



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

**DIRECCIÓN DE POSGRADOS**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN  
OPCIÓN AL GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER EN  
GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**TÍTULO:**

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UN SISTEMA DE  
ENTRENAMIENTO DE TEMPERATURA PARA DISMINUIR SU CONSUMO  
ELÉCTRICO EN EL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL  
DEL ITSA. PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CONTROL.**

Autor: Ing. Pilatasig Panchi Pablo Xavier

Tutor: Ing. PhD. Marrero Ramírez Secundino

LATACUNGA – ECUADOR

Octubre - 2016



**AVAL DEL TRIBUNAL DE GRADO**

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe del Proyecto de Investigación y Desarrollo de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el posgraduado: Pilatasig Panchi Pablo Xavier, con el título del trabajo de investigación y desarrollo titulado: **“Evaluación de la Eficiencia Energética de un Sistema de Entrenamiento de Temperatura para Disminuir su Consumo Eléctrico en el Laboratorio de Instrumentación Virtual del Itsa. Propuesta de un Sistema de Control”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga 10 de octubre, 2016.

Para constancia firman:

.....  
MSc. Edwin Homero Moreano Martínez  
Dominguez  
0502607500  
PRESIDENTE

.....  
PhD. Juan José La Calle  
1756604227  
MIEMBRO

.....  
MSc. José Efrén Barbosa Galarza  
0501420723  
MIEMBRO

.....  
PhD. Héctor Luis Laurencio  
I712813  
OPONENTE

## **AVAL DEL DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En mi calidad de Director del Proyecto de Investigación y Desarrollo presentado por el Ing. Pilatasig Panchi Pablo Xavier. Egresado de la Maestría en Gestión de Energías, previa a la obtención del mencionado grado académico, cuyo título es. **“Evaluación de la Eficiencia Energética de un Sistema de Entrenamiento de Temperatura para Disminuir su Consumo Eléctrico en el Laboratorio de Instrumentación Virtual del Itsa. Propuesta de un Sistema de Control”**.

Considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos necesarios suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador.

Latacunga, Octubre del 2016

Atentamente,

PhD. Secundino Marreno Ramírez

**DIRECTOR DE TESIS**

## **RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE LA TESIS**

### **DECLARO QUE:**

El proyecto de investigación y desarrollo; “Evaluación de la Eficiencia Energética de un Sistema de Entrenamiento de Temperatura para Disminuir su Consumo Eléctrico en el Laboratorio de Instrumentación Virtual del Itsa. Propuesta de un Sistema de Control”. Ha sido desarrollado con base a una investigación, exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de página, en las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente, este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración me responsabilizo, del contenido, veracidad, y alcance científico de proyecto de grado, en mención

Latacunga, Octubre del 2016

Pablo Xavier Pilatasig Panchi  
0502307564

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por permitirme llegar hasta estas instancia de la vida, a los directivos de la Universidad Técnica de Cotopaxi que lograron la aceptación por parte del órgano regulador de la Educación de Superior del Ecuador del Programa de Maestría en Gestión de Energías, el mismo que dio la oportunidad para que profesionales de tercer nivel puedan obtener un grado académico superior y de manera especial a mi tutor el Dr. Secundino Marrero, ya que gracias a su amplio conocimiento y vocación de enseñanza, me ayudó en la ejecución del presente proyecto de investigación.

## **DEDICATORIA**

A Dios por convertirse en mi guía espiritual, por darme fuerza en los momentos que como ser humano tuve dificultades y estuve a punto de abandonar mi objetivo. A mi esposa Isolina, a mi hija Dayeli y a mi Hijo Pablo Alexis, por ayudarme con su paciencia y palabras de ánimo. A todos los familiares y amigos que me colaboraron con su experiencia y guía para seguir adelante y culminar con mi logro profesional como es graduarme de Magister en Gestión de Energías.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

AVAL DEL DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	2
RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE LA TESIS .....	3
AGRADECIMIENTO.....	4
DEDICATORIA .....	5
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE TABLAS .....	11
RESUMEN.....	12
ABSTRACT.....	13
INTRODUCCIÓN .....	14
CAPÍTULO 1 .....	17
MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO .....	17
1.1    Antecedentes de la Investigación.....	17
1.2    Fundamento Teórico .....	20
1.2.1    Ahorro Energético.....	20
1.2.2    Eficiencia Energética .....	20
1.2.3    Sistema de Entrenamiento de Temperatura.....	22
1.3    Sistemas de Control.....	23
1.4    Modelado Matemático .....	24
1.4.1    Formas de Representación del modelo matemático.....	24
1.4.2    Representación de un Modelo Matemático con la Función de Transferencia.....	25
1.5    Respuestas de Sistemas.....	26
1.5.1    Entrada en Escalón.....	26
1.5.2    Respuesta de Sistemas de Primer Orden.....	27
1.6    Acción de Control .....	29
1.6.1    Tipos de Acción de Control .....	29
1.6.2    Acción de Control ON-OFF.....	30
1.6.3    Acción de Control PID.....	31
1.7    Control Difuso.....	32
1.7.1    Fuzzy Logic.....	32
1.7.2    Controladores Fuzzy .....	32
1.7.3    Fuzzification.....	33
1.7.4    Evaluación de Reglas .....	34
1.7.5    Defusificación .....	35
1.8    Sistemas Neurodifusos aplicado al control automático .....	36

1.8.1	Definición.....	36
1.9	Control Predictivo .....	37
1.10	Sistema de Entrenamiento PCT 3 y su relación con los Sistemas para Fundir Chocolate.....	38
1.10.1	Método de Fundición de Chocolate en Microempresas.....	39
CAPÍTULO 2.....		41
METODOLOGÍA .....		41
2.1	Diseño de la Investigación .....	41
2.1.1	Modalidad de la Investigación .....	41
2.1.2	Tipos de Investigación .....	41
2.2	Procedimientos de la Investigación.....	42
2.3	Operacionalización de la Variables.....	43
2.4	Funcionamiento del Proceso .....	43
2.5	Obtención de las Curvas de Respuesta del Sistema a Lazo Abierto .....	44
2.6	Obtención del Modelo Matemático y Simulaciones .....	45
2.7	Evaluación Energética del Sistema de Entrenamiento.....	45
2.7.1	Evaluación de los Componentes del Sistema de Entrenamiento .....	45
2.7.2	Evaluación de las acciones de control.....	46
CAPÍTULO 3.....		49
ANÁLISIS DE RESULTADOS .....		49
3.1	Análisis mediante el diagrama de Pareto .....	49
3.2	Modificación del sistema de entrenamiento de temperatura.....	50
3.3	Análisis de las curvas de respuesta de lazo abierto.....	51
3.3.1	Control de fase digital .....	51
3.3.2	Adquisición de datos en LabView .....	52
3.3.3	Resultado de las mediciones de los dispositivos del modulo.....	54
3.4	Modelo matemático y simulaciones.....	55
3.4.1	Modelo matemático.....	55
3.4.2	Simulación del proceso de temperatura .....	61
3.4.3	Sintonía de los controladores P, PI y PID .....	62
3.5	Tipos de Controles Implementados.....	66
3.5.1	Control ON/OFF con la Consola de Control .....	66
3.5.2	Control Proporcional.....	67
3.5.3	Control PI.....	68
3.5.4	Control PID .....	68
3.6	Análisis del consumo de energía de los controladores.....	69
3.7	Análisis del consumo de energía de una máquina real .....	69

CAPÍTULO 4 .....	72
PROPUESTA .....	72
4.1    Título de la Propuesta.....	72
4.2    Objetivo de la Propuesta .....	72
4.3    Justificación de la Propuesta .....	72
4.4    Estructura de la Propuesta.....	73
4.5    Desarrollo de la Propuesta .....	77
4.5.1    Recurso Material .....	77
4.5.2    Recurso Humano .....	78
4.6    Evaluación Socio Económica y Ambiental de la Propuesta .....	78
4.6.1    Social.....	78
4.6.2    Económica.....	78
4.6.3    Ambiental.....	82
CONCLUSIONES .....	84
RECOMENDACIONES .....	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	87
ANEXOS.....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Clasificación de Electrodomésticos de acuerdo al consumo. ....	21
<b>Figura 1.2.</b> Sistema de Físico PCT 3/2. ....	22
<b>Figura 1.3.</b> Control de temperatura en un sistema de circulación de agua. ....	23
<b>Figura 1.4.</b> Gráfica de la función escalón. ....	27
<b>Figura 1.5.</b> Respuesta de un sistema de Primer Orden ante un Escalón. ....	28
<b>Figura 1.6.</b> Respuesta del Control ON-OFF. ....	30
<b>Figura 1.7.</b> Brecha diferencial de un control ON-OFF. ....	31
<b>Figura 1.8.</b> Membership function para la fuzzy input baja. ....	34
<b>Figura 1.9.</b> Membership function para la fuzzy input muy_baja. ....	34
<b>Figura 1.10.</b> Desfusificación. ....	35
<b>Figura 1.11.</b> Esquema de fundidora de chocolate mediante resistencia eléctrica. ....	40
<b>Figura 2.1.</b> Conexión de fase dividida. ....	46
<b>Figura 3.1.</b> Diagrama de Pareto para los sistemas de entrenamiento. ....	49
<b>Figura 3.2.</b> División de caudal de entrada al tanque principal. ....	50
<b>Figura 3.3.</b> Modificación de la salida de agua del tanque principal. ....	51
<b>Figura 3.4.</b> Control de fase digital. ....	51
<b>Figura 3.5.</b> Selección del canal analógico de entrada. ....	52
<b>Figura 3.6.</b> Selección de parámetros para adquisición de datos. ....	53
<b>Figura 3.7.</b> Selección del canal analógico de salida. ....	53
<b>Figura 3.8.</b> Diagrama de bloques del programa en LabView. ....	54
<b>Figura 3.9.</b> Respuesta de un sistema de primer orden. ....	56
<b>Figura 3.10.</b> Prueba de lazo abierto 1. ....	57
<b>Figura 3.11.</b> Prueba de lazo abierto 2. ....	58
<b>Figura 3.12.</b> Prueba de lazo abierto 3. ....	58
<b>Figura 3.13.</b> Bloques de simulink con $\tau=448$ . ....	60
<b>Figura 3.14.</b> Respuesta del sistema con $\tau=448$ . ....	60
<b>Figura 3.15.</b> Bloques de simulink con $\tau=354$ . ....	61
<b>Figura 3.16.</b> Respuesta del sistema con $\tau=354$ . ....	61
<b>Figura 3.17.</b> Representación del proceso de temperatura en simulink. ....	62
<b>Figura 3.18.</b> Tendencia del proceso utilizando el control proporcional. ....	62
<b>Figura 3.19.</b> Tiempo de asentamiento y sobre impulso del control proporcional. ....	63
<b>Figura 3.20.</b> Tendencia del proceso utilizando el control PI. ....	64

<b>Figura 3.21.</b> Tiempo de asentamiento y sobre impulso del control PI.....	64
<b>Figura 3.22.</b> Tendencia del proceso utilizando el control PID.....	65
<b>Figura 3.23.</b> Tiempo de asentamiento y sobre impulso del control PID.....	66
<b>Figura 3.24.</b> Conexión del control ON/OFF con histéresis. ....	67
<b>Figura 3.25.</b> Máquina Industrial Fundidora de Chocolate. ....	70
<b>Figura 4.1.</b> Esquema del dimmer electrónico de la propuesta. ....	75
<b>Figura 4.2.</b> Diagrama de Bloques de la propuesta. ....	76
<b>Figura 4.3.</b> Diagrama esquemático de la propuesta. ....	77

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1</b> Diferencias entre teorías de control.....	25
<b>Tabla 1.2.</b> Resumen de Acciones de Control .....	31
<b>Tabla 2.1. Variable Independiente:</b> Monitoreo y Control Procesos Industriales ...	43
<b>Tabla 2.2. Variable dependiente:</b> Disminución Consumo de Energía Eléctrica ....	43
<b>Tabla 3.1.</b> Consumo mensual de sistemas de entrenamiento .....	49
<b>Tabla 3.2.</b> Valor de potencia de cada componente del módulo original .....	54
<b>Tabla 3.3.</b> Valor de potencia de cada componente del módulo propuesto .....	55
<b>Tabla 3.4.</b> Valores de las constantes de los controladores .....	62
<b>Tabla 3.5.</b> Análisis de las respuestas de los tipos de control.....	66
<b>Tabla 4.1.</b> Costos de implementación .....	77
<b>Tabla 4.2.</b> Costo del talento humano.....	78
<b>Tabla 4.3.</b> Valores de inversión inicial.....	79
<b>Tabla 4.4.</b> Factor de emisión de contaminantes .....	83

# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

## **DIRECCIÓN DE POSGRADOS**

### **MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

TÍTULO: “Evaluación de la Eficiencia Energética de un Sistema de Entrenamiento de Temperatura para Disminuir su Consumo Eléctrico en el Laboratorio de Instrumentación Virtual del Itsa. Propuesta de un Sistema de Control”.

**Autor: Ing. Pablo Xavier Pilatasig Panchi**

**Tutor: PhD. Secundino Marreno Ramírez**

#### **RESUMEN**

En este trabajo, se realiza la evaluación energética de los componentes del Sistema de Entrenamiento de Temperatura así como la investigación de las características de los dispositivos alternativos a ser implementados en miras de disminuir el consumo eléctrico, se desarrollaron las pruebas de funcionamiento y mediciones de los consumos eléctricos para los dispositivos que fueron implementados en el sistema. Se encontró el modelo matemático del sistema de entrenamiento para evaluarlo en tiempo real y simulado y obtener una relación en cuanto al funcionamiento y a los valores de las constantes utilizadas para la sintonía de los diferentes controladores. En el sistema de entrenamiento se realizó el control automático del proceso utilizando los controladores On/Off, proporcional, proporcional integral y proporcional integral derivativo, analizando la respuesta de cada uno de ellos. El reemplazo de los dispositivos en la parte de control de la niquelina por un dimmer electrónico, la eliminación de la electroválvula y el ventilador, así como la aplicación de un control PID genera un ahorro de energía eléctrica al año de 595,2 kW·h comparado con el sistema original. Finalmente se realizó un análisis de la implementación del control PID en una máquina fundidora industrial de chocolate donde se obtuvo como resultado calculado la reducción del consumo de energía eléctrica en 5676 kW·h al año.

**DESCRIPTORES:** Eficiencia energética, controladores, evaluación energética, estación de temperatura, microcontrolador.

# TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

## POSGRADUATE DIRECTION

### ENERGY MANAGEMENT MASTER'S DEGREE

**Topic:** “Energy efficiency assessment of a temperature training system to decrease its electricity energy in the virtual instrumentation laboratory at ITSA. Control System Proposal”.

**Author:** Ing. Pablo Pilatasig Panchi

**Tutor:** PhD. Secundino Marreno Ramirez

#### ABSTRACT

In this job, the energetic evaluation of the components of the temperature training is realized as well as the research of the alternative devices characteristics to be implemented in order to decrease the electricity consumption. The functionality test and measurement of the electricity consume were developed for the devices that were implemented in the system. The mathematical model of the training system was found to evaluate in real and simulated time and obtain a relation with regard to the functioning and the constant values used to tuning of the different controllers. In the training system the automatic process control was done using the On/Off controllers, proportional, integral proportional and derivate integral proportional analyzing the response of each of them. The replace of the devices in the part of the control of the niquelina by an electronic dimmer, the elimination of the electro valve and the fan, as well as PID control generates an electricity energy saving, 595,2 kW·h per year comparing with the original system.

Finally, a PID control implementation analysis was made in a chocolate smelter manufacturing machine where the result was 5676 kW·h per year of electricity energy saving.

**Descriptors:** Energy efficiency, controllers, energy assessment, temperature station, microcontroller.

## INTRODUCCIÓN

### **Planteamiento del problema**

Se ha determinado que en los últimos años el consumo de energía eléctrica ha aumentado a un ritmo superior al crecimiento económico, esto debido a que las empresas tienen trabajando al 100% sus máquinas pagando energía eléctrica que no ha sido aprovechada adecuadamente por estar su maquinaria sobredimensionada de acuerdo al trabajo que realiza.

En el laboratorio de Instrumentación Virtual del ITSA existe un sistema de entrenamiento que fue creado en 1984, al pasar del tiempo el rendimiento de los dispositivos que lo conforman ha disminuido, además de existir controladores de tecnología antigua, lo que provoca un consumo considerable de energía en el momento de su uso.

Los sistemas de entrenamiento son instalaciones didácticas, cuyo objetivo es que los estudiantes desarrollen prácticas correspondientes a las áreas de instrumentación industrial y control de procesos industriales.

La investigación se realizará específicamente en el Laboratorio de Instrumentación Virtual del ITSA, localizado en la ciudad de Latacunga, por las facilidades para realizar la investigación, lo que no sucede con las empresas de producción.

El presente trabajo investigativo se lo realizará en el año 2013, en el sistema de entrenamiento de temperatura, para determinar las causas existentes en cuanto a la eficiencia energética, en caso de existir inconvenientes se buscará alternativas para mejorar el inconveniente, se analizarán las mismas y se propondrá una solución.

### **Formulación del problema**

Elevado consumo de energía eléctrica del sistema de entrenamiento de temperatura del Laboratorio de Instrumentación Virtual.

## **Justificación y significación**

En la actualidad a nivel mundial se han lanzado políticas de ahorro de energía, una de ellas es el compromiso de reducir las emisiones de carbono, este se logrará reduciendo el consumo de energía en las industrias, específicamente se debe analizar el funcionamiento de los motores y calentadores ya que estos representan más del 60% del consumo de electricidad.

Al realizar la investigación se pretenden buscar alternativas de control para el elemento calefactor, comprobando el consumo del sistema global; es decir, la consola de control PCT 3/1 y la parte física PCT 3/2, con algún control que permita reducir un porcentaje el consumo de energía. Esto permitirá realizar experimentos en el laboratorio para ver la posibilidad de aplicar en un sistema semejante de tipo industrial.

Además por ser el ITSA una Institución Educativa de Nivel Superior, la presente investigación se puede catalogar como Investigativa Docente, la cual está enfocada al ahorro energético y al empleo de tecnología actual.

## **Hipótesis**

Si se incorpora el control PID en el sistema de entrenamiento de temperatura entonces disminuirá el consumo de energía eléctrica del sistema.

## **Objetivos**

### **General**

- Evaluar la eficiencia energética del sistema de entrenamiento de temperatura PCT 3 del laboratorio de Instrumentación Virtual del ITSA para mejorar el control y reducir el consumo energético del mismo.

### **Específicos**

- Analizar el estado del arte de los sistemas de monitoreo y control del sistema de entrenamiento de temperatura PCT 3.
- Determinar los índices de consumo del sistema de entrenamiento.
- Realizar una modelación matemática para verificar el comportamiento de los diferentes controladores.
- Diseñar un sistema de control eficiente para el sistema de entrenamiento de temperatura PCT 3 y evaluar su factibilidad.

## **Enfoque de la investigación.**

El presente trabajo está enfocado a la investigación de campo y documental, debido a que se trabajará directamente en el sistema de entrenamiento de temperatura PCT 3 del Laboratorio de Instrumentación Virtual del ITSA. Además se revisará información en documentos donde se pueda obtener información sobre el proceso.

## **Breve Descripción**

El presente proyecto de investigación y desarrollo tiene como propósito evaluar el sistema de entrenamiento de temperatura para determinar los mayores consumidores energéticos del mismo en miras de disminuir el consumo eléctrico, así como también evaluar los diferentes tipos de controles y determinar los más eficientes tanto en consumo eléctrico como en control del proceso, además investigar los dispositivos existentes en el país que sean integrables a dicha estación con mayores prestaciones y menor consumo energético.

Para la estructura del proyecto de investigación y desarrollo, los capítulos se encuentran distribuidos de la siguiente manera:

En el capítulo 1 está desarrollado el estado del arte investigando diferentes fuentes bibliográficas relacionadas con el problema en mira de encontrar una solución, así como también se documentan los componentes del sistema de entrenamiento.

El capítulo 2 corresponde a la metodología, técnicas y procedimientos relacionados con la investigación aquí se mencionan la operacionalización de las variables, así como se explican las mediciones a realizar con el fin de conocer que equipos son los que consumen mayor energía.

En el capítulo 3 se realizan las comparaciones entre las mediciones realizadas tanto con los dispositivos actuales y con los equipos alternativos, así como también se realiza la comparación de los diferentes modos de control para determinar el control más eficiente en el proceso temperatura. Además se cuantifica el ahorro de energía anual con la implementación de la nueva tecnología.

El capítulo 4 presenta la propuesta de solución del problema planteado, así como se determina la factibilidad técnico-económica de la propuesta.

Finalmente se formulan las conclusiones y recomendaciones pertinentes basadas en los resultados de la investigación.

# CAPÍTULO 1

## MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO

### 1.1 Antecedentes de la Investigación

De las investigaciones realizadas en el Laboratorio de Instrumentación Virtual no se ha encontrado ninguna investigación que tenga relación directa con el tema de investigación.

1. Artículo técnico con el tema Sistema de ahorro energético utilizando sistemas multi-agente y sistemas borrosos, elaborado por (Villar & De la Cal, 2007). Aquí se propone una solución distribuida basada en un sistema multiagente y una unidad de control central encargada de la minimización del consumo de energía en una vivienda.

La arquitectura del sistema multi-agente utiliza la tecnología Zigbee la misma que permite realizar una red de comunicación inalámbrica, debido a que los nodos de la red son microcontroladores los mismos que controlan a los radiadores, a través de órdenes enviadas por la unidad de control central.

Los autores concluyen que es posible ahorrar el consumo de energía eléctrica, distribuyendo adecuadamente el consumo entre los radiadores para de esta manera no sobrepasar la potencia contratada, todo esto sin disminuir el confort en el hogar (Villar & De la Cal, 2007).

2. Diseño de un sistema de control de temperatura, autores C. Betancor, J. Cerezo y A. Vega, Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática, Instituto Universitario de Microelectrónica Aplicada, Universidad de las Palmas de G.C

Este artículo expone la manera de desarrollar una práctica explicativa de cómo sacar el modelo matemático de una planta para probar con el o los controladores y aplicarlos de forma física.

Emplean el toolbox Real-Time Windows Target de Matlab, para realizar las comprobaciones en tiempo real. Para el diseño de los controladores utilizan las reglas de Ziegler-Nichols, reglas de Cohen-Coon y técnica del lugar de las raíces.

Para la identificación de la Planta existen dos métodos básicos: identificación analítica (modelado) e identificación experimental (identificación clásica). Para el modelado se requiere un conocimiento muy especializado sobre la tecnología del proceso, mientras que para la identificación clásica (que es el método más directo) se requiere aplicar al proceso señales especiales como escalones, rampas, impulsos, sinusoides o señales pseudoaleatorias.

Con lo expuesto para el desarrollo de la práctica se emplea la identificación clásica con la señal escalón para un modelo de primer orden (Betancor, Cerezo, & Vega, 2008)

**3. Análisis de eficiencia energética utilizando control *on-off* y Proporcional Integral Derivativo (PID) en una resistencia calefactora, autores F. Cubides, J. Martínez, L. Noguera, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.**

El presente artículo contiene los resultados obtenidos en la ejecución de las actividades propuestas para dar cumplimiento al análisis de eficiencia energética de una resistencia calefactora de uso en extrusoras de plástico reciclado. Este análisis tiene como objetivo observar el comportamiento de la resistencia calefactora en tres casos: en primer lugar, al ser energizada en corriente alterna y corriente continua; en segundo lugar, al disponer de un sistema de control *on-off* y Proporcional Integral Derivativo (PID), y por último al incorporarle un aislante térmico.

Al someter la resistencia calefactora a un sistema de control *on-off* y Proporcional Integral Derivativo (PID), se comprobó que el control Proporcional Integral Derivativo (PID) presenta mejores resultados en cuanto al consumo de energía eléctrica en un 22,03 %, reduce la amplitud de las oscilaciones en un 60 % y mantiene confiable el sistema, características que representan beneficios en la industria de los plásticos debido a los constantes daños en la materia prima por variaciones en la temperatura. (Noguera, Cubides, & Martínez, 2013).

**4. Desarrollo de un modelo matemático para la optimización energética en sistemas de calefacción de piscinas, autores C. Isaza, S. Rico, Revista CINTEX, Vol. 18, pp. 75-90. 2013**

En este trabajo de investigación los autores elaboran un modelo matemático que cubija

todos los flujos de energía que interactúan con una piscina climatizada de características geométricas establecidas, donde dichas interacciones son representadas por relaciones matemáticas que fueron encontradas mediante una búsqueda bibliográfica exhaustiva con la consiguiente conjugación de los modelos matemáticos en un balance de energía de la piscina, obteniendo así una serie de curvas que revelan la evolución de la temperatura del agua de la piscina a lo largo de un tiempo definido en función del diseño elaborado con base en el balance de energía.

Se elaboró una herramienta informática con el fin de obtener la evolución de la temperatura de la piscina en el tiempo, frente a un grupo de sistemas de calentamiento. Esto con el fin de obtener los tiempos y costo de operación, partiendo del modelo matemático estructurado, implícito dentro de las líneas de código del programa.

Los tipos de sistemas de que dispone la herramienta internamente son:

- Calentador de resistencia eléctrica
- Calentador a gas
- Bomba de calor aire-agua
- Colector solar de tubos de vacío

Desde el punto de vista económico, particularmente en los costos de inversión y operación, los sistemas, híbrido que consiste en la bomba de calor y el colector solar de tubos al vacío son los más potenciales (Isaza & Rico, 2013).

**5. Control de Temperatura Utilizando Lógica Difusa, autores C. Palacio-Gómez a, J. García-Sucerquia, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.**

La lógica difusa es una herramienta de toma de decisiones. Inicialmente fue concebida como un concepto matemático con única finalidad de involucrar datos numéricos y términos lingüísticos para representar la forma de razonamiento común cualitativo. Esta herramienta se utiliza muy eficientemente para realizar control de variables físicas que se adaptan al conjunto de reglas de dicha lógica, como por ejemplo la temperatura. En este trabajo se presenta el diseño e implementación de un control de temperatura que utiliza lógica difusa como elemento de toma de decisiones. La temperatura es

fijada a un valor preestablecido en el rango de temperaturas de 30 hasta 100 grados centígrados. El corazón del sistema es un microcontrolador PIC 16F877A el cual es conectado a un PC para monitorear y establecer en tiempo real la temperatura del sistema controlado.

A pesar del amplio desarrollo de los sistemas clásicos de control los PID, el uso del control difuso cobra validez en el desarrollo de sistemas de bajo costo económico y/o computacional. Estos sistemas permiten su implementación con el uso de sistemas microcontrolados de 4 u 8 bits, lo que los hace muy compactos y de reducido precio.

En este trabajo únicamente se obtuvo un valor de PWM para el sistema dependiente de la acción específica que se deseaba realizar. No se realizaron experimentos con actuadores que modificaran el ambiente a conveniencia del usuario (Palacio & García , 2011).

## **1.2 Fundamento Teórico**

### **1.2.1 Ahorro Energético**

El ahorro energético conlleva un cambio en los hábitos de consumo; en ocasiones bastaría con eliminar los hábitos que despilfarran energía. Ahorro energético es, por ejemplo, algo tan sencillo como apagar las luces al salir de una habitación (YUBA, 2014).

En este sentido, la luz encendida en una habitación vacía no produce ningún tipo de beneficio y, sin embargo, si está produciendo con su presencia un consumo continuo de energía.

### **1.2.2 Eficiencia Energética**

La eficiencia energética es el hecho de minimizar la cantidad de energía necesaria para satisfacer la demanda sin afectar a su calidad; supone la sustitución de un equipo por otro que, con las mismas prestaciones, consuma menos electricidad (YUBA, 2014).

No supone, por tanto, cambios en los hábitos de consumo, el comportamiento del usuario, en este caso, sigue siendo el mismo, pero se consume menos energía ya que el consumo energético para llevar a cabo el mismo servicio es menor.

Eficiencia energética es, por ejemplo, utilizar una lavadora de “clase energética A”, la que menos consume en la clasificación de electrodomésticos, en lugar de una lavadora de “clase energética G”, la que más consume.



**Figura 1.1.** Clasificación de Electrodomésticos de acuerdo al consumo.

**Fuente:** (YUBA, 2014).

Para reducir al máximo el consumo energético habría que aunar medidas de ahorro y eficiencia energética.

Una acción que combina ambas medidas sería, por ejemplo, utilizar una lavadora de “clase energética A”; a la vez que se usan los programas cortos de lavado, se llena la lavadora (no se hace un lavado con la lavadora medio vacía) y se utiliza agua fría (todas estas medidas permiten ahorrar energía al utilizar las lavadoras). De esta forma conseguiremos un ahorro doble: estamos ahorrando porque con nuestro comportamiento se reduce el consumo y, además, cuando ponemos la lavadora en marcha, ahorramos electricidad al estar usando un equipo más eficiente.

Las fuentes de energía son finitas, y por lo tanto, su correcta utilización se presenta como una necesidad del presente para que podamos disfrutar de ellas en un futuro.

Ser más eficiente no significa renunciar a nuestro grado de bienestar y calidad de vida. Simplemente se trata de adoptar una serie de hábitos responsables, medidas e inversiones a nivel tecnológico y de gestión.

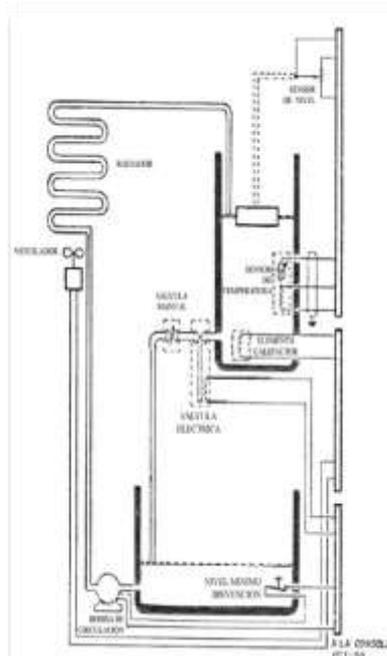
La Eficiencia Energética se logra por medio de la aplicación de una serie de acciones, procedimientos y capacitaciones que logran optimizar la correlación entre la energía consumida y los productos o servicios finales. La implementación de medidas e inversiones de equipos tecnológicos de bajo consumo, de gestión y de hábitos culturales en la comunidad.

Las evaluaciones en eficiencia energética consisten en un examen sistemático de las aplicaciones de bombas y ventiladores más importantes, lo que incluye monitorizar la energía consumida tanto antes como después de comenzar a utilizar al control inteligente.

### 1.2.3 Sistema de Entrenamiento de Temperatura

El PCT-3 fue desarrollado y comercializado por la empresa Degem Systems como equipo didáctico para la enseñanza de control de procesos y consta de dos módulos:

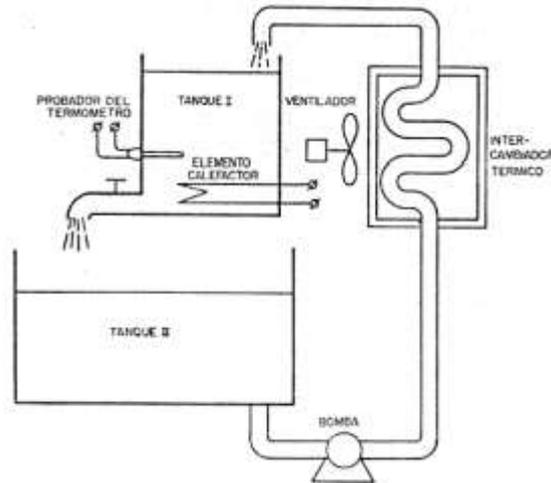
- La consola de control (PCT-3/1).
- El sistema físico (PCT-3/2).



**Figura 1.2.** Sistema de Físico PCT 3/2.

**Fuente:** (DEGEM, 1984).

El líquido es calentado en el tanque I, luego fluye por efecto de la gravedad al tanque II, y después se le bombea desde el fondo del tanque II a un intercambiador térmico. Este intercambiador es refrigerado por un ventilador. El líquido refrigerado fluye de vuelta al tanque I, cerrándose así el circuito circulatorio. Este sistema representa un sistema común de calefacción de agua con radiadores.



**Figura 1.3.** Control de temperatura en un sistema de circulación de agua.

**Fuente:** (DEGEM, 1984).

### 1.3 Sistemas de Control

Los controles automáticos o sistemas de control constituyen una parte muy importante en los procesos industriales modernos, donde se les usa principalmente para regular variables tales como la presión, temperatura, nivel, flujo, viscosidad, densidad (Duljoste, 2012).

Una definición de un sistema de control puede ser:

“Es un arreglo de componentes físicos conectados de tal manera, que el arreglo pueda comandar, dirigir o regular a sí mismo o a otro sistema”.

Las ventajas de un control automático son principalmente económicas, ya que permite:

- Mejorar la calidad de los productos.
- Disminuir los tiempos de operación.
- Reducir la dependencia de operarios para manejar procesos.
- Reducir costos de producción.

## **1.4 Modelado Matemático**

Para el estudio de los sistemas de control es necesario conocer el comportamiento de los elementos que eventualmente pueden formar parte de un sistema a controlar y del sistema de control. Este comportamiento se puede expresar en forma de un modelo matemático.

Según (Duljoste, 2012) “Se conoce como modelo matemático a las expresiones que representan el comportamiento dinámico de un sistema”.

El estudio dinámico consiste entonces en determinar analíticamente la respuesta (salida) cuando la entrada experimenta una variación en el tiempo (excitación). Dicho de otra manera poder representar la respuesta transitoria del sistema.

Los modelos matemáticos de los sistemas físicos son ecuaciones diferenciales, que pueden ser ordinarias para los sistemas a parámetros concentrados o parciales para los sistemas distribuidos. Estas ecuaciones diferenciales pueden ser lineales o no lineales según el rango de funcionamiento en el cual se quiere estudiar al sistema.

### **1.4.1 Formas de Representación del modelo matemático**

Existen dos formas de representación: la función de transferencia y la representación en espacio de estado. Adicionalmente con el desarrollo de los sistemas de control mediante computadoras se ha desarrollado la representación de los modelos matemáticos de forma discreta.

Se utiliza la representación de un modelo matemático mediante funciones de transferencia en la denominada teoría de control clásica mientras que se representan los modelos matemáticos mediante ecuaciones en espacio de estado en la denominada teoría de control moderna.

La teoría de control moderna surge a partir de los años 60 para permitir el control de sistemas cada vez más complejos, con múltiples entradas y salidas, y con requisitos de funcionamiento cada vez más severos. Su desarrollo y aplicabilidad se han ido acrecentando con el uso de las computadoras personales.

Las diferencias entre la teoría de control moderna y la teoría de control clásica son las siguientes:

**Tabla 1.1**

**Diferencias entre teorías de control**

Teoría de control clásica	Teoría de control moderna
<b>Sistemas lineales</b>	Sistemas lineales y no lineales
<b>Sistemas invariantes en el tiempo (LTI)</b>	VARIABLES o INVARIABLES en el tiempo
<b>Una sola entrada y salida (SISO)</b>	Múltiples entradas y salidas (MIMO)
<b>Procedimientos en el dominio de la frecuencia complejas</b>	Procedimientos en el dominio del tiempo

**Fuente:** (Duljoste, 2012).

**1.4.2 Representación de un Modelo Matemático con la Función de Transferencia**

Esta representación se conoce también con el nombre de representación externa, pues no considera variables internas al sistema. Las funciones de transferencia son funciones que permiten caracterizar las relaciones entrada salida de componentes o sistemas que pueden describirse por ecuaciones diferenciales lineales, invariantes en el tiempo (Duljoste, 2012).

Esta se define como la relación entre la transformada de Laplace (L) de la salida (función respuesta) y la transformada de Laplace de la entrada (función excitación), bajo la suposición de que todas las condiciones iniciales son cero.

$$FT = G(s) = \frac{L(salida)}{L(entrada)} \Big|_{CI=0} \quad \text{Ecuación 1.1}$$

- La función de transferencia es en efecto un modelo matemático ya que permite expresar la relación entre la variable de entrada y la variable de salida de un sistema.

- Esta está limitada a sistemas de ecuaciones diferenciales lineales invariantes en el tiempo (LTI) con una sola entrada y una sola salida (SISO).
- La función de transferencia es una propiedad del sistema en sí, y es independiente de la magnitud y naturaleza de la entrada.
- La función de transferencia incluye las unidades necesarias para relacionar la entrada con la salida, sin embargo no brinda ninguna información respecto a la estructura física del sistema. Sistemas físicamente distintos pueden tener la misma función de transferencia.
- El conocimiento de la función de transferencia permite el estudio de la respuesta del sistema a diversas formas de entrada, con lo cual se puede lograr una mejor comprensión de la naturaleza del sistema.
- La función de transferencia se puede obtener experimentalmente introduciendo entradas conocidas y estudiando la respuesta del sistema. Esto se conoce como identificación de sistemas, para lo cual existen una multitud de métodos.

## 1.5 Respuestas de Sistemas

El estudio de la respuesta de un sistema consiste en determinar la respuesta ( $y$ ) que produce un sistema ante una entrada ( $u$ ) cualquiera. La respuesta de un sistema dependerá entonces de la ecuación y de la excitación que se le aplica. Existe una infinidad de posibilidades de ecuación y de excitación, por lo tanto una infinidad de respuestas posibles. Sin embargo ciertos tipos de sistemas y ciertos tipos de excitación pueden ser útiles para la comprensión del fenómeno de la respuesta de sistemas (Duljoste, 2012).

### 1.5.1 Entrada en Escalón

En este caso la entrada sufre un cambio instantáneo y finito.

Esta se puede expresar de la siguiente forma:

$$u(t) = \begin{cases} 0 & \text{para } t < 0 \\ H & \text{para } t > 0 \end{cases} \quad \text{Ecuación 1.2}$$

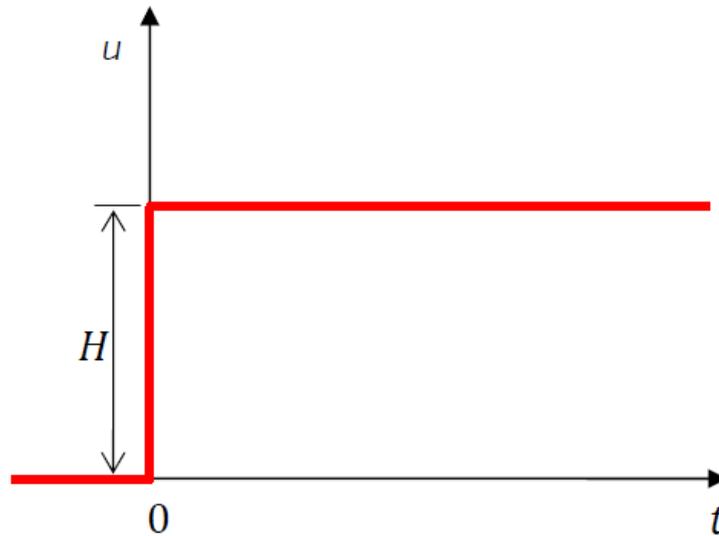
O expresada en transformada de Laplace:

$$U(s) = \frac{H}{s} \quad \text{Ecuación 1.3}$$

Donde:

H: es una constante

Cuando H es igual a 1 se dice que la entrada es un escalón unitario.



**Figura 1.4.** Gráfica de la función escalón.

**Fuente:** (Duljoste, 2012).

La función escalón es la más simple de las entradas que se le puede aplicar a un sistema, y por esto suele ser la más utilizada porque permite hacer análisis simples de la respuesta del sistema. Esta permite principalmente definir la respuesta de sistemas en donde los cambios son instantáneos y que luego se mantienen en el tiempo, por ejemplo la respuesta de un termómetro clínico al ser introducido en un baño a una temperatura dada.

### 1.5.2 Respuesta de Sistemas de Primer Orden

Los sistemas de primer orden son aquellos cuyo modelo matemático responde a una ecuación diferencial de primer orden de la forma:

$$\tau Dy + y = ku \quad \text{Ecuación 1.4}$$

Donde:

y: Representa la salida o respuesta del sistema

u: Representa la función entrada al sistema

$\tau$ : Se denomina constante de tiempo del sistema.

k: Ganancia en estado estacionario o ganancia del sistema. Este es un parámetro muy importante que interviene en la respuesta del sistema y cuyo valor permite en muchos casos ajustar el tipo de variable de entrada y salida (por ejemplo fuerza con desplazamiento). Cuando la variable de entrada es del mismo tipo que la de salida su valor suele ser 1 (por ejemplo temperatura a la entrada y salida).

La respuesta de un sistema primer orden a una entrada en escalón es representada por la siguiente ecuación:

$$y = -KHe^{-\frac{t}{\tau}} + KH \quad \text{Ecuación 1.5}$$

Con esta ecuación que define la respuesta del sistema se puede determinar el valor de la respuesta y para cualquier instante de tiempo, es así como por ejemplo, y en el caso que la ganancia  $K = 1$ :

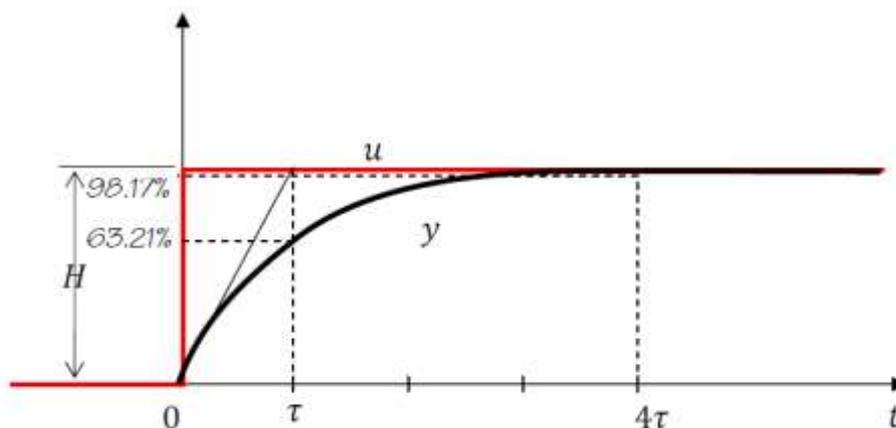
Para  $t = \tau$

$$y = H \left(1 - e^{-\frac{\tau}{\tau}}\right) = 0.6321H \quad \text{Ecuación 1.6}$$

Para  $t = 4\tau$

$$y = H \left(1 - e^{-\frac{4\tau}{\tau}}\right) = 0.9817H \quad \text{Ecuación 1.7}$$

Esta respuesta se puede representar gráficamente como sigue:



**Figura 1.5.** Respuesta de un sistema de Primer Orden ante un Escalón.

**Fuente:** (Duljoste, 2012).

A partir de estos resultados se define la constante de tiempo ( $\tau$ ) como el tiempo requerido para que la respuesta de un sistema de primer orden alcance el 63.21% del valor del escalón al cual fue sometido.

Otra definición de la constante de tiempo es el tiempo necesario para que un sistema de primer orden sometido a una entrada en escalón alcance su valor en estado estable si mantuviera la velocidad de respuesta inicial. Esta constante de tiempo es entonces un parámetro que define la velocidad de respuesta de los sistemas de primer orden, mientras más grande es la constante de tiempo más lenta será la respuesta del sistema.

Se considera que un sistema de primer orden se encuentra en estado estable cuando el tiempo transcurrido a partir de la aplicación de la entrada es superior a  $4\tau$ .

## 1.6 Acción de Control

La acción de control de un controlador según (Duljoste, 2012) “Se define como la relación entre el error en la señal de salida ( $e(t)$ ) y la señal actuante ( $m(t)$ )”. En otras palabras es la función de transferencia del controlador:

$$f(t) = \frac{m(t)}{e(t)} \quad \text{Ecuación 1.8}$$

O de acuerdo a Laplace:

$$F(s) = \frac{M(s)}{E(s)} \quad \text{Ecuación 1.9}$$

### 1.6.1 Tipos de Acción de Control

Existen múltiples formas de acción de control, cuyo tipo depende de la forma de obtención de la ley de control. Sin embargo existen unos tipos básicos de acción de control que se usan comúnmente en procesos industriales y que son:

- Acción de control discontinua o de dos posiciones (ON-OFF).
- Acción de control proporcional.
- Acción de control derivativa.
- Acción de control integral.

En la práctica los controles integral y derivativo no se pueden usar solos, por lo tanto estos se suelen usar en combinación con otras, y se obtienen las siguientes acciones de control posibles:

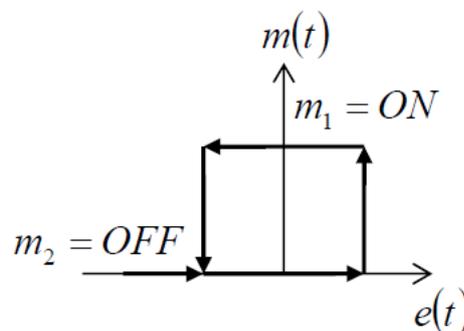
- Acción de control proporcional más derivativa.
- Acción de control proporcional más integral.
- Acción de control proporcional más integral más derivativa.

### 1.6.2 Acción de Control ON-OFF

En este tipo de acción de control el controlador adopta solo dos posiciones, que por lo general es abierto y cerrado (conectado o desconectado). Dicho de otra forma la señal actuante del controlador ( $m(t)$ ) se mueve entre dos límites requeridos para que la variable controlada oscile entre dos valores dados.

$$m(t) = m_1 \text{ para } e(t) > 0 \quad \text{Ecuación 1.10}$$

$$m(t) = m_2 \text{ para } e(t) < 0 \quad \text{Ecuación 1.11}$$

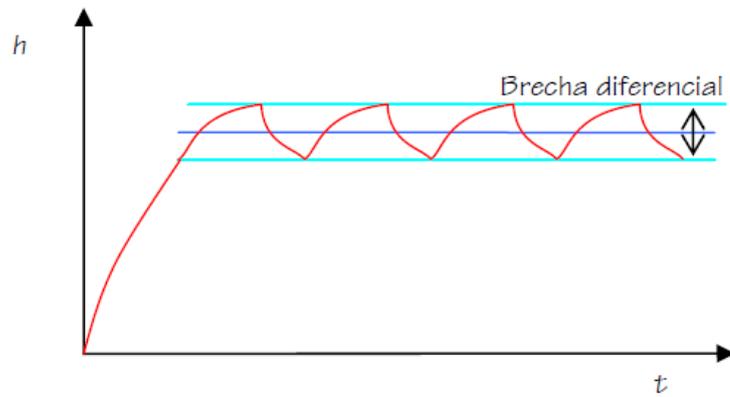


**Figura 1.6.** Respuesta del Control ON-OFF.

**Fuente:** (Duljoste, 2012).

En la práctica un controlador discontinuo debe tener una zona muerta o histéresis (brecha diferencial). Esta zona muerta se debe minimizar para mantener el error pequeño pero debe estar para evitar que se produzcan oscilaciones.

La presencia de la brecha diferencial produce un error entre el valor deseado (nivel deseado en el ejemplo) y el valor real de la variable (nivel real en el ejemplo). Pero esta es necesaria para evitar conexiones y desconexiones muy cercanas en tiempo.



**Figura 1.7.** Brecha diferencial de un control ON-OFF.

**Fuente:** (Duljoste, 2012).

Es por esto que a brecha diferencial se debe ajustar dependiendo de la exactitud deseada, de la frecuencia de conexión y desconexión del elemento final de control (válvula solenoide) y de los valores a obtener.

### 1.6.3 Acción de Control PID

La salida del controlador es proporcional al error, a su derivada y a su integral:

$$m(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad \text{Ecuación 1.12}$$

Este controlador ofrece rápida respuesta proporcional al error, mientras que tiene un reajuste automático desde la parte integral que elimina el error en estado estable. La acción derivativa permite que el controlador responda rápidamente a cambios en el error.

**Tabla 1.2.**

#### Resumen de Acciones de Control

Control	Velocidad de Respuesta	Error en Estado Estable	Uno Solo
P	Media	Existe	Si
D	Alta	Existe	No
I	Baja	No hay	No
PI	Media	No hay	Si
PD	Alta	Existe	Poco
PID	Alta	No hay	Si

**Fuente:** (Duljoste, 2012).

## **1.7 Control Difuso**

### **1.7.1 Fuzzy Logic**

A mediados de la década del 60 el Profesor Lotfi Zadeh, de la Universidad de California en Berkeley, introdujo su teoría de los conjuntos fuzzy , donde la idea de pertenencia de un elemento a un determinado conjunto no era ya pertenece o no pertenece, sino que pertenece en un cierto grado. Las funciones que vinculan al elemento con su grado de pertenencia, se llaman membership functions (Gomez, 2008).

Basándose sobre esta idea, se construyó nuevamente toda la teoría de conjuntos, redefiniendo inclusión, unión, operadores lógicos ( AND, OR ), otras operaciones y sus propiedades.

En lo referente a la lógica, aparecen nuevas alternativas respecto de la lógica tradicional, puesto que, al evaluar una proposición, ya no es verdadera o falsa sino que la misma tiene un cierto grado de veracidad, y que a su vez depende del grado de veracidad de sus premisas.

De aquí que al utilizar fuzzy logic en la evaluación de reglas, todas las reglas cuyas premisas tengan algún grado de veracidad, influirán también en cierto grado a la solución del problema. Es decir toda regla que sepa algo opina.

### **1.7.2 Controladores Fuzzy**

Los controladores fuzzy, igual que otros controladores, toman el valor de las variables de entrada, procesan, y actúan sobre sus salidas a fin de controlar la planta.

En fuzzy control se utilizan sistemas basados en reglas, que emplean fuzzy logic, como elemento central (Gomez, 2008).

Dado su estado, y los valores de las variables de entrada, estos sistemas evalúan la veracidad de cada regla, y así, toman decisión sobre los cambios a realizar en las variables de salida. Una vez actualizadas las mismas, estas producirán un cambio sobre

la planta, luego se vuelven a obtener los valores de las variables de entrada, comenzando un nuevo ciclo.

Al utilizar este tipo de resolución de problemas, es importante observar que lo que se está procesando no son ya ecuaciones, números o tablas crudas sino, reglas, es decir se procesan cosas tales como:

“SI la temperatura es baja ENTONCES aumente el ciclo de actividad del calefactor”

Tal tipo de procesamiento está mucho más cercano al razonamiento del experto humano, ya que permite realizar operaciones entre palabras como más bajo, subir un poquito etc.

Este proceso cíclico puede ser dividido en tres grandes partes, fuzzification, evaluación de reglas y defuzzification.

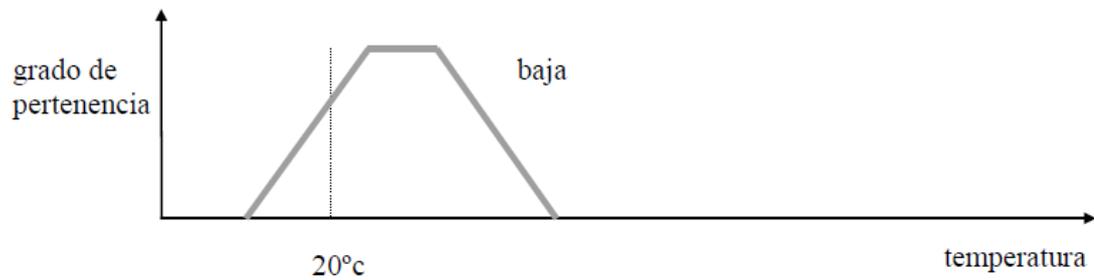
### **1.7.3 Fuzzification**

Esta es la primera parte del proceso, donde luego del procedimiento convencional de adquirir los valores de las variables del sistema y calcular otras, se procede a calcular el grado de pertenencia de tales variables a todos los posibles conjuntos fuzzy ( fuzzy inputs ) que se le han asignado.

Tomando como ejemplo otra vez la variable temperatura, con un valor de 20 °C, se cuantifica su grado de pertenencia a los conjuntos representados con las siguientes etiquetas lingüísticas, muy baja, baja, templada, alta y muy alta. Para ello se debe haber definido, para cada una de las etiquetas, una membership function, que define qué valores de la variable temperatura les pertenecen y con qué grado.

Son las membership functions las que permiten cuantificar los conceptos que representan las etiquetas.

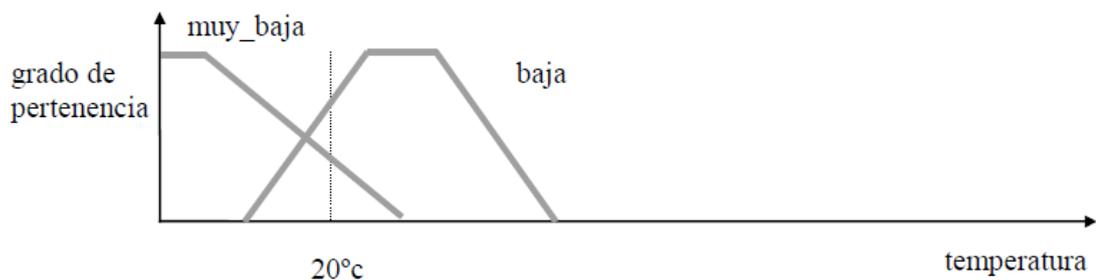
En la figura se puede observar la membership function para la fuzzy input baja, y el valor de pertenencia para 20 °C.



**Figura 1.8.** Membership function para la fuzzy input baja.

**Fuente:** (Gomez, 2008).

Si ahora se realiza el mismo procedimiento para muy\_baja, se verá que también, para 20 °C, es parcialmente muy\_baja.



**Figura 1.9.** Membership function para la fuzzy input muy\_baja.

**Fuente:** (Gomez, 2008).

Al finalizar este proceso, queda asignado a cada fuzzy input, el grado de pertenencia del valor actual de la variable que le corresponde.

#### 1.7.4 Evaluación de Reglas

Una vez realizada la fuzzification, se está en condiciones de evaluar los antecedentes de las reglas, obteniendo el grado de verdad o “peso”, para cada una de ellas (Gomez, 2008). Si se tiene una regla como la siguiente:

SI la temperatura es baja ENTONCES aumente el ciclo de actividad del calefactor.

El peso de la regla estará dado por la veracidad de sus antecedentes.

Se asigna directamente como peso, el grado de pertenencia del valor leído de temperatura a la etiqueta lingüística baja.

En el caso de antecedentes de reglas con conectivos lógicos **Y**, como por ejemplo:

**SI** la temperatura es *baja* **Y** el cambio de temperatura es ligeramente creciente  
**ENTONCES** aumente el ciclo de actividad del calefactor.

La regla será tan verdadera como lo sea el menos verdadero de sus antecedentes. Es decir, se le asigna a la regla como peso, el menor de los grados de pertenencia de las variables de los antecedentes a las respectivas etiquetas lingüísticas.

Este proceso se realiza para cada una de las reglas del sistema, quedando luego de este ciclo cada regla con su peso correspondiente.

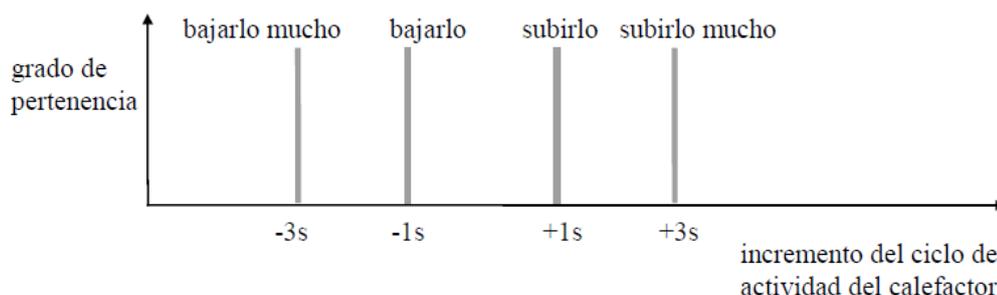
Ahora se trabaja con los consecuentes de las mismas.

Así como para las variables de entrada, a cada variable de salida le corresponde un grupo de membership functions, representadas con etiquetas lingüísticas. Cada una de ellas es una fuzzy output. ( subirlo mucho, subirlo, bajarlo, bajarlo mucho ).

A cada una de las fuzzy outputs se le asigna como valor, o grado de aplicabilidad, el máximo valor entre todas las reglas que la mencionan, de manera que al finalizar toda la evaluación, queda cada fuzzy output con su valor.

### 1.7.5 Defusificación

Para el ejemplo se tomará la forma más simple de membership function, esta es la que considera a un solo elemento del universo de discurso perteneciente totalmente al conjunto. Este tipo de funciones se denominan singleton.



**Figura 1.10.** Defusificación.

**Fuente:** (Gomez, 2008).

A cada fuzzy output, se le asignó el máximo valor de verdad o peso de las reglas que la mencionan como consecuente.

Ahora quedan varias fuzzy outputs para cada variable de salida, cada una con su valor de verdad, o grado de aplicabilidad, pero ¿cuál es el nuevo valor de la variable de salida ?. Una forma simple y efectiva de determinarlo es realizando un promedio ponderado entre todas las fuzzy outputs que le corresponden a una variable de salida.

Para el caso en que las membership functions no sean singletons, se procede en forma similar, pero considerando las superficies de las fuzzy outputs, afectadas por su valor de aplicabilidad, y tomando el centro de gravedad de las mismas como el nuevo valor de la variable de salida en consideración (Gomez, 2008).

Una vez actualizada la variable de salida, se está en condiciones de comenzar un nuevo ciclo.

## **1.8 Sistemas Neurodifusos aplicado al control automático**

### **1.8.1 Definición**

Un sistema neurodifuso implica la combinación de las teorías de las redes neuronales y de los sistemas de inferencia difusa (Block Saldaña, 2010). Por un lado, las redes neuronales buscan reproducir la capacidad de razonamiento humano a través de su estructura y organización; modelan la forma en que el cerebro humano realiza una tarea particular o función de interés. Pueden ser vistas como un procesador masivamente paralelo, compuesto por unidades de procesamiento más simples (las neuronas), capaz de adquirir conocimiento a través de un proceso de aprendizaje y almacenarlo en las fuerzas de sus interconexiones neuronales (pesos sinápticos). Por otro lado, los sistemas de inferencia difusa permiten expresar el conocimiento de un humano “experto” mediante reglas “If- Then” simples, descritas en lenguaje natural.

De un modo más estricto, Nauck define las principales características de todo sistema neurodifuso, las cuales se muestran a continuación:

- Un sistema neurodifuso es un sistema difuso que es entrenado por un algoritmo de aprendizaje derivado de la teoría de las redes neuronales.

- Un sistema neurodifuso puede ser visto como una red neuronal de interacción hacia adelante (feedforward) de tres capas. La primera representa las variables de entrada; la del medio (oculta), las reglas difusas; y la tercera, las variables de salida. Algunos sistemas neurodifusos utilizan más de tres capas.
- Un sistema neurodifuso puede ser siempre interpretado (antes, durante y después del aprendizaje) como un sistema de reglas difusas. Es posible tanto crear el sistema desde cero a partir de los datos de entrenamiento, como inicializarlo mediante un conocimiento previo en forma de reglas difusas.
- El proceso de aprendizaje de un sistema neurodifuso toma en consideración las propiedades semánticas del sistema difuso subyacente. Esto conlleva a restricciones en las posibles modificaciones de los parámetros del sistema.
- Un sistema neurodifuso aproxima una función desconocida n-dimensional que está parcialmente representada en los datos de entrenamiento. Las reglas difusas codificadas dentro del sistema representan muestras vagas.
- Un sistema neurodifuso no debe ser visto como un sistema experto y no tiene relación con la lógica difusa en el sentido estricto.

## **1.9 Control Predictivo**

El Control Predictivo (Model Predictive Control, MPC) se desarrolló a finales de los setenta y ha tenido un desarrollo considerable desde entonces. El término Control Predictivo no designa a una estrategia de control particular sino a un conjunto de métodos de control que hacen uso explícito de un modelo del proceso para obtener la señal de control minimizando una función objetivo (Camacho & Bordons, 2010).

Los distintos algoritmos de control predictivo difieren en el tipo de modelo utilizado para representar al proceso y a las perturbaciones y la función objetivo considerada. Existen aplicaciones de control predictivo a diversos procesos que van desde procesos tan diversos como robots (Gómez Ortega y Camacho, 1996) a la anestesia clínica

(Linkers y Mahfonf, 1994). El control predictivo presenta una serie de ventajas sobre otros métodos, entre las que se pueden citar las siguientes:

- Es una técnica particularmente atractiva para los operadores que requiere pocos conocimientos de control porque los conceptos son muy intuitivos y la sintonización relativamente simple.
- Se puede utilizar para controlar una gran variedad de procesos, desde procesos muy simples hasta procesos con dinámicas complejas como procesos con grandes tiempos muertos, procesos de fase no mínima, procesos inestables o procesos multivariados.
- Su carácter predictivo lo hace compensar intrínsecamente los tiempos muertos.
- Introduce un control anticipativo (feed forward) y de forma natural se compensan las perturbaciones medibles.
- La ley de control resultante es fácilmente implementable.
- Es muy útil cuando se conocen las referencias futuras, como ocurre en el caso de robótica o procesos por lotes.
- Permite tratar las restricciones de una forma sistemática y conceptualmente muy simple durante la fase de diseño.

Como es lógico, tiene también sus inconvenientes. El principal es que, aunque su implementación no es compleja, resulta más difícil que la de los clásicos controladores PID. Si la dinámica del proceso no cambia y no existen restricciones, la mayor parte de los cálculos se puede realizar fuera de línea y el controlador resultante es simple, pudiéndose aplicar a procesos de dinámicas rápidas; en caso contrario, los requisitos de cálculos son mayores.

### **1.10 Sistema de Entrenamiento PCT 3 y su relación con los Sistemas para Fundir Chocolate**

Para la identificación de los diferentes métodos y sistemas para fundir chocolates se basó en la forma tradicional la cual es por medio del baño de maría y por medio de calderas las cuales funciona también por el mismo sistema de calentado del agua, existen otros sistemas los cuales funcionan por medio de resistencias eléctricas. (BeckKett, 2012).

Para el tratamiento del chocolate se encontraron tres tipos de tratamiento los cuales varían de acuerdo a las necesidades que van desde practicas artesanales, microempresas y empresas, se identificó que el uso de diferentes métodos para fundir chocolate y maquinas que ofrece el mercado van de la mano dependiendo del tamaño de la empresa.

La estructuración triacilgliceridos que compones la materia grasa del chocolate, se caracteriza por tener un punto de fusión en el rango 27-32 grados Celsius, esta es la característica organoléptica más interesante del chocolate, ya que por esta característica el chocolate se puede fundir con relativa rapidez en el paladar humano, sintiendo una contextura cremosa y sabor agradable.

La temperatura de fundición del chocolate depende esencialmente de sus porcentajes de manteca de cacao aunque la temperatura en la que mejor se derrite el chocolate es de 40 a 45 °C, se debe usar calor indirecto ya que de lo contrario podría causar daños en el chocolate, esto se debe a que el chocolate no se funde uniformemente, el método más adecuado para fundir chocolate es el baño a maría ya que proporciona una temperatura uniforme.

#### **1.10.1 Método de Fundición de Chocolate en Microempresas**

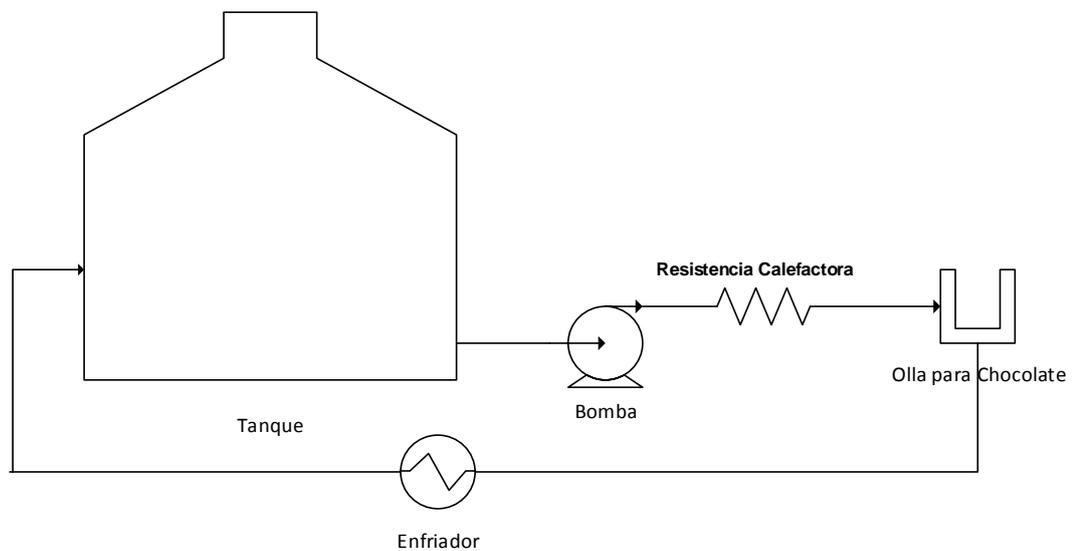
En las pequeñas y medianas empresas el tratamiento que se le da al chocolate es un poco más tecnificado pero sin embargo, la interfaz que tienen las personas con el chocolate sigue siendo alta. En las pequeñas y medianas empresas cuyo nivel de producción es significativo, se hace necesario implementar sistemas para aumentar la manufactura en menor tiempo garantizando la calidad (BecKett, 2012).

Con las nuevas tecnologías las diferentes alternativas de dispositivos electrónicos se hace más fácil y viable la aplicación de estas tecnologías en el tratamiento del chocolate debido a que es más preciso al momento de supervisar que la temperatura y tiempo son los correctos para la fundición del chocolate, otro motivo es la rentabilidad que representa para los microempresarios que están ampliando su capacidad de producción.

Para semi-industrializar o tecnificar procesos productivos es necesario que el operario tenga la capacitación para el correcto manejo de las máquinas. El sistema de control

de equipos no es muy complejo porque solo requiere de un sensor que permite regular la temperatura en función del calor que acumula el sistema.

Las máquinas para la fundición del chocolate comúnmente tienen un contenedor con capacidades que varían de 10 a 60 kg construido en acero y hermético. Al contenedor hermético con agua se le aplica calor por medio de una resistencia eléctrica o a través de la llama producida por gas natural que se regulan por medio de válvulas a presión y sensores de temperatura, también se utiliza un sistema mecánico que ayuda al mezclar y temperar el chocolate en el depósito, cuenta con un sistema de bombeo ya sea por medio de un tornillo sin fin o por medio de una motobomba que ayudan a verter el chocolate después del tiempo programado de temperado lo cual requiere del uso de sensores automáticos de nivel.



**Figura 1.11.** Esquema de fundidora de chocolate mediante resistencia eléctrica.

**Fuente:** Investigador.

El tipo de sistemas empleados en pequeñas y medianas empresas normalmente se controlan por medio de microcontroladores, que registran la información en un tablero la temperatura.

## **CAPÍTULO 2**

### **METODOLOGÍA**

En este capítulo se presenta la metodología para realizar la investigación: el enfoque metodológico, la modalidad, el tipo de investigación, el nivel y las técnicas e instrumentos a utilizar.

#### **2.1 Diseño de la Investigación**

Se refiere a los tipos de investigación que se adoptan en la tesis, se toman los elementos metodológicos que describen las etapas desarrolladas.

##### **2.1.1 Modalidad de la Investigación**

Se trata de una modalidad de investigación de campo, tomando como base el Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico, específicamente el laboratorio de Instrumentación Virtual.

###### **2.1.1.1 De campo**

La modalidad de la investigación es de campo ya que se estudiará el consumo de energía eléctrica en el sistema de entrenamiento de temperatura, para ello se realizará la investigación del funcionamiento de un proceso en el cual exista un flujo de agua constante tanto de entrada como de salida, esto permitirá calentar el líquido en un nivel fijo, con la temperatura de ingreso de agua constante.

###### **2.1.1.2 Bibliográfica Documental**

En la presente investigación existe bibliografía de apoyo: textos, módulos, documentos, páginas de Internet relacionadas a la temática que han servido para sustentar teóricamente el problema de investigación, a través del análisis documental.

#### **2.1.2 Tipos de Investigación**

##### **2.1.2.1 Descriptiva**

Se realizará investigación descriptiva al recolectar información relacionada con el control automático del sistema de entrenamiento de temperatura, la información de los

modos de control existentes que pueden ser implementados para el control de dicho sistema.

### **2.1.2.2 Experimental**

Teniendo en cuenta la variable independiente referida al control del proceso, se realizan experimentos buscando la relación con la variable dependiente.

## **2.2 Procedimientos de la Investigación**

- Modificación del ingreso de agua al tanque principal para disminuir el caudal.
- Obtención de las curvas de respuesta del sistema ante diferentes valores de escalón. Esto se lo realizará con ayuda de LabView, que es un software que se dedica a la instrumentación virtual con la ayuda de hardware fabricado por la misma compañía, en este caso National Instruments.
- Obtención del modelo matemático y simulación del funcionamiento del sistema de entrenamiento de temperatura para el control automático utilizando los controles P, PI y PID. La simulación se realizará en simulink de Matlab porque contiene las herramientas necesarias que ayudaran a verificar la respuesta del modelo matemático obtenido.
- Evaluación energética de la estación de flujo utilizando los componentes actuales. Se utilizará un analizador de red
- Implementación del control Proporcional integral, sintonía del controlador y evaluación del consumo de energía al calentar 8 cm de nivel de agua fijos con un caudal de entrada de 0,5 l/min.
- Implementación del control Proporcional integral derivativo, sintonía del controlador y evaluación del consumo de energía al calentar 8 cm de nivel de agua fijos con un caudal de entrada de 0,5 l/min.

## 2.3 Operacionalización de la Variables

**Tabla 2.1.**

**Variable Independiente:** Monitoreo y Control Procesos Industriales.

Concepto	Categoría	Indicadores	Item	Técnicas	Instrumentos
<b>Visualizar las variables físicas y controlar el accionamiento eléctrico, con el fin de disminuir el consumo eléctrico</b>	Consumo Energético	Energía Consumida	kW/h	Medición	Medidor de Potencia
	Controladores	Control de Temperatura	°C	Medición	Sensor de Temperatura, Labview

**Fuente:** Investigador.

**Tabla 2.2.**

**Variable dependiente:** Disminución Consumo de Energía Eléctrica

Concepto	Categoría	Indicadores	Item	Técnicas	Instrumentos
<b>Es la determinación de la cantidad de energía que consume el sistema</b>	Medición de Potencia de los componentes del sistema de entrenamiento	Potencia	kW	Medición	Medidor de Potencia
	Consumo de energía eléctrica en el sistema de entrenamiento con la consola de control	Consumo de la energía eléctrica	kW·h	Medición	Medidor de Potencia
	Consumo de energía eléctrica en el sistema de entrenamiento sin la consola de control	Consumo de la energía eléctrica	kW·h	Medición	Medidor de Potencia

**Fuente:** Investigador.

## 2.4 Funcionamiento del Proceso

El proceso consiste en el monitoreo y control de la variable temperatura de agua, para lo cual se utiliza el sistema de entrenamiento de temperatura Degem System PCT 3, la

entrada de agua al tanque principal tiene un caudal de 0,5 l/min con un valor de temperatura de 16 °C, la salida de agua es controlada por la válvula manual para fijar un nivel de 8 cm, este valor se lo lee en una mirilla de vidrio con escala en cm y mililitros que se encuentra empotrada en el tanque principal. La temperatura del agua es medida por un sensor tipo semiconductor, el mismo que es acondicionado por la consola de control PCT 3/2, para obtener una relación de 0V cuando mida 20 °C y 5 V cuando mida 70 °C. Esta señal acondicionada se adquiere mediante la tarjeta de adquisición de datos de National Instruments PCI 6024E, para ser procesada en Labview.

Para mantener la temperatura del agua que ingresa al tanque principal constante el tanque reservorio, debe contener el agua con esa característica (16 °C).

La salida de agua debe ir a otro lugar fuera del tanque principal y del reservorio, con esto se logra una circulación de agua en el tanque principal.

Para lograr el caudal de entrada al tanque principal de 0,5 l/min, a la bomba se la hizo trabajar al valor mínimo de funcionamiento; es decir, aproximadamente 6 V y además se colocó una T a la entrada del tanque para dividir el caudal. Una derivación de la T cae al tanque principal y la otra al tanque reservorio.

## **2.5 Obtención de las Curvas de Respuesta del Sistema a Lazo Abierto**

Para la obtención de las curvas de respuesta del sistema ante una entrada escalón a lazo abierto, se diseñó un circuito de control de ángulo de fase con un control entre 10 y 170 grados, para que este sea el encargado de entregar la potencia de la niquelina.

Se realizaron 3 pruebas con los valores de escalón 1, 2 y 3, cada escalón produce un valor de potencia en la niquelina.

Para graficar las curvas, se utilizó Labview 2012 y la tarjeta PCI 6024E, las muestras se tomaron cada 1 segundo. Labview se encarga de adquirir los datos y guardarlos en un archivo de Excel, para su posterior análisis.

Las mediciones y las gráficas se presentan en el capítulo 3.

## **2.6 Obtención del Modelo Matemático y Simulaciones**

Para la obtención del modelo matemático, se tomó la curva de respuesta a lazo abierto de un cambio de escalón de 2 a 3, la curva original tiene 2120 datos, con la ayuda de Excel, se graficó la curva de respuesta entre 0 y 2000.

Con la ayuda del método experimental, se obtuvo la función de transferencia.

Con la función de transferencia ya se puede simular en Simulink de MATLAB la respuesta de un control P, PI y PID ante una entrada escalón, e inclusive sumar perturbaciones.

La función de transferencia obtenida y las simulaciones respectivas se muestran en el capítulo 3.

## **2.7 Evaluación Energética del Sistema de Entrenamiento**

La evaluación de la energía que consume el Sistema de Entrenamiento de Temperatura se ha realizado en dos partes:

La primera parte consiste en evaluar el consumo energético de cada uno de sus componentes, para determinar el consumo individual de cada uno de ellos.

La segunda parte consiste en evaluar el controlador existente en la consola de control y los dos controladores propuestos para determinar el controlador que realice de forma eficiente el control automático así como generar el menor consumo eléctrico del accionamiento de la niquelina.

### **2.7.1 Evaluación de los Componentes del Sistema de Entrenamiento**

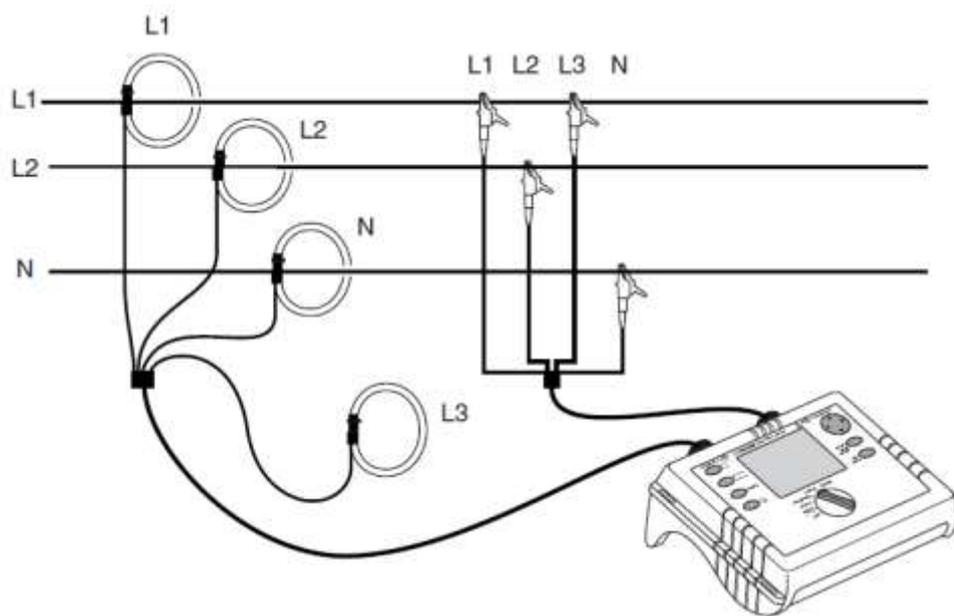
#### **2.7.1.1 Equipo Utilizado**

**Power Logger 1735.-** Puede realizar estudios de tensión, corriente y potencia para determinar las cargas existentes.

Una vez realizada la conexión del proceso descrito anteriormente se procedió a instalar el registrador 1735 Power Logger el cual permitirá obtener las magnitudes eléctricas en forma específica la energía consumida por sistema de entrenamiento PCT3.

Este instrumento de medición se lo implementa al realizar la medición de los componentes del sistema de entrenamiento PCT 3 y detallar el consumo eléctrico de cada uno de ellos, así como también para evaluar el consumo de energía eléctrica de los tipos de controles que se van a implementar.

A continuación se presenta el esquema de conexión realizado tomando en cuenta que el sistema PCT3 utiliza para su funcionamiento una señal bifásica con neutro de 220VAC.



**Figura 2.1.** Conexión de fase dividida.

**Fuente:** (Fluke, 2007).

### **2.7.1.2 Medición de potencia eléctrica en cada componente**

Una vez conectado el analizador de red, se procede a encender el sistema de entrenamiento PCT 3, para medir la potencia de cada uno de los componentes del sistema y verificar cuál de ellos es el más consume.

Las mediciones se presentan en el capítulo 3.

## **2.7.2 Evaluación de las acciones de control**

### **2.7.2.1 Medición de potencia eléctrica en el control ON-OFF**

Se realiza una práctica de control ON/OFF empleando la consola del sistema PCT 3, para esto ya se debe haber fijado el caudal de ingreso a 0,5 l/min y observar en la mirilla el valor de 8 cm de nivel de agua.

La práctica consiste en medir el consumo de energía eléctrica de este tipo de control con las siguientes condiciones:

- Fijar el nivel del tanque y el caudal de ingreso
- Colocar la máxima ganancia para el control ON/OFF en la consola
- La temperatura del agua en el tanque principal debe ser la ambiente
- Fijar un valor de set point en 32,5 °C
- Iniciar la medición de energía en el analizador de red
- Medir el tiempo que se estabiliza la señal
- Medir el consumo de energía eléctrica después de una hora de haber iniciado la práctica.

Las mediciones y los resultados obtenidos se presentan en el capítulo 3.

#### **2.7.2.2 Medición de potencia eléctrica en el control PI**

De la misma manera que en la práctica anterior se debe fijar el caudal de ingreso a 0,5 l/min y observar en la mirilla el valor de 8 cm de nivel de agua.

La práctica consiste en medir el consumo de energía eléctrica de este tipo de control con las siguientes condiciones:

- Fijar el nivel del tanque y el caudal de ingreso
- La temperatura del agua en el tanque principal debe ser la ambiente
- Fijar un valor de set point en 32,5 °C
- Iniciar la medición de energía en el analizador de red
- Medir el tiempo que se estabiliza la señal
- Medir el consumo de energía eléctrica después de una hora de haber iniciado la práctica.

Las mediciones y los resultados obtenidos se presentan en el capítulo 3.

#### **2.7.2.3 Medición de potencia eléctrica en el control P**

De la misma manera que en la práctica anterior se debe fijar el caudal de ingreso a 0,5 l/min y observar en la mirilla el valor de 8 cm de nivel de agua.

La práctica consiste en medir el consumo de energía eléctrica de este tipo de control con las siguientes condiciones:

- Fijar el nivel del tanque y el caudal de ingreso
- La temperatura del agua en el tanque principal debe ser la ambiente
- Fijar un valor de set point en 32,5 °C
- Iniciar la medición de energía en el analizador de red
- Medir el tiempo que se estabiliza la señal
- Medir el consumo de energía eléctrica después de una hora de haber iniciado la práctica.

Las mediciones y los resultados obtenidos se presentan en el capítulo 3.

#### **2.7.2.4 Medición de Potencia Eléctrica en el Control PID**

De la misma manera que en la práctica anterior se debe fijar el caudal de ingreso a 0,5 l/min y observar en la mirilla el valor de 8 cm de nivel de agua.

La práctica consiste en medir el consumo de energía eléctrica de este tipo de control con las siguientes condiciones:

- Fijar el nivel del tanque y el caudal de ingreso
- La temperatura del agua en el tanque principal debe ser la ambiente
- Fijar un valor de set point en 32,5 °C
- Iniciar la medición de energía en el analizador de red
- Medir el tiempo que se estabiliza la señal
- Medir el consumo de energía eléctrica después de una hora de haber iniciado la práctica.

Las mediciones y los resultados obtenidos se presentan en el capítulo 3.

## CAPÍTULO 3

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.1 Análisis mediante el diagrama de Pareto

En el laboratorio de instrumentación virtual del ITSA existen 3 módulos de entrenamiento para el control automático de procesos. PCT 1 que sirve para prácticas de motores de corriente continua, PCT 2 es para prácticas de temperatura de flujo de aire y PCT 3 para el control de nivel y temperatura de agua.

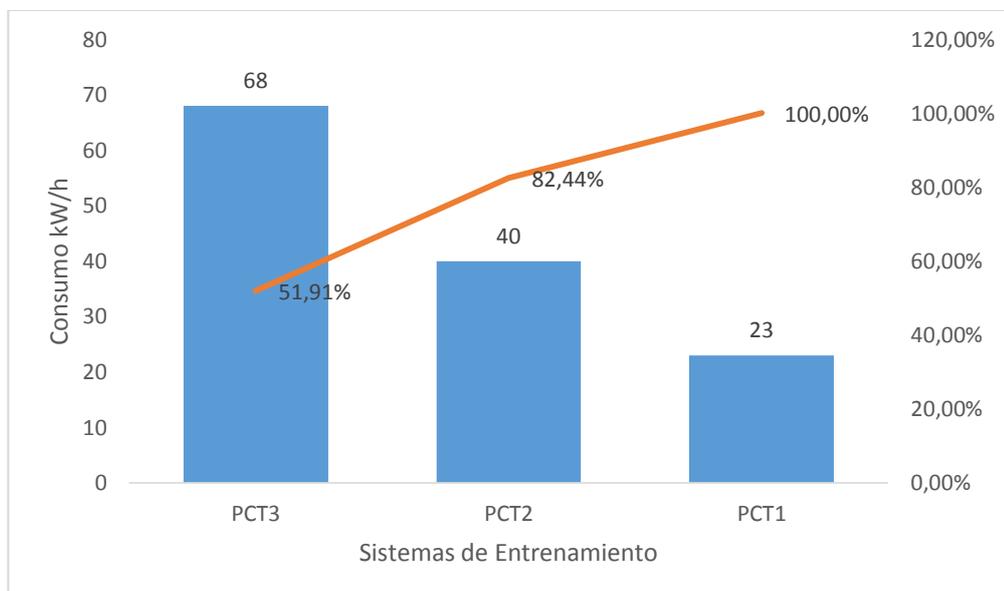
Los datos de la tabla 3.1 en la columna consumo, es la energía de un mes que corresponde a 40 horas de trabajo de cada sistema de entrenamiento, las demás columnas sirven para elaborar el diagrama de Pareto, este permite analizar cuál de los equipos es el de mayor consumo.

**Tabla 3.1.**

Consumo mensual de sistemas de entrenamiento

Equipo	Consumo	Consumo Total	Porcentaje	Consumo Acumulado	Porcentaje Acumulado
PCT3	68	131	51,91%	16	51,91%
PCT2	40	131	30,53%	56	82,44%
PCT1	23	131	17,56%	79	100,00%

**Fuente:** Investigador.



**Figura 3.1.** Diagrama de Pareto para los sistemas de entrenamiento.

**Fuente:** Investigador.

De los 3 sistemas de entrenamiento analizados el de mayor consumo es el PCT3, por lo tanto el estudio y análisis de las posibles mejoras se enfocara en este sistema.

### 3.2 Modificación del sistema de entrenamiento de temperatura

El sistema de entrenamiento fue modificado para obtener a la entrada del tanque principal un caudal aproximado de 0,5 l/min, para esto se energizó la bomba con un voltaje de 6 Vdc, además el tubo de acero inoxidable por el que ingresaba el agua fue reemplazado por una T de plástico, para dividir el caudal de ingreso, una parte para el tanque principal y otra para el reservorio.



**Figura 3.2.** División de caudal de entrada al tanque principal.

**Fuente:** Investigador.

Para que el agua que sale del tanque principal no regrese al reservorio, se realizó una extensión del tubo desde la salida de la electroválvula hasta otro reservorio extra para que ahí se deposite el líquido caliente cuya temperatura es de 32,5 °C. Logrando de esta manera que siempre ingrese al tanque principal el agua a la temperatura ambiente que en Latacunga es de aproximadamente 16 °C.



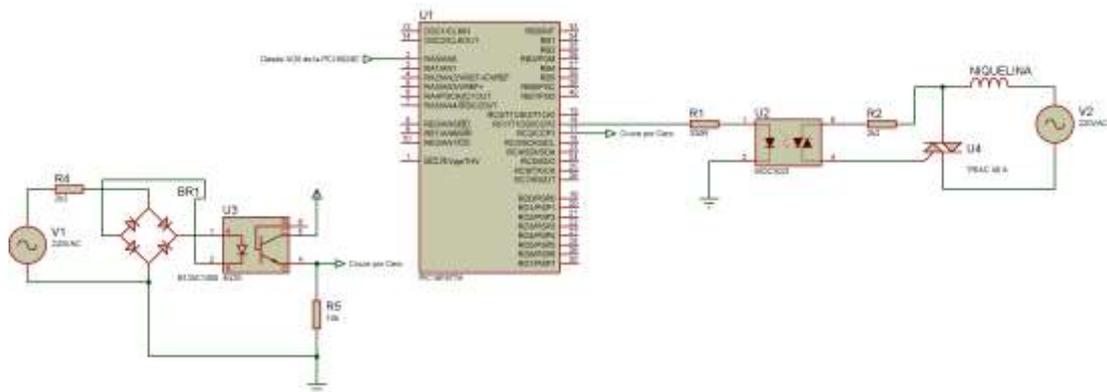
**Figura 3.3.** Modificación de la salida de agua del tanque principal.

**Fuente:** Investigador.

### 3.3 Análisis de las curvas de respuesta de lazo abierto

#### 3.3.1 Control de fase digital

Se implementó en protoboard un circuito control de fase empleando un microcontrolador, el cual se encarga de variar el ángulo de disparo de un triac de 10 a 170 grados. La corriente del triac es de 40 amperios, este es el encargado de controlar la potencia eléctrica entregada a los terminales de la niquelina



**Figura 3.4.** Control de fase digital.

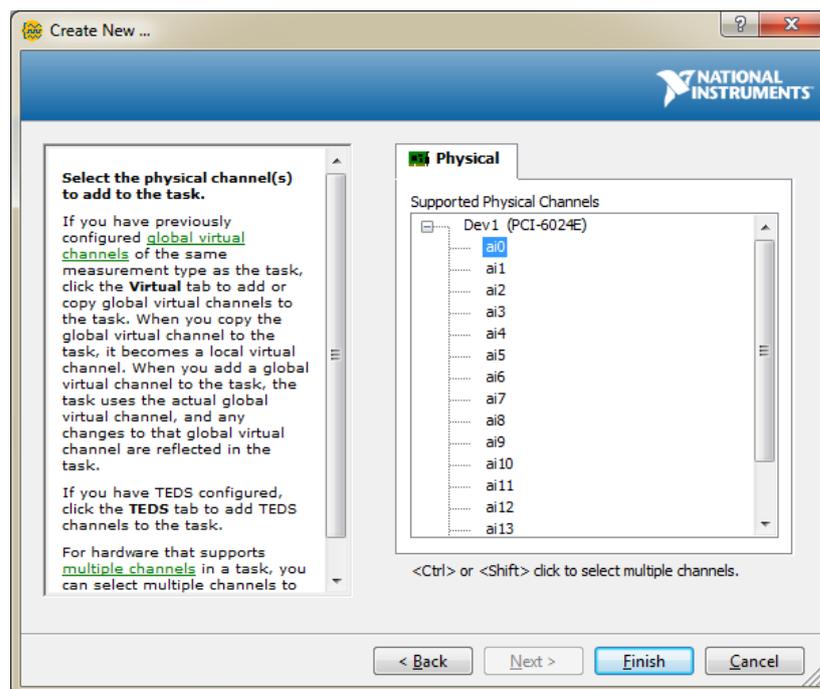
**Fuente:** Investigador.

Al pin 2 del microcontrolador se envía desde la salida analógica cero (AO0) de la tarjeta PCI 6024E un voltaje entre 0 y 5 Vdc que corresponde a enviar 0 y 100 % de potencia a la niquelina respectivamente.

### 3.3.2 Adquisición de datos en LabView

Una vez que se implementó el control de fase y los terminales del triac se conectó directamente en los terminales de la niquelina, se utilizó LabView y la tarjeta de adquisición de datos PCI 6024E para adquirir los datos de temperatura y generar los valores de escalón, para ser guardados y analizados en Excel.

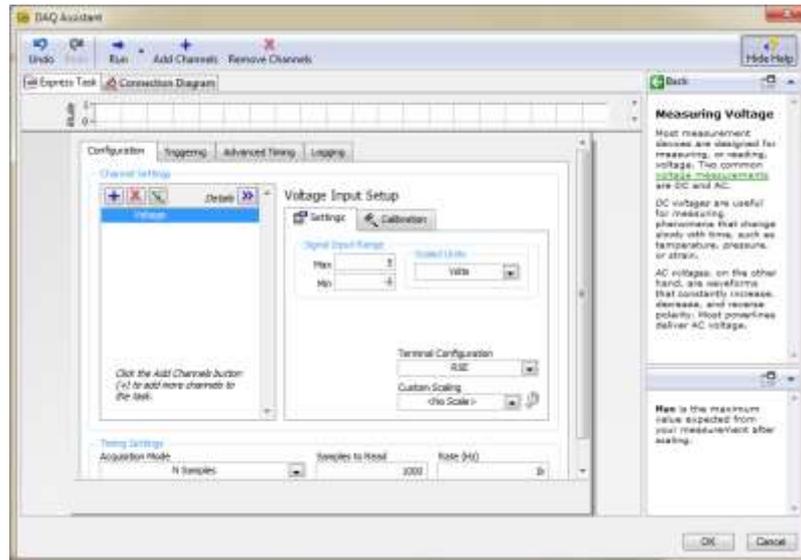
La señal de temperatura se tomó de la consola de control, cuya salida de voltaje de 0 a 5 Vdc, representa una variación de temperatura de 20 a 70 °C respectivamente. Se conectó a la entrada analógica cero de la tarjeta de adquisición de datos.



**Figura 3.5.** Selección del canal analógico de entrada.

**Fuente:** Investigador.

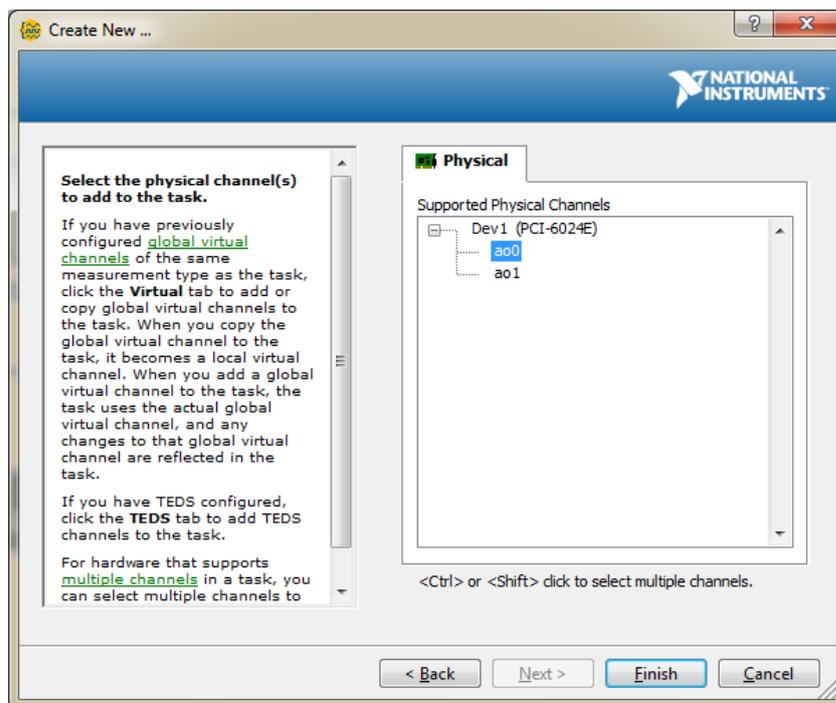
Para que la adquisición sea cada segundo, se coloca un valor de 1000 en el número de muestras y en la velocidad de muestreo.



**Figura 3.6.** Selección de parámetros para adquisición de datos.

**Fuente:** Investigador.

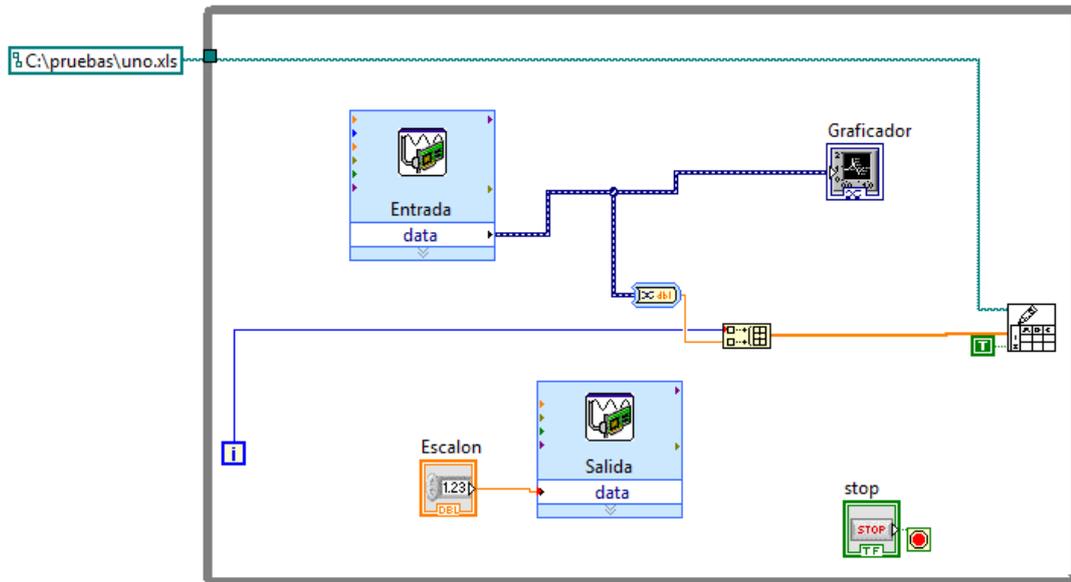
Para generar voltaje que representa la entrada de escalón al sistema de lazo abierto, se utilizó la salida analógica cero, de la tarjeta de adquisición de datos.



**Figura 3.7.** Selección del canal analógico de salida.

**Fuente:** Investigador.

El diagrama de bloques del programa realizado en LabView se muestra en la figura 3.8.



**Figura 3.8.** Diagrama de bloques del programa en LabView.

**Fuente:** Investigador.

Los datos adquiridos son guardados en un archivo de Excel llamado uno.xls. Mediante el control llamado *Escalón*, se ingresaron los diferentes valores de la función escalón para las pruebas a lazo abierto.

### 3.3.3 Resultado de las mediciones de los dispositivos del modulo

En la tabla 3.2 se muestra el consumo de potencia de cada dispositivo que conforma el modulo original, la parte de componentes adicionales representa cuando el modulo esta energizado y ningún dispositivo en funcionamiento.

**Tabla 3.2.**

#### Valor de potencia de cada componente del módulo original

Dispositivo	Potencia
<b>Componentes adicionales</b>	0,34 kW
<b>Electroválvula</b>	0,033 kW
<b>Niquelina</b>	1,247 kW
<b>Bomba</b>	0,051 kW
<b>Ventilador</b>	0,037 kW

**Fuente:** Investigador

Potencia total consumida: 1,708 kW

Energía consumida: 1,708 kW·h

El módulo se utiliza 5 horas al día por lo tanto el consumo por día es 8,54 kW·h

En la tabla 3.2 se muestra el consumo de potencia de cada dispositivo que conforma el modulo propuesto, la parte de componentes adicionales representa cuando el modulo esta energizado y ningún dispositivo en funcionamiento, pero ya desconectado la parte de control de la niquelina. El ventilador también fue desconectado porque se bajó el caudal de entrada, alimentando a la bomba con 6 Vdc.

**Tabla 3.3.**

**Valor de potencia de cada componente del módulo propuesto**

Dispositivo	Potencia
<b>Componentes adicionales</b>	0,24 kW
<b>Electroválvula</b>	0,033 kW
<b>Niquelina</b>	1,04 kW
<b>Bomba</b>	0,023 kW

**Fuente:** Investigador.

Potencia total consumida: 1,336 kW

Energía consumida: 1,336 kW·h

El módulo se utiliza 5 horas al día por lo tanto el consumo por día es 6,68 kW·h

**ANÁLISIS:** El módulo se utiliza dos veces por semana; es decir, 10 horas, lo que representa 40 horas al mes. Por tanto:

Energía consumida al mes del módulo original: 68,32 kW·h

Energía consumida al mes del módulo propuesto: 53,44 kW·h

El ahorro que se obtiene es de 14,88 kW·h al mes.

### **3.4 Modelo matemático y simulaciones**

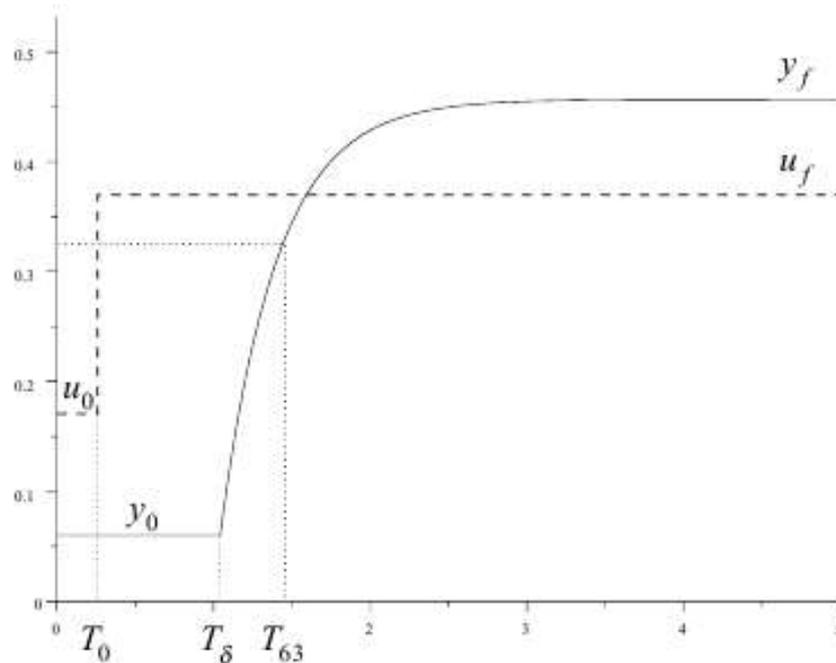
#### **3.4.1 Modelo matemático**

Para la obtención del modelo matemático se utiliza el método experimental.

Algunos modelos simples pueden obtenerse mediante ensayos experimentales sobre el sistema. Y luego inferir los valores de los parámetros K, T y  $\tau$  de la respuesta del

sistema a lazo abierto del sistema. Es común emplear la respuesta al escalón. Se presenta la ecuación que corresponde a un sistema de primer orden con retardo.

$$G(s) = \frac{Ke^{sT}}{\tau s + 1} \quad \text{Ecuación 3.1}$$



**Figura 3.9.** Respuesta de un sistema de primer orden.

**Fuente:** Investigador.

En base a los variables que se muestran en la figura 3.9, se obtiene la ecuación 3.2 que es la función de transferencia estimada.

$$G(s) = \frac{Ke^{-Trs}}{\tau s + 1} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde K es la ganancia, Tr es el tiempo de retardo y  $\tau$  es la diferencia entre el tiempo en que la salida alcanza el 63,2% y el tiempo en que la salida comienza a responder.

Ecuación 3.3

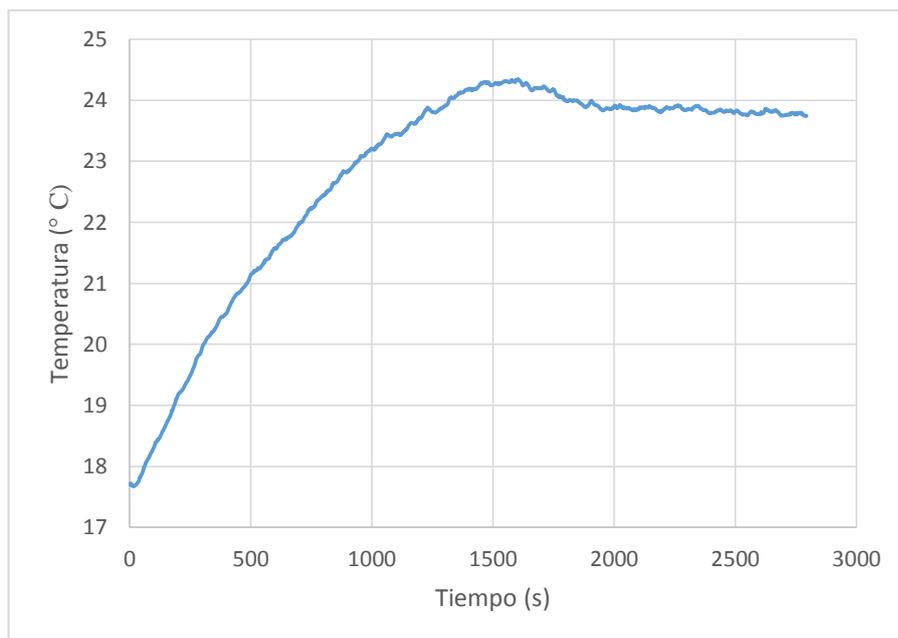
$$\tau = T_{63,2\%} - T_\delta \quad \text{Ecuación 3.3}$$

La ecuación 3.3 sirve para calcular la ganancia de la función

$$K = \frac{Y_f - Y_o}{\mu_f - \mu_o} \quad \text{Ecuación 3.4}$$

Donde  $Y_f$  es el valor final de la salida,  $Y_o$  es el valor inicial de la salida,  $\mu_f$  es el valor final de entrada y  $\mu_o$  es el valor inicial de entrada.

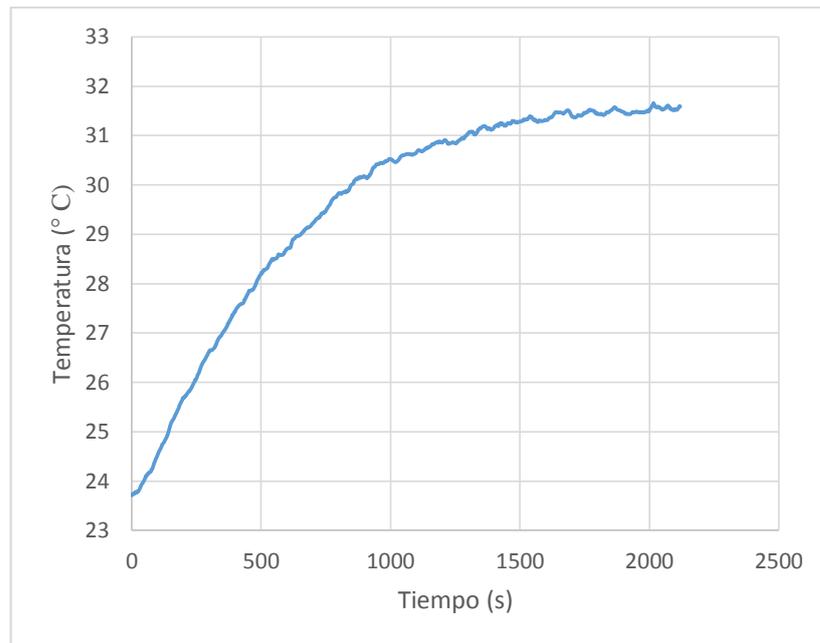
Se realizaron 4 pruebas, el nivel del tanque se fijó en 8 cm, la temperatura del agua que ingresa al tanque principal es la ambiente y el agua que sale se deposita en otro tanque diferente al reservorio. De las 4 pruebas se seleccionaron 3 para el análisis y obtención del modelo matemático.



**Figura 3.10.** Prueba de lazo abierto 1.

**Fuente:** Investigador.

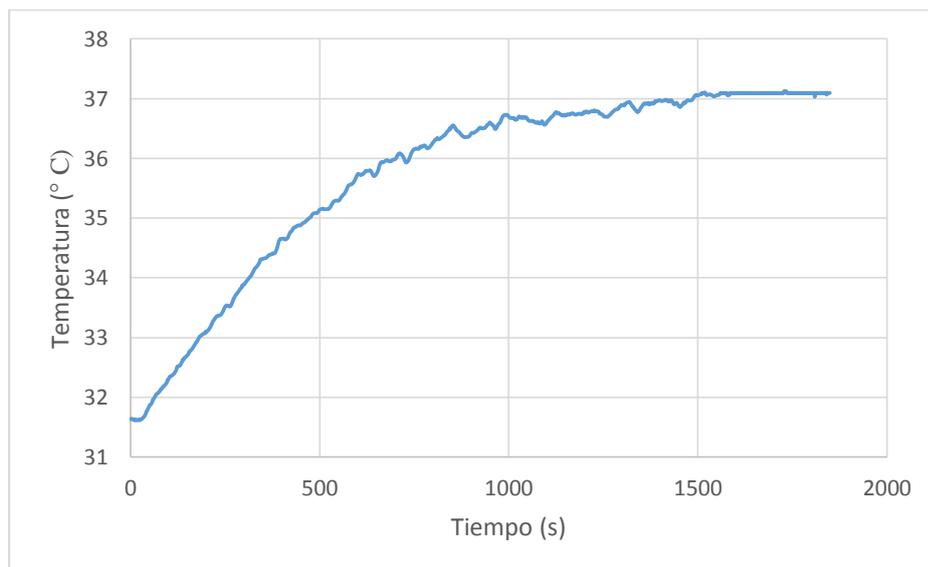
En esta prueba el valor de temperatura inicial es de 17 °C que corresponde a la temperatura ambiente, se aplicó un valor de escalón igual a 1, el mismo que después de 46 minutos estabilizó la temperatura en un valor de 23,8 °C.



**Figura 3.11.** Prueba de lazo abierto 2.

**Fuente:** Investigador.

La figura 3.11 muestra la gráfica de la prueba 2, en esta se aplicó un valor de escalón igual a 2, la temperatura inicial es 23,8 °C y después de 35 minutos se estabilizó en 31,6 °C.



**Figura 3.12.** Prueba de lazo abierto 3.

**Fuente:** Investigador.

La figura 3.12 muestra la gráfica de la prueba 3, en esta se aplicó un valor de escalón igual a 3, la temperatura inicial es 31,6 °C y después de 30 minutos se estabilizó en 37 °C.

Para la obtención del modelo matemático se seleccionó la gráfica de la prueba 3, los datos para obtener la función de transferencia estimada con retardo son:

$$Y_o = 31,6$$

$$Y_f = 37$$

$$\mu_o = 3$$

$$\mu_f = 4$$

La ganancia es:

$$K = \frac{Y_f - Y_o}{\mu_f - \mu_o} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Reemplazando con los datos obtenidos de la gráfica de la prueba 3,

$$K = \frac{37 - 31,6}{4 - 3}$$

$$K = 5,4$$

Para calcular  $\tau$ , se necesita el valor del tiempo en que la salida comienza a responder ( $T_\delta$ ) y el valor del tiempo en que la salida alcanza el 63,2 % de  $Y_f - Y_o$ .

$$T_\delta = 28 \text{ segundos}$$

El valor  $Y_f - Y_o$  es 5,4 de este valor se obtiene el 63,2 % que corresponde a 3,41.

El valor de 3,41 se suma a 31,6 que es el nivel inicial de la salida, dando un valor de 35,01. Este valor de temperatura se alcanzó en un tiempo de 476 segundos. Por lo tanto:

$$T_{63,2\%} = 476 \text{ segundos}$$

$$\tau = T_{63,2\%} - T_\delta$$

$$\tau = 476 - 28$$

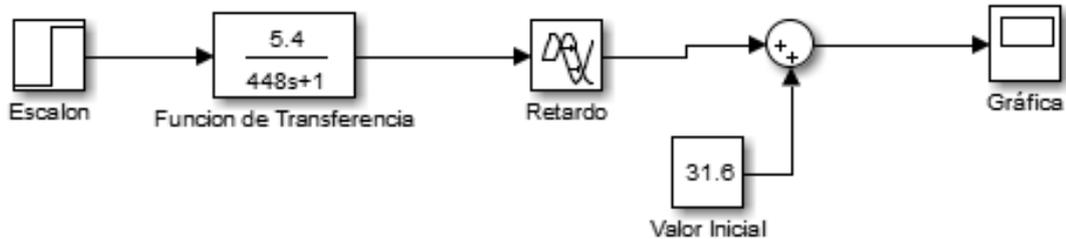
$$\tau = 448 \text{ segundos}$$

El tiempo de retardo  $T_r = 28$  segundos

La expresión matemática en primera instancia que corresponde al sistema es la siguiente:

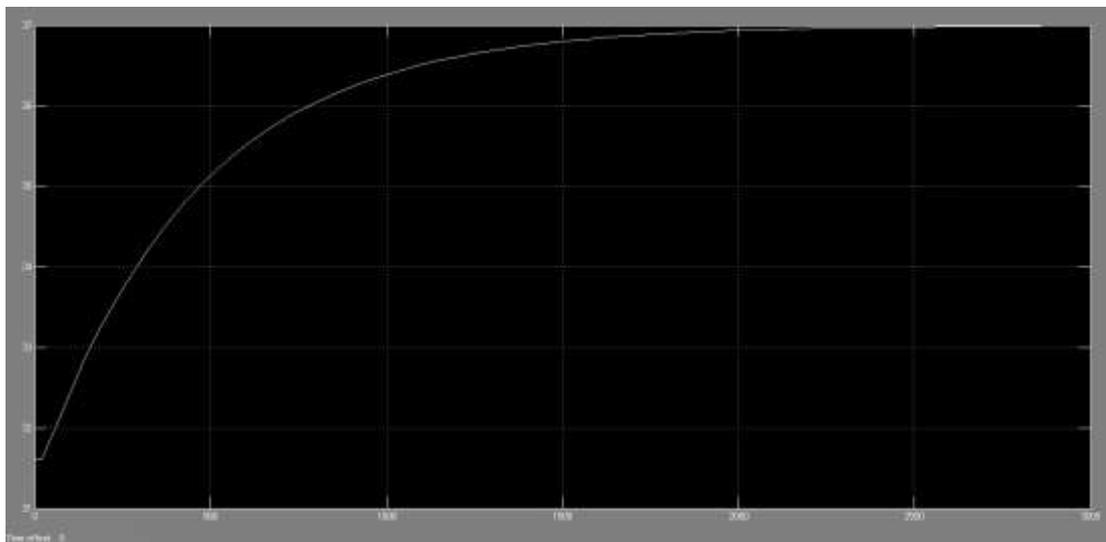
$$G(s) = \frac{5,4e^{-28s}}{448s+1} \quad \text{Ecuación 3.6}$$

Para comprobar la expresión se utilizó el simulink de Matlab.



**Figura 3.13.** Bloques de simulink con  $\tau=448$ .

**Fuente:** Investigador.



**Figura 3.14.** Respuesta del sistema con  $\tau=448$ .

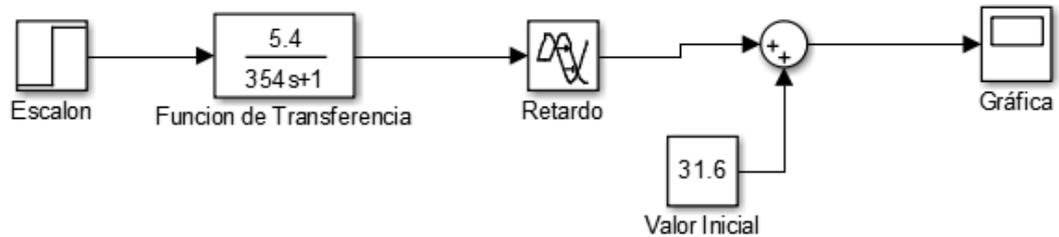
**Fuente:** Investigador.

La gráfica de respuesta de la figura 3.14 muestra que el valor de 37 °C se alcanza en 2500 segundos, por tanto se debe modificar el valor de  $\tau$  para obtener una curva que se aproxime a la prueba 3

**Solución:** La expresión matemática que corresponde al sistema es la siguiente:

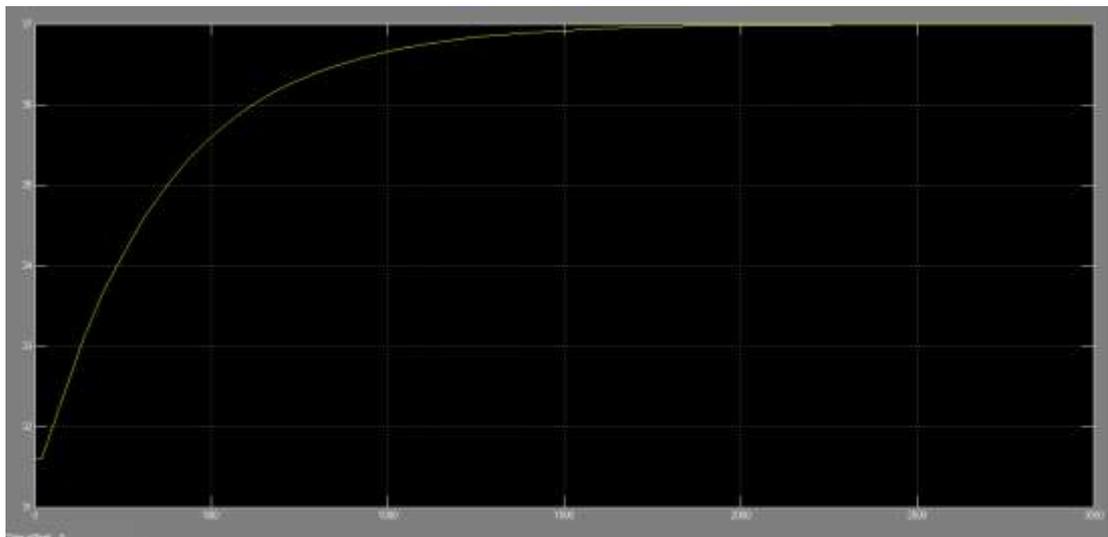
$$G(s) = \frac{5,4e^{-28s}}{354s+1} \quad \text{Ecuación 3.7}$$

Con esta expresión se realizó la prueba en simulink.



**Figura 3.15.** Bloques de simulink con  $\tau=354$

**Fuente:** Investigador.



**Figura 3.16.** Respuesta del sistema con  $\tau=354$

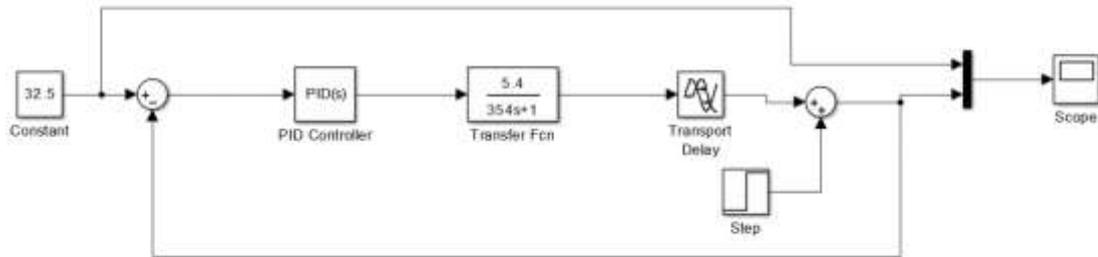
**Fuente:** Investigador.

Esta curva se aproxima a la prueba 3, porque la temperatura de 37 °C se alcanza aproximadamente a los 1800 segundos.

### 3.4.2 Simulación del proceso de temperatura

Utilizando el software Matlab y simulink se realizó la simulación del proceso, para obtener una relación entre la simulación y la implementación real del sistema.

A continuación se presenta la simulación del proceso de temperatura en lazo cerrado.



**Figura 3.17.** Representación del proceso de temperatura en simulink

**Fuente:** Investigador.

### 3.4.3 Sintonía de los controladores P, PI y PID

Para la sintonía de los controladores, se utilizó el método de Ziegler – Nichols basado en la Respuesta a Escalón y se obtuvieron como resultados las siguientes constantes:

**Tabla 3.4.**

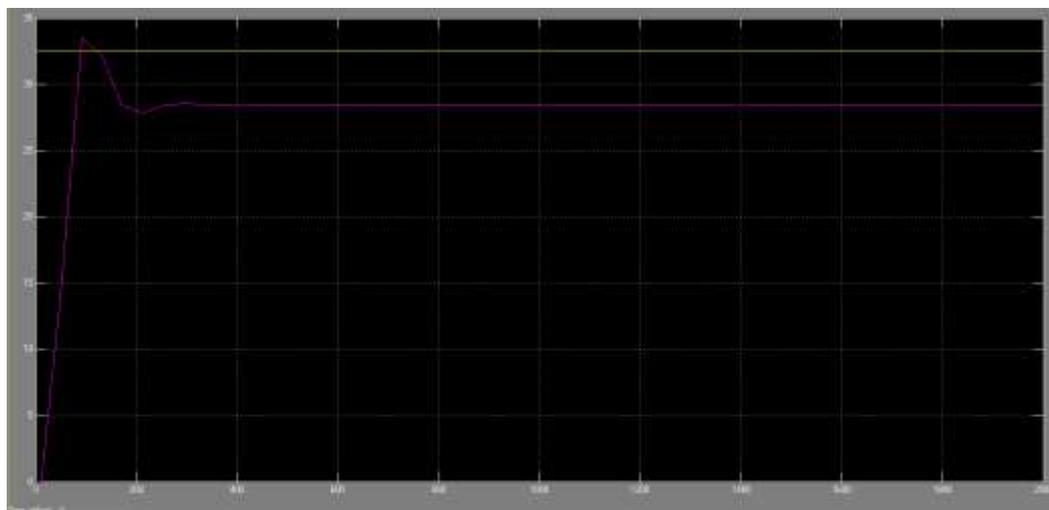
Valores de las constantes de los controladores

Control	$K_P$	$T_I$	$T_D$
<b>P</b>	1,3	-	-
<b>PI</b>	0,87	0,0045	-
<b>PID</b>	1,1	0,003	0,001

**Fuente:** Investigador.

#### 3.4.3.1 Control proporcional (P)

En la siguiente figura se presenta la tendencia del proceso utilizando el control Proporcional.



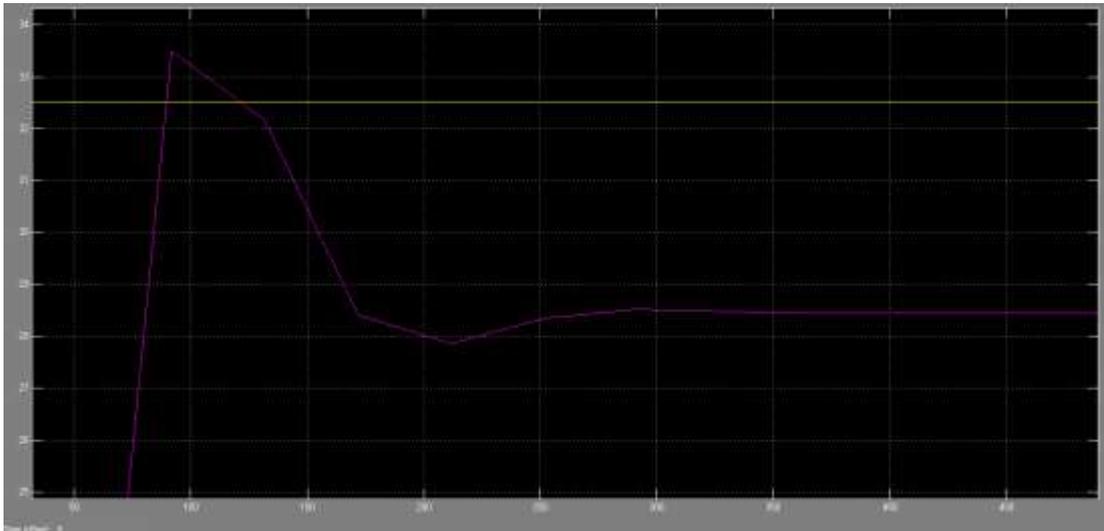
**Figura 3.18.** Tendencia del proceso utilizando el control proporcional

**Fuente:** Investigador.

**Análisis:** El controlador Proporcional presenta una mala respuesta en el proceso temperatura, a pesar de ser un proceso lento. Así como también el parámetro de un control proporcional es que presenta un error de estado estable. A continuación se realiza el cálculo del tiempo de asentamiento en el control en mención considerando que es para fines didácticos.

**Datos:**

- Porcentaje de desviación permitido en la curva de salida igual a +/- 5 % esto es de 0,875 a 34,125 °C. Considerando un proceso moderado.
- Porcentaje de sobre impulso permitido en la curva de salida igual al 15 % esto es 37,375 °C.



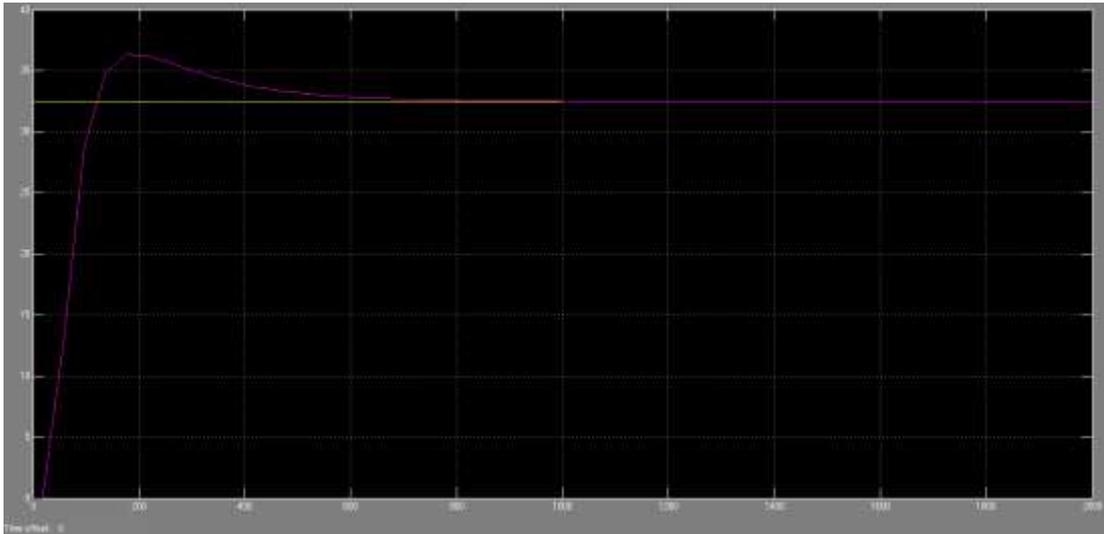
**Figura 3.19.** Tiempo de asentamiento y sobre impulso del control proporcional.

**Fuente:** Investigador.

**Análisis:** El valor del sobre impulso en este tipo de control es de 1 °C que corresponde al 3 % del sobre impulso permitido, el tiempo de asentamiento es de 360 segundos. El error de estado estable es 4 °C; es decir, la temperatura se estabiliza en 28,5 °C, este valor está por debajo que mínimo permitido.

### 3.4.3.2 Control PI

En la siguiente figura se presenta la tendencia del proceso utilizando el control Proporcional Integral.



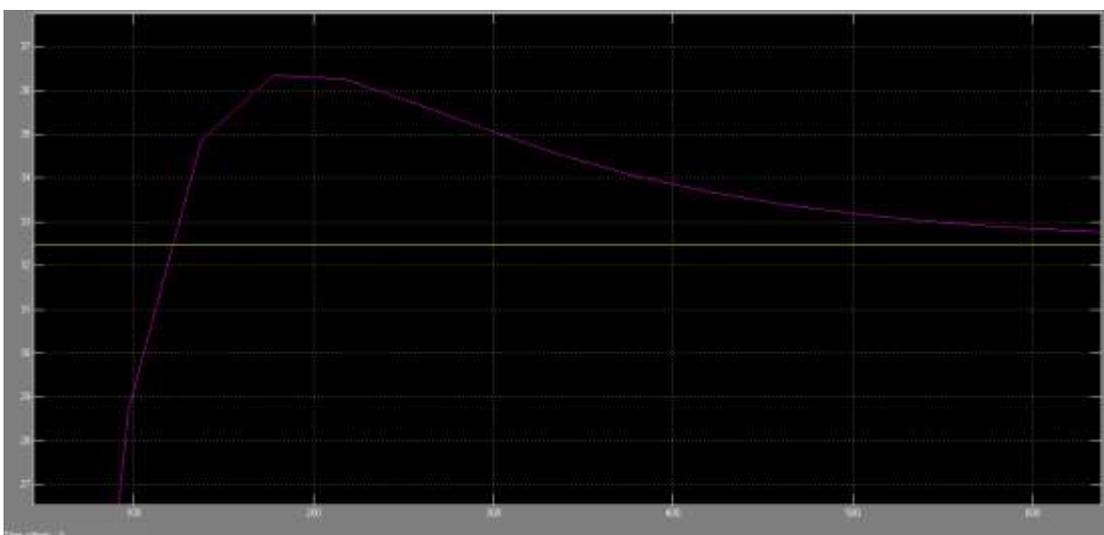
**Figura 3.20.** Tendencia del proceso utilizando el control PI.

**Fuente:** Investigador.

**Análisis:** El controlador PI presenta una buena respuesta en el proceso temperatura. A continuación se realiza el cálculo del tiempo de asentamiento en el control en mención considerando que es para fines didácticos.

**Datos:**

- Porcentaje de desviación permitido en la curva de salida igual a +/- 5 % esto es de 30,875 a 34,125 °C. Considerando un proceso moderado.
- Porcentaje de sobre impulso permitido en la curva de salida igual al 15 % esto es 37,375 °C.



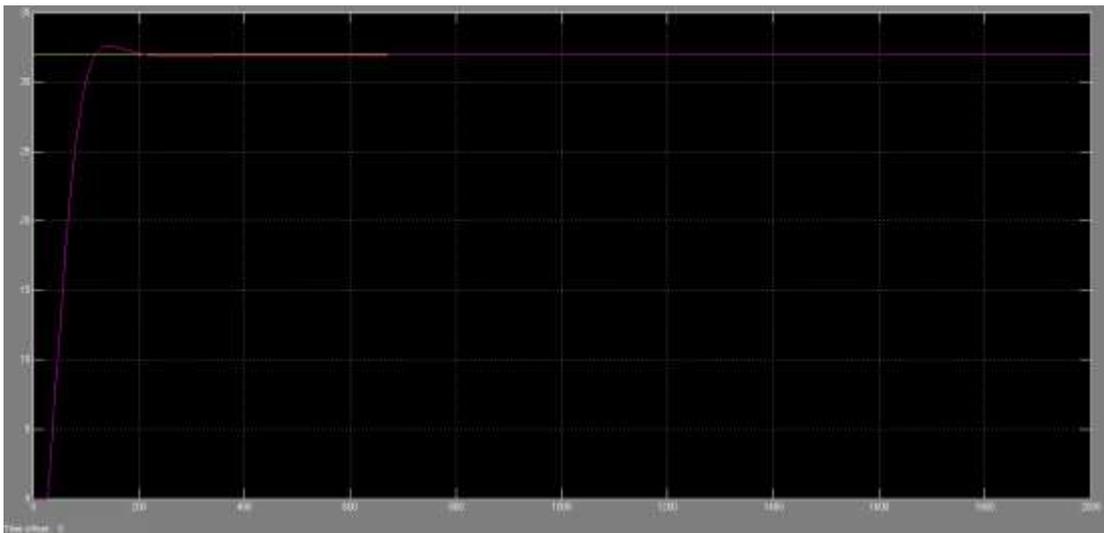
**Figura 3.21.** Tiempo de asentamiento y sobre impulso del control PI.

**Fuente:** Investigador.

**Análisis:** El valor del sobre impulso en este tipo de control es de 3,8 °C que corresponde al 11,69 % del sobre impulso permitido, el tiempo de asentamiento es de 340 segundos, porque en este instante de tiempo ingresa a la banda del porcentaje de desviación permitido. No existe error de estado estable.

### 3.4.3.3 Control PID

En la siguiente figura se presenta la tendencia del proceso utilizando el control Proporcional Integral.



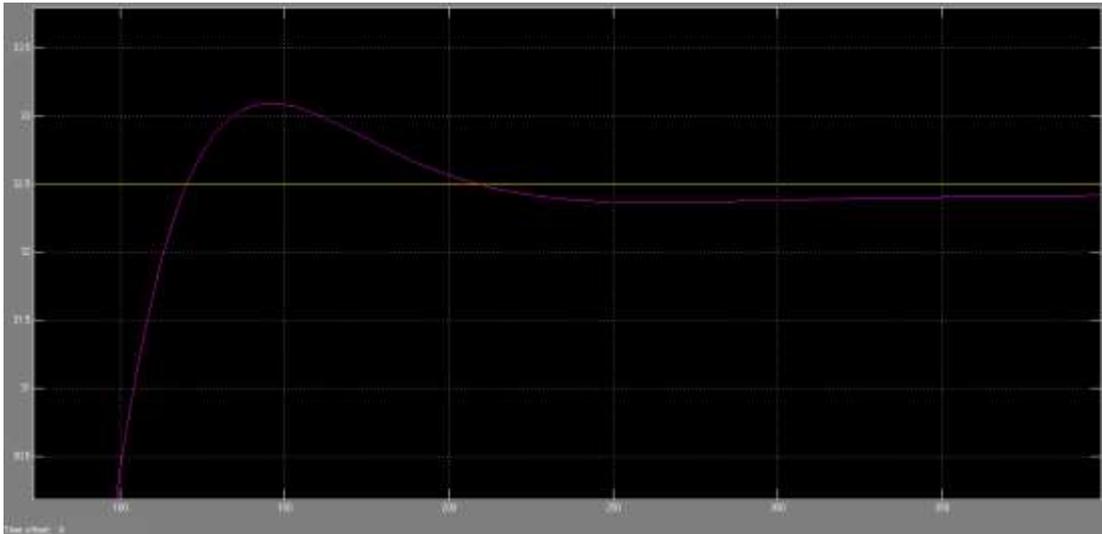
**Figura 3.22.** Tendencia del proceso utilizando el control PID.

**Fuente:** Investigador.

**Análisis:** El controlador PID presenta una mejor respuesta que el PI en el proceso temperatura, el sobre impulso disminuye. A continuación se realiza el cálculo del tiempo de asentamiento en el control en mención considerando que es para fines didácticos.

#### **Datos:**

- Porcentaje de desviación permitido en la curva de salida igual a +/- 5 % esto es de 30,875 a 34,125 °C. Considerando un proceso moderado.
- Porcentaje de sobre impulso permitido en la curva de salida igual al 15 % esto es 37,375 °C.



**Figura 3.23.** Tiempo de asentamiento y sobre impulso del control PID

**Fuente:** Investigador.

**Análisis:** El valor del sobre impulso en este tipo de control es de 0,6 °C que corresponde al 1,84 % del sobre impulso permitido, el tiempo de asentamiento es de 150 segundos, porque en este instante de tiempo ingresa a la banda del porcentaje de desviación permitido. No existe error de estado estable.

De acuerdo a la evaluación de los tipos de controles los que poseen buena respuesta para este tipo de proceso son el control PI y el control PID, el control proporcional genera un error de estado estable que no es permitido en un proceso industrial.

**Tabla 3.5.**

Análisis de las respuestas de los tipos de control

Tipo de control	Valor de Sobreimpulso	Error de Estado estable	Tiempo de Asentamiento
<b>Proporcional</b>	1 °C	4 °C	360 s
<b>PI</b>	3,8 °C	0 °C	340 s
<b>PID</b>	0,6 °C	0 °C	150 s

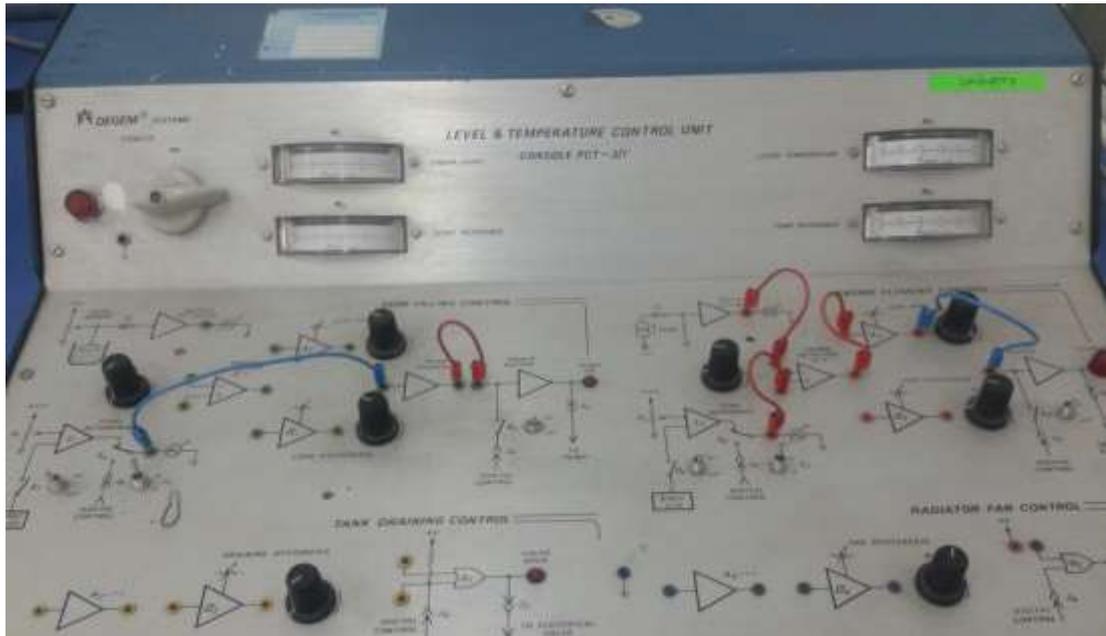
**Fuente:** Investigador.

### 3.5 Tipos de Controles Implementados

#### 3.5.1 Control ON/OFF con la Consola de Control

Para medir el consumo de la estación con los componentes originales, se implementó un control ON/OFF con histéresis, el setpoint se fijó en 32,5 °C, la bomba funcionó al

50 %; es decir, para obtener un caudal de entrada al tanque principal de 0,5 l/min, el nivel de agua del tanque con la ayuda de la válvula manual de salida se fijó en 8 cm.



**Figura 3.24.** Conexión del control ON/OFF con histéresis.

**Fuente:** Investigador.

### 3.5.1.1 Análisis del consumo del control ON/OFF con histéresis

La potencia eléctrica por hora de este control es: 1,82 kW

El módulo funciona 5 horas al día, dos veces a la semana, 40 horas al mes, 480 horas al año.

Por lo tanto, el sumo al año corresponde a:  $1,82 \text{ kW} * 480 \text{ h} = 873,6 \text{ kW}\cdot\text{h}$

### 3.5.2 Control Proporcional

Para medir el consumo de la estación con los componentes propuestos, se implementó un control Proporcional utilizando LabView, la tarjeta de adquisición de datos PCI 6024E, el control de fase digital y un circuito electrónico acondicionador de temperatura con RTD, el setpoint se fijó en 32,5 °C, la bomba funcionó al 50 %; es decir, para obtener un caudal de entrada al tanque principal de 0,5 l/min, el nivel de agua del tanque con la ayuda de la válvula manual de salida se fijó en 8 cm.

### **3.5.2.1 Análisis del consumo del control proporcional**

La potencia eléctrica por hora de este control es: 1,34 kW

El módulo funciona 5 horas al día, dos veces a la semana, 40 horas al mes, 480 horas al año.

Por lo tanto, el sumo al año corresponde a:  $1,34 \text{ kW} * 480 \text{ h} = 643,2 \text{ kW}\cdot\text{h}$

### **3.5.3 Control PI**

Para medir el consumo de la estación con los componentes propuestos, se implementó un control Proporcional utilizando LabView, la tarjeta de adquisición de datos PCI 6024E, el control de fase digital y un circuito electrónico acondicionador de temperatura con RTD, el setpoint se fijó en 32,5 °C, la bomba funcionó al 50%; es decir, para obtener un caudal de entrada al tanque principal de 0,5 l/min, el nivel de agua del tanque con la ayuda de la válvula manual de salida se fijó en 8 cm.

#### **3.5.3.1 Análisis del consumo del control PI**

La potencia eléctrica por hora de este control es: 0,93 kW

El módulo funciona 5 horas al día, dos veces a la semana, 40 horas al mes, 480 horas al año.

Por lo tanto, el sumo al año corresponde a:  $0,93 \text{ kW} * 480 \text{ h} = 446,4 \text{ kW}\cdot\text{h}$

### **3.5.4 Control PID**

Para medir el consumo de la estación con los componentes propuestos, se implementó un control Proporcional utilizando LabView, la tarjeta de adquisición de datos PCI 6024E, el control de fase digital y un circuito electrónico acondicionador de temperatura con RTD, el setpoint se fijó en 32,5 °C, la bomba funcionó al 50 %; es decir, para obtener un caudal de entrada al tanque principal de 0,5 l/min, el nivel de agua del tanque con la ayuda de la válvula manual de salida se fijó en 8 cm.

### 3.5.4.1 Análisis del consumo del control PID

La potencia eléctrica por hora de este control es: 0,58 kW

El módulo funciona 5 horas al día, dos veces a la semana, 40 horas al mes, 480 horas al año.

Por lo tanto, el sumo al año corresponde a:  $0,58 \text{ kW} * 480 \text{ h} = 278,4 \text{ kW}\cdot\text{h}$

### 3.6 Análisis del consumo de energía de los controladores

Para el análisis del consumo de los controladores se comparó entre el control ON/OFF que corresponde al sistema de entrenamiento con sus componentes originales y al control PID que consume menor energía de los tres analizados.

Sistema de entrenamiento con control ON/OFF:	873,6 kW·h/año
Sistema de entrenamiento con control PID:	278,4 kW·h/año
Reducción anual:	595,2 kW·h/año

La reducción anual corresponde a la diferencia entre el consumo del sistema de entrenamiento con control ON/OFF y el sistema de entrenamiento con control PID.

### 3.7 Análisis del consumo de energía de una máquina real

Con el propósito de relacionar el sistema de entrenamiento PCT 3 con máquinas empleadas en la industria, se buscó información de máquinas que tengan en su proceso de fabricación un elemento calefactor. Se seleccionó la máquina para elaborar chocolate TPP 360 que tiene las siguientes características:

- Potencia eléctrica 6 kW
- Voltaje de alimentación en corriente alterna de 220 V
- Completamente de acero inoxidable.
- Camisa de agua de doble pared.
- Aislamiento exterior con lana de vidrio.
- Agitador con rascadores laterales (appr. 16 rev/min).
- Escape al lado inferior.
- Escape lateral.

- Motor montado abajo de la fundidora.
- Elementos de calefacción secos (resistencia eléctrica).
- Termostato electrónico digital con display doble.
- Termostato de seguridad mecánico.
- Tablero de mandos central.
- Suministro agua para enfriar acelerado.



**Figura 3.25.** Máquina Industrial Fundidora de Chocolate.

**Fuente:** (Prefamac, s.f.).

Considerando que la maquina trabaja 5 horas diarias, por cinco días a la semana, dan un total de 100 horas al mes y 1200 horas de funcionamiento al año se obtiene para:

Control ON/OFF, con termostato electrónico digital que es el control original de la máquina, se tiene un consumo anual de:

$$6 \text{ kW} * 1200 \text{ h} = 7200 \text{ kW}\cdot\text{h/año}$$

Como en la maqueta cuando se realiza un control PID se reduce 3,13 veces la potencia eléctrica con respecto al control ON/OFF.

Por tanto, Control PID

$$1,27 \text{ kW} * 1200 \text{ h} = 1524 \text{ kW}\cdot\text{h/año}$$

La reducción anual corresponde a 5676 kW·h/año si se reemplaza el control por termostato electrónico por el PID.

## **CAPÍTULO 4**

### **PROPUESTA**

#### **4.1 Título de la Propuesta**

Implementación de un dimmer con microcontrolador para el control de temperatura del sistema de entrenamiento PCT 3.

#### **4.2 Objetivo de la Propuesta**

Utilizar el sistema de entrenamiento PCT 3 con fines didácticos pero con un menor consumo de energía eléctrica.

#### **4.3 Justificación de la Propuesta**

Es necesaria una propuesta de un dispositivo de monitoreo y control del sistema de entrenamiento PCT 3 que disminuya el consumo de energía eléctrica para el Laboratorio Instrumentación Virtual del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico, el sistema de entrenamiento propuesto tendrá las siguientes características:

- El control de la niquelina será mediante el dimmer con microcontrolador.
- Se eliminarán la electroválvula y el ventilador porque durante las pruebas realizadas no se utilizaron.
- Mediante la apertura de la válvula manual de salida del tanque principal, se mantendrá el nivel de líquido del tanque en el valor que se desee porque el caudal de ingreso es constante.
- La bomba funcionará con una fuente de 6 Vdc
- Se utilizará un circuito electrónico acondicionador con RTD para medir la temperatura del líquido del tanque principal.
- El controlador PID se realizará con LabView por tanto se necesita un computador y la tarjeta de adquisición de datos.
- Todo el sistema funcionará a 220 Vac a 60 Hz.

- Se podrán simular sistemas industriales similares para evaluar y mejorar su eficiencia energética

#### **4.4 Estructura de la Propuesta**

La estructura de la propuesta es la implementación de un dimmer con microcontrolador y una tarjeta de adquisición con LabView para el monitoreo y control de temperatura del sistema de entrenamiento PCT 3, además será reemplazado el circuito acondicionador de temperatura de la consola de control, por un circuito electrónico acondicionador con RTD. Se eliminarán la electroválvula y el ventilador.

La propuesta está conformada por los siguientes elementos:

##### **Bomba:**

La bomba se alimenta con un voltaje de corriente directa de 6 V, esto permite el ingreso de un caudal al tanque de proceso 0,5 l/s.

##### **Tanque de agua fría:**

En este tanque se almacena agua a temperatura ambiente, aproximadamente a 16 grados centígrados en Latacunga.

##### **Tanque de proceso:**

En este tanque se realiza el control de temperatura del agua cuando se mantiene constante el nivel.

##### **Tanque de agua caliente:**

En este tanque se deposita el agua a la temperatura que fue controlada en el tanque de proceso.

##### **Válvula manual:**

Este dispositivo permite manipular el caudal de salida del tanque de proceso para mantener el nivel constante del mismo.

**Niquelina:**

Este dispositivo permite calentar el agua del tanque de proceso de acuerdo a la potencia eléctrica enviada por el dimmer electrónico.

**RTD:**

Es un sensor de temperatura resistivo; es decir, que el valor de la resistencia varía de acuerdo a la temperatura a la cual está sometido.

Para la propuesta se utilizará una PT100, que es una RTD construida de platino, cuyo valor de resistencia es 100  $\Omega$  a cero grados centígrados y que varía linealmente 0.385  $\Omega$  por cada grado centígrado.

**Acondicionador de RTD:**

Es un circuito electrónico que acondiciona el valor de resistencia de la RTD a una salida de voltaje proporcional. El rango de medida de temperatura es de 0 a 100 grados centígrados que corresponde a un voltaje de salida del circuito acondicionador de 0 a 10 Vdc. La salida de este circuito se conecta a una entrada analógica de voltaje de la tarjeta de adquisición de datos PCI 6024E.

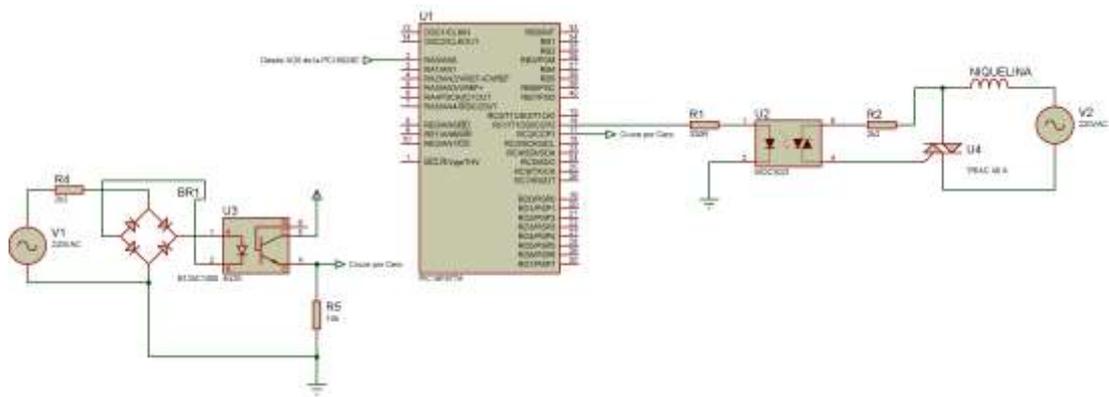
**Dimmer Electrónico:**

El dispositivo electrónico central de este circuito es el PIC16F877A, que es un microcontrolador de 8 bits de la fábrica Microchip. Este dispositivo tiene en su memoria un programa que controla el ángulo de disparo del Triac para enviar la potencia eléctrica hacia la niquelina.

Para tener el control del ángulo de disparo se emplea una señal del cruce por cero que es la encargada de sincronizar el inicio del retardo del valor de dicho ángulo.

La salida del microcontrolador que está conectada al opto triac es una señal PWM que tiene un periodo constante de 8,33 ms.

El ciclo de trabajo de la señal PWM es controlado por el voltaje analógico entre 0 y 5 Vdc que ingresa al pin 2 del PIC6F877A, que corresponde al canal analógico 0 del microcontrolador. El voltaje analógico entre 0 y 5Vdc es la señal de control enviada por la salida del control PID desarrollada en LabView mediante la PCI 6024E.



**Figura 4.1.** Esquema del dimmer electrónico de la propuesta.

**Fuente:** Investigador.

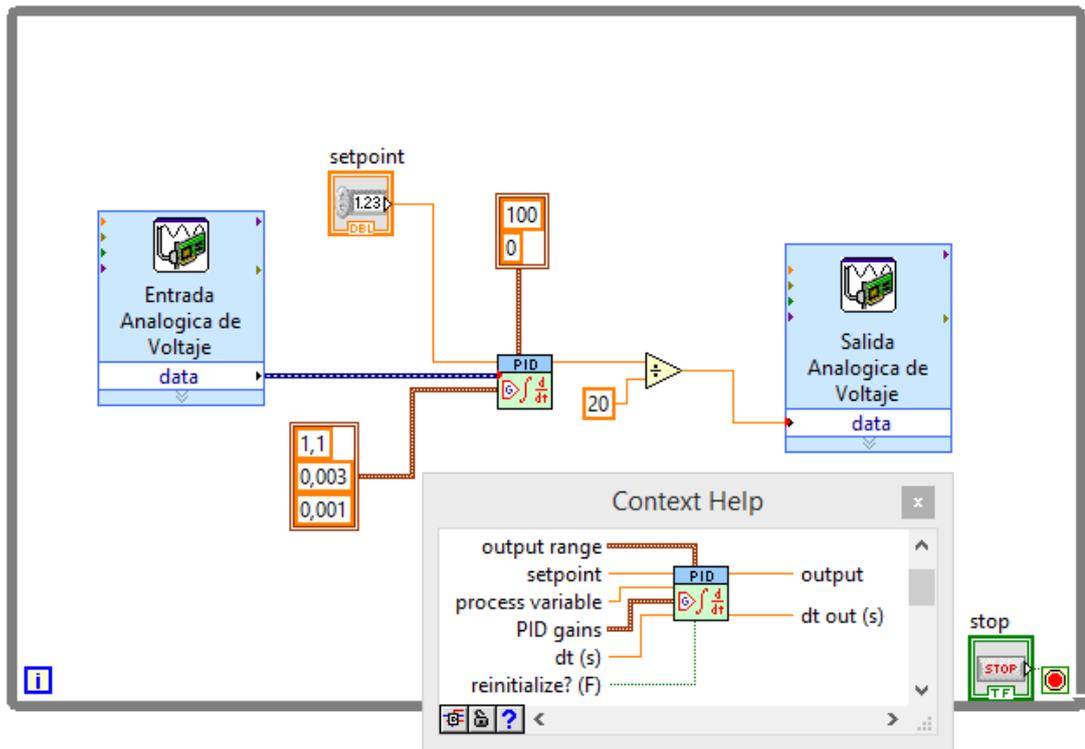
### **Tarjeta de adquisición de datos:**

Es una tarjeta PCI 6024E, de National Instruments que se emplea para adquirir la señal acondicionada de temperatura y enviar la salida del controlador PID desarrollado en LabView hacia el microcontrolador.

### **Diagrama de bloques del programa en LabView**

El control PID de la propuesta se lo realizó en LabView, la variable del proceso es la entrada analógica de voltaje, que corresponde a la salida del circuito acondicionador de RTD, el SetPoint es un control numérico, y las ganancias PID corresponden a las especificadas en la tabla 3.4. El rango de la señal de salida es de 0 a 100, este valor se divide para 20 para enviar mediante la salida analógica de voltaje al dimmer electrónico un valor de voltaje de 0 a 5 Vdc. De esta forma se crea un control de lazo cerrado en Labview.

El diagrama de bloques completo se muestra en la figura 4.2

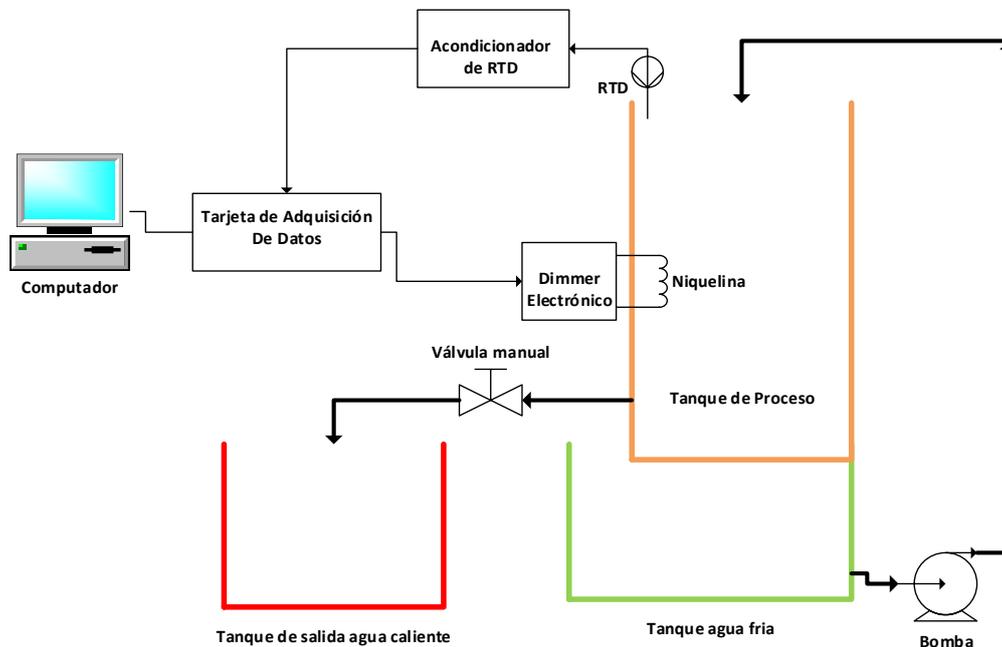


**Figura 4.2.** Diagrama de Bloques de la propuesta.

**Fuente:** Investigador.

En la figura 4.2 se muestra el programa creado en LabView para el control PID, el VI Express llamado entrada analógica de voltaje, adquiere la señal acondicionada de la RTD, que corresponde a la variable del proceso. Al VI llamado PID, ingresan la variable del proceso, el set point y las ganancias PID especificadas en la tabla 3.4. La salida tiene un rango de 0 a 100, este valor se divide para 20 para obtener una variación de voltaje de 0 a 5 Vdc que se ingresa al dimmer electrónico.

El esquema completo de la propuesta se muestra en la figura 4.3.



**Figura 4.3.** Diagrama esquemático de la propuesta.

**Fuente:** Investigador.

#### 4.5 Desarrollo de la Propuesta

Para que esta propuesta se concrete es necesario contar con los siguientes recursos:

##### 4.5.1 Recurso Material

En la tabla 4.1 se describe los materiales eléctricos y electrónicos que se utilizan en la propuesta.

**Tabla 4.1.**

Costos de implementación de la maqueta

Cantidad	Detalle	Costo \$
1	Dimmer con microcontrolador	60
1	Circuito acondicionador con RTD	120
1	Cables para conexión	5
1	Fuentes de alimentación	20
<b>Total</b>		<b>205</b>

**Fuente:** Investigador.

Para implementar la maqueta son necesarios varios dispositivos eléctricos y electrónicos con un costo de 205 \$.

#### 4.5.2 Recurso Humano

Se considera la mano de obra necesaria para la implementación de la propuesta.

**Tabla 4.2.**

Costo del talento humano

Cantidad	Detalle	Costo \$
1	Profesional Electrónico	50
<b>Total</b>		50

**Fuente:** Investigador.

El costo del profesional electrónico que es el investigador es de 50 \$ por hora de trabajo.

#### 4.6 Evaluación Socio Económica y Ambiental de la Propuesta

El propósito de la evaluación socioeconómica de un proyecto es el de conocer la posibilidad de que un proyecto contribuya en grado significativo al desarrollo de la economía en su conjunto y de que su contribución sea lo bastante grande como para justificar la utilización de los escasos recursos que se necesiten.

El punto de vista que se adopta en el análisis económico es el de la sociedad como un todo.

##### 4.6.1 Social

Al implementar la propuesta el estudiante es beneficiado ya que tecnológicamente está utilizando equipos actuales, los cuales permiten realizar el monitoreo y control del proceso en miras de dar de forma práctica los métodos de sintonía de los controladores.

Con los elementos incorporados se crean facilidades para el uso del sistema de entrenamiento como maqueta de investigación. Además servirá como material didáctico para enseñar a los futuros tecnólogos en electrónica la forma como pueden realizar control automático de un proceso.

##### 4.6.2 Económica

Con la implementación de la propuesta la reducción el consumo de energía eléctrica es 595 kW·h al año, al emplear sistema de entrenamiento 10 horas a la semana, 40

horas al mes y 480 horas al año, en la actualidad la empresa que proporciona la energía eléctrica tiene tarifa de 14 centavos de dólar por kW·h, dando con ello una reducción de 83,3 \$/año en el pago de la planilla de energía eléctrica.

En el análisis de la implementación de la máquina para fundir chocolate se reduce el consumo de energía eléctrica 5676 kW·h año, por lo tanto se ahorra 794,64 \$ en el pago de la planilla de energía eléctrica

### Cálculo del VAN

Es un método de evaluación de proyectos de inversión que consiste en determinar el valor presente de los flujos de fondos del negocio, usando la tasa de descuento acorde al rendimiento mínimo esperado.

Se procede a calcular el VAN para la maqueta didáctica y la máquina de procesamiento de chocolate selecciona que posee algo de semejanza con la propuesta.

**Tabla 4.3.**

Valores de inversión inicial

Ord.	Detalle	Valor de la Inversión
1	Maqueta didáctica	255 \$
2	Máquina para fundir chocolate	2500 \$

**Fuente:** Investigador

La fórmula que permite calcular el VAN (Valor Actual Neto) es la siguiente:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_o \quad \text{Ecuación 4.1}$$

#### Donde:

VAN= Valor Actual Neto (\$)

Vt: Representa los flujos de caja en cada periodo t. (\$)

I<sub>o</sub>: Es el valor del desembolso inicial de la inversión. (\$)

n: Es el número de períodos considerado (años)

k: El tipo de interés (%)

Para el cálculo del VAN en la maqueta didáctica se utilizan los siguientes datos:

$$Vt = 83,3 \$$$

$$Io = 255 \$$$

$$n = 4 \text{ años}$$

**Tiempo de vida útil del equipo:** 4 años

$$K = 9 \%$$

$$VAN = \sum_{t=1}^4 \frac{83,3}{(1 + 0,09)^t} + \frac{83,3}{(1 + 0,09)^2} + \frac{83,3}{(1 + 0,09)^3} + \frac{83,3}{(1 + 0,09)^4} - 255$$

$$VAN = 14,86$$

Como el VAN es mayor que 0 la inversión produciría ganancias por encima de la rentabilidad exigida.

La propuesta también se justifica si tenemos en cuenta que la modificación del sistema de entrenamiento permitirá ampliar su uso con fines docentes - investigativos, lo que constituye una disminución en las inversiones que tendría que hacer la institución para adquirir un banco de prueba con características similares.

Para el cálculo del VAN en la máquina fundidora de chocolate se utilizan los siguientes datos:

$$Vt = 794 \$$$

$$Io = 2500 \$ \text{ (costo de la máquina)}$$

$$n = 4 \text{ años}$$

**Tiempo de vida útil del equipo:** 4 años

$$K = 9 \%$$

$$VAN = \sum_{t=1}^4 \frac{794}{(1 + 0,09)^t} + \frac{794}{(1 + 0,09)^2} + \frac{794}{(1 + 0,09)^3} + \frac{794}{(1 + 0,09)^4} - 2500$$

$$VAN = 72,33$$

Como el VAN es mayor que 0 la inversión produciría ganancias por encima de la rentabilidad exigida.

### **Cálculo de TIR**

La tasa interna de retorno (TIR) es la tasa de interés que iguala en el tiempo los ingresos y egresos de un flujo de caja; es decir, la TIR es el tipo de interés que anula el VAN de una inversión.

Para calcular el TIR de la maqueta didáctica se consideró el valor inicial de 255 \$, el periodo de 4 años y el flujo de caja para esos años el valor de 83,3 \$. Con la ayuda de Excel y la función TIR se obtuvo el siguiente valor:

**TIR (Maqueta didáctica) = 11,629 %**

Significa que para que el proyecto de la maqueta didáctica sea rentable debe descontarse al 11,629 % como máximo, caso contrario no es viable.

Para calcular el TIR de la máquina fundidora de chocolate se consideró el valor inicial de 2500 \$, el periodo de 4 años y el flujo de caja para esos años el valor de 794 \$. Con la ayuda de Excel y la función TIR se obtuvo el siguiente valor:

**TIR (Máquina fundidora de chocolate) = 10,311 %**

Significa que para que el proyecto de la máquina fundidora de chocolate sea rentable debe descontarse al 10,311 % como máximo, caso contrario no es viable.

### **Cálculo de PRI**

El periodo de recuperación de la inversión (PRI) es el tiempo que se necesita para que la acumulación de beneficios netos alcance a cubrir la inversión inicial.

Los proyectos son aceptables cuando PRI es menor que p, siendo p el plazo máximo de corte (años) previamente definido.

Para el caso de la maqueta didáctica el flujo de caja es 83,3 \$ y el periodo máximo de corte es 4 años.

El costo no recuperado al inicio del tercer año que es el periodo anterior a la recuperación total es 249,9. Este valor se resta de la inversión inicial (255 – 249,9) obteniéndose un valor de 5,1, el mismo que se divide para 83,3 que es el valor de flujo de caja del cuarto año. El resultado es 0,0612. Este valor se suma al periodo anterior de la recuperación total; es decir, 3+0,0612.

Por los tanto,

**PRI (Maqueta didáctica) = 3,0612**

Que corresponde a 3 años + 0 meses + 2 días aproximadamente. Como el tiempo de recuperación es menor al plazo máximo de 4 años, el proyecto es aceptable.

Para el caso de la máquina fundidora de chocolate el flujo de caja es 794 \$ y el periodo máximo de corte es 4 años.

El costo no recuperado al inicio del tercer año que es el periodo anterior a la recuperación total es 2382. Este valor se resta de la inversión inicial (2500 – 2382) obteniéndose un valor de 118, el mismo que se divide para 794 que es el valor de flujo de caja del cuarto año. El resultado es 0,1486. Este valor se suma al periodo anterior de la recuperación total; es decir, 3+0,1486.

Por los tanto,

**PRI (Máquina fundidora de chocolate) = 3,1486**

Que corresponde a 3 años + 1 mes + 24 días aproximadamente. Como el tiempo de recuperación es menor al plazo máximo de 4 años, el proyecto es aceptable.

#### **4.6.3 Ambiental**

Se conocen varias vías para el cálculo del volumen de los gases emitidos a la atmósfera por la combustión en el proceso de generación de electricidad.

Según la publicación Protección ambiental y producción limpia, parte 2, (Salazar Fonseca, Mockey Coureaux, & Canal Solanes, 2009) , para determinar la reducción de

emisiones de contaminantes por concepto de ahorro de energía se utiliza la siguiente expresión:

$$E = (FE \cdot EA) \cdot 10^{-6} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Donde:

E- Emisiones (tCO<sub>2</sub>/año)

FE- Factor de emisión (g CO<sub>2</sub>/kW.h)

EA- Energía ahorrada (kW.h/año)

En la siguiente tabla se muestran los factores de emisión de contaminantes a utilizar para determinar las emisiones por la expresión antes expuesta.

**Tabla 4.4.**

Factor de emisión de contaminantes

Impactos ambientales	Contaminantes	Factor de emisión g CO <sub>2</sub> /kW.h	Factor de emisión g CO <sub>2</sub> /L
<b>Efecto invernadero</b>	CO <sub>2</sub>	799	2986

**Fuente:** (Salazar Fonseca, Mockey Coureaux, & Canal Solanes, 2009).

En el caso de ahorro por disminución en el consumo eléctrico, en la maqueta didáctica que es de 595 kW·h tendrá una disminución en la emisión de CO<sub>2</sub> de 0,47 t:

$$E = (799 \cdot 595) \cdot 10^{-6}$$

$$E = 0,47 \text{ tCO}_2/\text{año}$$

En el caso de ahorro por disminución en el consumo eléctrico, en la máquina fundidora de chocolate que es de 5676 kW·h tendrá una disminución en la emisión de CO<sub>2</sub> de 4,53 t:

$$E = (799 \cdot 5676) \cdot 10^{-6}$$

$$E = 4,53 \text{ tCO}_2/\text{año}$$

## CONCLUSIONES

- Se realizó una investigación documental en base al manual del fabricante sobre las características de los componentes del sistema de control y monitoreo de temperatura PCT 3 como son la bomba, niquelina, electroválvula, ventilador, concluyendo que la niquelina es el elemento de mayor consumo energético, porque de los 1,708 kW de consumo total del módulo, 1,247 kW corresponden a la niquelina.
- Un control fuzzy no procesa ecuaciones ni tablas, procesan reglas para decidir cómo cambiar las salidas, mientras que un control predictivo es una técnica que requiere pocos conocimientos de control porque los conceptos son muy intuitivos y la sintonización relativamente simple, pero la implementación resulta más difícil que la de los clásicos controladores PID cuando la dinámica del proceso es lenta como en el caso de la temperatura.
- Se evaluó la Eficiencia Energética del sistema de entrenamiento PCT 3, obteniéndose menor consumo eléctrico al utilizar el dimmer con microcontrolador, acondicionamiento de temperatura con RTD, un computador y la tarjeta de adquisición de datos PCI 6024E realizando un control PID en reemplazo de un control ON/OFF utilizando la consola de control. Obteniendo un ahorro de energía eléctrica al año 595,2 kW·h.
- Se determinó el consumo energético de la propuesta para el sistema de entrenamiento de temperatura PCT 3, utilizando los tres tipos de controles como son: Proporcional, Proporcional integral, Proporcional integral derivativo, siendo el control PID el más eficiente para este tipo de proceso logrando un ahorro de energía al año de 278,4 kW·h. frente al controlador del sistema de entrenamiento actual.
- Se obtuvo el modelo matemático del sistema de entrenamiento de temperatura PCT 3 para comparar la funcionalidad de forma física y simulada, obteniéndose una

similitud entre la simulación y la práctica, que pueden ser usadas para el ajuste de los controladores.

- En el análisis de la implementación del control propuesto en la máquina para fundir chocolate se reduce el consumo de energía eléctrica en 5676 kW·h/año, por lo tanto se ahorra 794,64 \$ en el pago de la planilla de energía eléctrica siempre y cuando se utilice un control PID.

## RECOMENDACIONES

- En base al modelo matemático obtenido evaluar la eficiencia energética del sistema propuesto implementado otro tipo de controlador como el Fuzzy para compararlo con el control PID.
- Reemplazar el computador y la tarjeta de adquisición de datos por otros dispositivos electrónicos como microcontroladores de gama alta a través de los cuales se puedan realizar controles PID y como interfaz de usuario las pantallas LCD o Touch GLCD.
- Evaluar la aplicación en un control inteligente

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Beckett, S. (2012). *Industrial Chocolate Manufacture and Use*. Springer Science & Business Media.
- 2 Betancor, C., Cerezo, J., & Vega, A. (2008). *Diseño de un sistema de control de temperatura*. España.
- 3 Block Saldaña, H. (Agosto de 2010). *Diseño de una Arquitectura para un Sistema Neurodifuso ANFIS sobre un FPGA aplicado a la Generación de Funciones*. Lima, Perú.
- 4 Camacho, E., & Bordons, C. (Octubre de 2010). *Control Predictivo: Pasado, Presente y Futuro*. Sevilla, España.
- 5 Creus, A. (2011). *Instrumentación Industrial*. Mexico: Marcombo.
- 6 Duljoste, J. (2012). *Teoría de Control*. Mérida, Venezuela.
- 7 Fluke. (2007). *Manual de Uso*.
- 8 Gomez, J. (2008). *Fuzzy Control*. Buenos Aires, Argentina.
- 9 Isaza, C., & Rico, S. (20 de Julio de 2013). *Desarrollo de un modelo matemático para la optimización energética en sistemas de calefacción de piscinas*. Colombia.
- 10 Noguera, L., Cubides, F., & Martínez, J. (1 de Noviembre de 2013). *Análisis de eficiencia energética utilizando control on-off y PID en una resistencia calefactora*. Bogotá, Colombia.
- 11 Ogata, K. (2010). *Ingeniería de Control Moderna*. Madrid: Pearson.
- 12 Palacio, C., & García, J. (17 de Abril de 2011). *Control de Temperatura Utilizando Lógica Difusa*. Medellín, Colombia.
- 13 Pinto, E. (2010). *Fundamentos de Control con Matlab*. Madrid: Pearson.
- 14 Prefamac. (s.f.). *Máquinas Industriales Fundidoras*. Obtenido de <http://www.prefamac.com/es/industriales-fundidoras>
- 15 Salazar Fonseca, I., Mockey Coureaux, I., & Canal Solanes, M. (Diciembre de 2009). *Estimado de la reducción de la emisión de CO2 por accione de ahorro de electricidad en las condiciones de Cuba*. Cuba.
- 16 Villar, J., & De la Cal, E. (12 de Diciembre de 2007). *Sistema de ahorro energético utilizando sistemas multi-agente y sistemas borrosos*. España.

17 YUBA. (19 de Noviembre de 2014). *Diferencia entre ahorro energético y eficiencia energética*. Obtenido de <http://www.yubasolar.net/2014/11/diferencias-entre-ahorro-energetico-y.html>

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### Mediciones realizadas para la obtención del modelo matemático del sistema de entrenamiento PCT 3

Tiempo (seg)	Temperatura °C	Tiempo (seg)	Temperatura °C	Tiempo (seg)	Temperatura °C
	31,632	<b>34</b>	31,662	<b>51</b>	31,866
<b>1</b>	31,638	<b>35</b>	31,667	<b>52</b>	31,866
<b>2</b>	31,639	<b>36</b>	31,675	<b>53</b>	31,874
<b>3</b>	31,64	<b>37</b>	31,683	<b>54</b>	31,881
<b>4</b>	31,638	<b>38</b>	31,694	<b>55</b>	31,892
<b>5</b>	31,635	<b>39</b>	31,706	<b>56</b>	31,902
<b>6</b>	31,629	<b>40</b>	31,717	<b>57</b>	31,914
<b>7</b>	31,623	<b>41</b>	31,74	<b>58</b>	31,931
<b>8</b>	31,622	<b>42</b>	31,761	<b>59</b>	31,958
<b>9</b>	31,618	<b>43</b>	31,765	<b>60</b>	31,965
<b>10</b>	31,616	<b>44</b>	31,775	<b>61</b>	31,968
<b>11</b>	31,612	<b>45</b>	31,788	<b>62</b>	31,98
<b>12</b>	31,612	<b>46</b>	31,804	<b>63</b>	31,991
<b>13</b>	31,629	<b>47</b>	31,816	<b>64</b>	32,004
<b>14</b>	31,623	<b>48</b>	31,829	<b>65</b>	32,015
<b>15</b>	31,622	<b>49</b>	31,844	<b>66</b>	32,024
<b>16</b>	31,618	<b>50</b>	31,86	<b>67</b>	32,035
<b>17</b>	31,616	<b>51</b>	31,866	<b>68</b>	32,047
<b>18</b>	31,612	<b>52</b>	31,866	<b>69</b>	32,052
<b>19</b>	31,614	<b>53</b>	31,874	<b>70</b>	32,059
<b>20</b>	31,618	<b>54</b>	31,881	<b>71</b>	32,059
<b>21</b>	31,623	<b>55</b>	31,892	<b>72</b>	32,065
<b>22</b>	31,625	<b>56</b>	31,902	<b>73</b>	32,073
<b>23</b>	31,629	<b>57</b>	31,914	<b>74</b>	32,083
<b>24</b>	31,614	<b>58</b>	31,931	<b>75</b>	32,085
<b>25</b>	31,614	<b>59</b>	31,958	<b>76</b>	32,093
<b>26</b>	31,618	<b>60</b>	31,965	<b>77</b>	32,098
<b>27</b>	31,623	<b>61</b>	31,968	<b>78</b>	32,107
<b>28</b>	<b>31,625</b>	<b>62</b>	31,98	<b>79</b>	32,115
<b>29</b>	31,629	<b>46</b>	31,804	<b>80</b>	32,134
<b>30</b>	31,635	<b>47</b>	31,816	<b>81</b>	32,142
<b>31</b>	31,641	<b>48</b>	31,829	<b>82</b>	32,14
<b>32</b>	31,649	<b>49</b>	31,844	<b>83</b>	32,145
<b>33</b>	31,655	<b>50</b>	31,86	<b>84</b>	32,154

<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Temperatura °C</b>
85	32,161	119	32,432	153	32,726
86	32,179	120	32,443	154	32,739
87	32,184	121	32,456	155	32,761
88	32,186	122	32,473	156	32,764
89	32,19	123	32,506	157	32,765
90	32,195	124	32,515	158	32,777
91	32,203	125	32,514	159	32,782
92	32,21	126	32,52	160	32,791
93	32,219	127	32,521	161	32,796
94	32,225	128	32,524	162	32,801
95	32,237	129	32,524	163	32,81
96	32,248	130	32,525	164	32,821
97	32,262	131	32,534	165	32,83
98	32,291	132	32,545	166	32,837
99	32,294	133	32,556	167	32,85
100	32,298	134	32,568	168	32,859
101	32,311	135	32,58	169	32,871
102	32,322	136	32,589	170	32,88
103	32,334	137	32,619	171	32,891
104	32,345	138	32,624	172	32,901
105	32,346	139	32,622	173	32,911
106	32,352	140	32,63	174	32,921
107	32,355	141	32,638	175	32,928
108	32,358	142	32,65	176	32,937
109	32,361	143	32,664	177	32,95
110	32,366	144	32,666	178	32,96
111	32,369	145	32,667	179	32,972
112	32,374	146	32,673	180	32,985
113	32,381	147	32,681	181	32,995
114	32,386	148	32,685	182	33,007
115	32,395	149	32,692	183	33,015
116	32,405	150	32,697	184	33,022
117	32,41	151	32,705	185	33,025
118	32,422	152	32,714	186	33,031

Tiempo (seg)	Temperatura °C	Tiempo (seg)	Temperatura °C	Tiempo (seg)	Temperatura °C
187	33,036	221	33,3	255	33,539
188	33,037	222	33,307	256	33,537
189	33,044	223	33,316	257	33,534
190	33,051	224	33,324	258	33,532
191	33,056	225	33,332	259	33,525
192	33,06	226	33,343	260	33,521
193	33,061	227	33,35	261	33,52
194	33,064	228	33,357	262	33,518
195	33,066	229	33,363	263	33,519
196	33,066	230	33,362	264	33,522
197	33,068	231	33,363	265	33,531
198	33,092	232	33,364	266	33,541
199	33,099	233	33,364	267	33,555
200	33,092	234	33,364	268	33,569
201	33,093	235	33,369	269	33,585
202	33,104	236	33,37	270	33,601
203	33,107	237	33,373	271	33,619
204	33,115	238	33,378	272	33,635
205	33,118	239	33,384	273	33,65
206	33,127	240	33,391	274	33,663
207	33,134	241	33,399	275	33,674
208	33,144	242	33,41	276	33,686
209	33,154	243	33,42	277	33,697
210	33,164	244	33,43	278	33,707
211	33,173	245	33,445	279	33,716
212	33,184	246	33,459	280	33,725
213	33,198	247	33,473	281	33,733
214	33,214	248	33,488	282	33,741
215	33,228	249	33,5	283	33,748
216	33,244	250	33,514	284	33,758
217	33,258	251	33,523	285	33,766
218	33,272	252	33,528	286	33,774
219	33,28	253	33,534	287	33,784
220	33,287	254	33,538	288	33,792

<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Temperatura °C</b>
187	33,036	289	33,802	323	34,084
188	33,037	290	33,811	324	34,096
189	33,044	291	33,82	325	34,107
190	33,051	292	33,825	326	34,119
191	33,056	293	33,833	327	34,132
192	33,06	294	33,842	328	34,147
193	33,061	295	33,869	329	34,154
194	33,064	296	33,873	330	34,162
195	33,066	297	33,87	331	34,169
196	33,066	298	33,877	332	34,175
197	33,068	299	33,883	333	34,182
198	33,092	300	33,89	334	34,189
199	33,099	301	33,891	335	34,197
200	33,092	302	33,898	336	34,205
201	33,093	303	33,911	337	34,214
202	33,104	304	33,924	338	34,224
203	33,107	305	33,93	339	34,235
204	33,115	306	33,933	340	34,246
205	33,118	307	33,943	341	34,257
206	33,127	308	33,953	342	34,277
207	33,134	309	33,962	343	34,301
208	33,144	310	33,967	344	34,307
209	33,154	311	33,975	345	34,306
210	33,164	312	33,983	346	34,309
211	33,173	313	33,991	347	34,314
212	33,184	314	34,002	348	34,316
213	33,198	315	34,01	349	34,317
214	33,214	316	34,015	350	34,317
215	33,228	317	34,022	351	34,317
216	33,244	318	34,029	352	34,322
217	33,258	319	34,035	353	34,325
218	33,272	320	34,047	354	34,327
219	33,28	321	34,059	355	34,327
220	33,287	322	34,074	356	34,327

## ANEXO 2

### Características Técnicas de la máquina fundidora de chocolate

Detos del producto		Report Suspicious Activity	
<b>Detos Básicos</b>			
Voltaje:	220v	Lugar del origen:	China (Continental)
Marca:	topp	Condición:	Nuevo
Peso:	350kg	Energía (W):	6kw
Certificación:	Ce/iso9001	Dimensión (L*W*H):	1900*970*1250mm
material:	de acero inoxidable	oem:	afirmativa
Uso:	Chocolate	Servicio After-sales proporcionado:	Dirige disponible para mantener...
Número de Modelo:	Tpp-360	de la aplicación:	Caramelo, de chocolate
Garantía:	meses 12		

Modelo	Capacidad	Energía de la calefacción	Peso neto	Dimensión
TPP-360	360L	6KW	350 kg	1900*970*1250mm
TPP-500	500L	6KW	450 kg	Φ1000*1380mm
TPP-600	600L	6KW	500 kg	Φ1250*1300mm
TPP-1000	1000L	6KW	650 kg	Φ1450*1500mm

