

**CONTROL VAPORIZACIÓN**

**MARIA CAMILA TORRES GARCIA**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE ELECTRONICA  
TECNOLOGÍA EN SISTEMAS MECATRÓNICOS  
MEDELLIN  
2022-2**

# **CONTROL VAPORIZACIÓN**

**MARIA CAMILA TORRES GARCIA**

**Trabajo de grado para optar al título de Tecnóloga en Sistemas Mecatrónicos**

**Asesor**

**Edgar Alberto Betancur Cataño**

**Especialista en administración de la informática educativa**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE ELECTRONICA**

**TECNOLOGÍA EN SISTEMAS MECATRÓNICOS**

**MEDELLIN**

**2022-2**

## Contenido

	<b>Pág.</b>
Lista de figuras	5
Lista de anexos	6
Resumen	7
Abstract	9
Glosario	11
<b>1</b>	
<b>131.1</b>	
<b>131.2</b>	
<b>132</b>	
<b>143</b>	
<b>153.1</b>	
<b>153.2</b>	
<b>154</b>	
<b>164.1</b>	
<b>164.2</b>	
<b>184.3</b>	
<b>194.4</b>	
<b>204.5</b>	
<b>224.6</b>	
<b>224.7</b>	
<b>234.8</b>	
<b>244.9</b>	
<b>255</b>	
<b>275.1</b>	
<b>275.2</b>	
<b>275.3</b>	
<b>275.3.1</b>	
<b>275.3.2</b>	
<b>276</b>	
<b>287</b>	
<b>388</b>	
<b>399</b>	
<b>4010</b>	
<b>41</b>	

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
<i>Figura 1.</i> Esquema básico de control PID	17
<i>Figura 2.</i> Estados de vaporización	18
<i>Figura 3.</i> Principios Básicos del vapor	21
<i>Figura 4.</i> Principales partes de una caldera	21
<i>Figura 5.</i> Leyes de la termodinámica y energía termica	23
<i>Figura 6.</i> Desperdicios y clasificación	26
<i>Figura 7.</i> Mapa del proceso	27
<i>Figura 8.</i> Energía térmica	27
<i>Figura 9.</i> Indicador energía térmica	28
<i>Figura 10.</i> Flujo de vapor	29
<i>Figura 11.</i> Pantalla control válvula proporcional	29
<i>Figura 12.</i> Distribución vapor	30
<i>Figura 13.</i> Comportamiento saneamientos	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Figura 14.</i> Lazo de control pid	32
<i>Figura 15.</i> Prueba piloto cip	33
<i>Figura 16.</i> Indicador energía térmica	34
<i>Figura 17.</i> Uso de energía planta Medellín	34
<i>Figura 18.</i> Control pid	35
<i>Figura 19.</i> Válvula proporcional	35
<i>Figura 20.</i> Control de válvula plc	36

## Lista de anexos

	<b>Pág.</b>
Anexo A. Manual de control lazo cerrado	40
Anexo B. Excel análisis de Causas	41

## **Resumen**

### **CONTROL DE VAPORIZACIÓN**

**MARIA CAMILA TORRES GARCIA**

El sistema de vapor empleado en las compañías de producción es uno de los grandes consumidores de energía térmica, por lo general alimentado a través de calderas con las cuales este sistema es utilizado para subir la temperatura en diferentes procesos de las plantas; debido a las características propias de este sistema se produce un gran consumo de gas como combustible del proceso y de agua como materia prima, razón por la cual es muy importante que este opere de una forma eficiente.

En la actualidad los purificadores de carbón o PC'S, son los encargados de recibir vapor directo desde una PTAP, proporcionado a través de una válvula para la realización de la sanitización, en el momento que se vaporizan estos PC'S, alcanzan una temperatura específica para el proceso que se va a realizar, sin embargo, estos equipos reciben vapor de una manera continua y no de forma controlada, de tal manera que se pueda optimizar el uso recurso energético.

Con la implementación de este proyecto se pretende innovar en la forma que tradicionalmente se trabaja la vaporización en los PC'S por medio del diseño y construcción de un controlador PID que permita su automatización, se espera obtener un correcto control del proceso de suministro del vapor por medio de una válvula reguladora y una proporcional e impactar en el ahorro de la energía térmica.

Estas mejoras ayudarán a una reducción de los costos de gas, el agua y los químicos usados para el tratamiento del agua de calderas en los procesos productivos de dichas planta, contribuirá a un desarrollo más eficiente, dejando una huella positiva al medio ambiente a través de la disminución del consumo de energía térmica, emisiones de CO2 e insumos para generarla; además la ejecución de este proyecto traerá beneficios en los indicadores energéticos por la disminución del consumo de gas como combustible; finalmente como resultado inherente se logrará una mejor eficiencia en la producción de los operarios del lugar, ya que se automatiza un proceso que antes era manual.

***Palabras claves.*** Energía Térmica, Sanitización, Caldera, PTAP, PC'S, PID, CO2

## **Abstract**

### **VAPORIZATION CONTROL**

**MARIA CAMILA TORRES GARCIA**

The steam system used in production companies is one of the largest consumers of thermal energy, usually fed through boilers with which this system is used to raise the temperature in different plant processes; Due to the characteristics of this system, there is a large consumption of gas as fuel for the process and of water as raw material, which is why it is very important that it operates efficiently.

Currently the coal purifiers or PC'S, are in charge of receiving direct steam from a PTAP, provided through a valve for sanitization, at the moment these PC'S are vaporized, they reach a specific temperature for the process to be carried out, however, these equipment's receive steam continuously and not in a controlled manner, in such a way that the use of energy resources can be optimized.

With the implementation of this project, it is intended to innovate in the way that vaporization is traditionally worked in PC'S through the design and construction of a PID controller that allows its automation, it is expected to obtain a correct control of the steam supply process by means of a regulating valve and a proportional one and impact on the saving of thermal energy.

These improvements will help reduce the costs of gas, water and chemicals used to treat



boiler water in the production processes of these plants, will contribute to a more efficient development, leaving a positive footprint to the environment through the reduction of thermal energy consumption, CO2 emissions and inputs to generate it; In addition, the execution of this project will bring benefits in the energy indicators due to the decrease in the consumption of gas as fuel; Finally, as an inherent result, a better efficiency will be achieved in the production of the operators of the place, since a process that was previously manual will be automated.

**Keywords.** Thermal Energy, Sanitization, Boiler, PTAP, PC'S, PID, CO2

## Glosario

**PC'S:** Purificadores de carbono

**PTAP:** Planta de tratamiento de agua potable

**PID:** Es el control de temperatura usando PID, acrónimo de proporcional, integral, derivado. El control PID proporciona una variación continua de la salida dentro de un mecanismo de retroalimentación de bucle de control para controlar con precisión el proceso, eliminando la oscilación y aumentando la eficiencia.

**CO<sub>2</sub>:** El dióxido de carbono es un gas incoloro y sin olor. Es un producto de desecho producido por el cuerpo cuando utiliza alimentos para obtener energía

**Caldera:** Una caldera es un recipiente metálico cerrado que, aplicando el calor de algún combustible sólido, líquido o gaseoso, produce vapor o calienta un fluido a una temperatura superior a la del ambiente y presión por encima de la atmosférica.

**Sanitización:** Aplicar calor o químicos necesarios para matar la mayoría de los gérmenes en una superficie hasta el punto de que no signifiquen un riesgo a la salud.

**Energía Térmica:** La energía térmica es la energía contenida dentro de un sistema y que es responsable de su temperatura. La energía térmica siempre se ha relacionado con el calor y, de hecho, el calor es el flujo de esa energía térmica.

## **Introducción**

Mejorar el rendimiento de energía térmica en los procesos d planta de aguas en las diferentes plantas de producción que cuenten con esta, mediante el ahorro y uso eficiente y racional del recurso térmico, estandarizando y optimizando el consumo de vapor para las vaporizaciones de los purificadores de carbón por lo que hay un sobreconsumo de vapor usado en los inicios de saneamiento después de fin de semana. Saneamientos automáticos (válvula moduladora entrada de vapor).

Con lo cual buscamos optimizar y estandarizar consumos de vapor, recupera del condensado para mejorar el tiempo de calentamiento del agua dentro de la caldera, concientización en el uso eficiente y ahorro de agua y energía, romper paradigmas en cuanto a la manera como se realizan este tipo de actividades.

# **1 Planteamiento del problema**

## **1.1 Descripción**

Investigar sobre el uso de un sistema de control automatizado de vapor para un proceso de PTAP, el cual ayude a evitar pérdidas de energía térmica y fuentes hídricas, con el objetivo de mejorar la eficiencia y producción en plantas industriales.

Con la investigación de este proyecto se pretende innovar en forma que se trabaja la vaporización en los PC'S con una automatización por medio de un PID, la cual les permita controlar de forma correcta el paso del vapor por medio de una válvula reguladora y una proporcional, incluyendo programación y un control de proceso que permita impactar en la en el ahorro en la energía térmica.

## **1.2 Formulación**

¿Qué debo implementar en el control de vapor PID para un ahorro significativo en energía térmica?

## **2 Justificación**

El uso de energía térmica es fundamental en diferentes procesos de transformación de la materia prima; el ahorro de esta energía hace que el consumo de combustibles disminuya evitando así la emisión de gases contaminantes hacia la atmósfera.

Por medio del uso de herramientas de automatización se quiere aprovechar en el área de la PTAP mejorar procesos ya existentes, se eliminarán procesos manuales en la entrada de vapor de los PC'S, con esto se podrá modular la vaporización de estos sin desperdiciar vapor, estas mejoras se implementarán en los PLC de planta de aguas para combinar con procesos que se vienen desarrollando.

Esta implementación se elaboraría siguiendo las normas de calidad de cada proceso en el cual se pueda aplicar, tomando las precauciones necesarias para garantizar el ahorro y para evitar pérdidas de producción, y se deberá eliminar procesos manuales.

## 3 Objetivos

### 3.1 Objetivo general

Implementar un sistema de control automatizado de vapor para un proceso de la PTAP por medio de un sistema de control PID, el cual ayude a evitar pérdidas de energía térmica y fuentes hídricas, con el objetivo de mejorar la eficiencia en procesos de producción que involucren estas características.

### 3.2 Objetivos específicos

Elaborar un sistema de recuperación de condensados centralizado por medio de una trampa de condensado el cual nos permita retornar a las calderas, para todos los puntos de intercambio de calor con vapor.

Implementar una comunicación directa entre un posicionador y un PLC, comparando una señal de mando que provenga de una unidad de regulación neumática o eléctrica para desarrollar un sistema de programación que controle la vaporización del PLC a utilizar.

Realizar el diseño de un prototipo que cuente con un lazo de control de presión, teniendo en cuenta los dispositivos que se necesitan cumplan con lo esperado además de realizar un diagrama por medio de alguna plataforma digital que nos permita visualizar los elementos, y que sea capaz de mantener la temperatura estable a la necesidad de un proceso implementando un sistema de PID.

## 4 Marco teórico

El control proporcional integral derivativo (PID) es el algoritmo de control más común utilizado en la industria y ha sido universalmente aceptado en el control industrial. La popularidad de los controladores PID se puede atribuir en parte a su sólido rendimiento en una amplia variedad de condiciones de funcionamiento y en parte a su simplicidad funcional, que permite a los ingenieros operarlos de una manera sencilla y directa.

Como el nombre lo sugiere, el algoritmo PID consta de tres coeficientes básicos; proporcional, integral y derivado que se varían para obtener una respuesta óptima. En este documento se analizan los sistemas de ciclo cerrado, la teoría del PID clásico y los efectos de sintonizar un sistema de control de ciclo cerrado.

La idea básica detrás de un controlador PID es leer un sensor, luego calcular la salida deseada del actuador, calculando las respuestas proporcional, integral y derivada y sumando esos tres componentes para calcular la salida. Antes de comenzar a definir los parámetros de un controlador PID, veremos qué es un sistema de ciclo cerrado y algunas de las terminologías asociadas con él.

### 4.1 Sistema de ciclo cerrado

En un sistema de control típico, la variable de proceso es el parámetro del sistema que debe controlarse, como la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), la presión (psi) o la tasa de flujo (litros/minuto). Se utiliza un sensor para medir la variable del proceso y proporcionar retroalimentación al sistema de control. El punto de referencia es el valor deseado o de comando para la variable del proceso, como 100 grados Celsius en el caso de un sistema de control de temperatura. En cualquier momento dado, la diferencia entre la variable del proceso y el punto de referencia es utilizada por el algoritmo del sistema de control (compensador) para determinar la salida deseada del para

accionar el sistema (planta). Por ejemplo, si la variable del proceso de temperatura medida es 100 °C y el punto de referencia de temperatura deseado es 120 °C, entonces la salida del actuador especificada por el algoritmo de control podría ser para accionar un calentador.

Provocar que un actuador se encienda un calentador hace que el sistema se caliente y da como resultado un aumento en la variable del proceso de temperatura. Esto se denomina sistema de control de ciclo cerrado, porque el proceso de lectura de sensores para proporcionar una retroalimentación constante y calcular la salida deseada del actuador se repite continuamente y a una tasa de ciclo fija, como se ilustra en la figura 1.

En muchos casos, la salida del actuador no es la única señal que tiene un efecto en el sistema. Por ejemplo, en una cámara de temperatura puede haber una fuente de aire frío que a veces entra en la cámara y altera la temperatura. Este término se conoce como perturbación. Por lo general, tratamos de diseñar el sistema de control para minimizar el efecto de las perturbaciones en la variable del proceso. (C, 2022)

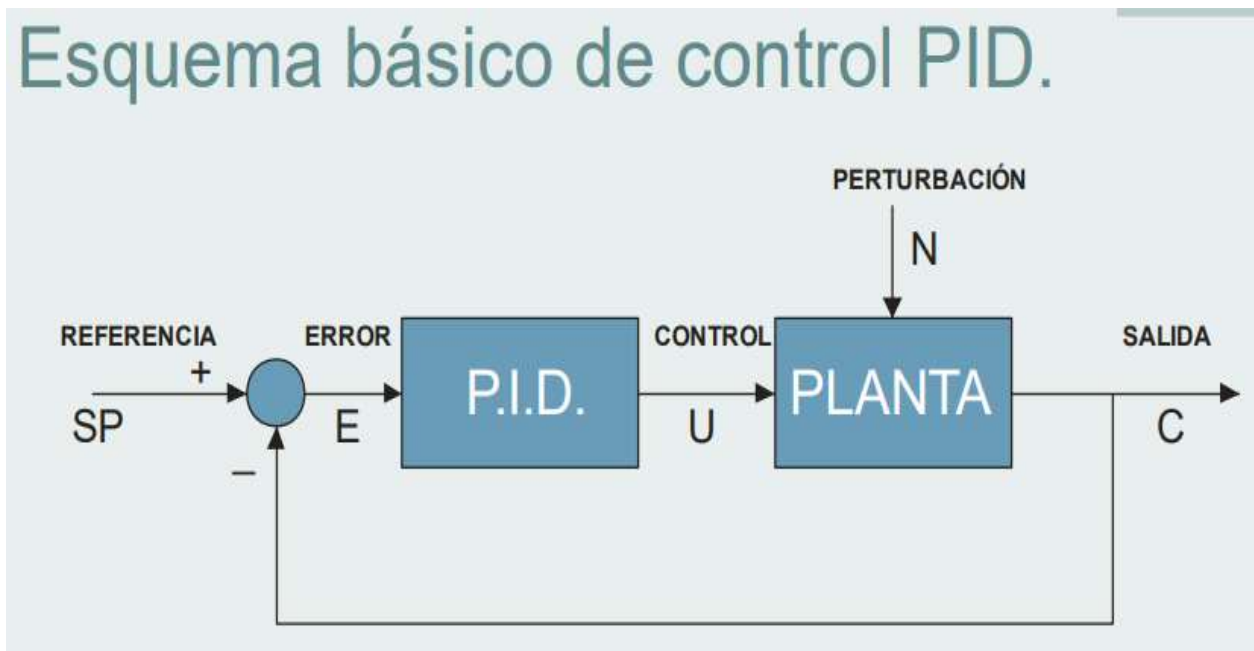


Figura 1. Esquema básico de control PID

Fuente. Extraído de [www.3.fi.mdp.edu.ar/control4c7/APUNTES/Clase%207%20-%20PID.pdf](http://www.3.fi.mdp.edu.ar/control4c7/APUNTES/Clase%207%20-%20PID.pdf)



El rendimiento del sistema de control se mide aplicando una función de paso como la variable de comando del punto de referencia y luego midiendo la respuesta de la variable del proceso. Comúnmente, la respuesta se cuantifica midiendo características de forma de onda definidas. El tiempo de incremento es la cantidad de tiempo que tarda el sistema en pasar del 10% al 90% del valor de estado estable o final.

## 4.2 Vapor

El vapor es un gas invisible generado mediante la adición de energía (calor) al agua en el interior de una caldera. Se debe añadir suficiente calor para elevar la temperatura del agua hasta la temperatura de ebullición. A partir de este punto, si se continúa aportando energía, no se modificará la temperatura, sino que se convertirá el agua en vapor. Es decir, esta energía se invierte para el cambio de fase y no para un aumento de temperatura.



Figura 2.: Estados de vaporización

Fuente: extraído de <http://sincal.es/descargas/conceptos-basicos.pdf>

El vapor es un medio muy eficiente y fácilmente controlable de transportar energía. En entornos industriales, este transporte se realiza entre una localización central (caldera) hasta un número variable de puntos donde se utiliza esa energía en forma de calor para aumentar la temperatura del aire, de agua o en otros procesos industriales.

El calor requerido para conseguir que el agua en ebullición se convierta en vapor se denomina calor latente de vaporización. La cantidad es diferente para cada combinación de presión y temperatura.

El calor fluye desde las zonas con mayores temperaturas hasta las zonas con menor temperatura en un proceso denominado transferencia de calor, empezando en la cámara de combustión de la caldera, el calor fluye a través de los tubos y de las paredes del hogar hacia el agua que los rodea. En este punto es cuando se genera el vapor.

Cuando la alta presión en la caldera desplaza el vapor hacia el exterior de la misma, se produce un aumento de temperatura en las tuberías de distribución. En este punto, el calor fluye desde el vapor hacia el aire que rodea a las tuberías atravesando las paredes metálicas de las mismas. Éste es el motivo por el cual una parte del vapor vuelve a convertirse en agua, lo que se denomina condensado. Para evitarlo, las tuberías de vapor deben estar correctamente aisladas para minimizar estas pérdidas por transferencia de calor indeseadas al aire circundante. (calderas, 2018, pág. 20)

### **4.3 Características del vapor**

El vapor de agua es incoloro e inodoro, aunque suele adquirir una apariencia blanca y turbia cuando se intercalan con pequeñas gotas de agua que se encuentran en estado líquido (vapor húmedo). La visibilidad puede verse reducida con el vapor de agua según su densidad y el lugar donde se encuentre.

Los tres estados del agua son: sólido, líquido y gaseoso, la cantidad de energía necesaria para cambiar de un estado a otro dependerá de la cantidad que se tenga, podría calcularse de la siguiente manera:

En el caso del agua, para que el agua cambie de sólido (hielo) a líquido, a 0°C se necesitan 334 J/kg. Para que cambie de líquido a vapor a 100 °C se precisan 2.260 J/kg (J: Joule)

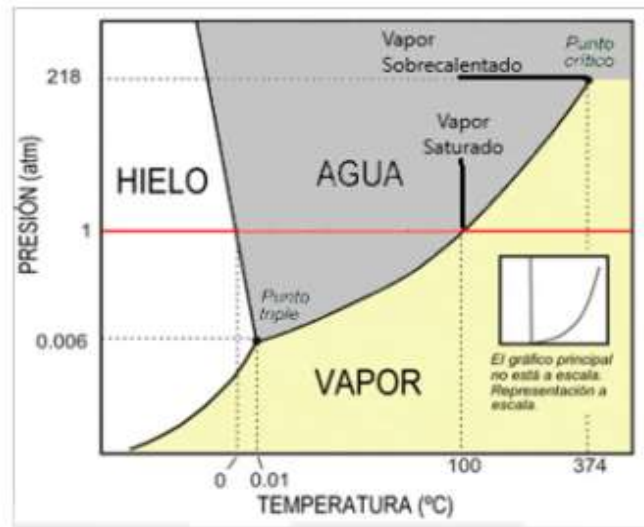


Figura 3. Principios Básicos del vapor

Fuente: <https://www.ms-ingenieria.com.mx/capacitacion-y-normativas/principios-basicos-del-vapor-en-la-industria>

#### 4.4 Calderas

Una caldera es un recipiente metálico cerrado que, aplicando el calor de algún combustible sólido, líquido o gaseoso, produce vapor o calienta un fluido a una temperatura superior a la del ambiente y presión por encima de la atmosférica. Por tratarse de un recipiente a presión, suele ser de acero al carbono y dispone de dispositivos de seguridad. Además, debe ser sometida a inspecciones y pruebas periódicas y ser manipulada por operarios capacitados. Por último, el recinto o sala donde se instale la caldera deberá reunir una serie de requisitos, definidos en el Reglamento de equipos a presión y las instrucciones técnicas complementarias.

El principio básico del funcionamiento de las calderas consiste en una cámara donde, con la ayuda del aire comburente, se produce la combustión y un intercambiador de calor donde el calor producido por la combustión se transmite al fluido caloportador, encargado a su vez de llevar el calor a los puntos de consumo. En el calentamiento del fluido caloportador de una caldera intervienen los tres mecanismos de transmisión de calor reconocidos (Barrera Puigdollers)

Conducción, por contacto directo entre la llama y el cuerpo de la caldera que contiene el fluido caloportador.

Radiación, desde la llama a las paredes del hogar donde tiene lugar la combustión.

Convección, desde los humos calientes producidos en la combustión a las partes metálicas de la caldera.

Las calderas son utilizadas en multitud de aplicaciones, tanto en entornos residenciales y terciarios, como en instalaciones industriales. El uso final del calor generado condiciona directamente la forma de las calderas y las instalaciones auxiliares que precisan.

## 4.5 Partes de una caldera:

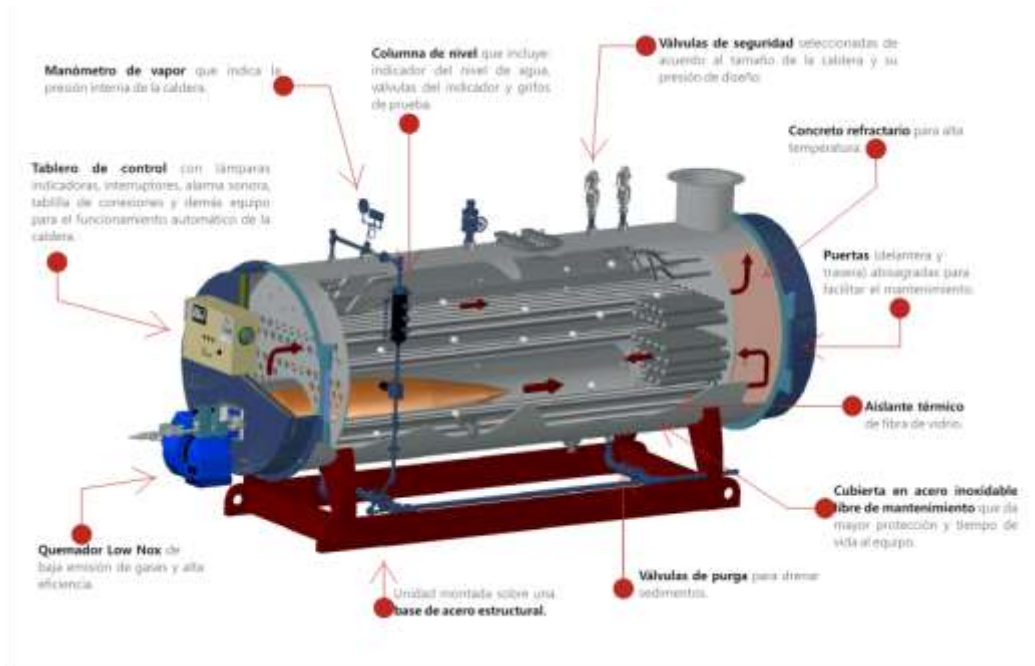


Figura 4. Principales partes de una caldera

Fuente: <https://www.euroair.es/blog/partes-de-una-caldera/>

## 4.6 Energía térmica

La energía térmica se refiere a la energía contenida en un sistema que es responsable de su temperatura. Una rama de la física, la termodinámica, estudia cómo el calor se transfiere entre diferentes sistemas y cómo se realiza un trabajo en el proceso.

En el contexto de problemas de mecánica, generalmente estamos interesados en el papel que desempeña la energía térmica en garantizar la conservación de la energía.

Casi cualquier transferencia de energía que ocurre en sistemas físicos reales se da con una eficiencia menor del 100% y resulta en algo de energía térmica. Esta energía suele ser energía térmica de bajo nivel, lo que significa que su temperatura asociada es cercana a la del medio ambiente. Solo es posible extraer trabajo cuando hay una diferencia de temperatura, de modo que

la energía térmica de bajo nivel representa "el final del camino" de la transferencia de energía y no es posible ningún trabajo útil; la energía se ha "perdido en los alrededores".

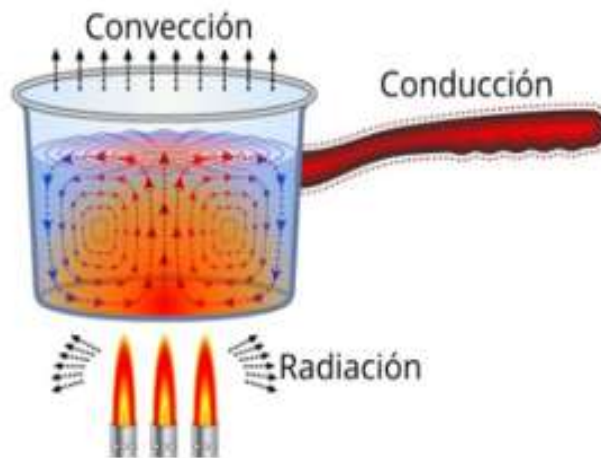
#### **4.7 Ley termodinámica**

Un sistema termodinámico es una parte del universo (conjunto de materia) que se aísla (de manera real o teóricamente) para poder estudiarla. Así hay tres tipos de sistemas, los sistemas abiertos, que se dan cuando hay un intercambio de energía y materia con el entorno. Los sistemas cerrados son donde no hay intercambio de masa, pero sí de energía con el exterior. Y, los sistemas aislados son en los que no hay transferencia de energía y materia con los alrededores.

La termodinámica establece cuatro leyes fundamentales: el equilibrio termodinámico (o ley cero), el principio de conservación de la energía (primera ley), el aumento temporal de la entropía (segunda ley) y la imposibilidad del cero absoluto (tercera ley). Las leyes de la termodinámica estudian y describen los sistemas termodinámicos y como interactúan con su entorno.

Las cuatro leyes o principios de la termodinámica describen como se comportan la energía, temperatura, y la entropía en los sistemas termodinámicos (moléculas, personas, planetas). También establecen ciertos límites en cómo se intercambia y transforma la energía en los procesos termodinámicos y explica el porqué es imposible construir una máquina de movimiento perpetuo. (academy, s.f.)

# Energía térmica



## Leyes de la termodinámica

- **Ley Cero:** temperatura ( $T$ ) como propiedad del sistema.
- **Primera Ley:** conservación de la energía, energía interna ( $U$ ) como propiedad del sistema.
- **Segunda Ley:** entropía ( $S$ ) como propiedad del sistema.
- **Tercera Ley:** en el cero absoluto de temperatura ( $0\text{ K}$ ) la entropía de toda estructura cristalina perfecta es igual a cero.

*Figura 5.* Leyes de la termodinámica y energía térmica

Fuente: [https://ondasyparticulas.com/2020/09/30/las-4-leyes-termodinamica/#:~:text=La%20termodin%C3%A1mica%20establece%20cuatro%20leyes,cero%20absoluto%20\(tercera%20ley\).](https://ondasyparticulas.com/2020/09/30/las-4-leyes-termodinamica/#:~:text=La%20termodin%C3%A1mica%20establece%20cuatro%20leyes,cero%20absoluto%20(tercera%20ley).)

### 4.8 Sistemas de control

Un sistema de control es el conjunto de elementos (dispositivos de entrada de órdenes, dispositivos de entrada y salida de información y controlador) que están interconectados con el propósito de manipular el comportamiento de una estructura.

Existen dos tipos de controles, están los manuales y los automáticos:

Los controles manuales necesitan de la intervención del hombre para que funcionen, por ejemplo, se requiere que el ama de casa accione un control manual, como un botón para detener, la licuadora. Otros casos similares, como el de un microondas, es automático, pero de todas formas requiere de alguien que active su sistema de funcionamiento.

Por otra parte, existen los sistemas automáticos, los cuales son programados mediante un control interno que permite detener el funcionamiento de una estructura o artefacto, como sucede con un ascensor, el cual se detiene automáticamente antes de chocar con el techo del edificio. Otros ejemplos son los que tiene una planta procesadora de alimentos. Estos garantizan la administración de los insumos o el control de la temperatura adecuada para que no se deterioren los productos durante su procesamiento.

Los sistemas de control automáticos pueden ser:

**De lazo abierto:** En el cual no se mide la salida, ni se realimenta para compararla con la entrada; por lo tanto, a cada entrada de referencia le corresponde una condición operativa fija que da como resultado la precisión del sistema.

**De lazo cerrado:** En este tipo de sistema la salida o señal controlada debe ser alimentada y comparada con la entrada de referencia y se debe enviar una señal o acción de control para controlar la salida.

#### **4.9 Actuador**

Es un componente que emplea la energía recibida para activar el funcionamiento de un proceso automatizado. El actuador puede realizar su función gracias a la información que recibe



de las unidades de control, en función de esta, se genera una orden de actuación, que puede ser hidráulica, neumática, eléctrica o automática.

Gracias a los distintos tipos de actuador, se pueden realizar tareas esenciales en el funcionamiento de los motores de los coches y en sus sistemas de seguridad activa y pasiva.

## 5 Metodología

### 5.1 Tipo de Proyecto

Investigativo. Se definieron los objetivos específicos mediante la evaluación de un problema de pérdida de energía térmica, para la cual se realizó una búsqueda para controlar este tipo de energía.

### 5.2 Método

En este método se buscó información relacionada con el planteamiento del problema, para poder determinar con que herramientas se podría trabajar para llevar acabo objetivos específicos

### 5.3 Instrumentos de recolección de información

Para este proceso se usó información del proyecto de eficiencia operacional **de** la planta de Coca Cola Medellín, además asesoría de personal de mantenimiento y electrónicos quien nos ofreció información y se completó con investigación de la web.

**5.3.1. Fuentes Primarias.** Consulta al personal de mantenimiento eléctrico de la empresa.

**5.3.2. Fuentes Secundarias.** Consultas en páginas web.

## 6 Resultados

Para la implementación del lazo de control se optó por definir los desperdicios que afectaban el indicador de vapor y los resultados de la energía térmica, para esto se utilizó la metodología de desperdicio identificado y su clasificación utilizando el siguiente formato establecido por la empresa.

DESPERDICIO IDENTIFICADO	CLASIFICACION DEL DESPERDICIO
DESPERDICIO DE AIRE COMPRIMIDO EN CUCHILLAS PARA SECADO DE BOTELLAS	SOBREPRODUCCION DE ENERGIA
DERPERDICIO DE ENERGIA EN LAS LUMINARIAS PERIMETRALES	DEFECTO POR BAJA EFICIENCIA DE LA LUMINARIA
DESPERDICIO DE ENERGIA EN LUMINARIAS DE SALON DE EMBOTELLADO	DEFECTO POR BAJA EFICIENCIA DE LA LUMINARIA
DESPERDICIO DE ENERGIA EN LUMINARIAS DE OFICINA	DEFECTO POR BAJA EFICIENCIA DE LA LUMINARIA
DESPERDICIO DE ENERGIA EN TIEMPO DE ALUMBRADO EN BODEGA	SOBREPRODUCCION DE ENERGIA
DERPERDICIO DE ENERGIA POR FUGAS DE AIRE COMPRIMIDO	DEFECTOS EN LAS LINEAS DE AIRE Y CONEXIONES
DESPERDICIO DE ENERGIA TERMICA POR FUGAS DE VAPOR	DEFECTOS EN LAS LINEAS DE VAPOR Y CONEXIONES
DESPERDICIO DE ENERGIA TERMICA POR FALTA DE RECUPERACION DE CONDENSADO	DEFECTO POR AUSENCIA DE EQUIPOS PARA RECUPERACION DE CONDENSADO
DESPERDICIO DE ENERGIA TERMICA POR CALIDAD DE VAPOR	DEFECTO POR AUSENCIA DE EQUIPO PARA MEJORAR LA CALIDAD DE VAPOR
DESPERDICIO DE ENERGIA TERMICA POR FALTA DE AISLAMIENTO TERMICO	DEFECTOS EN LAS INSTALACIONES DE TUBERIA DE VAPOR
DESPERDICIO DE ENERGIA TERMICA VAPORIZACIONES	SOBRE CONSUMOS DE VAPOR EN VAPORIZACIONES
DESPERDICIO DE ENERGIA POR FALTA DE CULTURA DE AHORRO ENERGETICO	SENCIBILIZACION PERSONAL OPERATIVO
DESPERDICIO DE ENERGIA ELECTRICA EN LOS COMPRESORES POR FALTA DE DEFINICION DE LA CARGA TERMICA PARA REFRIGERAR SEGÚN PRODUCCION	OPORTUNIFDADES DE LLENADO A MAYOR TEMPERATURA
DESPERDICIO DE ENERGIA ELECTRICA EN LOS COMPRESORES POR FALTA DE DEFINICION DE LA CARGA TERMICA PARA REFRIGERAR SEGÚN PRODUCCION	DEFINICION Y APLICACIÓN DE MATRIZ DE ENCENDIDIO DE COMPRESORES

*Figura 6:* .Desperdicios y clasificación

Fuente: unidad de mantenimiento Coca- Cola Femsa planta Medellín

Posteriormente en este formato se implementaron las acciones correctivas que realizaría como respuesta a los desperdicios identificados y se definió un porcentaje de avance, para la continuación del proyecto se desarrolló un mapa del proceso.

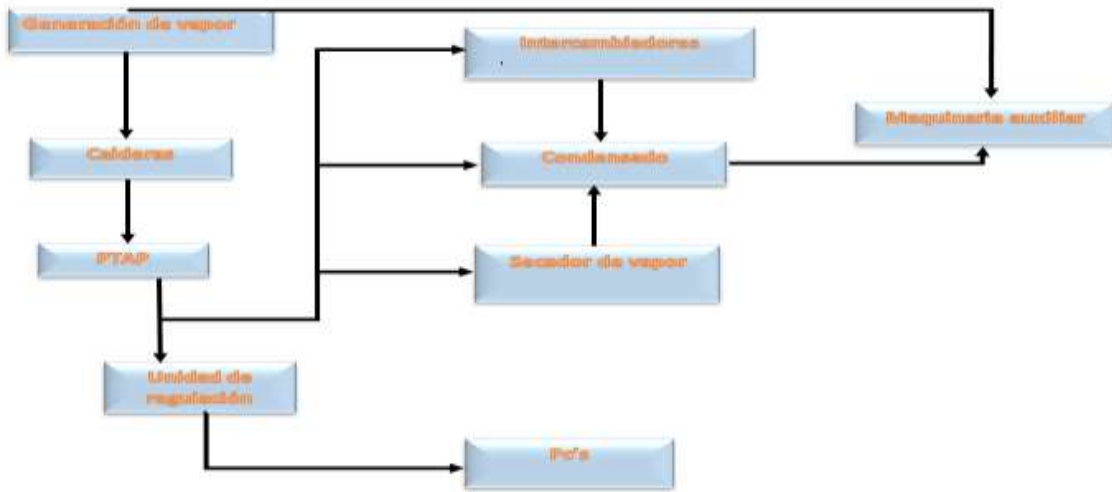


Figura 7: Mapa del proceso  
Fuente: archivo proyecto OE planta Medellín

La siguiente etapa que se utilizó para el desarrollo de este proyecto fue la medición, la cual consiste en partir de una situación inicial que expresamos por medio de gráficos.



Figura 8. Energía térmica  
Fuente: archivo proyecto OE planta Medellín

En el diagrama inicial buscamos evidenciar el consumo de vapor en los diferentes sistemas de la planta donde este es utilizado, teniendo esto en cuenta optamos por intervenir el 11% de PC's y PTAP ya que esta área era la única que no se encontraba en un lazo cerrado donde hubiera recuperación de este vapor.

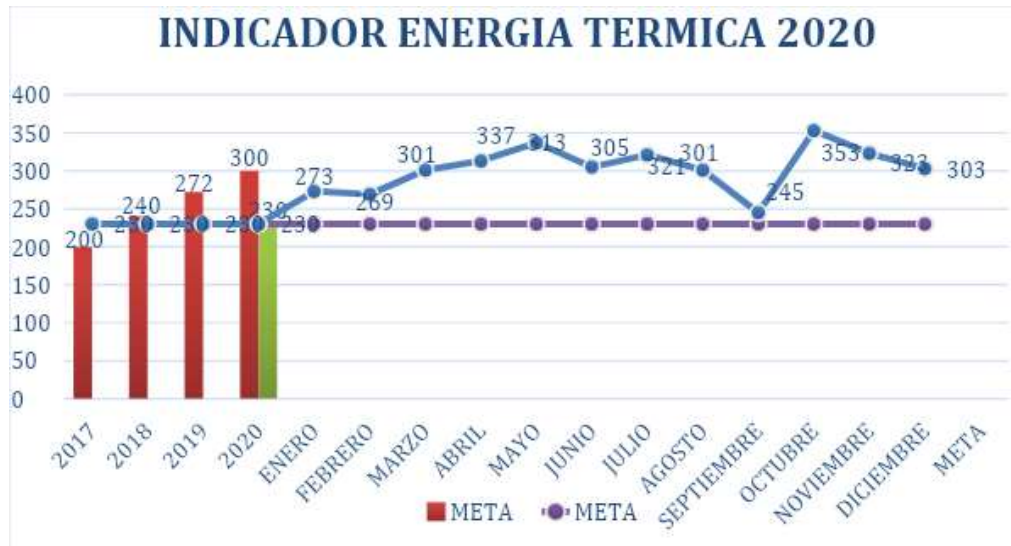


Figura 9. Indicador energía térmica  
Fuente: Excel indicadores energía planta Coca Cola Medellín

En esta grafica podemos apreciar el comportamiento y mejora de la energía térmica utilizada en planta a partir del año 2017, y también podemos hacer un seguimiento mes a mes del consumo de energía térmica del presente año para evaluar mejoras.

En este proceso se encontró una oportunidad de mejora en el proceso de sanitización de los PC's la cual ayudaba de manera significativa el ahorro de energía térmica que se buscaba, evidenciándose lo siguiente:

Cuando los saneamientos se realizan de manera interrumpida, es decir se inicia una parte un día hasta alcanzar unos valores y se deja de esta manera hasta el siguiente día, donde se trata de continuar el proceso, pero al hacer esto hay una pérdida de flujo de vapor significativa ya que debe compensar nuevamente las condiciones que se tenían en el inicio.

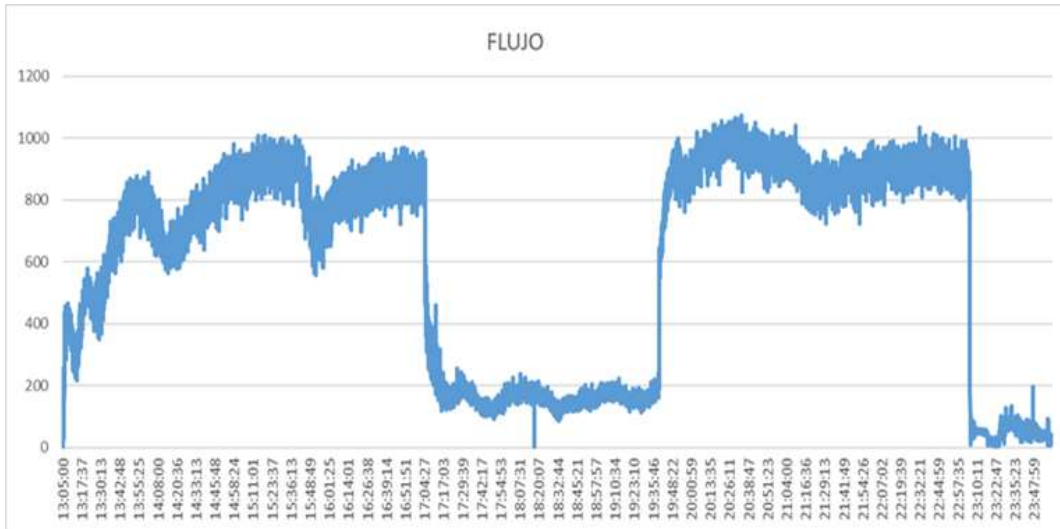


Figura 10. Flujo de vapor  
Fuente: Excel proyecto OE planta Medellín

Con esta medición se logró definir las herramientas que se necesitaban para hacer medición de datos, el método de muestreo en los suministros de vapor, con esto se implementó una pantalla para visualizar las condiciones de los PC's

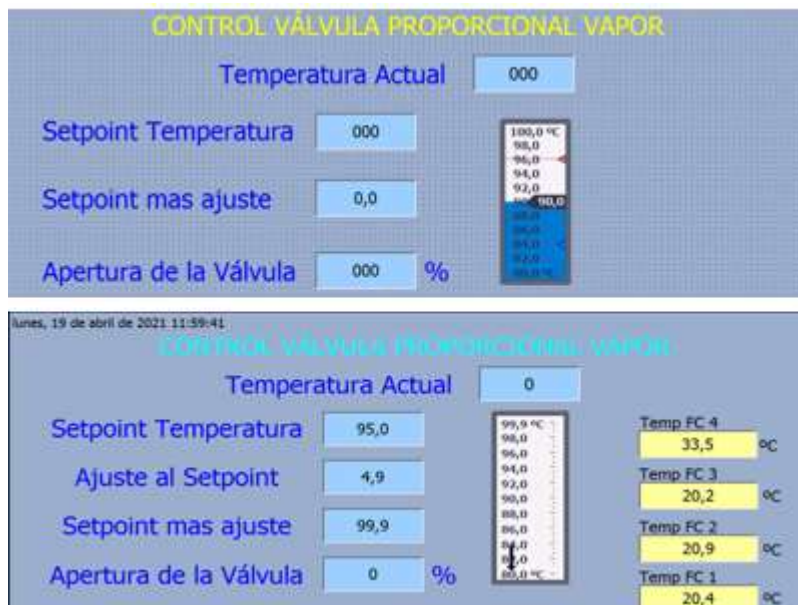
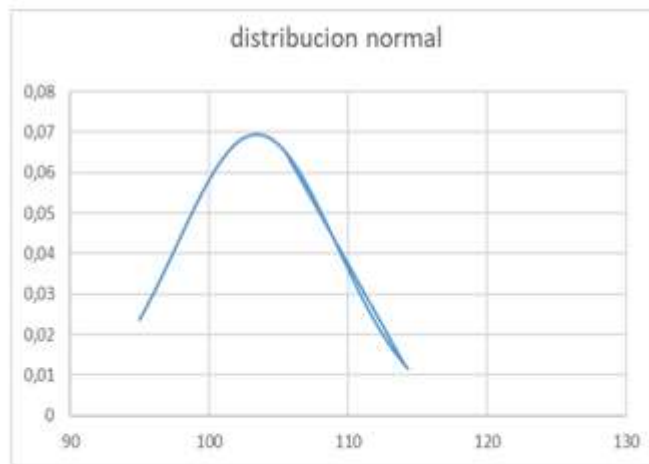


Figura 11. Pantalla control válvula proporcional  
Fuente: imagen de pantalla plc control de válvula

Posteriormente se realizó una exploración de datos, teniendo en cuenta la implementación del PLC se pudo recolectar la información del primer saneamiento y realizar una exploración de datos con respecto a los datos adquiridos.

Para visualizar mejor la manera en la que se estaba desviando las proporciones de vapor, se realizaron gráficas comparativas.

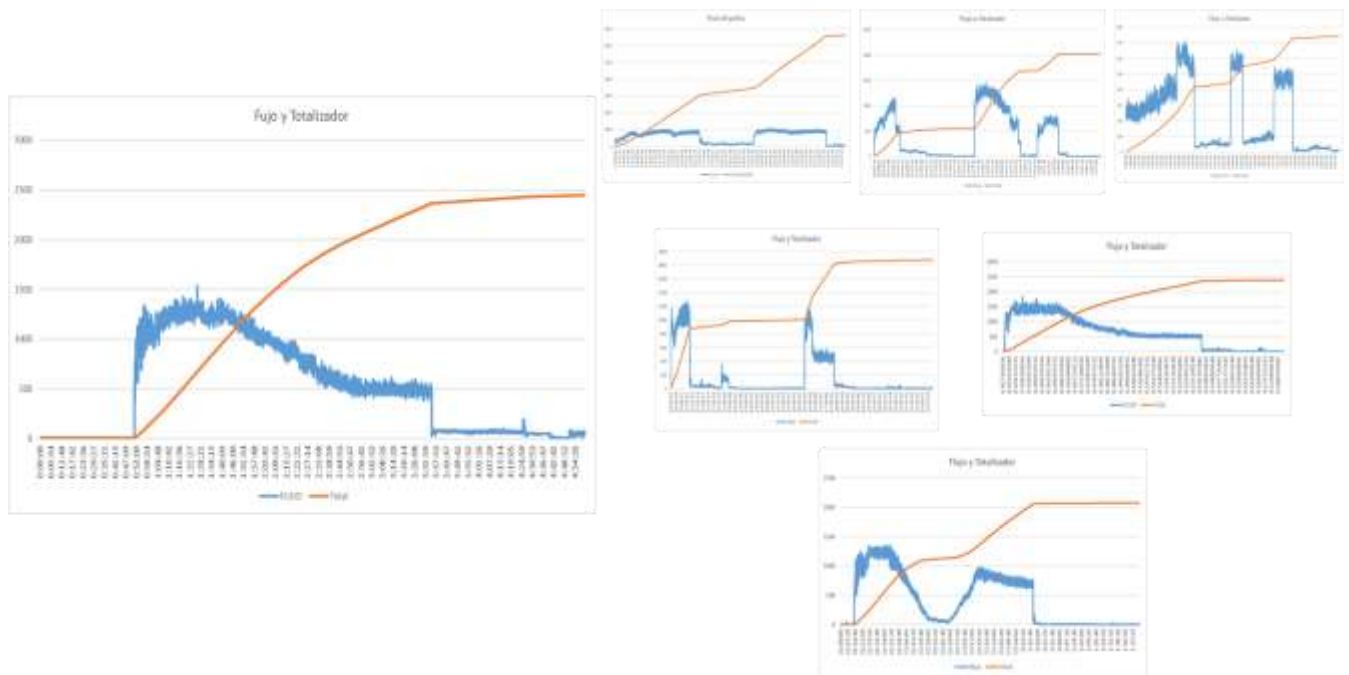


promedio	100.57
desviación estándar	3.82

*Figura 12.* Distribución vapor

Fuente: Excel información comportamiento vapor planta Medellín

Muestra donde se evidencia el comportamiento de los saneamientos y la desviación que tienen con respecto al promedio, donde puede variar la desviación hasta en un 10%.



**Figura 13:** Comportamiento saneamientos  
 Fuente: Excel información comportamiento vapor planta Medellín

Muestras donde se evidencia una mala práctica al iniciar saneamientos al menos un día antes donde se interrumpe cuando se alcanza una buena temperatura, esto con el fin de ganar tiempo y garantizar los equipos disponibles al comienzo de la producción después de un fin de semana.

Una vez identificada la perdida más grande que se tenía de energía térmica, se evaluó las posibles soluciones, Para la optimización de esta, se encontró que se podía implementar un PID o lazo cerrado (control de temperatura), un secador de vapor, recuperar el condensado.

Luego de esto se procedió a realizar un diseño del control de lazo cerrado que se necesitó para la implementación de este, en el sistema que se tenía.



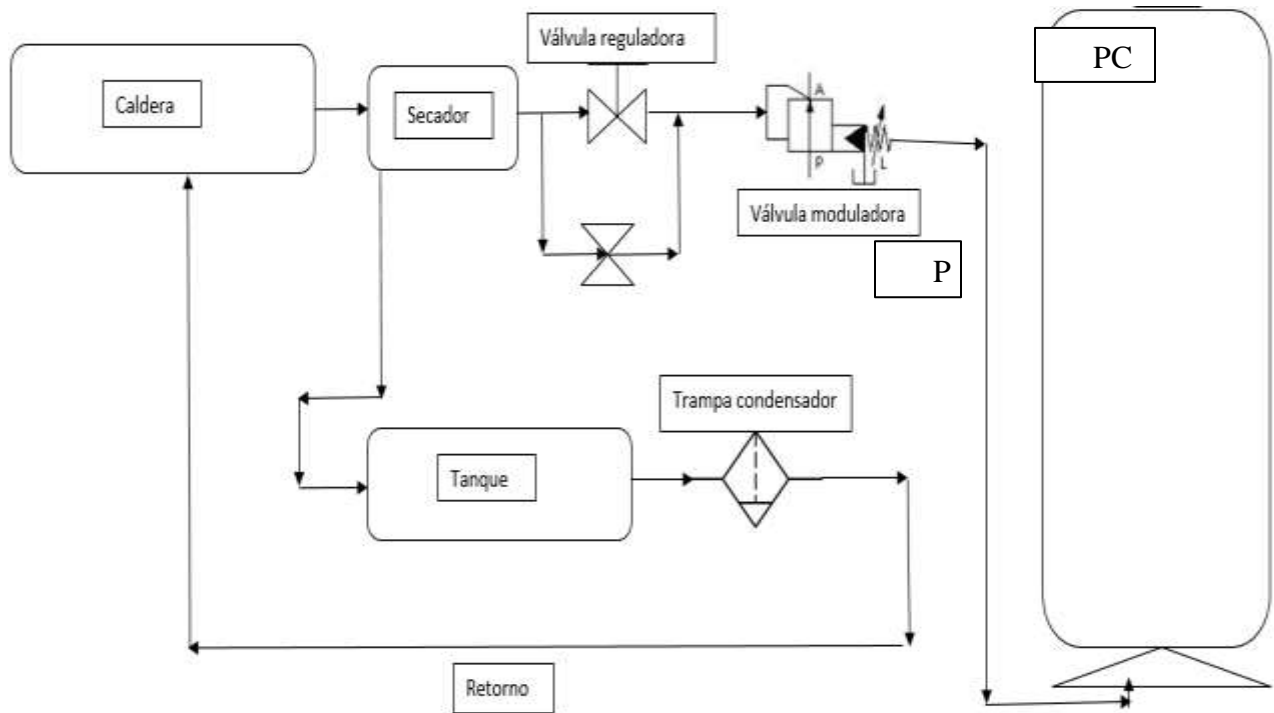


Figura 14. Lazo de control PID

Fuente: Excel proyecto OE planta Medellín

Para realizar el montaje de este control PID se hizo un esquema del montaje en el cual utilizaríamos los siguientes elementos:

- Posicionador para válvula
- Secador de vapor
- Válvulas de corte
- Válvula moduladora
- Placa orificio
- Unidad de mantenimiento de aire

El equipo de Visualización consta de:

- Pantalla HMI
-

Una vez implementado el control PID se realizó la primera prueba piloto para evaluar la efectividad de este, se pudo alcanzar y se superó el objetivo del indicador de energía térmica de planta, se coloca en marcha el piloto de operación del lazo cerrado del sistema a implementado, Se coloca en servicio el sistema de recuperación de condensado de las áreas del CIP y PTAP, se coloca en servicio el sistema de secado de vapor, se diseña pantalla de control y comunicación entre la válvula proporcional y el PLC.



**Figura 15.** Prueba piloto cip  
Fuente: Excel proyecto OE planta Medellín

Con la implementación de esta mejora, se obtuvieron los resultados deseados, ya que se logró evidenciar en las gráficas de la energía térmica de la planta Medellín, además de lograr recuperar en su totalidad el condensado de las áreas CIP y PTAP.



**Figura 16.** Indicador energía térmica  
Fuente: Excel indicadores Coca-Cola planta Medellín

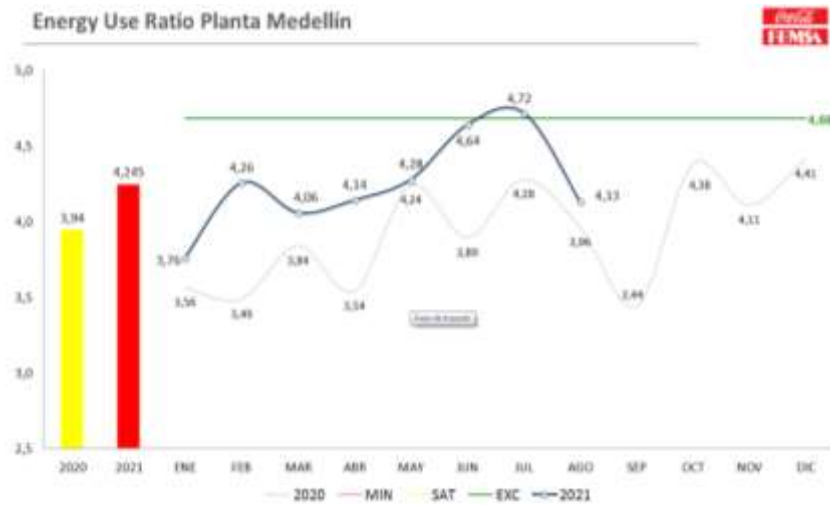


Figura 17. Uso de energía planta Medellín  
Fuente: Excel indicadores coca cola planta Medellín



Figura 18. Control PID  
Fuente: imagen tomada del archivo instalación lazo de control en ptap planta Medellín



Figura 19. Válvula proporcional

Fuente: imagen tomada del archivo instalación lazo de control en pta planta Medellín



Figura 20. Control de válvula plc

Fuente: imagen de pantalla de control de válvula proporcional

## **7 Conclusiones**

Se mejora el rendimiento de energía térmica en los procesos de la planta de aguas, mediante el ahorro y uso eficiente y racional del recurso térmico.

Se alcanza y se supera el objetivo del indicador de energía térmica de planta.

Se coloca en marcha el piloto de operación del lazo cerrado del sistema a implementar.

Se coloca en servicio el sistema de recuperación de condensado de las áreas del CIP y PTAP.

Se coloca en servicio el sistema de secado de vapor.

Reducimos la masa de vapor en un 50% en las vaporizaciones de los purificadores de carbón, partiendo de un consumo inicial de 2500 kg de vapor a un consumo de 1250 kg de vapor.

Retornar el 100% de los condensados de las áreas auxiliares (CIP y PTAP)

## **8 Recomendaciones**

Considerando la importancia de esta investigación en cuanto ahorro de energía térmica, y en función de los resultados se formulan algunas sugerencias tanto al personal operativo del área de las plantas tener a la mano los repuestos de este sistema, realizar back up de la programación del PLC.

Realizar monitoreo constante en puntos donde se encuentren las trampas de vapor, condensado y puntos estratégicos de manejo de la energía térmica.

Revisar graficas obtenidas y cargadas en pantalla HMI como resultado de las variaciones que pueda haber en la curva de consumo de vapor para controlar las desviaciones.

## 9 Referencias Bibliográficas

- Barrera Puigdollers, C. (s.f.). *Aspectos básicos relacionados con*. valencia.
- C, G. (22 de septiembre de 2022). *Teoría PID explicada*. Obtenido de Engineer ambitiously:  
<https://www.ni.com/es-co/innovations/white-papers/06/pid-theory-explained.html>
- *Conceptos básicos del vapor*. (s.f.). Obtenido de socal:  
<https://socal.es/conceptos-basicos-del->
- *¿Qué es la energía térmica?* (s.f.). Obtenido de khan academy:  
<https://es.khanacademy.org/science/physics/work-and-energy/work-and-energy->
- *RISOUL*. (05 de 02 de 2021). Obtenido de  
<https://www.risoul.com.mx/blog/que-es-el-factor-de-potencia-y-en-que-me-beneficia>
- *Tecvolucion*. (15 de 01 de 2018). Obtenido de Tecvolucion:  
<https://www.tecvolucion.net/wp/>

## 10 Anexos

### Anexo A. Manual de control lazo cerrado



#### Actividades de mantenimiento para el sistema:

Con las siguientes actividades se busca reparar, preservar, mantener, mejorar y proyectar cada uno de los elementos de este sistema.

#### Secador:

- Revisar la trampa de condensado del secador (**Mensual**)
- Revisar filtro del secador (**Semestral**)

#### ESPECIFICACIONES DE LA PANTALLA:

**Temperatura actual:** es donde se ve la temperatura de vaporización solo durante la etapa de saneamiento.

**Ajuste al Setpoint:** es donde se coloca un valor a sumar para el control del pid, para que siempre la temperatura este por encima de 95°C.

**Setpoint mas ajuste:** se visualiza la suma de las 2 variables y va al control del pid.

**Apertura de la válvula:** muestra el porcentaje de apertura de la válvula, usado para temas de verificación y calibración del equipo.

**Temperatura de los FC:** la temperatura de los filtros todo el tiempo y no solo en saneamiento.

#### Válvula moduladora (lazo de control):

- Mantenimiento a válvula moduladora de acuerdo a recomendación del fabricante (**Anual**)
- Cambio de mangueras y losos en la válvula moduladora (**Anual**)

#### Plan mantenimiento válvula moduladora de vapor: (**Anual**)

- sistema spray ball revisar
- bloquee el equipo, baje los conjuntos spray ball
- examine los asientos, resortes, vástago y empaques y reemplace los elementos deteriorados.
- monte nuevamente los elementos, verifique su normal funcionamiento.

En caso de encontrar alguna otra anomalía informe a mantenimiento a través de un aviso de mantenimiento.

#### Purificadores de carbón:

- Calibración de sensores temperatura (**Anual**)



## Anexo B. Excel análisis de Causas

M	IDEA	VALIDACION	IMPACTO (B-M-A)	ACCION	FECHA DE CUMPLIMIENTO	RESPONSABLE	ESTADO	SOPORTE
MANO DE OBRA	FALTA CAPACITACION ANALISTAS EN CUANTO A NORMA KOF REFERENTE A VAPORIZACIONES DE PC's	SI	A	SOCIALIZACION	31/05/2021	ACERTUCHE	PENDIENTE	
	DIFERENCIAS ENTRE ANALISTAS EN EL PROCESO DE VAPORIZACION MANUAL	SI	A	SOCIALIZACION	31/05/2021	ACERTUCHE	PENDIENTE	
MATERIAL	USO DE ACPM EN CALDERAS EN LUGAR DE GAS NATURAL EN LOS PROCESOS DE VAPORIZACION	NO					CERRADO	
MAQUINA	FALTA SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO PARA EL CALENTAMIENTO	SI	A	IMPLEMENTAR LAZO DE CONTROL CERRADO EN VAPORIZACIONES	20/06/2021	GRUPO ENERGIA		
	VAPOR CON ALTA HUMEDAD	SI	A	INSTALAR SECADOR DE VAPOR	20/06/2021	GRUPO ENERGIA		
	FALTA DE AISLAMIENTO EN TUBERIAS EN UNIDAD DE REGULACIÓN DE VAPOR PTAP	SI	M	INSTALAR RECUBRIMIENTOS EN TUBERIAS DE VAPOR	20/06/2021	GRUPO ENERGIA		
	ALTO CONTENIDO DE AIRE EN TRANSPORTE DE VAPOR HACIA PTAP	SI	B	INSTALACIÓN DESAIREADOR EN CABEZA DE PROCESO	20/06/2021	GRUPO ENERGIA		
	AUSENCIA DE SISTEMA DE RECUPERACIÓN EN PTAP	SI	A	INSTALACIÓN SISTEMA DE RECUPERACIÓN CONDENSADOS PTAP	20/06/2021	GRUPO ENERGIA		
	PRACTICA DE PARTICIÓN DE LA PRIMERA VAPORIZACIÓN DEL	SI	A	ELIMINAR PRÁCTICA EN ACUERDO CON CALIDAD,		GUSTAVO GOMÉZ		