



**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN  
SISTEMA DE CONTROL DE  
TEMPERATURA PARA UN  
HORNOS INDUSTRIALES DE  
RESISTENCIAS**

**Autor:**  
Reyes, Manuel

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego  
Teléfono: (0241) 8714240 (master)



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE  
TEMPERATURA PARA HORNOS INDUSTRIALES DE RESISTENCIA**  
Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**Autores:** Reyes, Manuel  
C.I.: 22.404.935  
**Tutor:** Ing. Antonio Rodríguez

San Diego, enero 2022



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

**ACTA DE APROBACIÓN**

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de INGENIERÍA para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA UN HORNO INDUSTRIAL DE RESISTENCIAS

Realizado por el (la) Br. REYES MANUEL

C.I. N° V. 22.404.935 cursante de la carrera de INGENIERÍA ELECTRONICA

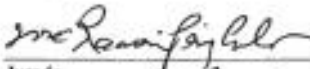
hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral, considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

APROBADO

NO APROBADO

El Jurado

  
Tutor Académico (Coordinador),  
Nombre: ANTONIA RODRIGUEZ  
C.I.: V. 14923464

  
Jurado  
Nombre: JOSÉ PÁEZ  
C.I.: 8829908

  
Jurado  
Nombre: WILMA SÁENZ  
C.I.: 7180496

Fecha: 25/01/2022



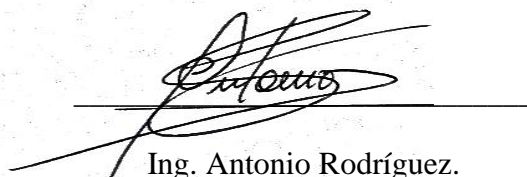


**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**ACEPTACIÓN DEL TUTOR**

Quien suscribe, Ingeniero Antonio Rodríguez, titular de la cédula de identidad N° 14.923.464, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el ciudadano Manuel Reyes titular de la cédula de identidad N.° 22.404.935, titulado **“PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA HORNOS INDUSTRIALES DE RESISTENCIA.”**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Electrónica, afirmo que acepto la tutoría del mencionado proyecto durante su elaboración y evaluación según las condiciones establecidas en la coordinación de pasantías y trabajo y trabajo de grado de la facultad de ingeniería de la universidad José Antonio Páez.

En San Diego, a los cinco días del mes de Agosto del año 2022



Ing. Antonio Rodríguez.  
C.I.: 14.923.464

UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DECANATO DE INGENIERÍA



FI - E - 003 - 2021 - 1CR - TG

Valencia, 15 de noviembre de 2021

Ciudadano:  
Reyes Centeno, Manuel Enrique  
C.I. 22.404.935  
Presente -

Cumplo con informarle que la comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 3-2021 de fecha 12/10/2021 aprobó el proyecto de grado titulado:

**Propuesta de diseño de un sistema de control de temperatura para hornos industriales de resistencia.**

Presentado por usted como requisito para optar al título de Ingeniero en Electrónica

Se ratifica la designación del Tutor Académico que lo asesorará en el desarrollo de este proyecto a:  
Ing. Antonio Andrés Rodríguez Briceño, titular de la cédula de identidad V-14.923.464



Atentamente

**Dr. Francisco Gelanzé Sevilla.**  
Decano de Ingeniería

c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado

## ÍNDICE GENERAL

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pp.</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>XII</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XI</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>

### CAPÍTULO

#### I EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema .....	3
1.2 Formulación del problema.....	5
1.3 Objetivos de la investigación.....	6
1.3.1 Objetivo General.....	6
1.3.2 Objetivo Específicos .....	6
1.4 Justificación.....	6
1.5 Alcance de la Investigación.....	7
1.6 Limitaciones .....	7

#### II MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes .....	9
2.2 Bases teóricas .....	11
2.2.1 Hornos de Resistencias .....	11
2.2.1.1 Calentamiento por Resistencia .....	12
2.2.1.2 Resistencia por calentamiento indirecto.....	13
2.2.1.3 Resistencias Metálicas .....	14
2.2.1.4 Resistencias no Metálicas .....	14
2.2.1.5 Tubo radiante eléctrico .....	15
2.2.1.6 Resistencia blindada .....	16

2.2.2 Control Automático .....	16
2.2.2.1 Sistema de Control de Lazo Abierto .....	17
2.2.2.2 Sistema de Control de Lazo Cerrado .....	18
2.2.3 Sistema de Primer Orden .....	19
2.2.3.1 Respuesta para una entrada impulso .....	20
2.2.4 Control PID.....	21
2.2.4.1 Control Proporcional .....	21
2.2.4.2 Control Integral .....	22
2.2.4.3 Control Derivativo .....	22
2.2.4.4 Control Proporcional Integral Derivativo .....	24
2.2.5 Método de Ziegler-Nichols.....	24
2.2.6 Sensor de Temperatura .....	26
2.2.6.1 Termopar .....	27
2.2.6.2 Tipos de termopares .....	28
2.2.6.3 Bornera de Cerámica para Termopar tipo K .....	30
2.2.6.4 Cable de extensión para Termopar tipo K.....	30
2.2.6.5 Especificaciones Técnicas.....	31
2.2.7 Controlador lógico programable (PLC).....	31
2.2.7.2 Ventajas de PLC.....	33
2.2.7.3 Descripción del PLC S7-300.....	33
2.2.7.4 Componentes del PLC S7-300.....	34
2.3 Definición de términos básicos .....	36

### **III MARCO METODOLÓGICO**

3.1 Tipo y nivel de la investigación.....	38
3.2. Diseño de la Investigación .....	39
3.4. Técnicas de recolección de datos.....	39
3.5 Análisis de Datos.....	40
3.6 Fases de la Investigación.....	40

## **IV RESULTADOS**

4.1. Fase I: “Estudiar el funcionamiento y características de los hornos industriales de resistencia.” .....	42
4.1.1 Hornos Industriales .....	42
4.1.1.1 Clasificación de los Hornos Industriales .....	43
4.1.2 Hornos Industriales de Resistencias .....	43
4.1.3 Partes constitutivas de un Horno Industrial de Resistencia .....	45
4.1.4 Funcionamiento de un Horno Industrial de Resistencia .....	46
4.2. Fase II: “Realizar el modelo matemático del PID (controlador proporcional, integral y derivativo) como método para el control de temperatura de hornos industriales de resistencia.” .....	47
4.2.1 Cálculo de la función de transferencia de la planta .....	47
4.2.1.1 Determinación de las capacitancias <b>C1, C2, C3</b> .....	49
4.2.1.2 Función de transferencia de la planta.....	50
4.2.2 Simulación de la función de transferencia de la planta .....	50
4.2.2 Cálculo de los parámetros del controlador PID .....	53
4.3 Fase III: Diseñar el sistema de control de temperatura para hornos industriales de resistencia. ....	58
4.3.1 Selección del Controlador Lógico Programable.....	58
4.3.1.1 PLC Simatic S7-300.....	61
4.3.1.2 Tamaño del PLC S7-300 .....	63
4.3.1.3 Ventajas del PLC S7-300 .....	63
4.3.2 Descripción de la programación .....	63
4.3.2.1 Crear un proyecto en Step 7 .....	64
4.3.2.1 Descripción y Simulación de la programación .....	65
4.4 Fase IV: Realizar un estudio de factibilidad operativa, técnica y económica para el diseño del sistema de control de temperatura para hornos industriales de resistencia .....	73

4.4.1 Factibilidad económica.....	73
4.4.1.1 Costos.....	73
4.4.1.2 Presupuesto del personal .....	74
4.4.1.3 Viabilidad Económica .....	76
4.4.2 Factibilidad operativa .....	76
4.4.3 Factibilidad técnica.....	76
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>78</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>79</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>80</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>Pp.</b>
Figura 1. Horno de resistencia .....	12
Figura 2. Tubo Radiante.....	15
Figura 3. Resistencia blindada .....	16
Figura 4. Flujo de control automático del proceso.....	17
Figura 5. Sistema de control de lazo abierto .....	18
Figura 6. Sistema de control de lazo cerrado .....	19
Figura 7. Curva de respuesta del set point en función del tiempo .....	21
Figura 8. Control PID.....	21
Figura 9. Tangente de la curva.....	23
Figura 10. Curva de respuesta ante la entrada escalón .....	25
Figura 11. Sensor de Temperatura .....	27
Figura 12. Efecto Termoeléctrico .....	28
Figura 13. Unidad central de proceso. ....	32
Figura 14. PLC Simatic S7-300. ....	34
Figura 15. Horno Industrial de Resistencia.....	44
Figura 16. Funcionamiento de un Horno Industrial de Resistencia .....	47
Figura 17. Curva de respuesta de Sistema de primer orden .....	51
Figura 18. Simulación de la función de transferencia.....	52
Figura 19. Respuesta al escalón de la función de transferencia.....	53
Figura 20. Ubicación del punto para los controladores PID .....	56
Figura 21. Controlador PID .....	57
Figura 22. Simulación del controlador PID .....	62
Figura 23. PLC S7 300.....	62
Figura 24. Crear el equipo Simatic 300. ....	64
Figura 25. Insertar bastidor .....	65

Figura 26. Tabla de Símbolos .....	66
Figura 27. Inicio del sistema RUN.....	67
Figura 28. Alarma por parada del sistema .....	67
Figura 29. Alarma por parada de emergencia. ....	68
Figura 30. Automático del sistema.....	68
Figura 31. Manual del sistema .....	68
Figura 32. Encender el motor de la cinta transportadora .....	69
Figura 33. Sensor de posición .....	69
Figura 34. Encendido de resistencias .....	70
Figura 35. Control PID 1.....	71
Figura 36. Control PID 2.....	71
Figura 37. Control PID 3.....	72
Figura 38. Control PID 4.....	72
Figura 39. Control PID 5.....	72
Figura 40. Escalado de sensor de temperatura .....	73

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA</b>	<b>Pp.</b>
Tabla 1. Parámetros de partidas para PID.....	26
Tabla 2. Sintonía de Ziegler-Nichols .....	26
Tabla 3. Tipos de termopares.....	28
Tabla 4. Costo de las opciones de los PLC .....	59
Tabla 5. Costos de Materiales .....	74
Tabla 6. Costo del personal.....	74
Tabla 7. Tabla de Conceptos del personal .....	75
Tabla 8. Costo Total del Proyecto.....	75



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE  
TEMPERATURA PARA HORNOS INDUSTRIALES DE RESISTENCIA**

**Autores:** Reyes, Manuel.

**Tutor:** Ing. Antonio Rodríguez

**Fecha:** Enero 2021.

**RESUMEN**

A medida que la tecnología avanza, el ser humano se ha visto en la obligación de buscar soluciones en base a sus conocimientos y prácticas que pueden ser aplicables en la automatización de procesos y actividades que realice, sea para su beneficio, o el de su entorno . En consecuencia, el proyecto de investigación tiene como objetivo principal proponer el diseño de un sistema de control de temperatura para hornos industriales, el cual permita tener un control mediante un PID para su temperatura. Para el desarrollo de este trabajo de grado se estarán evaluando primeramente las funciones y características de los hornos industriales, seguidamente se estará modelando la ecuación PID que permita el control de temperatura de los mismos y por último se estará diseñando la automatización del proceso el cual se llevara a cabo mediante un PLC Siemens S7-300 Por otro lado, el proyecto de investigación está enmarcado dentro de la modalidad de investigación de proyecto factible, bajo los lineamientos de la investigación de campo, con un nivel descriptivo y documental. Este sistema podrá aportar un control automático para los hornos industriales de resistencia a futuros proyectos relacionados a este campo de investigación.

**Descriptores:** Sistema, control, hornos, temperatura, resistencia.

## INTRODUCCIÓN

La automatización de un sistema donde se transfieren tareas de producción, que normalmente son realizadas por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos y que son utilizadas con el fin de aumentar la productividad, suprimir trabajos forzosos e incrementa la seguridad. En los sistemas de control automático, es de vital importancia que los dispositivos que actúan como elementos integradores del mismo, ofrezcan un nivel de seguridad que permita garantizar el desarrollo completo del proceso en ejecución en industrias tales como las manufactureras, comerciales, entre otras.

Entonces el desarrollo y progreso tecnológico en el área de la automatización en la actualidad conducen a la industria a innovar y desarrollar nueva maquinaria para de esta forma incrementar la producción y así reducir el tiempo y costos que requiere la misma. Ya que en este punto la industria es un ámbito muy competitivo donde la rapidez, el bajo costo y la calidad entre otros, son aspectos de gran importancia a la hora de surgir en este campo siendo consecuentes con eso las industrias hoy en día están preocupadas por desarrollar nuevas tecnologías e implementar las ya existentes en los distintos procesos que involucran en el desarrollo de sus productos.

Las industrias tienen sistemas automatizados ya que esto les permite reducir la intervención humana en las labores de producción y la necesidad mental y sensorial del operador haciendo posibles trabajos con mayor calidad y disminuyendo accidentes ocasionados por distracciones humanas. Además, los procesos actuales de producción se están volviendo cada vez más rigurosos, lo que demanda de ellos más exactitud y velocidad.

Sin embargo, en la actualidad la aplicación de sistemas de control ha tomado mayor fuerza en la industria para producir más en menos tiempo y menos costo. El problema que se presenta en un horno industrial de resistencia es en el control inadecuado de la temperatura del horno y secuencias inseguras de encendido y apagado. Es por esta razón que se busca desarrollar un control automático de la

temperatura del horno de resistencia por medio de un controlador PID. Permitiendo a los operadores poder controlar la temperatura mediante un controlador lógico programable PLC y monitorear mediante un interfaz gráfico el estado del horno de una manera centralizada, más rápida y eficaz.

En este orden, el objetivo general del trabajo de grado se fundamenta en lo dicho anteriormente, el cual es Proponer el diseño de un sistema de control de temperatura para hornos industriales de resistencia.

El presente trabajo de investigación está estructurado en cuatro capítulos, con el fin de cumplir las normativas establecidas por la Universidad José Antonio Páez, dichos capítulos se describen a continuación:

**Capítulo I:** referido al problema, su planteamiento el cual se trata de comprobar durante todo el curso de la investigación por medio de los objetivos generales y específicos, así como la justificación del estudio y su alcance.

**Capítulo II:** se hace hincapié en los antecedentes y bases teóricas.

**Capítulo III:** Marco Metodológico se plantea la naturaleza de la investigación, la cual, por sus características, se trata de una investigación documental con carácter descriptivo, de modo que la estrategia metodológica seleccionada servirá de guía para el desarrollo del trabajo de grado.

**Capítulo IV:** este capítulo se hablará de los recursos utilizados para por realizar este proyecto.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1 Planteamiento del problema**

El avance tecnológico y la interacción de la electrónica, la automatización y el control han provocado la existencia de los llamados procesos industriales automatizados, donde se ha incorporado inteligencia artificial para simplificar la ejecución de las diferentes funciones de los procesos productivos. La innovación tecnológica tiene un sin número de aplicaciones, es común observar procesos industriales modernos que cuentan con equipos de tecnología de punta, que pretenden mejorar las condiciones de operatividad enfocados en la reducción de costos y en la eficiencia energética de las organizaciones empresariales.

Ahora bien, a nivel mundial se tiene la tendencia a mejorar y automatizar todos los procesos productivos para alcanzar eficiencia y eficacia con altos estándares de calidad en los productos a comercializar. Al pasar del tiempo y a medida que el mundo se desarrolla, se van modificando los procesos productivos industriales y con ello se mejoran las plataformas de desarrollo para cumplir con tales exigencias, por ello es necesario introducir sistemas capaces de controlar procesos bastante grandes o pequeños por sí solos, dando paso a los llamados sistemas automatizados de control y supervisión.

Así mismo en Latinoamérica, se han llevado a cabo procesos de automatización de procesos productivos de forma eficiente especialmente en la automatización de hornos industriales, como en Costa Rica, Perú, Ecuador, Colombia, México y Argentina, con el fin de mejorar diferentes procesos productivos que van desde los hornos industriales de tipo alimenticios como para secado de tortillas y embutidos, así como también hornos de alta eficiencia como los hornos para el secado de pinturas automotrices, cerámicas y bobinas eléctricas. Estas

condiciones de automatización requieren la presencia y el continuo monitoreo a través de sensores para la medición de la variable temperatura en cada uno de los hornos intervenidos.

Sin embargo, en Venezuela se tiene una interesante investigación realizada en la Universidad de Los Andes, donde se aplicaron procesos de automatización a los hornos de recocido y tratamiento superficial de la planta Owens Ilinios empleando procesos de automatización. En otra investigación desarrollada en el país a gran escala se llevó a cabo en la empresa GCV-Venalum, donde se aplicó un control de los hornos de retención en el área de colada del aluminio en caliente, empleando controladores PID (controlador proporcional, integral y derivativo) y PLC (controlador lógico programable).

Es por esto que en la actualidad el avance tecnológico ha dado paso a la inclusión de nuevos sistemas de control incorporando tecnología digital para la resolución de diversos tipos de control. Dado el amplio uso de los controladores PID (proporcional-integrativo-derivativo) en diversos procesos de control, el uso de microcontroladores para el desarrollo de este tipo de aplicaciones ha tomado fuerza gracias a la incorporación de lenguajes de alto nivel que facilitan ampliamente este tipo de implementaciones. Hay lugares donde es necesario el mantener una temperatura constante o el poder variar la temperatura de cierto recinto hasta un punto determinado, esta temperatura a su vez debe estar siendo supervisada continuamente, siendo uno de estos casos la temperatura de los hornos industriales.

En consecuencia, la aplicación de sistemas de control ha tomado mayor fuerza en la industria para producir más en menos tiempo y menos costo. El problema que se presenta en un horno industrial está en el control inadecuado de la temperatura del horno y secuencias inseguras de encendido y apagado. Es por esta razón que se busca desarrollar un control automático de la temperatura del horno. Permitiendo a los operadores poder controlar la temperatura mediante la modulación tipo PID (controlador proporcional, integral y derivativo) con un controlador lógico

programable PLC (controlador lógico programable) y monitorear el control de temperatura del horno de una manera centralizada, rápida y eficaz.

En la Industria Venezolana y en especial la carabobeña, los procesos industriales que involucran los hornos de resistencia no han crecido como los demás países exportadores de materia prima, debido a que las empresas del parque industrial valenciano no cuentan con los equipos o elementos necesarios para eliminar la operación manual. Realizar este proceso de manera empírica conlleva a la pérdida de recursos tanto en el tiempo utilizado como en el esfuerzo realizado por los operarios. Por lo que surge la necesidad de contar con un horno de resistencia para tratamientos térmicos controlado por PID y automatizado por PLC, mediante el diseño de una interfaz Hombre-Máquina, que permite programar, supervisar, visualizar y almacenar los datos obtenidos durante el proceso de tratamiento térmico industrial. Esto con la finalidad de brindar a la industria regional un equipo que mejore notablemente la comprensión de los procesos térmicos industriales para obtener un producto de calidad. Además, la automatización del horno eléctrico ayuda a la industria regional a disminuir costos de mano de obra, seguridad y energéticos, disminuyendo también el impacto ambiental de la industria en el ambiente.

Por lo anterior se busca formular una alternativa de solución al problema encontrado, que contemple la automatización para el control y monitoreo de la temperatura de un horno industrial; permitiendo optimizar la gestión de recursos, fomentando la reducción de los costos y mejoras en la seguridad de los trabajadores.

## **1.2 Formulación del problema**

Lo anteriormente planteado evidencia la preocupación que genera en el ámbito investigativo el impacto del avance tecnológico y la interacción de la electrónica, la automatización y el control han provocado en la eficiencia de los procesos productivos industriales, donde la aplicación de la automatización de los procesos de temperatura en los hornos industriales de resistencia, haciéndose clara la necesidad de plantear la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo diseñar un sistema de control de temperatura para un horno industrial de resistencia basado en modelo matemático PID?

### **1.3 Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Proponer el diseño de un sistema de control de temperatura para hornos industriales de resistencia.

#### **1.3.2 Objetivo Específicos**

- Estudiar el funcionamiento y características de los hornos industriales de resistencia.
- Realizar el modelo matemático del PID (controlador proporcional, integral y derivativo) como método para el control de temperatura de hornos industriales de resistencia.
- Diseñar el sistema de control de temperatura para hornos industriales de resistencia.
- Realizar un estudio de factibilidad operativa, técnica y económica para el diseño del sistema de control de temperatura para hornos industriales de resistencia.

### **1.4 Justificación**

El constante avance de la tecnología, en los procesos domésticos e industriales se manifiesta la vida diaria. Producto de este avance es la automatización de procesos, anteriormente realizados por el hombre, y una de sus consecuencias son las continuas facilidades proporcionadas a las distintas actividades que realiza el hombre principalmente en los procesos industriales.

La automatización permitió el avance en la modernización tecnológica industrial dando la posibilidad de diseñar y construir equipos sofisticados ajustados a las necesidades del quehacer diario en la industria. Es por esto, que esta investigación tiene como propósito aportar fundamentos teóricos que permitan diseñar un sistema de control de temperatura para hornos industriales de resistencia, debido a que estos

equipos permitirán el control de la temperatura a través de un modelo matemático PID. Desde el punto de vista técnico el diseño se realizó para un sistema de control y automatización de horno industrial de resistencia que consta con sensores de temperatura y un PLC Siemens S7-300. El diseño del sistema aprovecha todas las ventajas de la tecnología disponible con el fin de optimizar los niveles de producción del horno según sea los parámetros de calidad del producto.

Esta investigación ofrece un aporte práctico al permitir el ahorro del tiempo, facilidad de uso, innovación y mejoramiento en las condiciones de funcionamiento del horno, ya que el operario podrá ajustar la temperatura deseada según sea necesaria para el horno industrial y según su tipo de productos. Se utilizará el PID como mecanismo de control de temperatura ya que es uno de los más adecuados para este proceso y además cuenta con un panel de control, para que el operario pueda seleccionar la temperatura que desea y monitorear el sistema para obtener productos con mejor calidad.

### **1.5 Alcance de la Investigación**

Se espera lograr el desarrollo del sistema de control de temperatura para hornos industriales de resistencia garantizando la integridad y seguridad de los componentes que forman dicho sistema.

### **1.6 Limitaciones**

Todos los casos de estudio no poseen las mismas limitaciones, cada una de estas prestaran diferentes particularidades, es el tiempo un factor limitante al desarrollo del trabajo, puesto que este no pudiera haber sido suficiente para la mayor profundización en el periodo evaluado. Así mismo, pudo haber limitaciones en cuanto a los recursos especialmente financieros para poder desarrollar un dispositivo con alta calidad, es importante destacar que, aunque se consiguió información relevante para la investigación, la misma fue limitada. Por otro lado, mencionamos que si en tal caso se realizaría una implementación de la propuesta planteada tendríamos estas limitaciones:

- **Recursos financieros:** esto cabe destacar que para las compras de módulos, equipos electrónicos o equipos de automatización son limitados, ya que estos mismos equipos no se encuentran en el país y su posible adquisición sería por otros métodos fuera del país.
- **Falta de estudios previos en el área:** para poder realizar la propuesta planteada nos encontramos que no hay suficiente documentación bibliográfica pues que esta fue limitada.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes**

A continuación, se presenta algunas investigaciones que presenta aportes significativos con respecto a la automatización y control de temperatura, así como también algunos estudios sobre funcionamiento y desempeños de hornos industriales de resistencia. Estos aportes pueden ser considerados relevantes para esta investigación debido a la influencia e importancia de sus resultados, y la posible utilidad en cuanto a su visión de la realidad industrial.

Guevara, C (2016) en su investigación titulada **“Diseño de un horno de templado y termoendurecido de vidrio plano”**. Presentado en la Universidad Nacional de Loja, Ecuador. La presente investigación trata sobre el diseño de un horno para templado y termo endurecido de vidrio plano, el mismo que se diseñó con 4 elementos principales: mesa de entrada, cámara de calentamiento, cámara de enfriamiento y mesa de salida. El horno opera con resistencias eléctricas de 43.5 Kw de potencia. Se procedieron a establecer las dimensiones máximas de la carga y su espesor, se determinó el rango de temperaturas de operación y mediante el método de criterios ponderados se determinó que la mejor alternativa para el diseño del horno corresponde a un horno por lotes, eléctrico de resistencia, tipo horizontal con configuración de transporte de carga.

El proceso de templado se complementa con un enfriamiento rápido de la carga mediante un arreglo de boquillas redondas de aire comprimido. Establecidas las características térmicas, neumáticas y eléctricas se realizó el diseño 3D en el software Solid Works, así mismo se desarrolló la interfaz de usuario en el software Labview y se realiza la simulación del proceso controlando las temperaturas y ubicación de la carga a lo largo de las cámaras.

La investigación citada aporta elementos para la construcción de las bases teóricas en referencia al funcionamiento y las características del horno de resistencia para el desarrollo de este trabajo de grado.

De la misma manera Guevara S y Serpa J (2017), en su trabajo de grado titulado **“Diseño del control de temperatura para un horno industrial, mediante la modulación de ancho de pulso usando un PLC de gama alta”**. Presentado en la Universidad Nacional del Antiplano Puno, Perú. El proyecto de grado se maneja en el área de control y automatización con el objetivo de controlar la temperatura para un horno industrial, mediante la modulación de ancho de pulso usando un controlador lógico programable (PLC) de gama alta para poder programar en números reales y este PLC nos vota resultados más precisos, trabajan a velocidades altas, funciones complejas y se puede visualizar en varios tipos de esquemas.

En este trabajo de grado se utilizó la metodología para modelar el proceso con la función de transferencia de primer orden en el dominio Laplace, con los siguientes pasos. Implementando el controlador PWM al modelo matemático obtenido de la función de transferencia de primer orden, simulación del proceso de control con el controlador, análisis de respuesta en el estado transitorio y estacionario. Se usa la modulación de ancho de pulso para realizar un control efectivo de la temperatura del horno industrial, el PLC tiene un rango muy variado de esquemas que nos permite controlar de forma eficiente el proceso de funcionamiento del horno industrial. Además, utilizando controladores lógicos programables el proceso de controlar La temperatura se consigue con más facilidad y mayor precisión. Los resultados obtenidos se podrán utilizar en otros procesos que tenga relación con la modulación de ancho de pulso.

La investigación citada aporta los fundamentos teóricos para desarrollar sistema automático de control implementado controladores PWM, lo cual es de gran importancia para el desarrollo de este trabajo de grado.

Finalmente, Morantes J y Silva J (2017), en su trabajo de grado titulado “**Control discreto PID de temperatura del aire y humedad de la tierra con energía solar para invernadero con cultivos de caléndula**”. Presentado en la Fundación Universitaria Los Libertadores, en Bogotá Colombia. El presente proyecto pretende contribuir con la utilización de energía solar como fuente energética para alimentar un sistema de ventilación y un sistema de riego por micro aspersores aplicando controles PID discretos, capaces de responder a perturbaciones calóricas del aire durante el día con el fin de nivelar la temperatura ambiente por medio de ventiladores y extractores, mantener un porcentaje de humedad de la tierra utilizando un sistema de riego anteriormente mencionado, proteger las plantaciones de caléndula del clima agresivo con un invernadero construido en el laboratorio de radiometría de la Fundación Universitaria los Libertadores de Bogotá. Este estudio permitió elaborar sustento teórico en función al control PID.

La investigación citada es de gran importancia ya que aporta los sustentos teóricos para el desarrollo de la función PID ya que esta la base de nuestro trabajo de grado para poder controlar la temperatura del horno de resistencia.

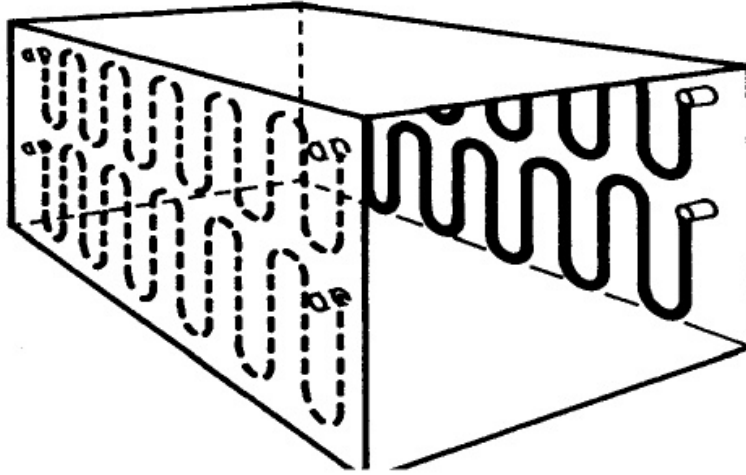
## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Hornos de Resistencias**

Los hornos de resistencia se definen como aquellos que utilizan el calor disipado por efecto Joule en una resistencia óhmica, la misma que puede estar constituida por la carga que se va a calentar (hornos de calentamiento directo) o por resistencias adecuadas independientes de la carga (hornos de calentamiento indirecto), por las cuales circula corriente eléctrica (Observar figura 1).

En los hornos de calentamiento directo, el material se coloca entre dos electrodos (en contacto directo con ellos), ofreciendo una resistencia al paso de la corriente, y calentándose. Entre otras, estos hornos encuentran aplicación en la fabricación de electrodos de grafito, en el tratamiento térmico de metales y en hornos de sales para la cementación de aceros.

En los hornos de calentamiento indirecto, el material es calentado por radiación, por convección y/o por conducción mediante resistencias colocadas de forma adecuada. La carga a calentar y las resistencias se encuentran contenidas en una cámara aislada térmicamente por medio de materiales refractarios y aislantes.



**Figura 1.** Horno de resistencia

Fuente:<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1335/1/108T0005.pdf>

### **2.2.1.1 Calentamiento por Resistencia**

El calentamiento por resistencia eléctrica puede ser directo cuando la corriente eléctrica pasa por las piezas, o indirecto, cuando las piezas se calientan por radiación, convección o combinación de ambas.

En la industria es más frecuente el calentamiento indirecto por resistencias eléctricas. Las resistencias eléctricas se hacen de aleaciones de composición muy variadas, estas aleaciones son: carbono, cobre, hierro, manganeso, níquel, silicio, zinc y aluminio. Las aleaciones de níquel-cromo son utilizadas para alcanzar temperaturas de 1100°C, las de carburo de silicio trabajan hasta temperaturas de 1500°C, aleación de molibdeno soportan temperaturas de 1650°C, la aleación de tungsteno ya son utilizadas para mayores temperaturas que sobrepasan de los 2000°C, las de grafito se utilizan en temperaturas bajas como es los 600°C y las resistencias hechas de hilo

Kanthal trabajan temperaturas de los 1200°C cuyas aleaciones son aluminio, cromo, hierro.

### 2.2.1.2 Resistencia por calentamiento indirecto

El material es calentado por radiación, por convección y/o por conducción mediante resistencias colocadas de forma adecuada. La carga a calentar y las resistencias se encuentran contenidas en una cámara aislada térmicamente por medio de materiales refractarios y aislantes. Las resistencias pueden ser metálicas y no metálicas.

- **Por Conducción:** el calor absorbido por la superficie de la carga por radiación y/o convección pasa a su interior por conducción lo que exige un gradiente de temperatura, es decir, la temperatura en el centro de la carga será inferior a la de la superficie, no solamente durante el calentamiento (temperatura del horno mayor que la de la superficie de la carga), sino también durante una buena parte del mantenimiento a temperatura, hasta conseguir en la pieza la uniformidad de temperatura requerida.
- **Por Convección:** si existe una diferencia de temperatura en el interior de un líquido o un gas, es casi seguro que se producirá un movimiento del fluido. Este movimiento transfiere calor de una parte del fluido a otra por un proceso llamado convección. El movimiento del fluido puede ser natural o forzado. En los hornos eléctricos de tratamientos térmicos de baja y media temperatura (hasta 750°C) es frecuente realizar el calentamiento de la carga mediante una corriente de aire o atmósfera controlada a elevada temperatura, que sede calor a la carga por convección. En los hornos con temperaturas más bajas, los coeficientes de transmisión elevados solamente se consiguen con velocidades muy altas en los gases del horno, porque la transmisión del calor por radiación a 537 °C es menor que 1/10 de la que se produce a 1024 °C
- **Por Radiación:** la radiación presenta una diferencia fundamental respecto a la conducción y la convección: las sustancias que intercambian calor no tienen

que estar en contacto, sino que pueden estar separadas por un vacío. La radiación es un término que se aplica genéricamente a toda clase de fenómenos relacionados con ondas electromagnéticas. Es frecuente afirmar que por encima de 700 °C el mecanismo de transmisión de calor por convección no es importante, mientras que por debajo de 700 °C se puede despreciar el mecanismo de radiación.

### 2.2.1.3 Resistencias Metálicas

El tipo de resistencia a escoger para un horno dado se halla ligado principalmente a la temperatura de trabajo de éste. Se tienen los siguientes tipos de resistencias eléctricas:

- **Aleaciones austeníticas:** son aleaciones Ni-Cr-Fe para temperaturas de hasta 850°C, dependiendo de los contenidos de estos elementos, u 80Ni-20 Cr para temperaturas de 850 a 1100°C.
- **Aleaciones ferríticas:** son aleaciones Cr-Fe-Al (Súper calor, Kanthal, etc.) para temperaturas de 1100 a 1300°C. Para varias finalidades se necesitan temperaturas de 1094 °C hasta 1233 °C. Para dichas temperaturas se han desarrollado aleaciones cuya protección depende de la estanqueidad de la película de óxido formada. Dichos elementos tienen el nombre comercial de KANTHAL. El elemento químico que produce la envolvente protectora de la resistencia es el aluminio (Al). Las resistencias que contienen más de un 20% de Al forman una densa capa en atmósferas oxidantes, pero pierden su protección en atmósferas que contienen hidrógeno húmedo. Éstas aleaciones contienen un 22% de Cr y de un 60% a 70% de Fe. Son quebradizas a temperatura ambiente y deben dárseles forma mientras están calientes.

### 2.2.1.4 Resistencias no Metálicas

Por su parte, las resistencias no metálicas están constituidas por astas (o tubos) fijados horizontalmente entre dos paredes del horno o verticalmente entre el suelo y la cubierta.

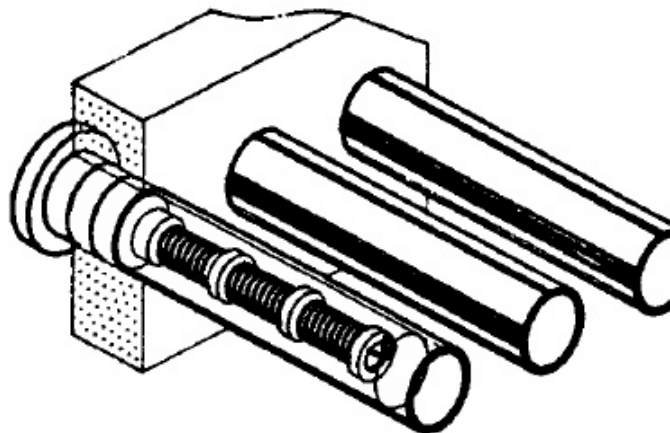
- Tubos a base de carburo de silicio para temperaturas de hasta 1500 °C.
- Silicato de molibdeno para temperaturas de hasta 1700 °C.
- Grafito y molibdeno (en pastillas, cilindros o granulados en tubos) para temperaturas de hasta 1800°C.

### 2.2.1.5 Tubo radiante eléctrico

Cuando la atmósfera del interior del horno sea nociva para las resistencias, una solución posible es proteger la superficie exterior de las resistencias, por ejemplo, mediante su esmaltado, pero es más frecuente introducir la resistencia en el interior de un tubo metálico o cerámico que radia la energía de las resistencias sobre la carga, de donde viene la denominación de tubos radiantes eléctricos (Observar Figura 2)

Dos tipos de atmósfera controlada determinan el empleo de tubos radiantes en lugar de resistencias desnudas:

- Atmósferas de alto contenido de H<sub>2</sub> (del orden de 40 por 100) que reducen los óxidos de protección de las resistencias y disminuyen fuertemente su tenacidad.
- Atmósferas que contienen CO y CH<sub>4</sub> (para cementación y carbonitruración gaseosas), que dan lugar a una cementación de las aleaciones metálicas refractarias y, a temperaturas inferiores a 800 °C.

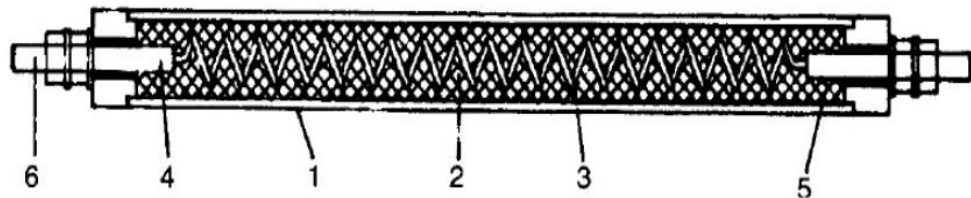


**Figura 2.** Tubo Radiante

Fuente <https://es.slideshare.net/iqoscarhernandez/control-RESISTENCIA-equipo-tec-generacion-72>

### 2.2.1.6 Resistencia blindada

En hornos se emplean únicamente para bajas temperaturas, ya que la potencia eléctrica de la resistencia debe pasar por conducción a través de la masa cerámica y de la funda metálica y, por convección y/o radiación del exterior de la funda metálica a la carga o interior del horno. Las fundas metálicas suelen ser de latón, acero al carbono, inoxidable o refractario y, en casos especiales, de titanio. También pueden ser cerámicas de pírex. Además de magnesia electrofundida, en los últimos años se han desarrollado resistencias blindadas de nitruro de boro que tiene una débil conductividad eléctrica pero una buena conductividad térmica (Observar figura 3), lo que permite emplear cargas específicas superficiales diez veces superiores a las resistencias blindadas convencionales. Se ha llegado en el calentamiento de sodio líquido hasta 450 °C a cargas de 250 W/cm<sup>2</sup>. Para calentamiento de aire o gases se utilizan resistencias blindadas provistas de aletas que aumentan considerablemente la superficie de intercambio, pero debe asegurarse la ausencia de polvo o condensados que se depositen entre aletas, lo que daría lugar a una rápida destrucción de la resistencia.



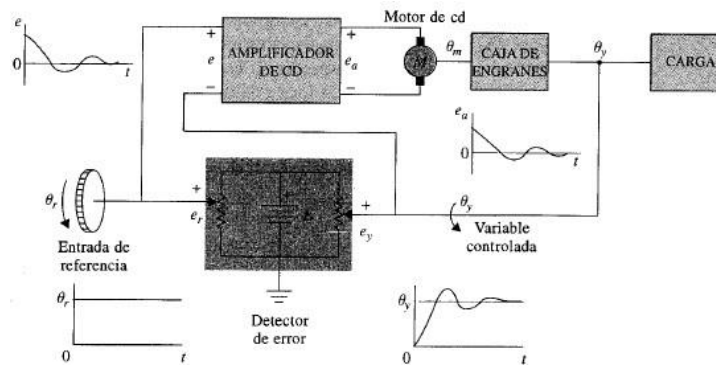
**Figura 3.** Resistencia blindada

Fuente <https://es.slideshare.net/iqoscarhernandez/control-RESISTENCIA-equipos-tec-generacion-72>

### 2.2.2 Control Automático

El control automático es actualmente de vital importancia en los procesos de la industria y de manufactura. Es muy importante en diferentes procesos tales como control de presión, temperatura, viscosidad, y flujo dentro de un proceso industrial (Observar figura 4).

El progreso de la teoría y práctica del control automático brindan los recursos en función de obtener una ejecución óptima en los sistemas dinámicos, enriquecer el rendimiento, reducir el trabajo manual que puede ser repetitivo y tradicional, así como también de otras labores.



**Figura 4.** Flujo de control automático del proceso

Fuente: <http://dSPACE.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1335/1/108T0005.pdf>

Los controladores automáticos lo que hacen es comparar el valor real de la salida de una planta con la entrada de referencia (valor deseado), determinar la desviación existente y producir una señal de control capaz de reducir la desviación a cero o a un valor pequeño. La forma en la cual un controlador automático produce la señal de control requerida es denominada acción de control.

### 2.2.2.1 Sistema de Control de Lazo Abierto

En un sistema de control de lazo abierto la salida ni se mide ni se realimenta para compararla con la entrada. Los sistemas de control de lazo abierto son sistemas de control en los que la salida no tiene efecto sobre la señal o acción de control (Observar figura 5).

- **Sistema:** También llamado en ocasiones planta, es aquello que se desea controlar. En un horno el sistema será la caja del horno en la que se desea controlar la temperatura. En el caso de un servomecanismo, el sistema será el motor y la reductora cuya posición se desea controlar.

- **Accionador:** Es el encargado de convertir la señal de control, que tiene poca potencia, en una acción sobre el sistema, que tiene mayor potencia. Volviendo al ejemplo del horno eléctrico, el accionador será la resistencia calefactora y el sistema de potencia que la enciende. En el caso de un servomecanismo, el accionador será el conjunto de transistores y el motor que mueven el mecanismo.
- **Controlador:** Está encargado de recibir una señal de consigna o señal de referencia y convertirla en una señal que consiga que el sistema alcance la referencia deseada.



**Figura 5.** Sistema de control de lazo abierto

Fuente:<http://dSPACE.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1335/1/108T0005.pdf>

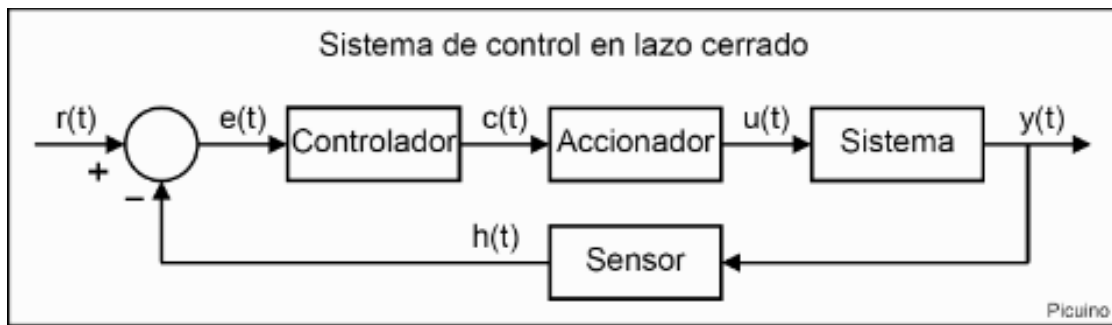
### 2.2.2.2 Sistema de Control de Lazo Cerrado

Un sistema de control de lazo cerrado es aquel en el que la señal de salida tiene efecto directo sobre la acción de control (ver figura 6). Esto es, los sistemas de control de lazo cerrado son sistemas de control realimentado. La diferencia entre la señal de entrada y señal de salida se la denomina señal de error del sistema; esta señal es la que actúa sobre el sistema de modo de llevar la salida a un valor deseado, en otras palabras, el término lazo cerrado implica el uso de acción de retroalimentación negativo para reducir el error del sistema.

Este tipo de sistema de control soluciona el problema de los sistemas en lazo abierto, que dependen de las condiciones ambientales. El nombre de lazo cerrado proviene de la señal del sensor que vuelve al controlador, cerrando el lazo de control. Los elementos del sistema de control en lazo cerrado son los mismos que los del sistema en lazo abierto con dos añadidos. El sensor mide el estado o variable a controlar

en el sistema (posición, temperatura, humedad, etc.) Esto permite conocer el estado del sistema y corregir las desviaciones para que se pueda conseguir la respuesta deseada.

El comparador, este elemento está representado por un círculo en el esquema. Su función es comparar la señal de referencia  $r(t)$  y la señal de realimentación  $h(t)$  y calcular el error  $e(t)$  que existe entre la respuesta deseada y el estado real del sistema. A partir de ese error se puede conseguir llevar al sistema al estado deseado. Este tipo de control conseguirá que el sistema se encuentre en el estado deseado, independientemente de las condiciones ambientales.



**Figura 6.** Sistema de control de lazo cerrado

Fuente:<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1335/1/108T0005.pdf>

### 2.2.3 Sistema de Primer Orden

Los sistemas de primer orden por definición son aquellos que tienen un solo polo y están representados por ecuaciones diferenciales ordinarias de primer orden, quiere decir que el máximo orden de la derivada es orden 1. Considerando el caso de las ecuaciones diferenciales lineales de primer orden, con coeficientes constantes y condición inicial cero, tenemos:

$$a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y(t) = b_0 u(t), \text{ con: } y(0) = 0$$

Los sistemas de primer orden tienen diversas aplicaciones para aproximar y representar procesos y sistemas físicos cotidianos o industriales, se representa en un sistema de circuito RC. El diagrama de bloques simplificado, de la misma manera se observa el resultado de la entrada-salida, se obtiene utilizando.

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{T(s) + 1}$$

A continuación, se representa la solución del sistema ante las señales de la entrada escalón unitario, rampa e impulso unitarios. Teniendo en cuenta que los valores iniciales son cero. Se observa los sistemas tiene la misma función de transferencia, aquello implica que representa una misma salida en respuesta a una misma entrada.

### 2.2.3.1 Respuesta para una entrada impulso

Para la entrada impulso unitario,  $R(s)=1$ , obteniendo la transformada de Laplace de la función escalón unitario es  $1/s$ , reemplazando  $(s)=1/s$ , en la siguiente ecuación:

$$C(s) = \frac{1}{Ts + 1}$$

La función  $(s)$  se desarrolla en fracciones simples se obtiene:

$$C(s) = \frac{1}{s} - \frac{T}{Ts + 1} = \frac{1}{s} - \frac{1}{s + \frac{1}{T}}$$

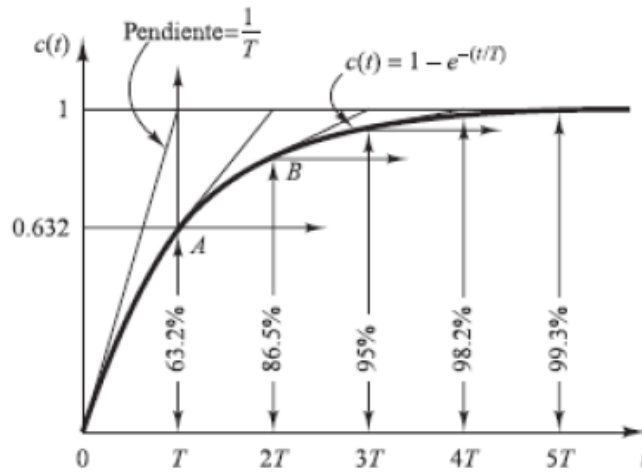
Se toma la transformada inversa de Laplace de la ecuación anterior y se obtiene:

$$C(t) = 1 - e^{-\frac{t}{T}}, \text{ para } t \geq 0$$

La ecuación anterior sugiere que la salida  $(t)$  es inicialmente cero y para un tiempo muy grande se vuelve unitario. Una propiedad importante de la curva de respuesta exponencial  $(t)$  es que, para  $t=T$ , el valor de  $(t)$  es 0.632, o que la respuesta  $(t)$  alcanza 63.2% de su cambio total. Esto se observa con facilidad reemplazando  $t=T$  en  $(t)$ . Deduciendo:

$$(t)=1-e^{-1}=0.632.$$

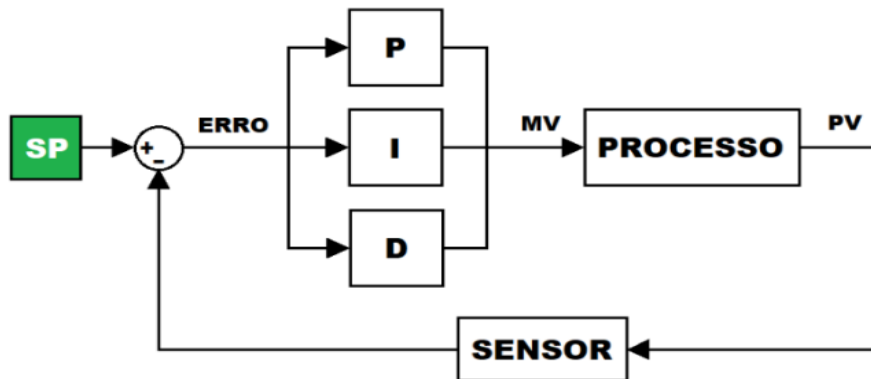
Obsérvese en la figura 7, en cuanto menor sea el tiempo, más rápido responderá el sistema. La cualidad principal de la curva de respuesta es la pendiente de la línea tangencial en  $t=0$  es  $1/T$ .



**Figura 7.** Curva de respuesta del set point en función del tiempo  
Fuente: <http://dSPACE.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1335/1/108T0005.pdf>

### 2.2.4 Control PID

El control PID es un mecanismo de control que a través de un lazo de retroalimentación permite regular la velocidad, temperatura, presión y flujo entre otras variables de un proceso en general. El controlador PID calcula la diferencia entre nuestra variable real contra la variable deseada (ver figura 8).



**Figura 8.** Control PID

Fuente: <http://dSPACE.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1335/1/108T0005.pdf>

#### 2.2.4.1 Control Proporcional

Un control proporcional tiene una salida que es proporcional al error:

$$m(t) = K_p e(t) \text{ ó } F(s) = \frac{M(s)}{E(s)} = K_p$$

Donde  $K_P$  es la ganancia del controlador proporcional.

Este es esencialmente un amplificador de ganancia y se usa cuando se quiere un control lineal en una región del error. Para errores negativos grandes la salida del controlador es cero (0%) o un valor mínimo y para errores positivos la salida será el valor máximo (100%), y en la mayoría de los controladores estos valores máximos y mínimos son ajustables. En cierta forma es similar al controlador ON-OFF solo que en vez de una zona muerta posee una región de respuesta lineal.

#### **2.2.4.2 Control Integral**

La función principal de la acción integral es asegurar que la salida del proceso concuerde con la referencia en estado estacionario. Con el controlador proporcional, normalmente existiría un error en estado estacionario. Con la acción integral, un pequeño error positivo siempre producirá un incremento en la señal de control y, un error negativo siempre dará una señal decreciente sin importar cuán pequeño sea el error.

La acción integral es aquella que se encarga de acumular sucesivamente errores, lo que hace capaz de controlar lento.

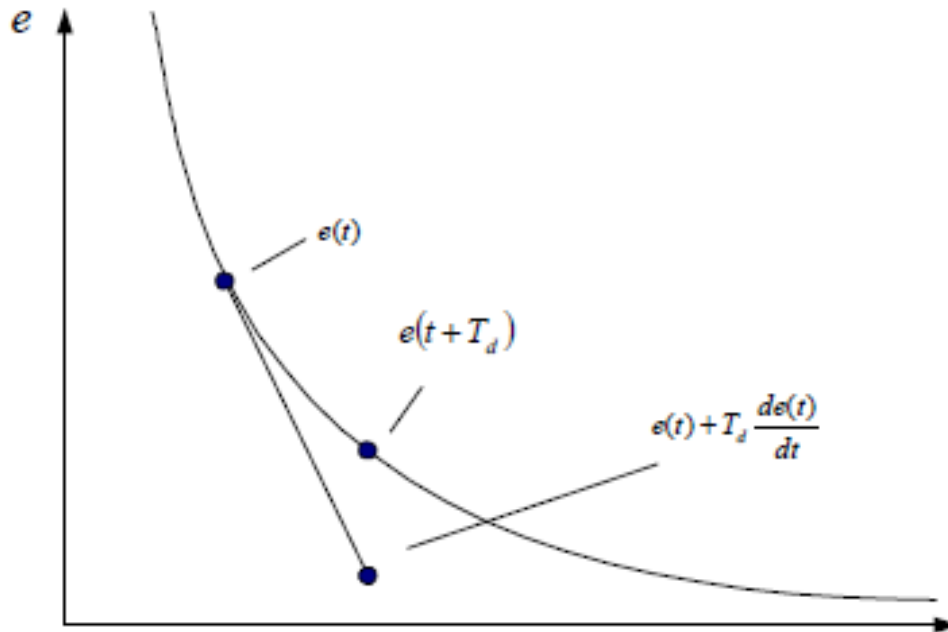
$$m(t) = K_1 \int_0^t e(t) dt \quad \text{ó} \quad F(s) = \frac{M(s)}{E(s)} = \frac{k_1}{s}$$

La señal de error en función de tiempo  $e(t)$  es cero, cuando la señal de control en función de tiempo  $m(t)$  tiene un valor diferente de cero. Por lo cual dada la referencia constante, o se somete bajo perturbaciones, el error en régimen permanente es cero.

#### **2.2.4.3 Control Derivativo**

El propósito de la acción derivativa es mejorar la estabilidad de lazo cerrado. El mecanismo de inestabilidad puede ser descrito intuitivamente como sigue. Debido a la dinámica del proceso, pasa algún tiempo antes de que la variable de control se note en la salida del proceso. De esta manera, el sistema de control tarda en corregir el error. La acción de un controlador con acción proporcional y derivativa puede ser interpretada como si el control proporcional fuese hecho para predecir la salida del proceso. La

predicción se hace por la extrapolación del error de control en la dirección de la tangente a su curva respectiva, como se muestra en la figura 9.



**Figura 9.** Tangente de la curva

Fuente: <http://www.equitek.com.mx/f/ERM-Convertore-Señales-Analógicas.jpg>

La estructura básica de un controlador PD está dada por:

$$m(t) = K(e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt})$$

La expansión en serie de Taylor de  $(t+T_d)$  da:

$$e(t + T_d) \approx e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt}$$

De esta manera, la señal de control es proporcional a un estimado del error de control en un tiempo  $T_d$  hacia adelante, donde el estimado se obtiene mediante extrapolación lineal, como fue mostrado en la gráfica anterior.

Esta acción tiene una desventaja, ya que si se tiene una constante derivativa muy grande puede generar inestabilidad, si es pequeña la constante derivativa la referencia genera oscilaciones.

#### 2.2.4.4 Control Proporcional Integral Derivativo

La combinación de estos tres controladores, logran más precisión a la hora de ser rápido, estable y que responda a las perturbaciones, logrando una eficacia en hora de actuar sobre un sistema a controlar, dada por la siguiente ecuación.

$$m(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \quad \text{ó} \quad F(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + sT_d$$

- $e(t)$  es el error de la señal.
- $m(t)$  salida del controlador y entrada de control al proceso.
- $K_p$  es la ganancia proporcional.
- $T_i$  es la constante de tiempo integral.
- $T_d$  es la constante de tiempo derivativa.

De la figura 8 determinamos lo siguiente:

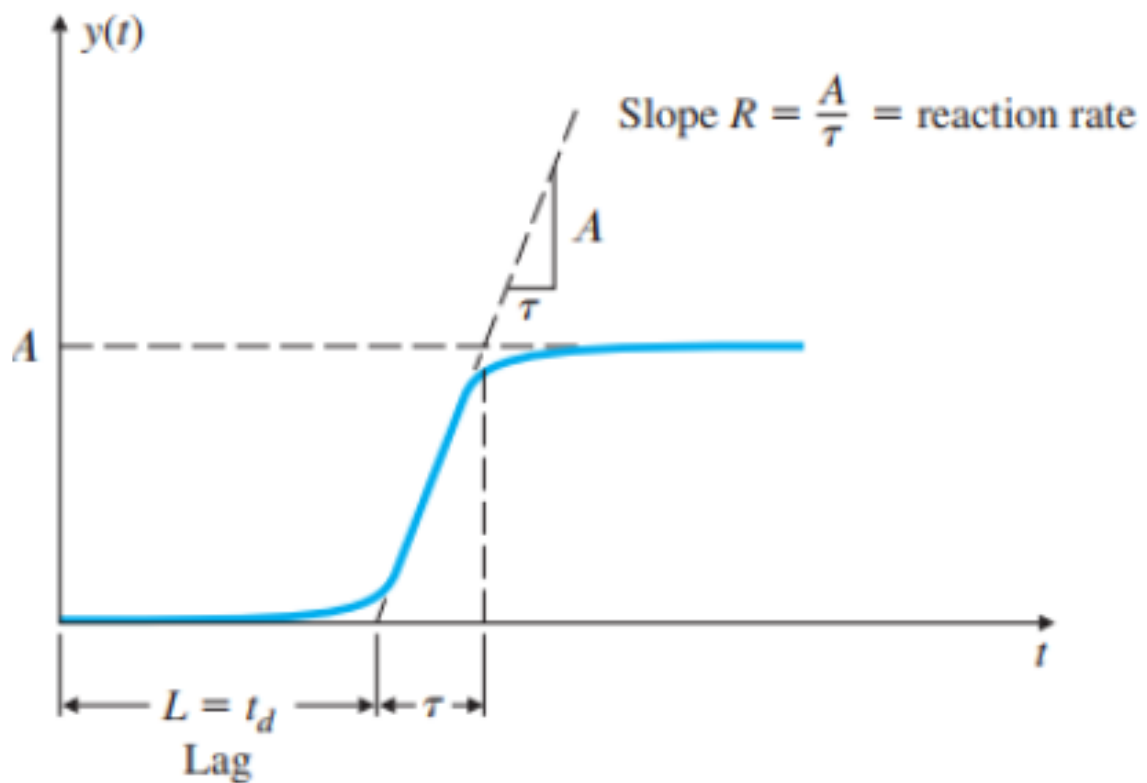
- El primer bloque de control (proporcional) consiste en el producto entre la señal de error y la constante proporcional, quedando un error en estado estacionario casi nulo.
- El segundo bloque de control (integral) tiene como propósito disminuir y eliminar el error en estado estacionario, provocado por el modo proporcional. El control integral actúa cuando hay una desviación entre la variable y el punto de consigna, integrando esta desviación en el tiempo y sumándola a la acción proporcional.
- El tercer bloque de control (Derivativo) considera la tendencia del error y permite una repercusión rápida.

#### 2.2.5 Método de Ziegler-Nichols

En muchos casos no se dispone de un modelo del sistema, pero se puede obtener con un ensayo sencillo la información suficiente para realizar una primera sintonización de los parámetros de regulador. Ziegler-Nichols propusieron en los años 40 un par de métodos de ajuste.

Uno de ellos es válido para muchos procesos de primer orden con retardo y presentan una curva de respuesta ante la entrada escalón y en cadena abierta (Ver figura 10).

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{Ae^{-st_d}}{ts + 1} = \frac{K \times e^{-LS}}{ts + 1}$$



**Figura 10.** Curva de respuesta ante la entrada escalón  
Fuente: <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/1335/1/108T0005.pdf>

Las constantes R y L se miden en la respuesta ante escalón del sistema en cadena abierta, y la Tabla 1 proporciona una colección de parámetros de partida para el PID, que después pueden ser refinados (Ver tabla 1).

**Tabla 1.** Parámetros de partidas para PID

Tipos de controlador	Parámetros Óptimos
<b>Proporcional</b>	$Kp = \frac{1}{RL}$
<b>PI</b>	$Kp = \frac{0.9}{RL}$ $Kp = \frac{L}{0.3}$
<b>PID</b>	$Kp = \frac{1.2}{RL}$ $Ti = 2L$ $Td = 0.5L$

Fuente: <http://ElemetosPID.Parametros.PDF>

$R=A\tau=K\tau$ , reemplazando  $Ren$  la Tabla 1 de parámetros óptimos tenemos en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Sintonía de Ziegler-Nichols

Tipo de controlador	Kp	Ti	Td
P	$\frac{T}{(K \times L)}$	-----	-----
PI	$\frac{0.9 \times T}{(K \times L)}$	3.33L	-----
PID	$\frac{0.12 \times T}{(K \times L)}$	2L	0.5L

Fuente: <http://ElemetosPID.Parametros.PDF>

$K$  es la ganancia en %/%,  $L$  es el tiempo de retardo,  $\tau$  es la constante de tiempo,  $\tau_i$  y

### 2.2.6 Sensor de Temperatura

Los sensores de temperatura pueden adoptar muchas formas. En la mayoría de las aplicaciones industriales y comerciales el actual elemento sensor está dentro de una

funda sellada de acero inoxidable unido a una cabeza ensamblada con forma de tornillos para unir con cable el sensor al aparato a medir. La cabeza del sensor puede también contener electrónica para interconectar el sensor al sistema de medida, por ejemplo, un transmisor de 4-20mA (Ver figura 11).



**Figura 11. Sensor de Temperatura**

Fuente: <http://dSPACE.Sensortem/123456789/1335/1/108T0005.pdf>

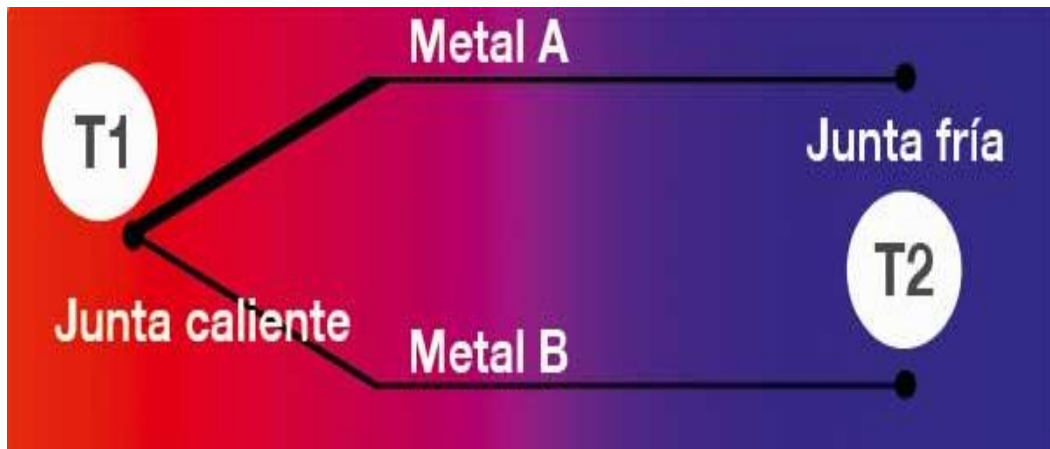
Para algunas aplicaciones es más práctico el uso de sensores sin funda. Esto se aplica particularmente para sensores muy robustos tales como los termopares. Las ventajas que incluyen son una respuesta más rápida, menor tamaño y menor coste. Cuando se están midiendo temperaturas muy altas por encima de 600°C, a menudo el material de la funda empieza a ser crítico. Este se elige para su tolerancia química en el medio que se está midiendo y sus efectos contaminantes sobre el elemento sensor. La difusión atómica es fuertemente acelerada a temperaturas elevadas.

### **2.2.6.1 Termopar**

Un termopar es un dispositivo diseñado para la medición de temperatura, basado en efectos termoeléctricos, lo que le permite medir temperaturas superiores a los 2 000° C e inferiores a los -250° C, dependiendo los materiales con los que se fabrique. Es un circuito formado por dos conductores de metales diferentes o aleaciones de metales diferentes, que se encuentran en forma de cable y están unidos en uno de sus extremos y separados por el otro. Cuando en sus uniones existe una diferencia de temperatura, se origina una fuerza electromotriz, conocida como el efecto Seebeck.

Los termopares consisten en dos hilos metálicos de diferentes materiales, unidos en un extremo. Esta unión constituye el punto de medición (junta caliente, hotjunction).

El otro extremo se llama junta fría (coldjunction). El calentamiento de la junta de medición provoca una tensión eléctrica, aproximadamente proporcional a la temperatura. (Efecto termoeléctrico, efecto Seebeck). Esta tensión (fuerza electromotriz F.E.M.) se debe a dos factores: la densidad de electrones diferentes de los dos materiales y de la diferencia de temperatura entre punto caliente y punto frío (Ver figura 12).



**Figura 12.** Efecto Termoeléctrico

Fuente: <http://dSPACE.Sensortem/123456789/1335/1/108T0005.pdf>

Esto significa que un termopar no mide la temperatura absoluta sino la temperatura diferencial entre: T1 junta caliente (hotjunction) T2 junta fría (coldjunction) Dado que la medición de la tensión eléctrica se suele realizar en temperatura ambiental, el valor de tensión indicaría un valor de temperatura demasiado bajo ya que se resta la temperatura ambiental.

#### 2.2.6.2 Tipos de termopares

Los termopares se pueden clasificar en básicos o nobles. Los termopares básicos, los tipos J, K, T, y E son más económicos y son habituales en aplicaciones industriales con menos exigencias referente a la exactitud. En cambio, los termopares tipo R, S y B son termopares «nobles», que se utilizan sobre todo en la industria de proceso en aplicaciones con elevadas temperaturas (ver tabla 3).

**Tabla 3.** Tipos de termopares.

<b>Tipo</b>	<b>Material</b>	<b>Temp. Max. En °C</b>	<b>Aplicación</b>
<b>Tipo K</b>	NiCr-Ni (NiCr-NiAl)	1000 (clase 1) 1200 (clase 2)	Atmósferas oxidantes o de gas inerte. Elevada resistencia a oxidación. Es la versión más utilizada.
<b>Tipo T</b>	Cu-CuNi	350	Atmósferas oxidantes, reductoras o de gas inerte en medios con temperaturas bajo cero. Aplicaciones típicas: criometría (bajas temperaturas), industrias de la refrigeración, química y petroquímica.
<b>Tipo J</b>	Fe-CuNi	750	Vacío, atmósferas oxidantes y reductoras o atmósferas de gas inerte. Centrales eléctricas e industrias en general, como la metalurgia y la petroquímica.
<b>Tipo S</b>	PT-RH	600 (Clase 1 y 2)	Atmósferas oxidantes o de gas inerte.
<b>Tipo N</b>	NiCrSi-NiSi	1000 (clase 1) 1200 (clase 2)	Muy exactas con altas temperaturas. Aplicaciones que requieren una mayor vida útil y mayor estabilidad. Óptimo para aplicaciones que requieren una elevada exactitud debido al carácter homogéneo y a la pureza de los hilos.
<b>Tipo R</b>	Pt13%Rh	1600	Uso continuo en atmósferas oxidantes o de gas inerte
<b>Tipo E</b>	NiCr-CuN	800 (clase 1) 900 (clase 2)	Atmósferas oxidantes o de gas inerte. Excelente potencia termoeléctrica es decir, elevada relación que entre milivoltios generados y variación de temperatura de un grado Celsius.
<b>Tipo B</b>	Pt30%Rh – Pt6%Rh	1700	Óptimo para vainas cerámicas cerradas en un extremo

Fuente: Tipos de Sensores Termopares pag 58

### 2.2.6.3 Bornera de Cerámica para Termopar tipo K

- **Terminal de sujeción ElsteinAK** : dos polos, que consta de zócalo de esteatita y las partes metálicas de acero inoxidable para cables con una sección de cable máxima de 2,5mm.
- **Alambre de níquel Elstein**: Max. 500 ° C, máx. 11 A, de un solo núcleo, 2,5 mm<sup>2</sup> diámetro del alambre, para la conexión eléctrica de los calentadores infrarrojos de cerámica.
- **Línea de termo Elstein**: NiCr -Ni, máx. 400 ° C, para la conexión del termopar integrado en los calentadores de termopar con el controlador de temperatura.
- **Línea de compensación Elstein**: NiCr - Ni, máx. 100 °C, para extender la conexión de termopar - controlador de fuera de la zona de calentamiento IR.

### 2.2.6.4 Cable de extensión para Termopar tipo K

Con el cable para termopar realizamos en forma segura extensión de señales de sensores de temperatura desde el punto de medición hasta nuestros paneles de control. Un termopar requiere utilizar cable compensado para evitar la pérdida de señal entre dos puntos, asegurando así mediciones confiables y una producción segura. Dependiendo del tipo de termopar utilizado para la medición de la temperatura requeriremos cable para termopar de esa misma calibración o tipo, es decir, si utilizamos un termopar tipo K para medición de temperatura en una resistencia colada necesitaremos cable de extensión para termopar tipo K.

El cable para termopar tipo K es recomendado para el uso continuo en ambientes oxidantes o atmósferas inertes de hasta 1200°C, especialmente sobre 500°C. Ciclos repetitivos sobre y bajo 1000°C no son recomendados por alteración de la Fuerza electromotriz por efectos de histéresis. No debe ser utilizado con sulfuros, atmosferas conmutantes reductoras-oxidantes, que se utilicen tubos de protección. Termopar confiable y preciso en altas temperaturas.

### 2.2.6.5 Especificaciones Técnicas

- **Máximo rango de temperatura**

Grado Termopar: -200 a 1250°C.

Grado extensión: 0 a 200°C.

- **Límite de error Estándar**

2.2°C o 0.75°C en 0°C.

2.2°C o 2.0% bajo 0°C.

Especial: 1.1°C o 0.4%.

- **Características ambientales de operación:**

Ambiente oxidante e inerte, uso limitado en vacío o ambiente reductor, amplio rango de temperatura, calibración de uso más frecuente en la industria.

Compensación de punta fría a 0°C.

- **Designación de colores**

Elemento positivo: Amarillo.

Elemento negativo: Rojo.

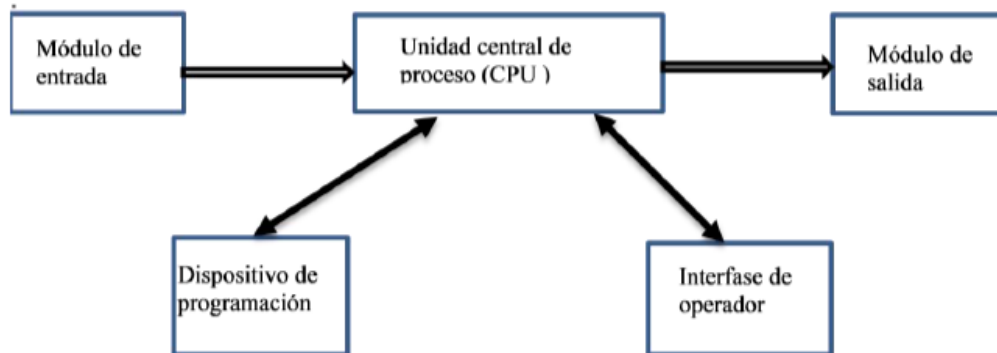
El cable de extensión es usado en la pirometría para unir el termopar al instrumento y está constituido por un par de alambres de un material que tiene (hasta cierta temperatura) las mismas características del termopar, con el aislamiento adecuado para cada aplicación.

### 2.2.7 Controlador lógico programable (PLC)

Un controlador lógico programable (PLC), también conocido como controlador programable, es el nombre dado a un tipo de ordenador de uso común en el control comercial e industrial. Los PLC se diferencian de las computadoras de oficina en las características de trabajo que hace tanto el hardware y el software que demandan para realizar estas acciones. En tanto que las utilidades determinadas difieren ampliamente, todos los PLC controlan las entradas y otros valores de variables, asumen decisiones establecidas en un programa almacenado, y regulan salidas para automatizar una planta o proceso.

### 2.2.7.1 Funcionamiento

Las unidades principales de un PLC comprenden de ingreso, de procesamiento central (CPU), de salida, y un elemento de programación como se puede ver en la ver figura13.



**Figura 13.** Unidad central de proceso.

Fuente <http://mundotelecomunicaciones1.blogspot.com/>

El tipo de unidad de entrada o de los lugares utilizados por un PLC va depender de los módulos de entrada manejados. Ciertos equipos de entrada responden a las entradas digitales, que son encendidos o apagados. Otros requieren de las señales analógicas. Estas señales analógicas representan las señales de una planta o proceso que se desean controlar los cuales pueden ser señales eléctricas (tensiones o corrientes).

El trabajo importante del medio de entrada de un PLC es la de cambiar las señales entregadas por diversos interruptores y sensores en señales digitales los cuales admitan ser usados por la unidad central de proceso.

La unidad central de proceso (CPU) considera el estado de las entradas, salidas y otras variables, que opera el programa almacenado, después la CPU envía señales para actualizar el estado de las salidas.

Los módulos de salida convierten señales de control de la CPU en valores digitales o analógicos que sirven para controlar distintos dispositivos de salida. El módulo de programación se utiliza para realizar o reemplazar el programa del controlador lógico programable o para regular o variar los programas guardados. Una

vez cargado el programa y las variables asociadas se depositan en la unidad central de proceso. Además, también puede admitir un módulo de interfaz de operador para facilitar el monitoreo de la planta o proceso (Chumbe, E. 2019).

#### **2.2.7.2 Ventajas de PLC**

Los PLC son adecuados para realizar diferentes aplicaciones, en reemplazo del control cableado. Asimismo, el programa de PLC y los medios de relación relevan en gran parte los cables utilizados por el control de lógica cableada. Consecuentemente, el cableado, con los PLC, es poca. Lo que corregir errores e innovación para cualquier utilización es más sencillo.

#### **Ventajas de los PLC:**

- Menor dimensión física en comparación al simple cableado.
- Más fáciles y rápido para hacer cambios.
- Los PLC realizan auto diagnóstico y anulación de funciones.
- Los diagnósticos, son centralizados.
- Las aplicaciones pueden ser inmediatamente documentadas.
- Las solicitudes se pueden duplicar más rápido y a menor costo.

#### **2.2.7.3 Descripción del PLC S7-300**

El Programador lógico controlable SIMATIC S7-300 está diseñado para soluciones de sistema innovadoras con especial énfasis en tecnología de fabricación y como sistema de automatización universal, constituye una solución óptima para aplicaciones en estructuras centralizadas y descentralizadas (Ver figura 14).

Posee potentes módulos centrales con interfaz industrial Ethernet / Profinet, funciones tecnológicas integradas o versión de seguridad en un sistema coherente que evitan inversiones adicionales. El S7-300 se puede configurar de forma modular, no hay ninguna regla de asignación de slots para los módulos periféricos. Hay disponible una amplia gama de módulos, tanto para estructuras centralizadas, como para estructuras descentralizadas con ET-200M (Estructura modular de entradas y salidas Remotas).

El uso de la Micro memorycard como memoria de datos y programa hace innecesaria una pila tampón y ahorra costes de mantenimiento. Además, en esta tarjeta de memoria se puede guardar un proyecto asociado con símbolos y comentarios para simplificar el trabajo del servicio técnico.

Asimismo, la Micro memorycard permite la actualización sencilla del programa o del firmware sin programadora. Además se puede utilizar durante el funcionamiento para guardar y consultar datos, por ejemplo, para archivar medidas o para procesar recetas. Además de la automatización estándar, en un S7-300 también se pueden integrar funciones de seguridad y control de movimiento. Muchos de los componentes S7-300 están disponibles en una versión SIPLUS para condiciones ambientales extremas como, por ejemplo, rango de temperatura ampliado (de -40/25 a -60/70°C) y utilización en atmósfera agresiva como la condensación (Galiano Yépez, D. 2013).



**Figura 14.** PLC Simatic S7-300.

**Fuente:** <http://dspace.Simens.123456789/1335/1/108T0005.pdf>

#### **2.2.7.4 Componentes del PLC S7-300**

- **CPU315-2PN/DP6ES7315-2EH13-0AB0:** forma parte de la gama de las CPU SIPLUS, diseñada para trabajar en las condiciones ambientales más duras con un rango de temperatura ampliado de -25 a 60°C. Cuenta con un módulo central con memoria principal de 256 KB, una interface MPI/DP (Interface

Multipunto) a 12 Mbits/s, una interface Ethernet Profinet y unslot para una micro-tarjeta de memoria necesaria para su funcionamiento.

- **Módulo de Entrada digitales DI32XDC24v 6ES7 321-1BL00-0AA0:** módulo de 32 entradas digitales a 24 Voltios DC (Corriente Directa) dispositivos en uso simultaneo, con aislamiento galvánico y consumo de 15mA.
- **Módulo de Salida digitales DO32XDC24v/0.5A 6ES7 322-1BL00-0AA0:** módulo de 32 salidas digitales a 24 Voltios DC (Corriente Directa) disponible en uso simultaneo, con aislamiento galvánico en grupo de 8 con opto acoplador, frecuencia de conmutación con carga óhmica de 100 Hz, con carga inductiva 0.5 Hz y con carga de lámpara 100hz; intensidad de la salida con señal 1 de 0.5A-500mA, intensidad de la señal con salida 0 de 0.5mA.
- **Módulo de Salidas digitales DO16xDC24V/0.5A 6ES7 322 1BH01-0AA0:** módulo de 16 salidas digitales a 24 Voltios DC (Corriente Directa) disponibles en uso simultaneo, con aislamiento galvánico en grupos de 8 con opto acoplador; frecuencia de conmutación con carga óhmica de 100hz, con carga inductiva 0.5hz y con carga de lámpara 100hz; intensidad de la salida con señal 1 de 0.5A- 500mA, intensidad de la señal con salida 0 de 0.5mA.
- **3 Módulo de Entradas Análogas AI8x12Bit 6ES7 331 7KF02-0AB0:** módulo de 8 entradas análogas; lectura de intensidad, tensión, resistencia, termopares tipo E, N, J, K y termo-resistencias, máxima tensión de entrada 20V, máxima intensidad de entrada de 40mA; conexión de sensores a 2 y 4 hilos con transmisor; cuenta con un led rojo de señalización de fallo agrupado.
- **2 Módulo de Salidas Análogas AO2x12Bit 6ES7 332 5HB01-0AB0:** módulo de 2 salidas Análogas con alarmas de diagnóstico y un led rojo de señalización de fallo agrupado, tensión de carga nominal 24VDC, salida de tensión de 0 a 10V, +/- 10V, salida de intensidad de 4 a 20mA, +/- 20mA, 0 a 20mA; posee aislamiento galvánico y protección de cortocircuito hasta 25mA.

### 2.3 Definición de términos básicos

**Automatización:** Aplicación de máquinas o de procedimientos automáticos en la realización de un proceso o en una industria.

**Controladores:** Dispositivos electrónicos con fin de lograr que una máquina o dispositivo funcione mediante mandos.

**Hardware:** Componentes físicos de un ordenador. Parte física de un ordenador incluyendo los componentes eléctricos/electrónicos (dispositivos y circuitos), componentes electromecánicos (unidad de discos), componentes metálicos (armario).

**Horno:** un horno es un dispositivo que genera calor y que lo mantiene dentro de un compartimiento cerrado. Se utiliza tanto en la cocina para preparar, calentar o secar alimentos, como en la industria.

**Interfaz:** es el mecanismo o herramienta que posibilita esta comunicación mediante la representación de un conjunto de objetos, iconos y elementos gráficos que vienen a funcionar como metáforas o símbolos de las acciones o tareas que el usuario puede realizar en la computadora.

**Instrucciones:** cada una de las órdenes de trabajo de un programa, pudiendo ser de tipo aritmético, lógicas, memorias. E/S (entradas/salidas) y otras.

**Lenguaje:** también llamado como código de la máquina, es el medio que interpretan los microprocesadores ( $\mu P$ ) y se expresa en código binario.

**PC:** solo envía y/o recibe señales digitales.

**PLC:** computador lógico programable. Es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos secuenciales.

**PID:** controlador PID es un mecanismo de control que a través de un lazo de retroalimentación permite regular la velocidad, temperatura, presión y flujo entre otras variables de un proceso en general.

**Proceso:** Conjunto de fases sucesivas de un fenómeno o hecho complejo.

**Programación:** la programación refiere a la acción de crear programas o aplicaciones, a través del desarrollo de un código fuente, el cual se basa en el conjunto de instrucciones que sigue el ordenador para ejecutar un programa.

**Sensores:** Elementos externos al autómata por medio de los cuales se transmiten señales a los autómatas y que se conectan a las tarjetas de entrada.

**Señal de control:** es la señal que produce el controlador para modificar la variable controlada de tal forma que se disminuya o elimine el error.

**Señal escalón:** la función escalón de Heaviside, también llamada función escalón unitario o de casualidad a la derecha del cero, debe su nombre al matemático inglés Oliver Heaviside. Es una función discontinua cuyo valor es 0 para cualquier argumento negativo, y 1 para cualquier argumento positivo, incluido el cero.

**Señal de impulso:** sentido ordinario como se define una función. Una función ordinaria viene especificada para todos sus valores de tiempo  $t$ .

**Sistema:** Conjunto de cosas ordenadas y relacionadas entre sí. Método o grupo de órganos que regulan una función.

**Software:** está compuesto por un conjunto de programas que son diseñados para cumplir una determinada función dentro de un sistema, ya sean estos realizados por parte de los usuarios o por las mismas corporaciones dedicadas a la informática.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

El marco metodológico de la investigación se puede definir como la explicación de los mecanismos que se utilizan para analizar la problemática que se presente en una investigación. Arias, F. (2012), según el marco metodológico expresa que: “La metodología del proyecto incluye el tipo o tipos de investigación, las técnicas y los instrumentos que serán utilizados para llevar a cabo la indagación. Es el “cómo” se realizará el estudio para responder al problema planteado.” (pág. 110).

#### **3.1 Tipo y nivel de la investigación**

La naturaleza propia del proyecto, hace que la investigación entre en la clasificación de proyecto factible, puesto que se desarrollará un plan de trabajo para el diseño de un sistema de control de temperatura para hornos industriales de resistencia, con el fin de solventar el control de temperatura de estos hornos por la realización de modelos matemáticos PID. Al aplicar modelos matemáticos PID permite que estos controles sean más eficientes y pueden ser controlados mediante la variable Set point, esto quiere decir que puede funcionar en rangos de temperaturas modificables por los operadores según los materiales a utilizar en los procesos industriales. Basado en lo anteriormente descrito Mijares y García (2007) definen como proyecto factible a:

“... la investigación elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organización o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas tecnologías, métodos o procesos. El proyecto factible debe tener apoyo en una investigación de tipo documental, de campo o un diseño que incluya ambas modalidades...” (p5).

### **3.2. Diseño de la Investigación**

El diseño de la investigación es el conjunto de directrices que toma el investigador con el fin de observar, analizar y plantear una solución de ser posible a la problemática objeto de la investigación. Según Palella y Martins (2012) definen como investigación bibliográfica: cuando los datos ya han sido recolectados en otras investigaciones y son conocidos a través de los informes o textos correspondientes se llaman datos secundarios (pag.88).

### **3.4. Técnicas de recolección de datos**

Los instrumentos de investigación son parte fundamental de la misma ya que son los medios por los cuales el investigador puede recolectar datos sobre la problemática en la que está trabajando, teniendo esto en cuenta Sabino (1992) lo define como:

“Un instrumento de recolección de datos es en principio cualquier recurso de que pueda valerse el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información. De este modo el instrumento sintetiza en si toda la labor previa de la investigación, resume los aportes del marco teórico al seleccionar datos que corresponden a los indicadores y, por lo tanto, a las variables o conceptos utilizados” (p.149,150).

Y por técnica se va a anotar la definición que nos da el diccionario de metodología anteriormente citado, el cual establece que las técnicas de investigación son: “Conjunto de mecanismos, medios y sistemas de dirigir, recolectar, conservar, reelaborar y transmitir los datos sobre estos conceptos” (p.150).

#### **3.4.1. Técnicas empleadas**

##### **3.4.1.1. Revisión Documental**

La revisión documental es hacer una recopilación de información sobre textos e investigaciones generados por otros investigadores que tienen relación directa o indirecta con la problemática que es razón de estudio. Hurtado (2010) define este concepto como:

“... es una técnica en la cual se recurre a información escrita, ya sea bajo la toma de datos que pueden haber sido producto de mediciones hechas por otros como texto en sí mismo constituyen los eventos de estudio” (p.427).

En el presente trabajo de investigación se llevará a cabo realizando una revisión de los artículos publicados durante los últimos cinco años (desde el 2016 hasta el 2021) en directorios de acceso abierto (Open Access) tales como: SciELO (Scientific Electronic Library Online), DOAJ (Directory of Open Access Journals), Redalyc (Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal), e-Revistas (Plataforma Open Access de Revistas Científicas Electrónicas Españolas y Latinoamericanas) y Dialnet (Portal bibliográfico de acceso libre de la Universidad de la Rioja, España), así como repositorios universitarios de acceso abierto. Se usarán como palabras claves: automatización de hornos industriales, sistemas de control de temperaturas, controlador proporcional, integral y derivativo.

### **3.5 Análisis de Datos**

El análisis de datos, es la técnica que examina datos en bruto con el propósito de sacar conclusiones sobre la información. El análisis de datos se centra en la inferencia, el proceso de derivar una conclusión basándose solamente en lo que conoce el investigador (15). Para este estudio, se realizará la técnica de análisis de contenidos con referencia al aspecto cuantitativo, es la a que Abarca et al (2013) se refiere como “la descripción objetiva, sistemática y cuantitativa del contenido manifiesto del documento” (p.194). En esta investigación se clasificará la información recolectada según los objetivos planteados en la investigación, permitiendo clasificar el contenido por temáticas y datos cuantitativos manejados.

### **3.6 Fases de la Investigación**

#### **Fase I: “Estudiar el funcionamiento y características de los hornos industriales de resistencia.”**

Actividades:

- Se realizará el estudio del funcionamiento de los hornos industriales de resistencia, así como también se estará evaluando cada una de sus características. Para ello primeramente se precisa recurrir a una profunda y asertiva revisión bibliográfica.

**Fase II: “Realizar el modelo matemático del PID (controlador proporcional, integral y derivativo) como método para el control de temperatura de hornos industriales de resistencia”.**

Actividades:

- Al quedar claro el funcionamiento de los hornos industriales se procederá a modelar un sistema de control, para ello es necesario describir por medio de ecuaciones matemáticas la relación entre la variable de salida (variable que se desea controlar) con la entrada del sistema, es decir la función de transferencia del control PID.

**Fase III: “Diseñar el sistema de control de temperatura para hornos industriales de resistencia.”**

Actividades:

- Siguiendo el estudio anteriormente se procederá a realizar el análisis de funcionamiento del PLC Siemens S7-300.
- Se determinarán las variables que afectan el proceso de la automatización.
- Mediante la información obtenida, se realiza la selección de automatización para dicho proceso, para que sea posible su futuro desarrollo.
- Se realizará el diagrama de escalera de la programación del PLC.

**Fase IV: “Realizar un estudio de factibilidad operativa, técnica y económica para el diseño del sistema de control de temperatura para hornos industriales de resistencia.”**

Actividades:

- Se evaluará la factibilidad económica sobre la automatización e instrumentos a utilizar para que sea posible su futuro desarrollo.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1. Fase I: “Estudiar el funcionamiento y características de los hornos industriales de resistencia.”**

Para el desarrollo de esta fase estaremos usando la técnica de revisión documental, la cual a través de ella podemos estudiar que son los hornos industriales como se pueden clasificar, y realizar una investigación más profunda sobre el estudio del funcionamiento y características de los hornos industriales de resistencias específicamente.

##### **4.1.1 Hornos Industriales**

Los Hornos Industriales son utilizados principalmente para transformar materia prima en productos en los cuales su estado físico se altera al impartir calor sobre la misma. En el proceso se puede mantener su composición química. Las elevadas temperaturas tienden a ablandar los materiales modificando su microestructura y permitiendo gran maleabilidad para las operaciones de deformación como estampación, extrusión o laminación. Hay muchas industrias que utilizan hornos de diferentes tipos, entre estas industrias destacan, la petroquímica, la metalúrgica, la industria cerámica y la del vidrio. La generación de calor en el interior del horno se lo puede obtener mediante la combustión de combustible o la conversión de energía eléctrica en calor, todo depende del proceso y las características que se desea alcanzar en la materia prima. La principal ventaja del horno de combustión es el costo de energía mientras que al emplear resistencias eléctricas el control del proceso es mucho más exacto, siendo muchas veces una ventaja predominante frente al costo de combustible.

#### 4.1.1.1 Clasificación de los Hornos Industriales

La amplia gama de hornos se puede clasificar según su aplicación, su fuente de energía o el proceso.

##### Clasificación según su aplicación

- **Hornos domésticos:** Son hornos de baja temperatura utilizados principalmente para cocer, asar o gratinar alimentos, su uso es específicamente en hogares.
- **Hornos Industriales:** son hornos de media y alta temperatura utilizados para transformar la materia prima mediante el calentamiento o la fundición de la misma

##### Clasificación según su fuente de energía

- **Combustión de combustible:** los hornos de combustión utilizan combustible sólido, líquido o gaseoso dependiendo del tipo de quemador aplicado, la flama producto de la combustión puede estar dispuesta en la parte inferior, lateral, superior o una combinación de las anteriores si el calentamiento de la materia lo requiere y la transmisión de calor es debido a convección y radiación.
- **Conversión de la energía eléctrica en calor:** se fundamentan en la utilización de resistencias eléctricas que al pasar un alto amperaje tienden a alcanzar altas temperaturas, la transmisión de calor se produce netamente por conducción.

##### Clasificación según el proceso

- **Hornos de carga por lotes:** el material permanece estático durante todo el proceso de calentamiento hasta retirar la carga y sustituirla por otra.
- **Hornos continuos:** en estos hornos el material no permanece estático sino se desplaza a lo larga del horno mientras se calienta, utilizando mecanismos de transporte tales como rodillos, patines, transportadores de tornillo o incluso por gravedad.

#### 4.1.2 Hornos Industriales de Resistencias

Los hornos industriales de resistencias son aquellos en que la energía requerida para su calentamiento es de tipo eléctrico y procede de la resistencia óhmica directa de

las piezas o de resistencias eléctricas dispuestas en el horno que se calientan por efecto Joule y ceden calor a la carga por las diversas formas de transmisión de calor.

Los hornos eléctricos de resistencias o también se les llama hornos industriales, son equipos utilizados en la industria, en las que se calientan piezas o elementos que son colocados en su interior, a una temperatura superior a la del ambiente.

En base a las diferentes aplicaciones que presentan los hornos eléctricos por resistencias dentro de la industria, ya sea en relación con el procedimiento o proceso a utilizar, los cuales pueden ser: sinterizado y calcinación, fusión de metales, tratamientos térmicos, recubrimiento de piezas metálicas, secado o reducción de humedad, procesos químicos, y otros procedimientos. Se puede decir que los tipos de hornos eléctricos presentan grandes ventajas técnicas y económicas en su utilización, tanto por su versatilidad, costos, tamaño, resistencia y durabilidad.



**Figura 15. Horno Industrial de Resistencia**

Fuente <http://mundotelecomunicaciones1.blogspot.com/>

La clasificación más completa y amplia posible atiende a diferentes aspectos, que son:

**Forma de funcionamiento.**

- Los hornos pueden ser continuos o discontinuos (intermitentes).

**Disposición de las resistencias.**

- Según dónde se ubiquen las resistencias, los hornos pueden ser de calefacción por la parte inferior, superior, lateral o por un extremo.

#### **Tipo de recinto.**

- Hornos de solera.
- Hornos de balsa.
- Hornos de soleras múltiples.
- Hornos de solera giratoria
- Hornos de túnel.
- Hornos rotativos.
- Hornos de solera móvil.
- Hornos de crisol.
- Hornos de mufla.
- Hornos de cuba.

#### **Hornos para producir efectos químicos en el producto.**

- Hornos de fusión.
- Hornos de recalentamiento.
- Hornos de tratamientos térmicos.
- Hornos especiales.

#### **4.1.3 Partes constitutivas de un Horno Industrial de Resistencia**

El horno eléctrico que se utilizará en el proyecto técnico consta de las siguientes partes:

- **Estructura metálica:** Es la distribución de las partes mecánicas unidas entre sí y elaboradas para soportar con seguridad las cargas aplicadas a la misma.
- **Cámara de calefacción:** Es un espacio cerrado, con una construcción típica de tres calderas; la exterior donde sostiene el material refractario, la intermedia donde se ubica los elementos de resistencia, y la interior que sirve de guía para una correcta circulación de aire.

- **Circulación de aire forzado (Blowers):** Son ventiladores que permiten una distribución homogénea de la temperatura alcanzada durante el proceso de secado.
- **Resistencias de calentamiento (Niquelinas):** Son las que emiten el calor necesario requerido, dependiendo de su potencia.
- **Control de temperatura (Termocupla):** Permite mantener al horno en un valor de temperatura deseado mediante un controlador o sistema de control implementado.

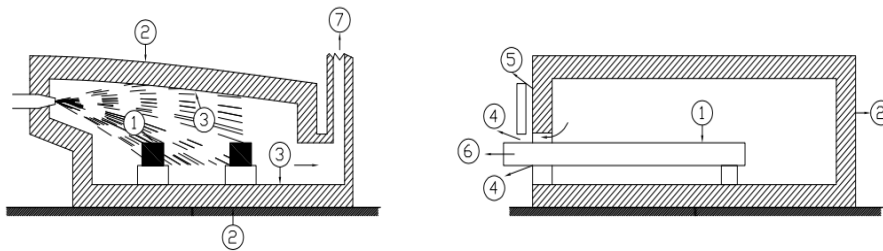
#### **4.1.4 Funcionamiento de un Horno Industrial de Resistencia**

El funcionamiento de un horno industrial de resistencia es aquel en que se basa por la distribución de calor del horno. La mayor parte del calor se libera en la zona de combustión la cual transmite el calor por radiación en forma directa al material; la zona de combustión puede estar ubicada en la parte inferior, superior o lateral, dependiendo del diseño del horno y el movimiento de flujo caliente requerido para cada proceso.

A medida que pasan los gases calientes el calor se distribuye por radiación y convección, el mismo que se desplaza en todas direcciones, una parte es absorbida por la carga, algo pasa a través de las paredes del horno, mientras que otra porción se pierde en el ambiente debido a la salida de los gases calientes por la chimenea.

Estas pérdidas también pueden ocurrir al abrir la puerta del horno o en caso de existan aberturas externas en el mismo. Para entender de una mejor manera la distribución del calor en un horno, sabemos que por diferencia de densidades con respecto al aire frío, el aire caliente tiende a subir, como se observa en el sentido de flujo de gases calientes en el interior de la chimenea; al adoptar estos gases líneas de flujo determinadas estas pueden ser direccionadas mediante deflectores, con el fin de prolongar el tiempo o guiar mayor cantidad de estos gases hacia zonas críticas (zonas de menor temperatura) buscando de esta forma homogeneidad en todo el material a calentar.

Finalmente, en el caso de calentar la carga en recipientes o en cadenas móviles, gran parte de calor es disipada al aire libre por estos dispositivos una vez que han extraído calor del horno



**Figura 16. Funcionamiento de un Horno Industrial de Resistencia**

Fuente <http://mundotelecomunicaciones1.blogspot.com/>

**4.2. Fase II: “Realizar el modelo matemático del PID (controlador proporcional, integral y derivativo) como método para el control de temperatura de hornos industriales de resistencia.”**

#### **4.2.1 Cálculo de la función de transferencia de la planta**

Primeramente, para poder realizar el cálculo de la función de transferencia de la planta es necesario plantear las siguientes ecuaciones la cual por medio de ellas podemos evaluar el flujo de calor hacia la carga, estas ecuaciones comprenden flujo de calor producido, flujo de calor de pérdidas, temperaturas

Evacuación del flujo de calor hacia la carga para lo cual se tiene la siguiente relación:

$$Q_1 - (Q_2 + Q_3) = \frac{C_2 dT_3}{dt}$$

En el cual se tiene:

- T1= Temperatura de la carga
- T2= Temperatura del medio ambiente
- T3 = Temperatura de las resistencias
- T4 = Temperatura de la pared interior
- Q1 = Flujo de calor producido al paso por corriente en la resistencia =  $I^2 * R$

- $Q_3$  = Flujo de pérdidas de calor por las paredes del horno
- $C_2$  = Capacitancia térmica del elemento calefactor
- $C_1$  = Capacitancia térmica de la carga
- $C_3$  = Capacitancia térmica de las paredes del horno
- $R_{t1}$  = Resistencia térmica entre paredes y la carga
- $R_{t2}$  = Resistencia térmica entre paredes y exteriores

Determinamos la correlación de  $Q_2 + Q_3$  con las temperaturas:

Ecuación de calor desde la pared interna hacia la carga:

$$Q_2 = \frac{T_4 - T_1}{R_{t1}} = \frac{C_1 dT_1}{dt}$$

Ecuación de calor desde las paredes internas hacia el medio ambiente:

$$Q_3 = \frac{T_3 - T_2}{R_{t2}} = \frac{C_3 dT_4}{dt}$$

Sustituyendo las ecuaciones anteriores:

$$\frac{V^2}{R} - \left( \frac{C_1 dT_1}{dt} + \frac{C_3 dT_4}{dt} \right) = \frac{C_2 dT_3}{dt}$$

Haciendo una aproximación de  $T_3 \approx T_4$

$$\frac{V^2}{R} - \left( \frac{C_1 dT_1}{dt} \right) = (C_2 + C_3) \frac{dT_4}{dt}$$

De la ecuación de evacuación de calor desde las paredes internas hacia el medio ambiente se tiene que:

$$T_4 = C_1 R_{t1} \frac{dT_1}{dt} + T_1$$

Sustituyendo la ecuación anterior en la ecuación de aproximación se tiene:

$$\frac{V^2}{R} - \frac{C_1 dT_1}{dt} = (C_2 + C_3) \frac{d}{dt} C_1 R_{t1} \frac{dT_1}{dt} + T_1$$

Entonces  $C_1 R_{t1} = \tau$ , es una constante de tiempo, entonces se tiene:

$$\tau * \frac{d^2 T_1}{dt^2} + \frac{(C_1 + C_2 + C_3)}{(C_2 + C_3)} \frac{dT_1}{dt} = \frac{V^2}{R} \frac{1}{(C_2 + C_3)}$$

La relación nos presenta el camino de la temperatura de la carga en el tiempo, cuando se le aplica una potencia eléctrica monofásica. Para determinar los valores de la ecuación, primeramente, hallamos las capacitancias del horno eléctrico cuando se está haciendo algún tipo de cocción. El horno generalmente trabaja a temperatura comprendida entre 190 °C hasta 230 °C; cuando la temperatura ambiente es de 25 °C, dependiendo del trabajo o aplicación que se vaya a usar.

#### **4.2.1.1 Determinación de las capacitancias $C_1, C_2, C_3$**

##### **Determinación de las capacitancias de la carga $C_1$**

Se encuentra utilizando la relación  $C_1 = m * C_1$  ; se considera la masa  $m$  ; así también se tiene  $C_1$  que representa el calor específico de la carga. El horno se asume que admite cargas constantes de 8 kg; además, el fabricante nos proporciona el valor del calor específico ( $C_1 = 0.80 \frac{Wh}{°CxKg}$ )

$$C_1 = 6.4 \frac{Wh}{°C}$$

##### **Determinación de Capacitancia del que suministra calor (Resistencia eléctrica) $C_2$**

Es el valor de capacitancia del aire caliente contenido dentro del horno además está en contacto con la carga.

$$C_2 = 0.29 \frac{Wh}{°CxKg}, \text{ calor específico del aire a } 215°C.$$

$$C_2 = m * C_2 = 0.374 * 0.29 = 0.108 \frac{Wh}{°CxKg}$$

##### **Determinación de la capacitancia de las paredes $C_3$**

Para lo cual el calor específico de las paredes internas  $C_3 = 0.128 \frac{Wh}{°CxKg}$

La masa de las paredes se puede asumir que es de 120 kg. Luego la capacitancia de las paredes es:

$$C_3 = m * C_3 = 0.128 * 120 = 15.36 \frac{Wh}{°CxKg}$$

#### 4.2.1.2 Función de transferencia de la planta

La variable de salida es la temperatura  $T_1$  de la carga y la variable de entrada es el calor generado por las resistencias.

La fuente de suministro a utilizar es de 220 Voltios de corriente alterna monofásica, podemos expresar, la potencia con la siguiente relación:

$$P = Vi$$

$$i = \frac{dq}{dt}$$

$$\tau * \frac{d^2 T_1}{dt} + \frac{(C_1 + C_2 + C_3)}{(C_2 + C_3)} \frac{dT_1}{dt} = V \frac{dq}{dt} \frac{1}{(C_2 + C_3)}$$

Ahora pasando a todo para el dominio de S queda la siguiente expresión:

$$\tau * S^2 T_1(S) + \frac{(C_1 + C_2 + C_3)}{(C_2 + C_3)} S T_1(S) = VSQ(S) \frac{1}{(C_2 + C_3)}$$

$$\left( \tau S + \frac{(C_1 + C_2 + C_3)}{(C_2 + C_3)} \right) T_1(S) = VQ(S) \frac{1}{(C_2 + C_3)}$$

$$\frac{T_1(S)}{Q(S)} = \frac{\frac{V}{C_2 + C_3}}{\left( \tau S + \frac{(C_1 + C_2 + C_3)}{(C_2 + C_3)} \right)}$$

Entonces sustituyendo todos los valores hallados anteriormente nos queda la ecuación de transferencia de la siguiente manera

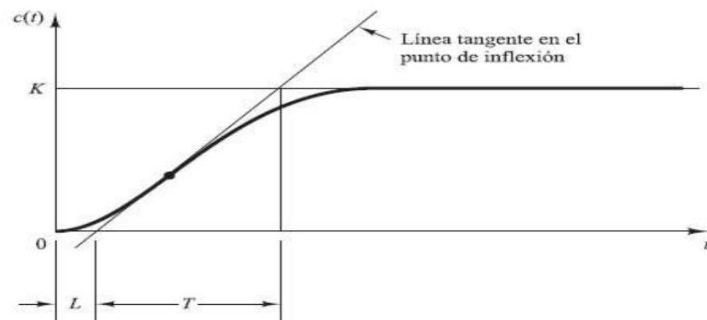
$$\frac{T_1(S)}{Q(S)} = \frac{14.22}{\tau S + 1.41}$$

#### 4.2.2 Simulación de la función de transferencia de la planta

Para realizar la simulación de la función de transferencia de la planta que fue calculada anteriormente se utilizó el programa MATLAB, el cual permite realizar las simulaciones de la planta con una respuesta escalón en lazo abierto. La cual es importante explicar que la curva de respuesta puede caracterizarse por 2 constantes: el tiempo de retardo L y la constante de tiempo T. Si puede representar la función de

transferencia del sistema aproximando por una función de primer orden con una ganancia estática K y una constante de tiempo T con un tiempo de retraso L, de la forma:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{ke^{-Ls}}{\tau s + 1}$$



**Figura 17.** Curva de respuesta de Sistema de primer orden

Fuente <http://mundotelecomunicaciones1.blogspot.com/>

Para lo cual realizamos un programa en MATLAB, aplicando un escalón unitario a la planta. A continuación, presentamos el programa desarrollado en MATLAB

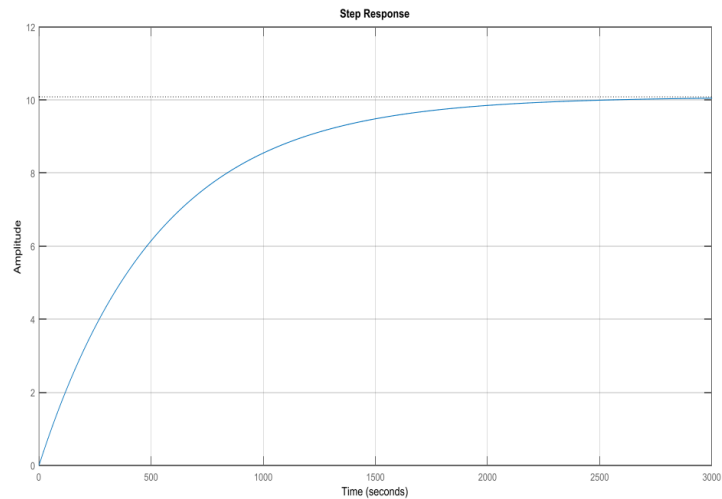
```
n= [14.22];
```

```
d= [750 1.41];
```

```
t= 0:20:3000;
```

```
step(n,d,t),grid
```

Obtenemos la respuesta como el del diagrama siguiente:

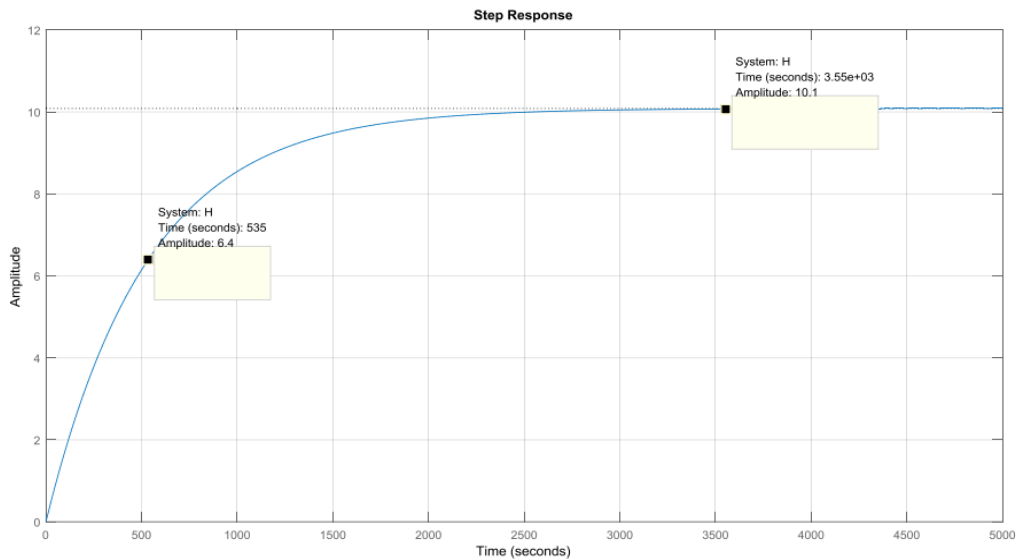


**Figura 18.** Simulación de la función de transferencia  
Fuente: Reyes (2021).

Luego de haber realizado la simulación de la función de transferencia buscamos la constante de tiempo  $\tau$  y el valor del tiempo de retraso  $L$ , para lo cual plantemos la siguiente programación en MATLAB:

```
H=tf([14.22],[750 1.41]);
step(H); grid
dt=0.01;
t=0: dt:10;
y=step(H,t)';
dy=diff(y)/dt;
[m,p]=max(dy);
y1=y(p);
t1=t(p);
L=t1-y1/m;
T=(y(end)-y1)/m+t1-L;
```

Finalmente corremos la programación y obtenemos la siguiente gráfica:



**Figura 19.** Respuesta al escalón de la función de transferencia

Fuente: Reyes (2021).

De la siguiente simulación se puede obtener los siguientes valores.  $T=9.9067$  min y  $L=0$ . Finalmente, la planta se representa por la siguiente relación:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{10.1}{594s + 1}$$

La figura 19, podemos observar cómo evoluciona el horno eléctrico; en el cual se ha usado la relación, tomando  $q(s)$  como una entrada paso y la constante de tiempo igual a 594 segundos, en el cual se aprecia que es el tiempo en que el horno alcanza el 63.2% de su valor en estado estacionario.

#### 4.2.2 Cálculo de los parámetros del controlador PID

Es importante destacar que para realizar el cálculo de los parámetros del controlador PID es necesario tomar en cuenta un sensor de temperatura para poder realizar un sistema de control cerrado. El controlador PID como así también el sensor al cual consideramos como una constante e idealmente con ganancia unitaria. Para calcular los parámetros del controlador PID del sistema es bajo ciertas especificaciones que tiene que cumplir el sistema de lazo cerrado, lo cual nos planteamos las siguientes consideraciones:

- Sobre impulso( $M_p$ ) $\leq 20\%$
- Tiempo de establecimiento( $t_s$ ) $\leq 594$  s

Calculamos el valor de factor de amortiguamiento  $\rho$

$$\rho \geq \sqrt{\frac{(\ln M_p)^2}{\pi^2 + (\ln M_p)^2}} \geq 0,456$$

Para cumplir la relación anterior tomamos un valor mayor e igual a  $\rho=0.6$  y tiempo de establecimiento  $t_s = 594$  s

Ahora calculamos el valor de la frecuencia natural no amortiguada:

$$w_n = \frac{4}{t_s \rho} = \frac{0.011 \text{ rad}}{\text{s}}$$

Con los valores determinados anteriormente lo que hacemos es hacer que el lugar geométrico de las raíces pase por este punto que es el deseado:  $s_{1,2} = -\rho w_n \pm w_n \sqrt{1 - \rho^2}$  en este caso el punto es:

$$s_1 = -0.0067 + j0.0088$$

Como tenemos la ubicación deseada es por donde debe atravesar el nuevo lugar geométrico de las raíces para poder cumplir con las especificaciones tomadas y de acuerdo a ello se busca mejorar la respuesta transitoria y una adecuada respuesta en estado estacionario. Para logra esto, utilizamos el controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID) cuya relación es la siguiente:

$$G_c(S) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i S} + T_d S \right)$$

Al utilizar este controlador de acuerdo a la que se le adiciona dos ceros y un polo en el origen al sistema. Para lo cual hacemos un análisis para buscar su ubicación y conseguir que el punto deseado sea lugar geométrico de las raíces. Para lo que pretendemos la función de transferencia en lazo abierto del sistema con controlador en

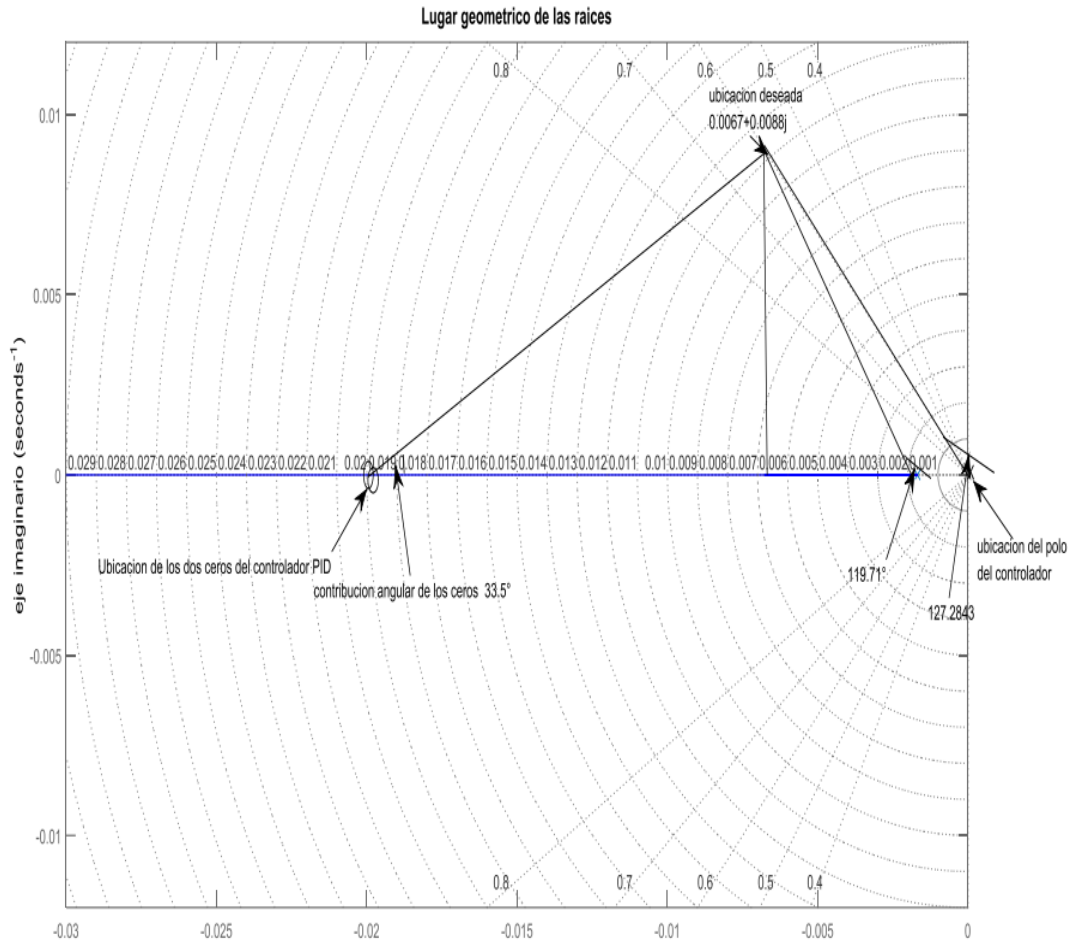
cascada con la planta debe cumplir una de las condiciones que es el de argumento o ángulo:

$[\angle (s + m) + \angle (s + n) - \angle s - \angle s + 0.00168]$ , evaluando en  $s_1$  nos queda = -180°.

Los ángulos de  $s=127.28^\circ$  y  $(s+0.00168) =119.7^\circ$ ; se hallaron con respecto a ubicación deseada y para cumplir con la condición de ángulo del lugar geométrico de las raíces concebimos por facilidad que ambos ceros estén ubicados en el mismo lugar y tengan el mismo ángulo, por lo tanto, hallamos el valor de este ángulo:

$[2 \angle (s + m) - \angle 127.28^\circ + 119.71^\circ]$ , evaluando en  $s_1$  nos queda = -180°.

Entonces se encuentran los dos ceros del compensador deben contribuir con  $67^\circ$ , para que la ubicación deseada pase por lugar geométrico de las raíces. Para obtener lo siguiente se puede observar la figura 20, lo cual se ha trazado utilizando MATLAB en el cual se observa que al ubicar los dos ceros en el punto  $s = -0.02$ , los cuales aportan en ángulo el valor de un ángulo de  $33.5^\circ$

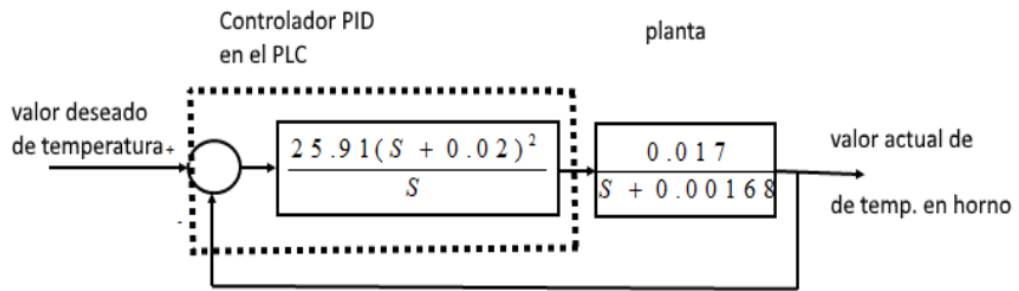


**Figura 20.** Ubicación del punto para los controladores PID  
**Fuente:** Reyes (2021).

Luego de tener la ubicación del punto podemos obtener la función de transferencia de controlador PID.

$$G_c(S) = 1.0364 \left( 1 + \frac{1}{100S} + 25S \right)$$

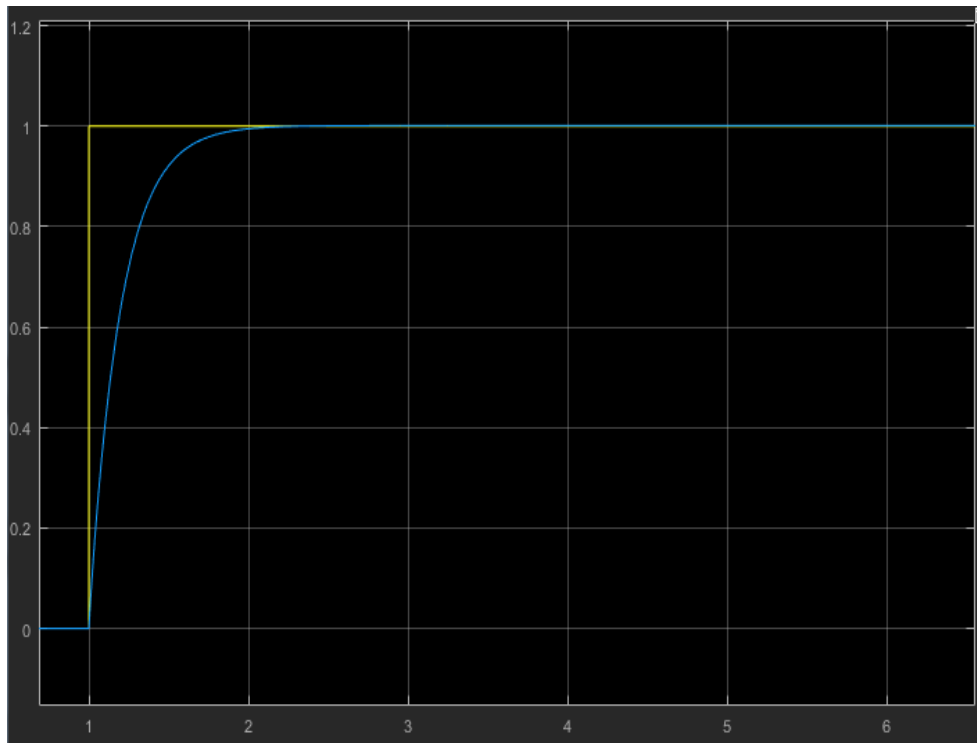
Donde el controlador queda de la siguiente manera:



**Figura 21.** Controlador PID

Fuente: Reyes (2021).

Aplicando el método de Ziegler-Nichols para que el sistema tengo una mejor respuesta.



**Figura 22.** Controlador PID

Fuente: Reyes (2021).

Los parámetros quedan de la siguiente manera:

<b><math>K_p</math></b>	300
<b>Ti</b>	2.03
<b>Td</b>	0.5075

Fuente: Reyes (2021).

### **4.3 Fase III: Diseñar el sistema de control de temperatura para hornos industriales de resistencia.**

Es importante explicar que el diseño del control de temperaturas de hornos industriales se llevó a cabo en ciertas condiciones que pueden ser aplicadas a la industria aparte de solamente controlar la temperatura es por esto que se establecieron los siguientes parámetros:

- Transportar el material en cinta transportadora hacia el horno.
- Encender las resistencias del horno si se encuentran por debajo del set point.
- Según las temperaturas para materiales activar la salida del producto.
- Prender o apagar los ventiladores para mantener la temperatura de las resistencias.
- Con el cálculo del PID mantener las temperaturas de las resistencias al valor del set point.

#### **4.3.1 Selección del Controlador Lógico Programable**

Para la selección del Controlador Lógico Programable (PLC) que resulte en un desempeño eficiente de la máquina, que mejore la calidad del producto y a su vez reduzca los costos de mantenimiento. Por lo que para este estudio de selección se realizó un costo-desempeño de un PLC Allen- Bradley en comparación con un PLC Siemens.

Las opciones a considerar son los siguientes controladores lógicos programables:

- Siemens: S7-300
- Allen-Bradley: MicroLogix 1200

Estos PLC son capaces de cubrir las necesidades de la aplicación (número de entradas y salidas, etc.). La Tabla 3.17 muestra los costos de ambos controladores.

**Tabla 4.** Costo de las opciones de los PLC

<b>Controlador (PLC)</b>	<b>Costo</b>
<b>S7-300</b>	1000 \$
<b>MicroLogix 1200</b>	3000 \$

Fuente: Reyes (2021).

Entonces entorno al diagnóstico anterior de cuál es el PLC más adecuado para el proyecto de investigación planteado, por el costo sea menor es el Siemens S7-300, este mismo a su vez reduce el tiempo de implementación de comunicación e integración.

Sin embargo, también se deben considerar ciertas variables las cuales intervienen a lo largo de todo el proceso, dichas variables son de diferentes características ya que algunas de ellas son variables provenientes de señales digitales las cuales representan una variación discontinua con el tiempo y que sólo pueden tomar ciertos valores discretos. Su forma característica es ampliamente conocida, en donde, la señal básica es una onda cuadrada (pulsos) y las representaciones se realizan en el dominio del tiempo. Por su parte, también existen las señales analógicas las cuales tienen una gran diferencia de las señales digitales ya que este tipo de señal no es generada con la intervención del ser humano, sino que están representadas por magnitudes físicas tales como temperatura, luminosidad, humedad, fuerza, entre otros. Este tipo de señal son aquellas señales las cuales varían de forma continua a lo largo del tiempo y toman valores infinitos en un intervalo de tiempo finito. Este tipo de señal es muy utilizado para realizar el control de las diferentes magnitudes físicas mencionadas anteriormente.

Entonces se procede a evaluar la cantidad de variables de cada tipo, que son necesarias controlar para poder realizar la automatización diseño de un sistema de control de temperatura para hornos industriales de resistencia.

. A continuación, se enumerarán la cantidad de variables digitales que intervienen a lo largo de todo el sistema de control del proceso de inyección.

- ❖ 1 entrada digital provenientes del relé térmico instalado en el sistema de seguridad del motor de la cinta transportadora.
- ❖ 1 entrada digital proveniente del sistema de parada de emergencia.
- ❖ 1 salida digital para indicar que el sistema se encuentra en funcionamiento.
- ❖ 1 salida digital para indicar que el sistema se ha detenido.
- ❖ 1 salida digital para activar una alarma.
- ❖ 1 salida digital para activar una alarma de falta de material de plástico.
- ❖ 1 salida digital para el cálculo del PID
- ❖ 1 entrada digital para la parada por STOP de la máquina.
- ❖ 1 entrada digital para la parada por emergencia de la máquina.
- ❖ 1 entrada para el Run de la máquina.
- ❖ 1 entrada digital para la parada el sensor de posición.
- ❖ 3 salidas digitales para encender los ventiladores para bajar la temperatura de las resistencias.

Atendiendo a estas consideraciones, se concluye que en el sistema planteado existen un total de 4 entradas digitales y 10 salidas digitales, ahora se procede conocer la cantidad de variables analógicas que se deben controlar en el sistema planteado, las cuales se enumeraran a continuación.

- 3 entrada analógica proveniente de un sensor de temperatura en este caso las termocuplas principales que regularan el funcionamiento.
- 3 salidas analógicas para encender las resistencias del horno que regularan el funcionamiento del sistema de fuerza de las resistencias.

Con respecto a la numeración de las señales analógicas que se deben controlar a lo largo de todo el proceso, se tiene un total de 3 entradas analógicas las cuales son de suma importancia ya que estas señales analógicas serán las encargadas de llevar el control diseño de un sistema de control de temperatura para hornos industriales de resistencia.

Una vez ya es conocido el número exacto de variables de entrada y de salida, tanto digital como analógicas, es posible diagnosticar cual es el PLC, más a adecuado

para el sistema ha automatizar, y la opción más viable a utilizar es el SIEMENS S7-300, ya que este PLC ofrece una gran cantidad de funciones útiles que será requeridas en el sistema ha automatizar.

#### **4.3.1.1 PLC Simatic S7-300**

Este autómata de SIEMENS ideado especialmente para aumentar la cadencia y disminuir sensiblemente los tiempos de ciclo, respuesta y aumentar la calidad del proceso, opera más allá de los límites de prestaciones anteriores, asegurando la adquisición y tratamiento de señales (analógicas o digitales) a cualquier velocidad y en cualquier forma en que se presenten, de allí que es ideal para usarlo en maquinarias de embalaje y en máquinas herramientas, sector agroalimentario o en industria química o farmacéutica. Posee una CPU cuya velocidad es 100 veces mayor a las convencionales (la más potente de sus 5 CPU no necesita más de 0,3 ms para ejecutar 1024 instrucciones binarias y no mucho más al procesar palabras), una Memoria de programa de 16K instrucciones de capacidad máxima, 1024 entradas y salidas digitales y 32 módulos dentro de un solo sistema (para tareas especiales se ofrecen módulos específicos), alta potencia de cálculo con hasta aritmética de 32 bits en coma flotante e interfaces multipunto o puerto MPI. Pequeño, extremadamente rápido y universal son las características más importantes de éste PLC, además de su modularidad, sus numerosos módulos de extensión, su comunicabilidad por bus, sus funcionalidades integradas de visualización y operación, así como su lenguaje de programación bajo entorno Windows 7, 32 BIT.



### **Figura 23. PLC S7 300**

**Fuente:** <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1335/1/108T0005.pdf>

El PLC Simatic S7-300 consta de los siguientes componentes:

- Unidad central de procesamiento (CPU), que constituye el "cerebro" del sistema y toma decisiones en base a la aplicación programada.
- Módulos para señales digitales y analógicas.
- Procesadores de comunicación (CP) para facilitar la comunicación entre el hombre y la máquina o entre máquinas. Se tiene procesadores de comunicación para conexión a redes y para conexión punto a punto.
- Módulos de función (FM) para operaciones de cálculo rápido.
- Módulos de suministro de energía.
- Módulos de interfaces para conexión de racks múltiples en configuración multi-hilera.

En los módulos de entradas pueden ser conectados:

- Sensores inductivos, capacitivos, ópticos.
- Interruptores.
- Pulsadores.
- Llaves.
- Detectores de proximidad.
- Sensores de movimiento.

En los módulos de salidas pueden ser conectados:

- Contactores.
- Electroválvulas.
- Variadores de velocidad.
- Alarmas.

#### **4.3.1.2 Tamaño del PLC S7-300**

El tamaño de la CPU (independientemente del modelo) es de 80 mm de largo, 125 mm de alto y 130 mm de profundidad. En cuanto a los módulos, sus medidas son 40 mm x 125 mm x 130 mm, respectivamente. Además, el S7-300 requiere una alimentación de 24 VDC. Por ésta razón, los módulos (fuentes) de alimentación de carga transforman la tensión de alimentación de 115/230 VAC en una tensión de 24 VDC. Los módulos de alimentación se montan a la izquierda junto a la CPU.

#### **4.3.1.3 Ventajas del PLC S7-300**

- Poco espacio de ocupación.
- Elaboración de proyectos en menor tiempo.
- Posibilidad de modificación sin cambiar el cableado ni añadir aparatos.
- Economía en su mantenimiento.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con el mismo PLC.
- Tiempo mínimo de puesto en marcha.
- Instalación rápida y sencilla para el cliente.
- Transmisión de velocidad de hasta 45 Megabits por segundo.
- Tecnología de banda ancha.
- Alimentación única, voz y datos
- Sin necesidad de cableado adicional ni obras.
- Conexión de equipo.

#### **4.3.2 Descripción de la programación**

La programación, es la acción de ordenar y estructurar una serie acciones de forma cronológica para cumplir un objetivo, en el caso de un proyecto de automatización, la programación es en la cargada de controlar todos los procesos que requieran, para realizar esto existen una gran variedad de lenguajes de programación, sin embargo, debido a su simplicidad para entender e interpretar sus instrucciones, el lenguaje de programación más utilizado para realizar la acción de automatizar un proceso es Ladder (KOP), también llamado diagrama de escalera o diagrama de

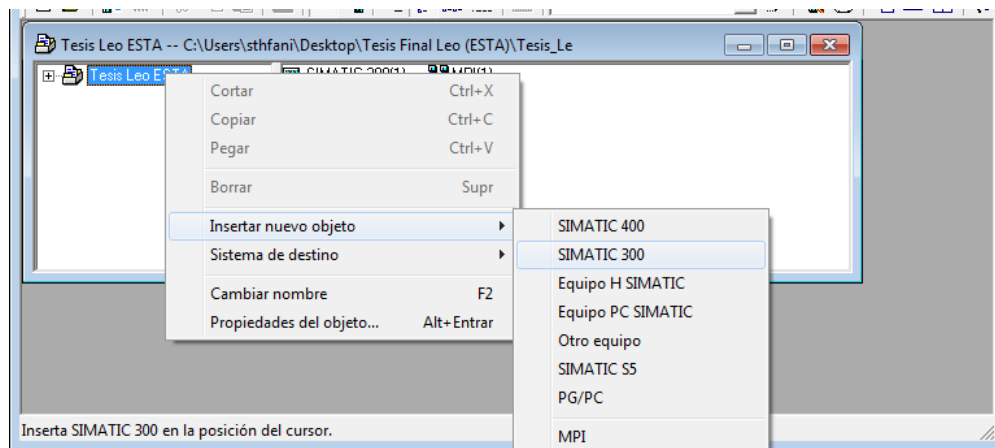
contactos, este lenguaje de programación gráfico es muy popular dentro de los autómatas programables debido a que está basado en los esquemas eléctricos de control clásicos.

Por lo tanto, la propuesta de automatización consiste en la elaboración de un programa en ambiente escalera en Step 7 que permitirá controlar el proceso del diseño de un sistema de control de temperatura para hornos industriales de resistencia.

#### 4.3.2.1 Crear un proyecto en Step 7

Al crear el equipo se define el sistema de automatización. Para el trabajado de grado se utilizó el SIMATIC 300 el cual es defino como PLC Simatic S7-300, el cual este fue explicado y escogido en el apartado 4.3.1

En la figura 10 se puede observar que después de crear la estructura y la carpeta para el proyecto, se procede al crear el equipo el cual es aquel en donde se inserta el PLC Simatic 300, dándole clic izquierdo insertar nuevo objeto y luego clic en Simatic 300.



**Figura 24.** Crear el equipo Simatic 300.

Fuente: Reyes (2021).

- **Configurar el hardware**

Al configurar el hardware se define en una tabla de configuración qué módulos se utilizarán para la solución de automatización y a través de qué direcciones se accederá a los módulos desde el programa de usuario. Además, las propiedades de los módulos se pueden ajustar mediante parámetros. Se configura el hardware

primeramente hay que insertar el bastidor, el cual es el modulo principal que se utiliza para insertar todas las demás variables. En el proyecto se utilizó una CPU-314, la cual tiene una memoria de trabajo de 192 KB, se insertó dos módulos de entradas analógicas, módulo de entrada y salidas digitales y por último también se insertó una fuente PS 307 10A. (Ver figura 24).

(0) UR	
1	PS 307 10A
2	CPU 314
3	
4	AI8x16Bit
5	AI8x16Bit
6	DI16/DO16x24V/0.5A

**Figura 25.** Insertar bastidor

Fuente: Reyes (2021).

#### 4.3.2.1 Descripción y Simulación de la programación

Para el programa de automatización se creó únicamente un OB1 que se encuentra en el Main principal, donde se verá la automatización para el sistema de control de temperatura para hornos industriales de resistencia.

- **Definir Símbolos**

En lugar de utilizar direcciones absolutas es posible definir símbolos locales o globales en una tabla de símbolos, empleando nombres auto explicativos que se utilizarán luego en el programa. Por lo que es necesario realizar el conteo de entradas y salidas. En la siguiente imagen se puede ver la tabla de símbolos que fue utilizada para el diseño del control de temperatura. (Ver figura 25).

Estado	Símbolo	Dirección	Tipo de dato	Comentario
	Run	A 0.0	BOOL	Lampara RUN
	Alarma por Stop	A 0.1	BOOL	Alarma por parada del Sistema
	Alarma de emergencia	A 0.2	BOOL	Alarma de emergencia del Sistema
	Run motor 1	A 0.4	BOOL	Enciende el Motor 1
	PID	A 1.2	BOOL	Calcular PID
	Start	E 0.0	BOOL	Boton de Inicio del Sistema
	Stop	E 0.1	BOOL	Parada del Sistema
	Parada de Emergencia	E 0.2	BOOL	Boton fisico del sistema
	Termico	E 0.4	BOOL	Proteccion Termica del motor
	Encéder M1	E 0.5	BOOL	Motor de la cinta transportadora
	Sensor 1	E 0.6	BOOL	Sensor de posicion 1
	CONT_C	FB 41	FB 41	Continuous Control
	Conversor de FH	FC 4	FC 4	
	SCALE	FC 105	FC 105	Scaling Values
	START MARCA	M 3.0	BOOL	
	STOP Marca	M 3.1	BOOL	
	MARCA Automatico	M 3.4	BOOL	
	MARCA Manual	M 3.5	BOOL	
	Boton 1	M 100.0	BOOL	Carga de Plástico
	Boton 2	M 100.1	BOOL	Avanzar Husillo
	Boton 3	M 100.2	BOOL	Realizar inyeccion
	Boton 4	M 100.3	BOOL	Retroceder el Husillo
	Boton 5	M 100.4	BOOL	Abro el Molde
	MARCA PERRLADO	M 140.0	BOOL	
	MARCA TRANSPAR...	M 140.1	BOOL	
	Marca A	M 150.0	BOOL	Automatico
	Marca de Manual	M 150.1	BOOL	Marca de Manual
	Pinvección	M 500.0	BOOL	Presión de Invección del tornillo

**Figura 26.** Tabla de Símbolos

Fuente: Reyes (2021).

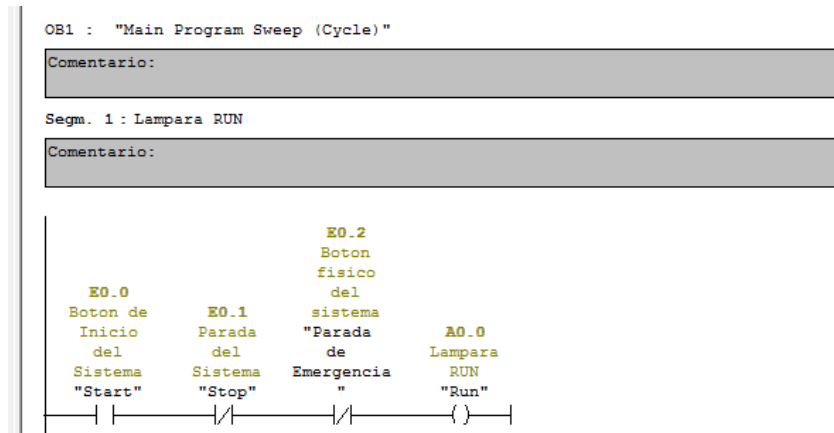
- **Bloques del proyecto**

En un proyecto de gran envergadura, se deben controlar una gran cantidad de variables de entradas y de salidas, para que se pueda tener un proyecto organizado y que se pueda comprender al momento de realizar una modificación, se dispone de diferentes herramientas con las cuales se puede ordenar un proyecto, en el presente trabajo de investigación se presenta un proyecto el cual está organizado en diferentes bloques tales como, bloques de organización (OB), así como de diferentes bloques de función (FB), funciones (FC) y por último bloques de datos (DB), cada uno de estos bloques son de gran importancia para cumplir cada uno de los requerimientos del sistema a automatizar. A continuación se nombrarán los diferentes bloques y funciones que conforman el proyecto.

- ✓ **OB principal**

Para el OB principal primero se realizó el inicio del sistema y dando de una salida de Lámpara RUN, y abriendo el sistema si se activa la entrada del STOP, o el sistema de parada de emergencia. En la figura 26 se pueden observar todas estas condiciones

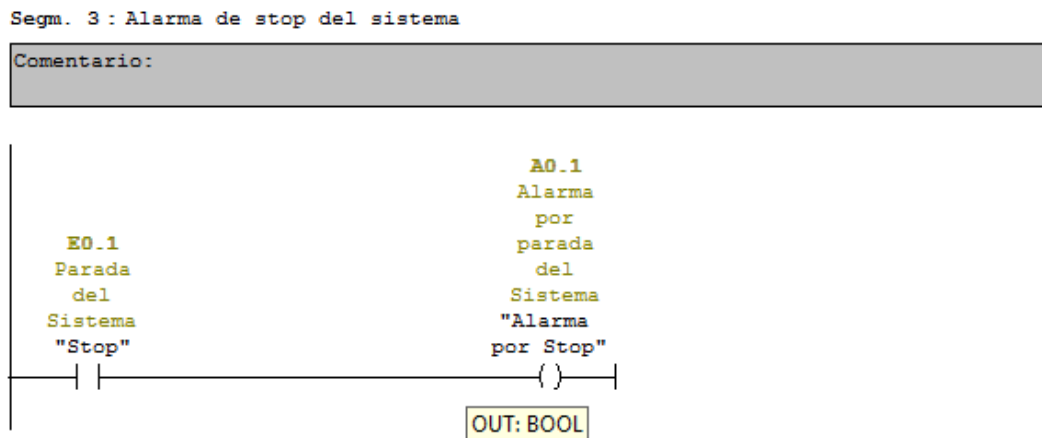
es importante acotar que para que el sistema funciones es necesario activar la entrada E0.0 que es definida como el botón de inicio del sistema.



**Figura 27.** Inicio del sistema RUN.

Fuente: Reyes (2021).

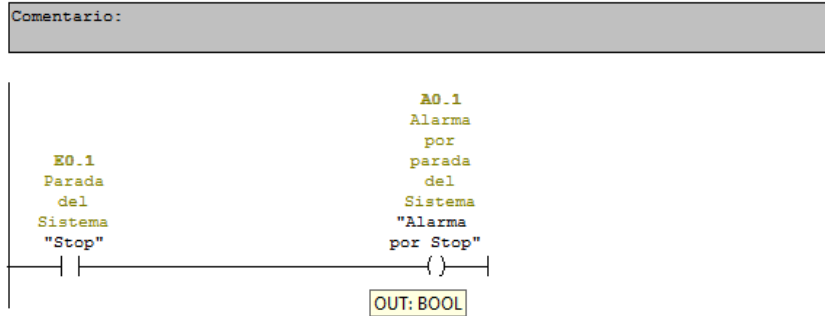
En la figura 27 y 28 se pueden observar las salidas para las alarmas de los sistemas, la cual vienen gobernadas por la parada del sistema a través de botón físico, y la parada de emergencia que es de suma importancia por si hay alguna anomalía del sistema que no pueda ser controlado.



**Figura 28.** Alarma por parada del sistema

Fuente: Reyes (2021).

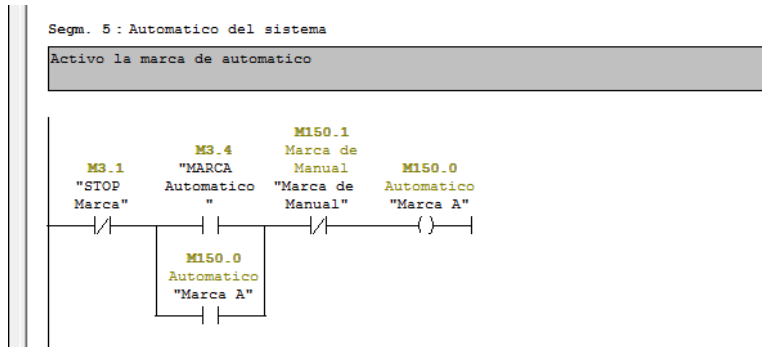
Segm. 3 : Alarma de stop del sistema



**Figura 29.** Alarma por parada de emergencia.

Fuente: Reyes (2021).

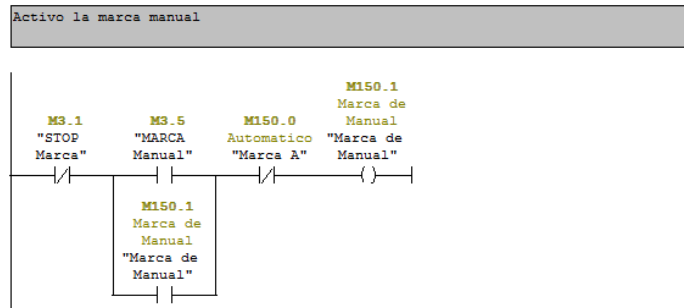
En la figura 29 y 30 se puede observar las condiciones para realizar el automatico y manual del sistema, en todo sistema de control siempre tienen que existir estas condiciones para que esten a la prueba del operador lider de la máquina



**Figura 30.** Automático del sistema

Fuente: Reyes (2021).

Segm. 6 : Manual del sistema

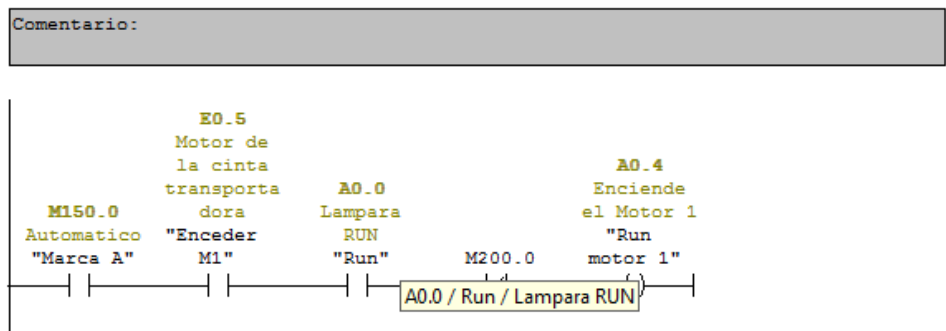


**Figura 31.** Manual del sistema

Fuente: Reyes (2021).

En la siguiente figura se puede observar la salida para encender el motor de la cinta transportadora condición que se aclaró al principio del desarrollo de esta fase, la cual para encender el motor de la cinta transportadora viene de la mano por una entrada física del sistema E0.5 que es el botón, por otro lado también hay condiciones que aplican como que este en automático el sistema y que este activa la lámpara RUN, todo esto da a cabo la acción de encender el motor de la cinta transportadora.

Segm. 7 : Encender el motor de la cinta transportadora

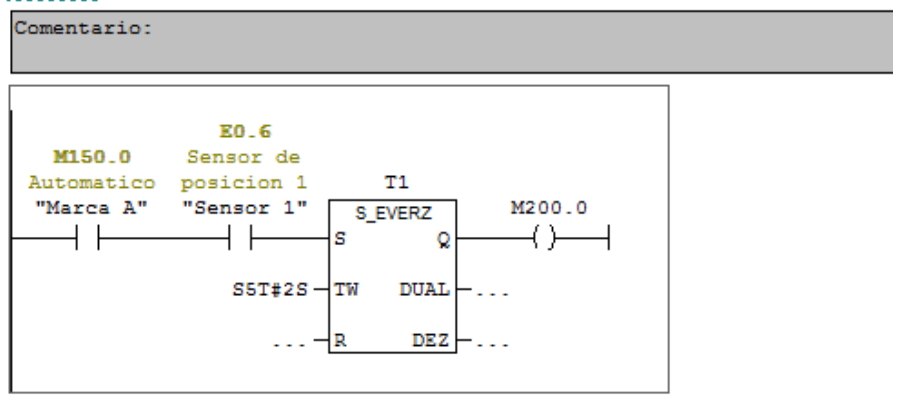


**Figura 32.** Encender el motor de la cinta transportadora

Fuente: Reyes (2021).

Por otro lado, cuando el motor enciende esto quiere decir que va hacia el horno con el fin de procesar el producto es por esto que es necesario la colocación de un sensor de posición la cual si este se activa la cinta transportadora se detiene.

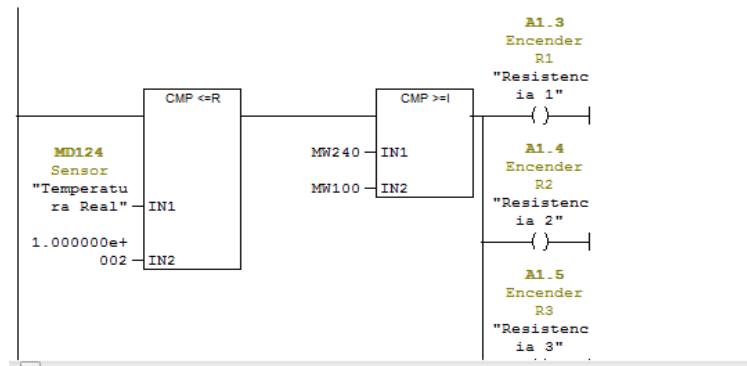
Segm. 8 : Parada de la cinta si se activa el sensor de posicion



**Figura 33.** Sensor de posición

Fuente: Reyes (2021).

En la siguiente se puede observar el encendido de las resistencias la cual está encendiendo si el set point está por debajo del sensado de las Termocupla o si está mandado por la activación del PID.

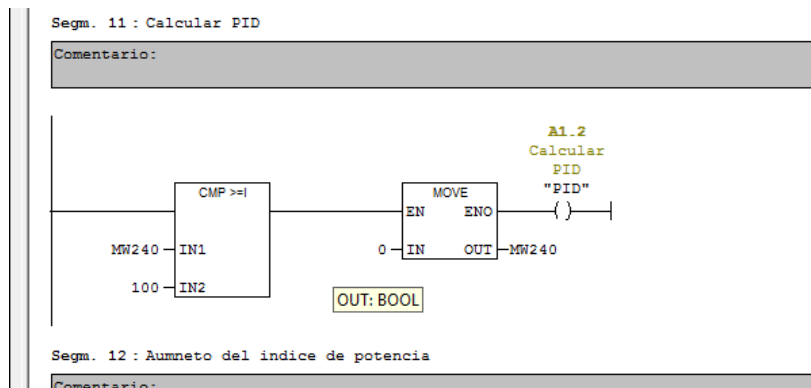


**Figura 34.** Encendido de resistencias  
Fuente: Reyes (2021).

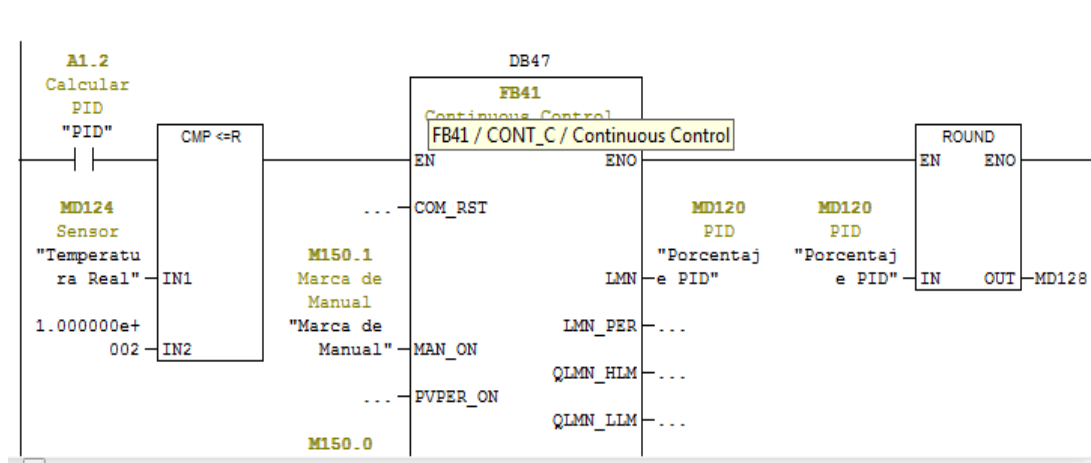
En SIMATIC STEP7 se manipulan bloques para la programación de un PLC, ya sean bloques de objetos, de funciones, de datos, etc. Existe un bloque, el FB41, donde se tiene programada la instrucción PID para variables analógicas continuas Este bloque de función requiere también de distintos parámetros para su funcionamiento, pero, todos se escriben directamente sobre el bloque, que se encontrará en la subrutina de cálculo PID. Por otro lado, el FB41 puede mostrar directamente la proporción de tiempo de ON (de 0 a 100%) como salida del bloque, solo escribiendo un 0 en el parámetro de LMN\_LLM (Manipulated Value Low Limit) y un 100 en LMN\_HLM (Manipulated Value High Limit), sin tener que escalar valores digitales manualmente con otra instrucción.

Aunque el FB41 tiene muchos parámetros de entrada y señales de salida, no todos los campos son utilizados. En resumen, se deben introducir los coeficientes del controlador PID (GAIN = 15.6, TI = 222.228 y TD = 55.18), desactivar el modo manual (MAN\_ON), declarar la variable a controlar (PV\_IN) y el Setpoint (SP\_INT), así como los límites de escalamiento de la salida a 0 y 100 (LMN\_HLM y LHN\_LLM) y el tiempo de muestreo a 1 segundo (CYCLE).

Cabe mencionar que el FB41 tiene parámetros para encender o apagar la acción P, I o D del controlador, es decir, se puede manipular como un controlador P, I, D, PD o PI con solo declararlo en las entradas del bloque, así como utilizar un controlador PID donde se enciendan o apaguen ciertas acciones correctivas dependiendo de lo que busque el programador. Esto es muy útil para eliminar el efecto Windup producido por el término integral, al solo activar la esta acción cuando se encuentre cerca la variable a controlar del Setpoint. Todo esto explicado anteriormente se puede observar en la figura 34,35,36,37 y 38.



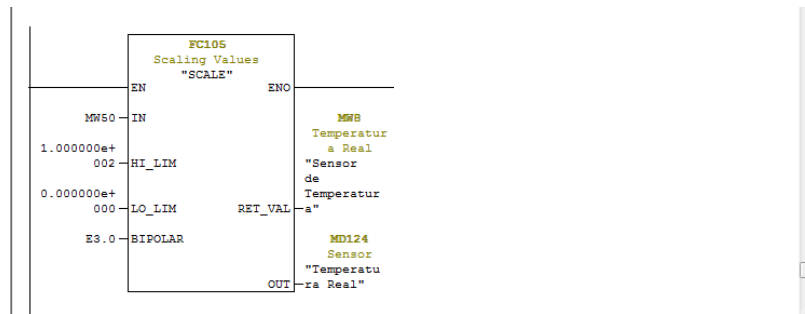
**Figura 35. Control PID 1**  
Fuente: Reyes (2021).



**Figura 36. Control PID 2**  
Fuente: Reyes (2021).



En la figura 18 se puede observar la función FC5 la cual es utilizada para poder hacer el escalamiento analógico, en temperatura de todas las resistencias en este caso, de las tres Termocupla utilizadas.



**Figura 40.** Escalado de sensor de temperatura  
Fuente: Reyes (2021).

#### **4.4 Fase IV: Realizar un estudio de factibilidad operativa, técnica y económica para el diseño del sistema de control de temperatura para hornos industriales de resistencia**

A continuación, se definen los recursos monetarios necesarios para la adquisición de activos fijos tangibles e intangibles requeridos para el desarrollo y la puesta en marcha el proyecto.

##### **4.4.1 Factibilidad económica**

###### **4.4.1.1 Costos**

Se requiere de una inversión inicial para conseguir los recursos necesarios para que el sistema pueda empezar a funcionar. Se detallara el costo de los equipos para el diseño de un sistema de control de temperatura para hornos industriales de resistencia y el costo del personal necesario para el desarrollo del sistema, cabe destacar que los precios referenciales mencionados se tomaron de distintos proveedores, la mayoría de los precios presentados fueron obtenidos mediante pedidos de presupuestos en páginas web especializadas en la venta de equipos electrónicos y eléctricos industriales, algunas de ellas son nacionales y otras extranjeras. Se utilizaron presupuestos de Mercado

Libre, Amazon, Ebay y otros. A continuación, se resumen estos diferentes gastos, clasificados en distintas categorías. (Ver tabla 4).

**Tabla 5.** Costos de Materiales

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL (\$)
1	PLC S7-300	1	1000	1000
2	Pantallas HMI- KTP 600	1	1000	1000
3	Módulo de entradas/ salidas analógicas para termopares	1	200	200
4	Módulo de entradas/ salidas digitales	1	150	150
5	Fuente de Alimentación	1	150	150
6	Software	1	12	120
7	Hardware	1	420	420
			<b>TOTAL</b>	<b>3040 \$</b>

Fuente: Reyes (2021).

#### 4.4.1.2 Presupuesto del personal

El proyecto se llevará a cabo por dos Ingenieros, uno en control y uno en electrónica; un asistente técnico y ayudante para la instalación eléctrica. Trabajando 10 días hábiles, 8 horas diarias. La Tabla 5 muestra el costo de personal.

**Tabla 6.** Costo del personal

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL (\$)
1	Ing. Electrónico	Horas	80	8	640
2	TSU en Instrumentación	Horas	80	5	400
3	Asistente técnico	Horas	24	2	48
				<b>TOTAL</b>	<b>1088 \$</b>

Fuente: Reyes (2021).

En la tabla 7 se puede observar la propuesta de control y conceptos del personal encargado del proyecto.

**Tabla 7.** Tabla de Conceptos del personal

<b>Personal</b>	<b>Característica</b>
<b>Instalación eléctrica</b>	Recableado a sensores y controlador Ponchado, etiquetado de control Instalación de los equipos de control y armado del gabinete de control Canalización de la tubería de instrumentación Interconexión del gabinete de control con el arrancador de fuerza
<b>Ingeniería</b>	Supervisión de desarrollo de los planos de instalación eléctrica y de instrumentos Diseño del nuevo control Planeación Programación Puesta en marcha Secuencias de operación Pruebas de operación

Fuente: Reyes (2021).

En la tabla 8 se muestra el costo total del proyecto.

**Tabla 8. Costo Total del Proyecto**

<b>Costo total de materiales</b>	<b>I.V.A. (16%)</b>	<b>Costo total de mano de obra</b>	<b>Costo total del proyecto</b>
<b>3.040 \$</b>	<b>486,4\$</b>	<b>1088 \$</b>	<b>4614,4\$</b>
<b>VAN (CALCULO DEL VALOR ACTUAL NETO) :</b>			
Tasa de descuento según BCV (0,52)			<b>\$6.148,95</b>
Tasa de descuento estimada (0,10)			<b>\$8.112,93</b>
<b>Tasa Interna de Retorno</b>			<b>0%</b>
<b>VPN (CALCULO DEL VALOR PRESESENTE NETO)(VALOR ACTUAL NETO) :</b>			

<b>VPN BCV</b>	<b>\$7.672,49</b>
<b>VPN Estimado</b>	<b>\$17.492,40</b>
<b>Costo-Beneficio</b>	<b>2\$</b>

Fuente: Reyes (2021).

#### **4.4.1.3 Viabilidad Económica**

Para realizar el estudio de la factibilidad económica y poder guiar el diseño del sistema de control de temperatura para hornos industriales de resistencia en una modalidad de factible, se hace la comparación en cuanto a las funcionalidades del diseño de un horno industrial eléctrico comercial y los indicadores financieros tomando en cuenta los costos operativos, y una estimación del cálculo de retorno de inversión a 5 años. Resultando que el cálculo del VAN es positivo tomando en cuenta la tasa de interés del BCV y un retorno de inversión del 29% anual. Los cálculos relativos a la TIR y al VPN son positivos lo que hace viable o factible una inversión de automatización de un horno industrial tomando en cuenta la tasa de interés del BCV y la estimada. El cálculo del costo-beneficio para esta inversión es positiva reafirmando la viabilidad financiera de un proyecto con estas características.

#### **4.4.2 Factibilidad operativa**

La viabilidad operativa de este trabajo de grado, consiste en el diseño de un sistema de control de temperatura para hornos industriales de resistencia el cual este diseño mejora la calidad y control del producto terminado y mejora los tiempos de cocción para los productos para la creación de producto, y por otro lado disminuirá la tasa de error para el producto final ya que las temperaturas son más exactos y precisas.

El trabajo de grado cumple con la viabilidad operativa, ya que habrá mayor seguridad para el operario del sistema siendo este completamente automatizado.

#### **4.4.3 Factibilidad técnica**

La factibilidad técnica consiste en el funcionamiento del sistema, proyecto o idea, atendiendo a sus características tecnológicas y a las leyes de

la naturaleza involucradas. La factibilidad técnica del presente trabajo del diseño de un sistema de control de temperatura para hornos industriales de resistencia para el proceso de inyección es viable ya que consta con PLC S7-300 y el sistema queda completamente automatizado, por lo que este es mucho más óptimo y eficiente del actual para cualquier empresa que lo solicite.

## CONCLUSIONES

A continuación, se presentan las conclusiones más resaltantes del estudio realizado, así como las recomendaciones para futuras investigaciones, con el propósito de avanzar en el diseño de un sistema de control de temperatura para hornos industriales de resistencia.

El desarrollo de este trabajo de grado se aplicaron los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Electrónica mención control y automatización, siendo esta carrera unos de los pilares más importantes en el campo industrial.

- El trabajo de grado realizado, cumple con el objetivo principal planteado, el cual es proponer el diseño de un sistema de control de temperatura para hornos industriales de resistencia.
- El sistema planteado en este proyecto de investigación ofrece un sistema más eficiente para realizar los procesos del sistema de control para el proceso control de temperatura ya que cumplen con las especificaciones para mejorar la calidad de producto con un control PID, por otro lado, es eficiencia controlar la temperatura para los productos.
- Se utilizó un controlador lógico programable que cumple con las necesidades del proyecto desarrollado, gracias a los diferentes dispositivos que conforman toda la familia SIMATIC S7-1300.
- Se desarrolló el controlador PID a través de la función de transferencia ejecutada en el programa MATLAB se hicieron las simulaciones y se obtuvieron todos los parámetros de los controladores.

## RECOMENDACIONES

- La principal recomendación es la implementación del sistema propuesto, ya que con esto mejoraría el sistema de control de temperatura de los hornos industriales de resistencias.
- Diseñar una Interfaz SCADA que permita la visualización de todo el sistema de distribución de agua.
- Diseñar una aplicación Android para el monitoreo del sistema de supervisión y control el diseño de un sistema de control de temperatura para hornos industriales de resistencia, con el fin de que cada persona que necesite del monitoreo y no se encuentre en la sala de control pueda seguir obteniendo la información en tiempo real.
- Realizar una base de datos para un registro de alarmas por el paro de los de la máquina.
- Diseñar un sistema HMI para el control de temperatura para hornos industriales de resistencia.
- Hacer un sistema analógico en paralelo al HMI, como respaldo al haber una falla en el panel.

## REFERENCIAS

### BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, P (2002). **Estructura básica del PLC**. Recuperado en:  
<http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/1335/1/108T0005.pdf>
- Alpi, L. (2019). **Control PID**. Recuperado en:  
[https://www.novusautomation.com/site/default.asp?Idioma=34&TroncoID=053663&SecaoID=0&SubsecaoID=0&Template=../artigosnoticias/user\\_exibir.asp&ID=638091](https://www.novusautomation.com/site/default.asp?Idioma=34&TroncoID=053663&SecaoID=0&SubsecaoID=0&Template=../artigosnoticias/user_exibir.asp&ID=638091)
- Arias, F. (2010). **El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica**. 3ra Edición. Caracas: Editorial Episteme.
- Arias, F. (2012). **El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica**. Caracas: Editorial Episteme.
- Castaño, S (2020). **Sistemas Dinámicos de Primer Orden**. Recuperado en:  
<https://controlautomaticoeducacion.com/control-realimentado/sistemas-dinamicos-de-primer-orden/>
- Chumbe Mellado, E. (2019). **Control de temperatura de un horno eléctrico utilizando controlador lógico programable para la línea de producción de panadería**. Recuperado en:  
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6628>
- Condori, J. (2017). **Diseño del control de temperatura para un horno industrial, mediante la modulación de ancho de pulso usando un PLC de gama alta**. Recuperado en:  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6103>
- Dulhoste, J, F. (2012). **Teoría de Control**. Recuperado en  
[http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/djean/index\\_archivos/TControl.html](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/djean/index_archivos/TControl.html)
- Galiano Yépez, D. (2013). **Reingeniería del Sistema de Control de temperatura del tanque principal y líneas de alimentación de bunker del horno del tren T07 de ADELCA**. Recuperado en:

- <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/1744>
- García, P. (2013). **¿Qué es el control PID?**. Recuperado en:  
<https://franklinlinkmx.wordpress.com/2013/09/05/que-es-el-control-pid/>
- García V. (2016). **Diseño e implementación de un horno eléctrico para reducir el tiempo de cuece y curado de resina y cerámica para la microempresa Cerámicas Nova**. Recuperado en:  
<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/12402?locale-attribute=de>
- Guevara, C (2016). **Diseño de un horno de templado y termoendurecido de vidrio plano**. Recuperado en:  
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/10805>
- Guevara y Morales (2019). **Repotenciación del horno eléctrico controlado por touch panel para tratamientos térmicos**. Recuperado en:  
<http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/5469>
- Gutiérrez, G. (2015). **Diseño y construcción de un horno de fundición de minerales auríferos**. Recuperado en:  
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/1609>
- Hurtado, J. (2010). **El proyecto de investigación**. Caracas: Editorial Quirón.  
<http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/1335/1/108T0005.pdf>
- Jalloul, Ch. (2014). **¿Cómo funciona un termopar?**. Recuperado en:  
<https://www.bloginstrumentacin.com/productos/tmperatura/funcitemperatura>.
- JM Industrial Technology S.A. (2017). **¿Qué son y para qué sirven los termopares?**. Recuperado en:  
<https://www.jmi.com.mx/literatura/blog/item/40-que-son-y-para-que-sirven-los-termopares.html>
- Ogata, K. (2010). **Introducción a los Sistemas de Control**. Ingeniería de Control Moderna. Editorial: Person Educación SA. Madrid, España.
- Ortega, G. (2021). **Automatización de un horno para fundición de aluminio y cobre**. Recuperado en:

[http://bdigital.ula.ve/storage/pdftesis/pregrado/tde\\_arquivos/9/TDE-2012-07-12T20:49:39Z-1562/Publico/valecilloleonardo.pdf](http://bdigital.ula.ve/storage/pdftesis/pregrado/tde_arquivos/9/TDE-2012-07-12T20:49:39Z-1562/Publico/valecilloleonardo.pdf)

Palella y Martins (2010). **Metodología de la investigación cualitativa**. Caracas: Editorial Fedupel. Segunda Edición.

Rodríguez, D (2006). **Control de los hornos de retención en el área de colada en cvg-venalum**. Recuperado en:

[http://bdigital.ula.ve/storage/pdftesis/pregrado/tde\\_arquivos/8/TDE-2007-06-01T03:57:26Z-295/Publico/Ricci%20Dorta.pdf](http://bdigital.ula.ve/storage/pdftesis/pregrado/tde_arquivos/8/TDE-2007-06-01T03:57:26Z-295/Publico/Ricci%20Dorta.pdf)

Solís Bustamante, M. (2019). **Diseño de un sistema de control de temperatura de un horno, utilizado para el secado de barniz aislante**. Recuperado en:

<https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/2398>

Tamayo, M. (2003). **El proceso de la investigación científica**. 3ra edición. México: Editorial Limusa.

Viñan y Alvarado (2018). **Diseño e implementación de un sistema de control de temperatura y nivel de agua en la planta de llenado de tanques del laboratorio de automatización industrial utilizando un algoritmo PID**.

Recuperado en:

<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16060>