adopta la práctica de añadir pequeñas cantidades de hipoclorito de sodio.

B) Las sales de calcio y magnesio, que se encuentran en estado disuelto en el agua utilizada para alimentar la caldera, experimentan una descomposición que resulta en su adhesión a las superficies más cálidas de este sistema. (Bahamondes) Este fenómeno se manifiesta de manera notable en la formación de costras resistentes, conocidas como incrustaciones, que se acumulan principalmente en los tubos de la caldera. Este proceso no solo entorpece significativamente la transferencia de calor, sino que también propicia el sobrecalentamiento de estas superficies metálicas críticas, creando una situación propensa a posibles explosiones y riesgos asociados.

Según (Bahamondes) la presencia de estas incrustaciones, originadas por la descomposición de las sales de calcio y magnesio, representa un desafío sustancial para el rendimiento eficiente y seguro de la caldera. Estas costras duras no solo actúan como barreras térmicas no deseadas, sino que también interfieren directamente en la eficacia del intercambio de calor en el sistema. Este deterioro en la transmisión térmica afecta a la eficiencia operativa y crea condiciones propicias para el sobrecalentamiento, un factor crítico que podría causar consecuencias tan graves como posibles explosiones, poniendo en riesgo la integridad del sistema y la seguridad general. Así, la gestión proactiva de la acumulación de estas incrustaciones es un componente esencial para preservar la funcionalidad óptima y prevenir situaciones potencialmente peligrosas en la operación de la caldera.

#### **4.2.6. POSIBLES TRATAMIENTOS PARA EL AGUA.**

Según (Bahamondes) Es fundamental someter el agua de alimentación de las calderas a un proceso de tratamiento con el fin de anticipar y prevenir potenciales inconvenientes derivados de impurezas. Este procedimiento puede llevarse a cabo mediante diversas técnicas, que se clasifican en categorías específicas, tales como métodos físicos, químicos, térmicos y combinados, así como opciones que incorporan enfoques eléctricos. La implementación de cualquiera de estos métodos asegura la adecuación del agua utilizada en las calderas industriales, contribuyendo así a la eficiencia operativa y a extender la vida útil. La selección del método de tratamiento dependerá de las características específicas del agua y de las necesidades particulares de cada instalación, permitiendo una adaptación personalizada a los requisitos y condiciones particulares.

Ejemplos de tratamientos:

Físicos:

-Filtración es un proceso cuyo propósito es eliminar partículas de mayor tamaño que se encuentran en suspensión en el agua. Esta operación se lleva a cabo de manera previa a la llegada del agua a la caldera, situándose en una etapa externa al sistema principal. Los filtros utilizados para este fin pueden variar en su diseño, y en instalaciones más pequeñas, se emplean filtros de mallas, mientras que en otros casos se recurre a sistemas que incorporan grava y arena.

-la desaireación, también conocida como desgasificación, tiene como objetivo la eliminación de gases disueltos, como oxígeno y anhídrido carbónico, presentes en el agua de alimentación. Este proceso se logra mediante la aplicación de calor al agua, generando una extensa área de contacto entre el agua y el aire, ya sea mediante una ducha o agitación del líquido. La desaireación es un paso crítico que contribuye significativamente a mejorar el estado del agua destinada a la caldera, evitando la presencia de gases que podrían causar problemas operativos y de rendimiento. La elección entre distintas técnicas de filtración y desaireación dependerá de las especificaciones particulares del sistema y de las necesidades específicas de cada instalación.

-Químicos:

Implica la introducción interna de sustancias químicas que reaccionan con las impurezas presentes en el agua, ocasionando la formación de sólidos insolubles o en suspensión que pueden ser eliminados mediante purgas. Dependiendo de los objetivos específicos perseguidos.

-Mixtos:

Este enfoque implica la aplicación simultánea de desincrustantes químicos y el calentamiento del agua, con el objetivo de eliminar ambas formas de dureza presentes en el sistema.

-Eléctricos

Gracias a un sistema basado en electrólisis del agua, placas de zinc adheridas a tuberías de chapa protegen contra los efectos de los depósitos de sal. Este método ayuda a proteger la placa de hierro de los efectos negativos de los residuos de sal durante el proceso electroquímico.

### 4.3.REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

#### 4.4.TRABAJOS CITADOS

ALBERT, L. V. (2017). *Dinamica de gases*. CATALUNYA.

*asimer* . (s.f.). Obtenido de *asimer* : <https://www.asimergroup.com/tipos-de-valvulas-industriales-y-sus-aplicaciones/>

*asimer*. (s.f.). *asimer* . Obtenido de <https://www.asimergroup.com/tipos-de-valvulas-industriales-y-sus-aplicaciones/>

Astrom, K. J. (2006). *Advanced PID Control*. ISA.

Åström, K. J. (2008). *Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers*. Princeton University Press.

Bahamondes, P. A. (s.f.). *ACHS*. Obtenido de Asociación Chilena de Seguridad: [https://www.achs.cl/docs/librariesprovider2/empresa/centro-de-fichas/trabajadores/agua-de-alimentacion-de-calderas.pdf?sfvrsn=5d93dcf2\\_0](https://www.achs.cl/docs/librariesprovider2/empresa/centro-de-fichas/trabajadores/agua-de-alimentacion-de-calderas.pdf?sfvrsn=5d93dcf2_0)

Chen, B. G. (2011). Research on Pressure Control of Boiler Pipes Based on Fuzzy-PID Algorithm. *Procedia Engineering*.

*comeval*. (s.f.). Obtenido de <https://www.comeval.es/formacion/formacion-valvulas-industriales-glosario-definiciones/>

*comeval* . (s.f.). Obtenido de (*asimer* , s.f.) Tipos de válvulas industriales y sus aplicaciones obtenido de <https://www.asimergroup.com/tipos-de-valvulas-industriales-y-sus-aplicaciones/>

*comeval*. (s.f.). *comeval* . Obtenido de *comeval* : (*asimer* , s.f.) Tipos de válvulas industriales y sus aplicaciones obtenido de <https://www.asimergroup.com/tipos-de-valvulas-industriales-y-sus-aplicaciones/>

Franklin, G. F.-N. (2014). *Feedback Control of Dynamic Systems*. Pearson.

Honeywel. (s.f.). págs. Honeywell  
(<https://process.honeywell.com/us/en/products/process-instruments/controllers-and-programmers>).



kiefer, M. C. (s.f.). *Maquinas de vapor*. Obtenido de OPITEC: <https://nbg-web01.opitec.com/img/112/420/112420bm.pdf>

MathWorks. (s.f.). Simscape.

MathWorks. (s.f.). Simscape Electrical.

MathWorks. (s.f.). Simulation and Model-Based Design.

Metalúrgicas, I. d. (30 de enero de 2019). *SIDOR*. Obtenido de <http://www.sidor.com/noticias-sidor/noticias/104-noticiencias/948-aceros-termoresistentes#:~:text=En%20base%20a%20las%20relaciones,aceros%20C%2DCr%2DMo>.

Moysis, T. (2015). *An Introduction to Control Theory Applications with*.

Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. Pearson Educación.

spiraxsarco. (s.f.). *VAPOR PARA LA INDUSTRIA*. Obtenido de <https://vaporparalaindustria.com/metodos-de-calculo-de-consumo-de-vapor-industrial/>

(asimer , s.f.) Tipos de válvulas industriales y sus aplicaciones obtenido de <https://www.asimergroup.com/tipos-de-valvulas-industriales-y-sus-aplicaciones/>

Aguado, N. (16 de abril de 2020). *cbmconnect*. Obtenido de Toma de muestra para análisis de aceite: <https://esp.cbmconnect.com/toma-de-muestra-para-analisis-de-aceite/>

altertecnica. (s.f.). Obtenido de Mantenimiento correctivo vs. mantenimiento preventivo: ¿cuál es la diferencia?: <https://altertecnica.com/mantenimiento-correctivo-vs-preventivo/>

attsu. (enero de 2019). *issuu*. Obtenido de PREGUNTAS FRECUENTES ENERO 2019 CALDERAS DE VAPOR: [https://issuu.com/attsumarketing/docs/preguntas\\_frecuentes\\_enero\\_19\\_calde](https://issuu.com/attsumarketing/docs/preguntas_frecuentes_enero_19_calde)

aula 21. (s.f.). Obtenido de 5 Tips de mantenimiento preventivo para calderas industriales: <https://www.cursosaula21.com/5-tips-mantenimiento-preventivo-de-calderas-industriales/>

cec-epn. (s.f.). Obtenido de Análisis de Vibraciones: <https://www.cec-epn.edu.ec/cursos/curso/analisis-de-vibraciones>

comparasoftware. (s.f.). Obtenido de Tipos de Inspección de Mantenimiento: <https://blog.comparasoftware.com/inspeccion-de-mantenimiento/>

computeecs. (s.f.). Obtenido de Mantenimiento y limpieza : <https://www.computeecs.com.gt/index.php/servicios/mantenimiento-y-limpieza>

ecuacionde. (s.f.). Obtenido de Ley de Gay Lussac: <https://ecuacionde.com/gay-lussac/>

endress+hauser . (s.f.). endress. Obtenido de <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/analisis-agua-liquidos-industria/unidad-preparacion-muestras-liquiline?t.tabId=product-overview>

eurovaldelcentro. (10 de noviembre de 2019). Obtenido de Propiedades del acero negro: <https://eurovaldelcentro.com.mx/propiedades-del-acero-negro/>

fricaval89. (s.f.). Obtenido de Sensor de Temperatura Industrial: <https://fricaval89.com/productos/refrigeracion/temperatura/EE220-sensor-temperatura-industrial.html>

gemlsa. (s.f.). Obtenido de Mantenimiento preventivo y correctivo en calderas industriales ¡Garantiza eficiencia y seguridad!: <https://www.gemlsa.com/mantenimiento-preventivo-y-correctivo-en-calderas-industriales>

González Coneo, J., Nuñez Pérez, B., & Vilorio Molinares<sup>3</sup>, P. (abril de 2012). Sistema de monitoreo en tiempo real para la. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/849/84923878019.pdf>

ingenierosasesores. (27 de octubre de 2021). Obtenido de Aplicaciones de la termografía: ¿qué problemas se pueden detectar?:

<https://ingenierosasesores.com/actualidad/aplicaciones-termografia-problemas/>

interflon. (5 de mayo de 2020). Obtenido de La importancia del mantenimiento preventivo: <https://interflon.com/es/news/mantenimiento-preventivo>

jsindustrial. (s.f.). Obtenido de SENSOR DE NIVEL TIPO RADAR:

<https://www.jsindustrial.com.pe/producto/sensor-de-nivel-tipo-radar/>

Luszczewski, A. (1999). Redes industriales de tubería: bombas para agua, ventiladores y compresores. Barcelona : Reverte Ediciones S.A de C.V.

Paraninfo. (s.f.). google. Obtenido de Manual práctico del operador de calderas industriales 3.<sup>a</sup> edición:

<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=9SnFEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=calderas+industriales&ots=dCahGcGylg&sig=pi5yWf2Zdh9GIfSsToR4o4RW2CA#v=onepage&q=calderas%20industriales&f=false>

Serena , D. (s.f.). bloginstrumentacion. Obtenido de Introducción a la medición de la presión diferencial:

<https://www.bloginstrumentacion.com/knowhow/introduccion-a-la-medicion-de-la-presion-diferencial/>

stelorder. (21 de diciembre de 2021). Obtenido de Mantenimiento correctivo :

<https://www.stelorder.com/blog/mantenimiento-correctivo/>

suner . (s.f.). blog.suner. Obtenido de Mantenimiento De Calderas Industriales:

<https://blog.suner.es/mantenimiento-de-calderas-industriales>

teknova. (junio de 2020). Obtenido de La Importancia del Análisis de Aceite

Usado: <https://teknova.mx/la-importancia-del-analisis-de-aceite-usado/>

terotecnic. (s.f.). Obtenido de análisis de ultrasonidos, utilidades en mantenimiento predictivo : <https://terotecnic.com/mantenimiento-predictivo/ultrasonidos/analisis-de-ultrasonidos-definicion/>

tracsa. (27 de septiembre de 2021). Obtenido de ¿Te conviene el mantenimiento correctivo?: <https://tracsa.com.mx/blog/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-el-mantenimiento>

weg. (s.f.). Obtenido de Sensores de proximidad capacitivos:

[https://www.weg.net/catalog/weg/AR/es/Seguridad-de-M%C3%A1quinas%2C-Sensores-Industriales-y-Fuentes-de-Alimentaci%C3%B3n/Sensores-Industriales/Sensores-de-proximidad-capacitivos/Sensores-de-proximidad-capacitivos/p/MKT\\_WDC\\_GLOBAL\\_CAPACITIVE\\_SENSORS](https://www.weg.net/catalog/weg/AR/es/Seguridad-de-M%C3%A1quinas%2C-Sensores-Industriales-y-Fuentes-de-Alimentaci%C3%B3n/Sensores-Industriales/Sensores-de-proximidad-capacitivos/Sensores-de-proximidad-capacitivos/p/MKT_WDC_GLOBAL_CAPACITIVE_SENSORS)