

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA,
ELECTRONICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA
ELECTRICA



**“DISEÑO DEL CONTROL DE TEMPERATURA PARA UN HORNO
INDUSTRIAL, MEDIANTE LA MODULACION DE ANCHO DE
PULSO USANDO UN PLC DE GAMA ALTA”**

TESIS

PRESENTADO POR:

SAUL CONDORI CHAHUARA

JAVIER SERPA QUISPE

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

PUNO – PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA, ELECTRONICA Y SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

“DISEÑO DEL CONTROL DE TEMPERATURA PARA UN HORNO INDUSTRIAL, MEDIANTE LA MODULACION DE ANCHO DE PULSO USANDO UN PLC DE GAMA ALTA”

TESIS PRESENTADA POR:

SAUL CONDORI CHAHUARA

JAVIER SERPA QUISPE

Fecha de sustentación: 14-12-2017

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA



APROBADO POR EL JURADO CONFORMADO POR:

PRESIDENTE:

Dr. NORMAN JESUS BELTRAN CASTAÑON

PRIMER MIEMBRO:

M.Sc. ROBERTO JAIME QUIROZ SOSA

SEGUNDO MIEMBRO:

M.Sc. HENRY SHUTA LLOCLLA

DIRECTOR / ASESOR:

M.Sc. JOSE MANUEL RAMOS CUTIPA

Área: Control de procesos

Tema: Control de temperatura usando la modulación de ancho de pulso

PUNO-PERU

2017

DEDICATORIA

A Dios por darme la dicha de vivir este momento y guiarme por el camino que él ha preparado para mí, a mis padres que siempre están conmigo para brindarme su apoyo incondicional y entregarlo todo por nosotros sus hijos, que sin su ayuda hubiera sido muy difícil haber cumplido mis objetivos.

A mi familia que supieron brindarme su apoyo en mi formación profesional, para lograr una de mis metas, ellos me inspiran a ser cada día una mejor persona.

A los docentes de la carrera profesional de ingeniería mecánica eléctrica por su esfuerzo y dedicación en la formación de profesionales. A todos ellos y a los demás, dedico este trabajo que es parte de mi esfuerzo y preparación en la universidad nacional del altiplano, de la cual me sentiré orgulloso de ser parte.

Saul Condori Chahuara

A mis padres por ser pilar fundamental en toda mi educación, tanto académica como de la vida por su incondicional apoyo todo este trabajo ha sido posible gracias ellos.

A mi esposa yudy y mi hijo francis grajhambell por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por el valor mostrado en cada momento, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien. Pero más que nada por su amor

Javier Serpa Quispe

AGRADECIMIENTO

A mi familia, por su constante apoyo y aliento incondicional hizo que pudiera continuar con mi educación personal y profesional.

A los docentes de la escuela profesional de ingeniería mecánica eléctrica, quienes fueron los pilares en la formación de mi vida profesional y ser persona útil para la sociedad. A mis jurados, director de tesis y Elmer Rodrigo, por guiarme y apoyarme en la culminación del presente trabajo de investigación.

A mis compañeros y amigos, por compartir y disfrutar momentos inolvidables, recuerdos universitarios que quedaran siempre en mi memoria.

Saul Condori Chahuara

Quiero agradecer a mis docentes ya que ellos me enseñaron valorar los estudios y a superarme cada día, también agradezco a mis padres, por que ellos estuvieron en los días más difíciles de mi vida como estudiante.

Estoy seguro que mis metas planteadas darán fruto en el futuro y por ende me debo esforzar cada día mejor sin olvidar el respeto que engrandece a la persona.

Javier Serpa Quispe

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	15
ABSTRACT	16
CAPÍTULO I	17
INTRODUCCIÓN	17
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.1.1. Problema general	17
1.1.2. Problemas específicos	18
1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.2.1. Objetivo general	18
1.2.2. Objetivos específicos	18
1.3. JUSTIFICACIÓN	19
CAPÍTULO II	20
REVISIÓN DE LITERATURA	20
2.1. MARCO TEÓRICO	20
2.1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	20
2.1.2. SENSOR DE TEMPERATURA	24
2.1.3. CONTROLAR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)	27
2.1.3.1. Estructura externa del PLC	29
2.1.4. SISTEMA DE CONTROL	31
2.1.4.1. Sistema Control de lazo abierto	31

2.1.4.2. Sistema Control de lazo cerrado.	32
2.1.5. SISTEMA DE PRIMER ORDEN	32
2.1.5.1. Respuesta escalón unitario de sistemas de primer orden.	33
2.1.5.2. Respuesta rampa unitario de sistema de primer orden	35
2.1.5.3. Respuesta impulso unitario de sistemas de primer orden	36
2.1.6. CONTROLADOR	37
2.1.6.1. Control proporcional	38
2.1.6.2. Control integral	40
2.1.6.3. Control derivativo	42
2.1.6.4. Controlador proporcional integral derivativo (PID)	44
2.1.6.5. Ziegler-Nichols	45
2.1.7. ESTABILIDAD RELATIVA, MÁRGENES DE GANANCIA	48
2.1.8. MODULACIÓN	50
2.1.8.1. Señales de transmisión y señales de datos	51
2.1.8.2.1. Tipos de señal	52
2.1.8.2.2. Parámetros de la portadora que se modifica	52
2.1.9. MODULACIÓN DE PULSOS	53
2.1.9.1. Modulación analógica de pulsos	53
2.1.9.2. Modulación digital de pulsos	53
2.1.10. MODULACIÓN EN ANCHURA DE PULSOS	53
2.1.11. SOFTWARE DE PROCESAMIENTO DE DATOS	55
2.1.11.1. SoMachine central	55

2.1.11.2. Tipos Lenguaje de programación	55
2.1.11.2.1. Lenguaje de diagrama de bloques de funciones (FBD)	55
2.1.11.2.2. Lenguaje del diagrama de contactos (LD)	56
2.2. HIPÓTESIS	57
2.2.1. Hipótesis general.....	57
2.2.2. Hipótesis específico	57
CAPITULO III.....	58
MATERIALES Y METODOS	58
3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACION.	58
3.2. POBLACION Y MUESTRA DE INVESTIGACION.	58
3.2.1. Población de la investigación.	58
3.2.2. Ubicación y descripción de la investigación.....	58
3.2.3. Diseño de la investigación.	59
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	59
3.3.1. PLC MODICON M241 TM241CE24R.....	59
3.3.2. PORTAFUSIBLE RIEL 10X38MM 32A EBCHQ.....	63
3.3.3. FUSIBLES CILÍNDRICAS DE ACCIONAMIENTO RÁPIDO.....	63
3.3.4. SENSOR DE TEMPERATURA Pt - 100.....	64
3.3.5. SISTEMA DE MANDO Y SEÑALIZACIÓN PULSADORES SELECTORES	69
3.3.6. RELE RÁPIDO CON ENTRADA TENSIÓN TRANSITORIA.	69
3.3.7. TERMINALES TIPO PIN SOLIDO	71
3.3.8. BASES ADHESIVAS.	71

3.3.9. ESTRUCTURA DEL BORNE.....	72
3.3.10. MÓDULO DE CONTROL.....	73
3.4. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	74
CAPÍTULO IV	85
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	85
4.1. RESULTADOS	85
4.2. DISCUSIÓN	89
CONCLUSIONES	92
RECOMENDACIONES.....	93
REFERENCIAS.....	94
ANEXOS	96

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Funda típica montada en sonda RTD	25
Figura 2: Programador lógico controlable (PLC)	28
Figura 3: Estructura del PLC.....	29
Figura 4: Sistema de control real	31
Figura 5: Sistema de control de lazo abierto	31
Figura 6: Sistema de control de lazo cerrado	32
Figura 7:(a) Diagrama de bloques de un sistema de primer orden;	34
Figura 8: Curva de respuesta exponencial	34
Figura 9: Respuesta a rampa unitario del sistema mostrado en la figura 7(a)	36
Figura 10: Respuesta a impulso unitario del sistema mostrado en la figura 7(a)	37
Figura 11: Control proporcional	39
Figura 12: Sistema con control proporcional con entrada escalón	39
Figura 13: Sistema con control proporcional	40
Figura 14: Control integral con error de forma escalón.....	41
Figura 15: Control integral.....	42
Figura 16: Control derivativo con entrada rampa	43
Figura 17: Control derivativo.....	43
Figura 18: Control PID	45
Figura 19: Medición de constante en la respuesta ante escalón.....	46
Figura 20: Respuesta al escalón de la planta.....	48
Figura 21: Región de estabilidad en el plano s. a) definición formal de estabilidad. b) acotamiento de la izquierda del eje $j\omega$	48
Figura 22: Concepto de estabilidad relativa.....	49
Figura 23: Modulaci3n de ancho de pulso	54

Figura 24: Lenguaje de programación de bloques de funciones (FBD)	56
Figura 25: Red de diagrama de contactos	57
Figura 26: Componentes de controlador lógico TM241CE24R	59
Figura 27: LED de estado	61
Figura 28: Dimensiones del controlador lógico TM241CE24R	62
Figura 29: Porta fusible riel 10X38MM 32A EBCHQ	63
Figura 30: Fusible cilíndrico	64
Figura 31: Grafica del pt100	65
Figura 32: Circuito del pt100 de tres hilos	66
Figura 33: Sensor de temperatura pt100	66
Figura 34: Sistema de mando y pulsadores	69
Figura 35: Terminales tipo pin	71
Figura 36: Bases adhesivas	71
Figura 37: Riel tipo DIN	72
Figura 38: Módulo de control con todos sus elementos	73
Figura 39: Diseño de curva de repuesta exponencial	74
Figura 40: Curva de respuesta exponencial obtenida en el ensayo	75
Figura 41: Diseño del funcionamiento del PWM	79
Figura 42: Esquema de periodo	80
Figura 43: Esquema de controlador PWM	80
Figura 44: Vista principal de software SoMachine	81
Figura 45: De selección de lenguaje de programación y PLC	82
Figura 46: Programación de encendido del sistema y escalamiento de proceso de temperatura	82
Figura 47: Programación PID	83

Figura 48: Programación de Monitoreo de Temperatura.....	83
Figura 49: Programación de monitoreo de tiempo en segundos y minutos	83
Figura 50: Control de procesos	84
Figura 51: Conexión eléctrica del proyecto	84
Figura 52: Colores de las variables	85
Figura 53: Comportamiento de la temperatura a un set_point de 39.3°C y un periodo de 5 seg.....	86
Figura 54: Comportamiento de la temperatura a un sep_point De 45.85°C y un periodo de 5seg	86
Figura 55: Comportamiento de la temperatura a un set_point de 52.39°C y un periodo de 5seg	87
Figura 56: Salto del set_point a 65.5°C y en un periodo de 5 seg	87
Figura 57: Aumento de la temperatura para alcanzar al set_point.....	88
Figura 58: Comportamiento de la temperatura a un sep_point de 65.5°C y un periodo de 5seg.....	88
Figura 59: Comportamiento de la temperatura a un set_point de 101.52°C y un periodo de 5seg	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Relación de sensores tradicionales según campo	26
Tabla 2: Tipos de RTDs	27
Tabla 3: Parámetros óptimos.....	46
Tabla 4: Sintonía de Ziegler-Nichols	47
Tabla 5: Casos de sistema de transmisión.....	51
Tabla 6: Tipos de modulación posible	52
Tabla 7: Descripción del controlador lógico TM241CE24R	60
Tabla 8: Descripción de los LED de estado del sistema	61
Tabla 9: De temperatura del pt 100.....	67
Tabla 10: De mando y pulsadores selectores y pilotos	69
Tabla 11: Características del relé	70
Tabla 12: Características de las terminales tipo pin solido	71
Tabla 13: Características de bases adhesivas	71

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A: ESTRUCTURA DEL MODULO	97
ANEXO B: COMPONENTES DEL MODULO	97
ANEXO C: ACTUADOR DE TEMPERATURA.....	98
ANEXO D: RESPUESTA IMPULSADO UNITARIO DEL SISTEAM NO COMPENSADO Y COMPENSADO.....	98
ANEXO E: MÓDULO DE CONTROL DE TEMPERATURA	99
ANEXO F: DIAGRAMA DE CONEXIONES ELÉCTRICAS	100
ANEXO G: LENGUAJE LADER (SOFTWARE SOMACHINE).....	101

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

Símbolo	Descripción
PLC:	Programador lógico controlable
PWM:	Modulación de ancho de pulso
RTD:	Detector de temperatura resistiva
NEMA:	Asociación nacional de fabricantes eléctricos
AWG:	American wire gauge
CPU:	Unidad de procesamiento central
LED:	Diodo emisor de luz
K:	Ganancia
K_p :	Ganancia proporcional
K_i :	Ganancia integral
K_d :	Ganancia derivativa
T_{max} :	Temperatura máxima
T_{amb} :	Temperatura ambiente
τ_d :	Constante de tiempo derivativo
τ_i :	Constante de tiempo integral
τ_{max} :	Tiempo máximo
L:	Tiempo de retardo,
τ :	Constante de tiempo,
ω :	Frecuencia angular de oscilación
T:	Periodo
FBD:	Lenguaje de diagrama de bloques de funciones
LD:	Lenguaje del diagrama de contactos
LGR:	Lugar geométrico de raíces
PID:	Controlador proporcional integral derivativo
PC:	Computadora personal
$^{\circ}\text{C}$:	Grados Celsius
SP:	Punto de referencia
T:	Periodo
Ω :	Resistencia
V:	Voltios

RESUMEN

El proyecto se realiza 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. Se utiliza 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.

Palabras Clave: Modulación, pulso, PLC, Temperatura, Control.

ABSTRACT

The project is carried out in the area of control and automation with the objective of controlling the temperature of an industrial furnace, by modulating pulse width using a high-end programmable logic controller (PLC) to be able to program in real numbers and this PLC it votes us more precise results, work at high speeds, complex functions and can be visualized in several types of schemes. The methodology is used to model the process with the first-order transfer function in the Laplace domain, with the following steps. Implementing the PWM controller to the mathematical model obtained from the first order transfer function, simulation of the control process with the controller, response analysis in the transient and stationary state. The pulse width modulation is used to perform an effective control of the temperature of the industrial furnace, the PLC has a very varied range of schemes that allows us to efficiently control the operating process of the industrial furnace. In addition, using programmable logic controllers, the process of controlling the temperature is achieved more easily and with greater precision. The obtained results can be used in other processes that have relation with the modulation of pulse width.

Key Words: Modulation, Pulse, PLC, Temperature, Control.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

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 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. Permitiendo a los operadores poder controlar la temperatura mediante la modulación de ancho de pulso con un controlador lógico programable PLC y monitorear mediante un interfaz gráfico el estado del horno de una manera centralizada, más rápida y eficaz.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1. Problema general

¿Cuáles son los factores tecnológicos que permitan modular el ancho de pulso para el control de la temperatura del horno industrial?

1.1.2. Problemas específicos

- a) ¿Cuáles son las bondades de la modulación de ancho de pulso en el control de la temperatura del horno industrial?
- b) ¿En qué medida la modulación de ancho de pulso y su programación en el PLC se relaciona con el control de temperatura del horno industrial?
- c) ¿En qué medida el costo de inversión de la tecnología utilizada se relaciona con el uso eficiente del control de temperatura del horno industrial?

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Objetivo general

Controlar la temperatura de un HORNO INDUSTRIAL, mediante la modulación de ancho de pulso usando un PLC de gama alta.

1.2.2. Objetivos específicos

- a) Determinar las bondades del uso de la modulación de ancho de pulso aplicado un PLC en el control de temperatura del horno industrial.
- b) Analizar la relación existente de la modulación de ancho de pulso y su programación en el PLC para el control de la temperatura del horno industrial.
- c) Evaluar el comportamiento de funcionamiento eficiente de control de temperatura del horno industrial.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Los factores tecnológicos utilizados para el control de temperatura nos permitan modular el ancho de pulso para controlar de forma eficiente el proceso de funcionamiento de un horno industrial, esta tecnología permitirá hacer el uso eficiente de la energía para un mejor aprovechamiento de la misma y se podrá utilizar en otros procesos que tenga relación con la modulación de ancho pulso.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.MARCO TEÓRICO

2.1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Primer antecedente:

Carlos Eduardo Castillo Velázquez y John James Martínez García.

“propuesta de un sistema de control para temperatura y presión en el proceso de hidrolizado de plumas mediante el estudio y análisis de las estrategias de control en la empresa APRINOR S.A.C de la ciudad de Trujillo” (2015). Universidad privada Antenor Orrego de Trujillo-Perú.

Este trabajo se delimita al estudio de la problemática que se presenta en la etapa de hidrolización de las plumas de pollo en la empresa APRINOR SAC de la ciudad de Trujillo. (Castillo Velasquez & Martinez Garcia, 2015)

Segundo antecedente:

Julio C. Delgado López, Jacobo Montoya Becerra y Oscar A. Sandoval Rodríguez. “control de temperatura con el PLC S7-200” (2007). Universidad autónoma de zacatecas.

Este trabajo da una descripción de la construcción de un control de temperatura para un centro de cómputo donde se diseñaron diversos circuitos para su implementación este proyecto surge porque en los centros de cómputo la temperatura tiende a incrementarse debido al calor emitido por las computadoras, así como por el calor corporal de los usuarios, y este problema se presenta principalmente en las estaciones primavera-verano. El proyecto consiste en simular en una maqueta todos los dispositivos y fuentes que producen calor, para obtener un modelo matemático y a partir de ello controlar la temperatura por medio de un ventilador y un programa que es llevado a cabo por un controlador lógico programable (PLC) S7-200 de SIEMENS, el cual es muy accesible y fácil de controlar. (Delgado Lopez, Montoya Becerra, & Saldoval Rodriguez, 2007)

Tercer antecedente:

Isaac Salomón Jiménez Escamilla. “control de temperatura de un horno industrial mediante lógica difusa” (2012). Universidad tecnológica de la mixteca.

Este trabajo proporciona el diseño e implementación de un control difuso de temperatura de un horno eléctrico para la cocción de piezas cerámicas y diseño de un sistema de monitoreo desarrollado en el labVIEW. (Jimenez Escamilla, 2012)

Cuarto antecedente:

José Fabio Arguedas Romero. “sistema de control automático para un horno industrial” (2010). Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Este trabajo controlar la medición de temperatura en las dos primeras zonas del horno mediante termopares tipo J, esta señal será utilizada por el PLC que enviara la señal de control a los actuadores que determinan el porcentaje de

apertura de las válvulas para regular la cantidad de aire de la combustión, tomando como referencia la temperatura establecida por el operador (Arguedas Romero, 2010)

Quinto antecedente:

Isaac Ramírez Enríques. “control PID de temperatura con PLC siemens S7-300 y Allen bradley SLC 500” (2017). Universidad Nacional Autónoma de México.

Este trabajo en el quinto capítulo se desglosa los resultados de las pruebas realizadas en el modelo funcional con el código de programación determinado anteriormente. Se obtienen gráficos de comportamiento de la temperatura en el proceso controlado, estas permiten la comparación del desempeño de los PLC usados. (Ramírez Enríques, 2017)

Sexto antecedente:

Calvopiña Esquivel Guido Hernán y Quimuña Llumiquinga pedro diego. “diseño e implementación de un controlador de velocidades de un motor monofásico utilizando la técnica de control mediante modulación de ancho de pulso sinusoidal (SPWM) de dos y tres niveles” (2011). Escuela politécnica nacional de quito.

Este trabajo plantea como objetivo el diseñar e implementar un control de velocidad utilizando la técnica SPWM para controlar un motor monofásico de ¼ de HP para esto se ha implementado un control efectivo y rápido lo cual involucra la transferencia de energía desde la fuente mediante un proceso controlado usando dispositivos de conmutación de semiconductores los cuales son encendidos y apagados en forma repetida. Los algoritmos que generan las funciones de switcheo

(técnicas de modulación de ancho de pulso) son importantes. (Calvopina Esquivel & Quimuña Llumiquinga, 2011)

Séptimo antecedente:

Mahammad sadegh orfi yegane, “un nuevo y mejorado de frecuencia variable carrier-PWM con MOPSO Algoritmos para técnicas de soporte a base de PWM en inversores” (pp32-42), Irán, editorial TEM Journal, 2017.

En este trabajo la frecuencia portadora en disposición simétrica. La conmutación en baja frecuencia es una de las ventajas significativas. Disminuye las pérdidas de conmutación. Los resultados se logran por el algoritmo MOPSO. Este algoritmo multi-objetivo tiene una mayor precisión para rastrear objetivos y el tiempo. (Mahammad SAdegh, 2017)

Octavo antecedente:

Ojasvi Aryan Kumar and Nitin Kaistha “diseño del sistema de control para hornos con múltiples pasadas paralelas” (pp741-746). India, Editorial Elsevier, 2016.

En este trabajo el objetivo de control es para regular la temperatura de salida del horno mientras se mantiene el aumento de la temperatura a través de los tubos individuales a ser el mismo (equilibrio de carga de tubo pase de calor). Con un rendimiento del horno, se tiene dos escenarios de operación se consideran. El escenario más común 1, el control más apretado throughput, se requiere que el valor deseado. El flujo total a través del horno se fija entonces y no tiene un grado de libertad. El escenario menos común 2, la regulación suelto de rendimiento entorno al valor deseado es aceptable para que el rendimiento se puede utilizar con un grado de control de libertad adicional para alcanzar el equilibrio de carga

de control de calor / temperatura del horno más apretado. (Ojasvi Aryan & Nitin, 2016)

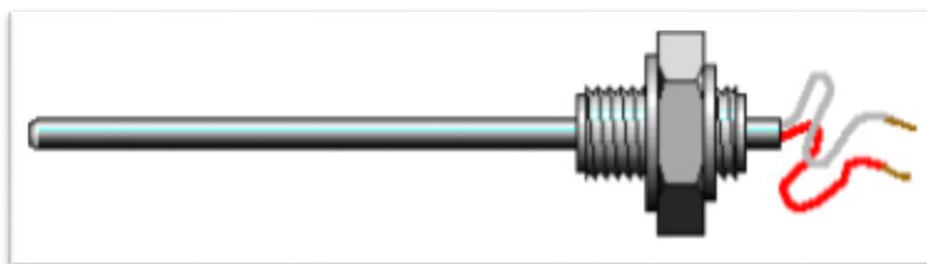
Noveno antecedente:

Ridong Zhang, “diseño de ordenación fraccional basado en el espacio de estado extendido no-mínimo MPC para la temperatura en un horno de calefacción eléctrica industrial” (pp. 13-22) Hong Kong, Editorial Elsevier, 2017

En este trabajo el sistema de orden fraccional da un enfoque mejorado de espacio de estado no-mínimo extendido (ENMSS) que contiene la variable de estado y el error de seguimiento de salida orden fraccional se formula por la elección de las variables de estado apropiado. Mientras tanto, el orden integral fraccional se introduce en la función de coste y la Grunwald-Letnikov (GL) de definición se utiliza para obtener la forma más discreta de la función de coste continua. A continuación, las señales de control se derivan al minimizar la función de coste orden fracción, finalmente, el control de procesos de temperatura de un horno de calentamiento se ilustra para reflejar el rendimiento del método modelo de orden fraccional de control predictivo (FMPC) propuesto los resultados de simulación muestran la efectividad del método propuesto FMPC. (Ridong, 2017)

2.1.2. 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.

Figura 1: *Funda típica montada en sonda RTD*

Fuente: Encinas Pajares, 2011

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.

Elección de un sensor de temperatura

Hay muchos sensores que pueden medir temperatura. La elección depende de un número de factores incluyendo; la precisión, el rango de temperaturas, el acceso al punto de interés, la velocidad de respuesta, el entorno (producto químico, físico, eléctrico) y la rentabilidad. Seleccionar el sensor apropiado no es siempre fácil. Un método es seguir el ejemplo de otros en el campo (aunque no siempre es el más apropiado).

La tabla siguiente puede proporcionar una guía:

Tabla 1: *Relación de sensores tradicionales según campo*

Campo	Sensores Tradicionales
Investigación Agrícola	Termistor, Termopar Tipo T, Semiconductor
Automóvil	Termistor, pt100, Bimetálico
Procesos Químicos y de los Materiales	Pt100, Termopar
Criogénicos	Resistencia de Óxido de Metal
Investigación Ambiental	Termistor, Termopar Tipo T, pt100, Semiconductor
Industria General	Pt100
Educación, Pasatiempos	Semiconductor, Termistor, Termopar Tipo T,
Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado	Pintura Ni1000, Termistor, pt100, pintura
En Productos Manufacturados	Semiconductor, Termistor, pt100
Metalúrgica	Termopar Tipo K o N

Fuente: Encinas Pajares, 2011

Detector de temperatura resistiva (RTD)

Los detectores de temperatura resistivos (RTDs) dependen de los fenómenos previsibles y repetibles de la resistencia eléctrica de los metales que cambia con la temperatura.

El coeficiente de temperatura para todos los metales puros son los de orden de 0.003 a 0.007 ohmios/ohmio/°C. Los metales más comunes utilizados para la detección de la temperatura son platino, níquel, cobre y molibdeno. Mientras que la resistencia, las características de temperatura de cierto semiconductor y de material de cerámica se utilizan para detectar la temperatura, tales sensores no se clasifican generalmente como RTDs.

TIPOS DE RTDs

Mientras que casi cualquier metal se puede utilizar para la fabricación de RTDs, el número utilizado en la práctica es limitado.

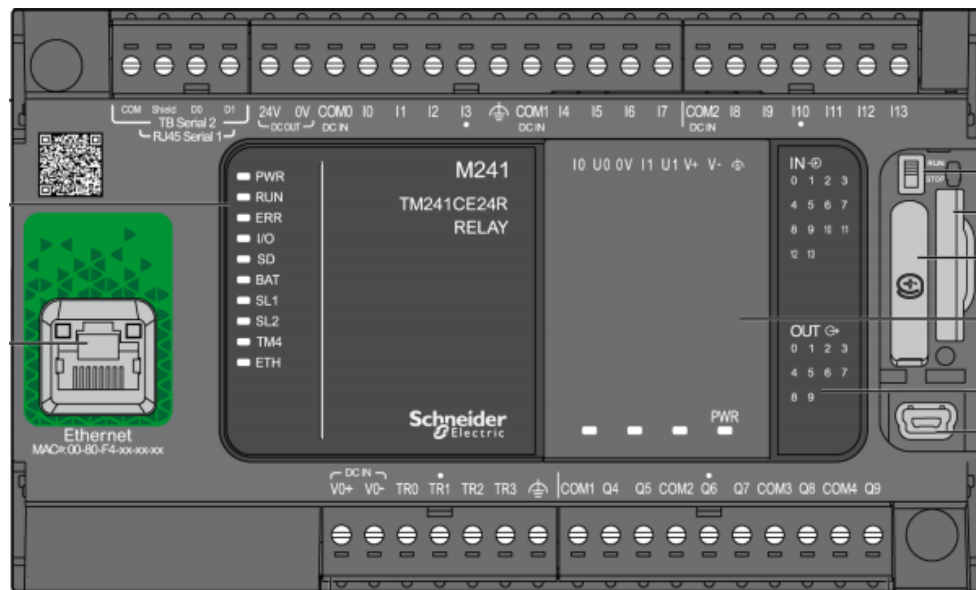
Tabla 2: *Tipos de RTDs*

Metal		Rango de Temperatura	Alfa	Comentarios
Cobre	Cu	-200°C a 260°C	0.00427	Bajo Coste
Molibdeno	Mo	-200°C a 200°C	0.00300 0.00385	Bajo coste, alternativa al platino paa rangos bajos de temperatura
Niquel	Ni	-80°C a 260°C	0.00672	Bajo coste, rango limitado de temperatura
Niquel-Hierro	Ni-Fe	-200°C a 200°C	0.00518	Bajo coste
Platino	Pt	-240°C a 660°C	0.00385 0.00392 0.00377	Buena precision. Rango amplio de temperatura disponible hasta 1000°C

Fuente: Encinas Pajares, 2011

2.1.3. CONTROLAR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)

Un controlar lógico programable más conocido por sus siglas en ingles PLC (Programmable Logic Controller), se trata de una computadora, utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o atracciones mecánicas. Sin embargo, la definición más precisa de estos dispositivos es la dada por la NEMA (asociación nacional de fabricantes eléctricos) que dice que un PLC es “instrumento electrónico, que utiliza memoria programable para guardar instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones, como operaciones lógicas, secuenciales de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas y de procesos”

Figura 2: Programador lógico controlable (PLC)

Fuente: Schneider Electric

Ventajas del PLC

No todos los autómatas ofrecen las mismas ventajas sobre la lógica cableada, ello es debido, principalmente, a la variedad de modelo existente en el mercado y las innovaciones técnicas que surgen constantemente. Y las ventajas que proporciona un autómata de tipo medio.

Dentro de las ventajas que podemos observar en el menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos debido a que:

- No es necesario dibujar el esquema de contactos.
- No es necesario simplificar las ecuaciones de almacenamiento del módulo de memoria es lo suficientemente grande.
- La lista de materiales queda simplemente reducida, y al elaborar el presupuesto correspondiente se eliminará parte del problema que supone el contar con diferentes proveedores, distintos plazos de entrega.
- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar cableado ni añadir aparatos.

- e) Mínimo espacio de ocupación.
- f) Menor costo de mano de obra en la instalación.
- g) Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos autómatas pueden indicar y detectar averías.
- h) Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómata.
- i) Menor tiempo para puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado.

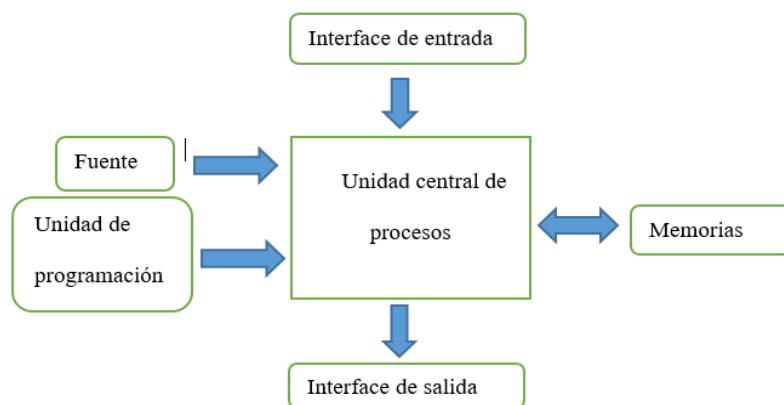
Desventajas del PLC

- a) Como inconveniente hace falta un programador, lo que obliga a capacitar a uno de los técnicos en tal sentido, pero hoy en día ese inconveniente está solucionado por que las universidades ya se encargan de dicha capacitación.
- b) El costo inicial puede ser un inconveniente.

2.1.3.1. Estructura externa del PLC

El termino estructura externa o configuración externa de un controlador lógico programable industrial se refiere al aspecto físico exterior del mismo, bloques o elementos en que está dividido.

Figura 3: Estructura del PLC



Elaboración: Propia

Actualmente son tres las estructuras más significativas que existen en el mercado:

- a) Estructura compacta.
- b) Estructura semimodular. (Estructura americana)
- c) Estructura modular. (estructura europea)

a) Estructura compacta

Este tipo de controlador lógico programable se distingue por presentar en un solo bloque todos sus elementos, esto es, fuente de alimentación, CPU (unidad de procesamiento central), memorias, entradas/salidas, etc.

Son los PLC de gama baja o nano autómatas los que suelen tener una estructura compacta. Su potencia de proceso suele ser muy limitada dedicándose a controlar máquinas muy pequeñas o cuadros de mando.

b) Estructura semimodular

Se caracteriza por separar las E/S del resto del controlador lógico programable, de tal forma que en un bloque compacto están reunidas las CPU, memoria de usuario o de programa y fuente de alimentación y separadamente las unidades de E/S.

Son los controladores lógicos programables de gama media los que suelen tener estructura semimodular (americana).

c) Estructura modular

Su característica principal es la de que existe un módulo para cada uno de los diferentes elementos que componen el PLC como puede ser una fuente de alimentación, CPU, E/S, etc. La sujeción de los mismos se hace por riel DIN, placa perforada o sobre rack, en donde van alojados el BUS externo de unión de los distintos módulos que lo componen.

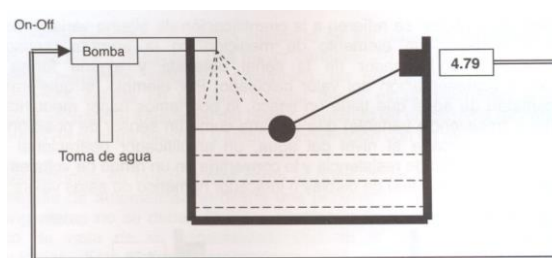
Son los PLC de gama alta los que suelen tener una estructura modular, que permiten una gran flexibilidad en su constitución. (Jimenez Moreno, 2006)

2.1.4. SISTEMA DE CONTROL

Los sistemas de control mantienen a largo del tiempo o de cualquier otro parámetro un valor constante o programado de la variable física que se está midiendo. Por lo tanto, los sistemas de control se basan en sistemas de medición, de los cuales es tomada su salida y retroalimentada como entrada al sistema

Siguiendo como ejemplo del tinaco, un sistema de control nos ayuda a mantener el nivel de agua en un determinado punto o un rango, según su programación.

Figura 4: *Sistema de control real*



Fuente: Steren, El ABC de la mecatronica

2.1.4.1. Sistema Control de lazo abierto

Es decir, 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

Figura 5: *Sistema de control de lazo abierto*



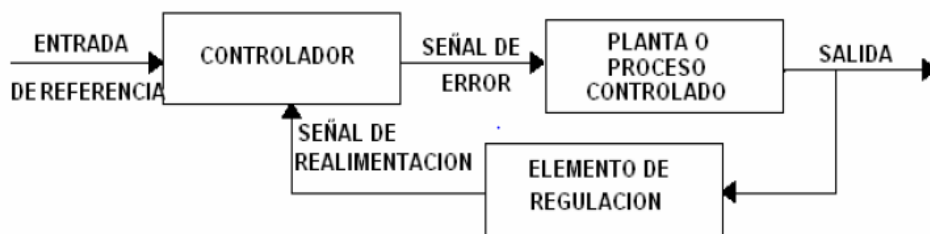
Fuente: Perez, Perez Hidalgo, & Perez Berebguer, 2008

2.1.4.2. Sistema Control de lazo cerrado.

En los sistemas de control de lazo cerrado, la salida o señal controlada, debe ser realimentada y comparada con la entrada de referencia y se debe enviar una señal actuante o acción de control, proporcional a la diferencia entre la entrada y la salida a través del sistema, para disminuir el error y corregir la salida.

Un sistema de control de lazo cerrado es aquel en el que la señal de salida tiene efecto directo sobre la acción de control. 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 termino lazo cerrado implica el uso de acción de retroalimentación negativo para reducir el error del sistema

Figura 6: *Sistema de control de lazo cerrado*



Fuente: Perez, Perez Hidalgo, & Perez Berebguer, 2008

2.1.5. SISTEMA DE PRIMER ORDEN

Considérese el sistema de primer orden de la figura 7 (a). Físicamente, este sistema representa un circuito RC, un sistema térmico o algo similar. La figura 7 (b) presenta un diagrama de bloques simplificado. La relación entrada-salida se obtiene mediante

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{Ts+1} \dots\dots\dots (Ec. 1)$$

En lo sucesivo, se analizan las respuestas del sistema a entradas como la función escalón unitario, rampa unitaria e impulso unitario. Se supone que las condiciones iniciales son cero.

Obsérvese que todos los sistemas que tienen la misma función de transferencia presentaran la misma salida en respuesta a la misma entrada. Para cualquier sistema físico dado, la respuesta matemática recibe una interpretación física.

2.1.5.1. Respuesta escalón unitario de sistemas de primer orden.

Como la transformada de Laplace de la función escalón unitario es $1/s$, sustituyendo $R(s) = 1/s$, en la (Ec. 2), se obtiene.

$$C(s) = \frac{1}{Ts + 1} \frac{1}{s} \dots \dots \dots (Ec. 2)$$

Si se desarrolla $C(s)$ en fracciones simples se obtiene.

$$C(s) = \frac{1}{s} - \frac{T}{Ts + 1} = \frac{1}{s} - \frac{1}{s + \left(\frac{1}{T}\right)} \dots \dots \dots (Ec. 3)$$

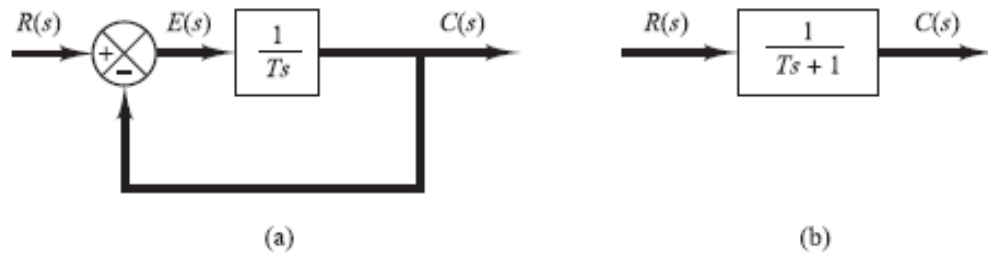
Si se toma la transformada inversa de Laplace de la (Ec. 3) se obtiene

$$c(t) = 1 - e^{-t/T} , \text{ para } t \geq 0 \dots \dots \dots (Ec. 4)$$

La (Ec. 4) plantea que la salida $c(t)$ es inicialmente cero y al final se vuelve unitario. Una característica importante de tal curva de respuesta exponencial $c(t)$ es que, para $t = T$, el valor de $c(t)$ es 0.632, o que la respuesta $c(t)$ alcanzo 63.2% de su cambio total. Esto se aprecia con facilidad sustituyendo $t = T$ en $c(t)$. Es decir,

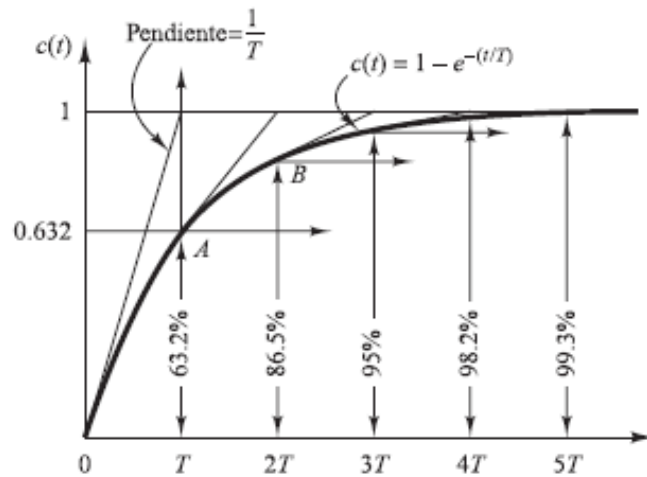
$$c(t) = 1 - e^{-1} = 0.632$$

Figura 7:(a) Diagrama de bloques de un sistema de primer orden;
(b) diagrama de bloques simplificado



Fuente: Ogata, 2010

Figura 8: Curva de respuesta exponencial



Fuente: Ogata, 2010

Obsérvese, que conforme más pequeña es la constante de tiempo, más rápida es la respuesta del sistema. Otra característica importante de la curva de respuesta exponencial es que la pendiente de la línea de tangente en $t = 0$ es $1/T$, ya que

$$\left. \frac{dc}{dt} \right|_{t=0} = \left. \frac{1}{T} e^{-t/T} \right|_{t=0} = \frac{1}{T} \dots\dots\dots(Ec. 5)$$

La salida alcanzara el valor final en $t = T$ si mantuviera su velocidad de respuesta inicial. A partir de la (Ec. 5) se observa que la pendiente de la curva de respuesta $c(t)$ disminuye de forma monotoma de $1/T$ en $t = 0$ a cero en $t = \infty$

La curva de respuesta exponencial $c(t)$ obtenida mediante la ecuación anterior aparece en la figura 7. En una constante de tiempo, la respuesta alcanza 86.5% del valor final. En $t = 3T$, $4T$ y $5T$, la respuesta alcanza 95, 98.2 y 99.3%, respectivamente, del valor final. Por tanto, para $t \geq 4T$, la respuesta permanece dentro del 2% del valor final. Como se observa en la (Ec. 3) el estado estacionario se alcanza matemáticamente solo después de un tiempo infinito. Sin embargo, en la práctica, una estimación razonable del tiempo de respuesta es la longitud de tiempo que necesita la curva de respuesta para alcanzar la línea de 2% del valor final, o cuatro constantes de tiempo.

2.1.5.2. Respuesta rampa unitario de sistema de primer orden

Como la transformada de Laplace de la función rampa unitaria es $1/s^2$, se obtiene la salida del sistema de la figura 7(a), como la ecuación 1.

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

Desarrollando $C(s)$ en fracciones simples se obtiene

$$C(s) = \frac{1}{s^2} - \frac{T}{s} + \frac{T^2}{Ts + 1} \dots \dots \dots (Ec. 6)$$

Tomando la transformada inversa de Laplace de la (Ec. 6), se obtiene

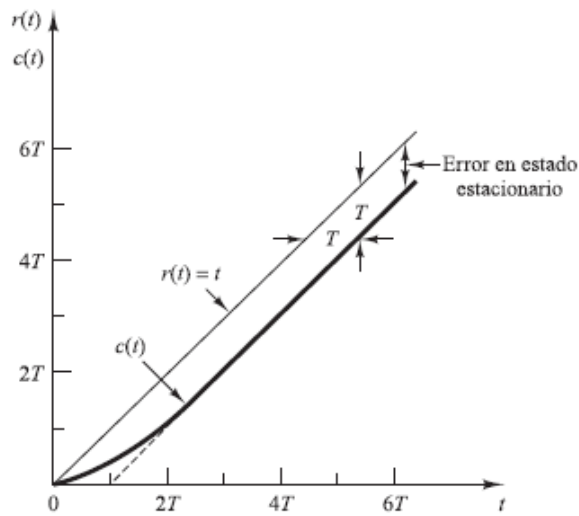
$$c(t) = t - T + Te^{-t/T} \text{ Para } t \geq 0 \dots \dots \dots (Ec. 7)$$

De este modo, la señal de error $e(t)$ es

$$e(t) = r(t) - c(t)$$

$$e(t) = T(1 - e^{-t/T}) \dots \dots \dots (Ec. 8)$$

Figura 9: Respuesta a rampa unitario del sistema mostrado en la figura 7(a)



Fuente: Ogata, 2010

Conforme t tiende a infinito, $e^{-t/T}$ se aproxima a cero y por lo tanto, la señal de error $e(t)$ se aproxima a T

$$e(\infty) = T$$

La entrada rampa unitaria y la salida del sistema se muestran en la figura 9. El error después de la entrada rampa unitaria es igual a T para una t suficientemente grande. Cuando más pequeña es la constante de tiempo, menor es el error en estado estacionario después de la entrada rampa.

2.1.5.3. Respuesta impulso unitario de sistemas de primer orden

Para la entrada impulso unitario, $R(s) = 1$ y la salida del sistema de la figura 7(a) pueden obtenerse como.

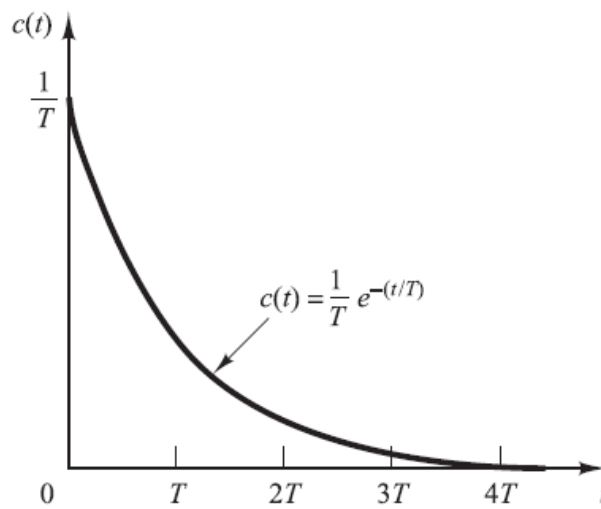
$$C(s) = \frac{1}{Ts + 1} \dots \dots \dots (Ec. 9)$$

La transformada inversa de Laplace de la (Ec. 9) produce.

$$c(t) = \frac{1}{T} e^{-t/T} \text{ Para } t \geq 0 \dots \dots \dots (Ec. 10)$$

La curva de respuesta obtenida mediante la (Ec. 10) aparece en la figura 10.

Figura 10: Respuesta a impulso unitario del sistema mostrado en la figura 7(a)



Fuente: Ogata, 2010

2.1.5.4. Una propiedad importante de los sistemas lineales e invariante con el tiempo

Para la entrada rampa unitaria, la salida $c(t)$ es

$$c(t) = t - T + T e^{-t/T} \text{ Para } t \geq 0 \dots\dots\dots (\text{Ver (Ec. 7)})$$

Para la entrada escalón unitario, que es la derivada de la entrada rampa unitaria, la salida $c(t)$ es

$$c(t) = 1 - e^{-t/T}, \text{ Para } t \geq 0 \dots\dots\dots (\text{Ver (Ec. 4)})$$

Por último, para la entrada impulso unitario, que es la derivada de la entrada escalón unitario, la salida $c(t)$ es

$$c(t) = \frac{1}{T} e^{-t/T}, \text{ Para } t \geq 0 \dots\dots\dots (\text{Ver (Ec. 10)})$$

2.1.6. CONTROLADOR

El controlador es un elemento en el sistema de lazo cerrado que tiene como entrada la señal de error y produce una salida que se convierte en la entrada al elemento correctivo. La relación entre la salida y la entrada al controlador con frecuencia se denomina ley de control. Existen tres formas de dicha ley:

- a) Proporcional.
- b) Integral.
- c) Derivativo.

En algunos sistemas es necesario mejorar el desempeño del controlador, lo cual se logra al introducir en el sistema de control elemento adicional es denominados compensadores. Esta alteración es el desempeño se denomina compensación.

2.1.6.1. Control proporcional

Con el control proporcional la salida del controlador es directamente proporcional a su entrada; la entrada es la señal de error e , la cual es una función del tiempo. De esta manera.

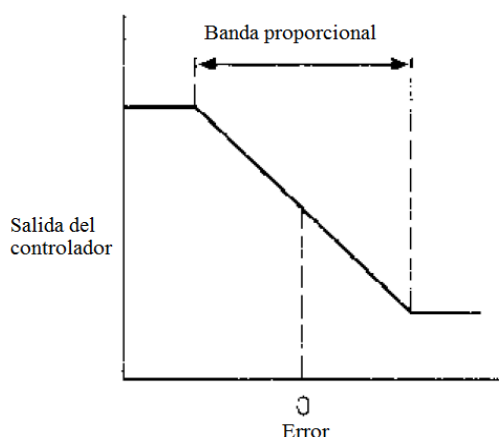
$$\text{Salida} = K_p c \quad \dots \dots \dots (Ec. 11)$$

Donde K_p es una constante llamada ganancia proporcional. La salida del controlador depende solo de la magnitud del error en el instante en el que se considera. La función de transferencia, $G_c(s)$ para el controlador es, por lo tanto.

$$G_c(s) = K_p \quad \dots \dots \dots (Ec. 12)$$

El controlador es, en efecto, solo un amplificador con una ganancia constante, en cierto tiempo, un error grande produce una salida grande del controlador. La ganancia constante, sin embargo, tiende a existir solo sobre cierto rango de errores que se conoce como banda proporcional. Una gráfica de la salida contra el error sería una línea recta con una pendiente de K_p en la banda proporcional (figura 11).

Figura 11: Control proporcional



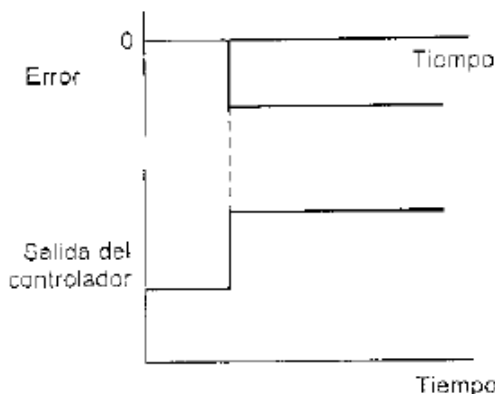
Fuente: Bolton, 2001

Es común expresar la salida del controlador como un porcentaje de la posible salida total del este. De este modo, un 100% de cambio en la salida del controlador corresponde a un cambio en el error desde un extremo a otro de la banda proporcional. Así.

$$K_p = \frac{100}{Banda\ proporcional} \dots \dots \dots (Ec. 13)$$

Debido a que la salida es proporcional a la entrada, si la entrada al controlador es un error en la forma de un escalón, y exactamente una versión a escala de la entrada (figura 12). Esto es provisto por el controlador si opera dentro de su banda proporcional.

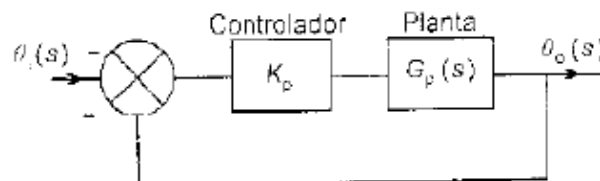
Figura 12: Sistema con control proporcional con entrada escalón



Fuente: Bolton, 2001

El control proporcional es sencillo de aplicar, en esencia solo se requiere alguna forma de aplicador. Este podría ser un amplificador electrónico o un amplificador mecánico en forma palanca. El control proporcional es de la forma que describe la figura 13. El resultado es una función de transferencia en lazo abierto de.

Figura 13: Sistema con control proporcional



Fuente: Bolton, 2001

$$G_0(s) = K_p G_p(s) \quad \dots \dots \dots (Ec. 14)$$

Donde $G_p(s)$ es la función de transferencia de la planta la primera desventaja del sistema es que el controlador no introduce un término $1/s$ integral en la trayectoria directa. Esto significa que si el sistema fuera del tipo 0, entonces el controlador no cambiaría y seguiría siendo de tipo 0 con los consecuentes errores en estado estable. El controlador no introduce nuevos ceros o polos al sistema, solo determina la ubicación de los polos en lazo cerrado. Esto se debe a que la función de transferencia en lazo cerrado es con el controlador, y la realimentación unitaria es

$$G(s) = \frac{K_p G_p(s)}{1 + K_p G_p(s)} \dots \dots \dots (Ec. 15)$$

Y de esta manera, la ecuación característica $(1 + K_p G_p(s))$ tiene los valores de sus raíces afectados por K_p .

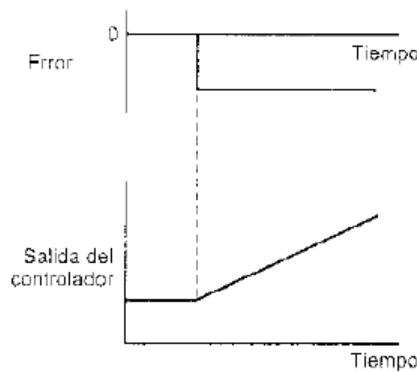
2.1.6.2. Control integral

Con el control integral la salida del controlador es proporcional a la integral de la señal de error e con el tiempo, es decir.

$$salida - K_i \int_0^t edt \dots\dots\dots (Ec. 16)$$

Donde K_i es la constante denominada ganancia integral. Esta tiene unidad de s^{-1} . La figura 14, muestra que pasa cuando el error es de la forma de un escalón. La integral entre 0 y t es, de hecho, el área bajo la gráfica del error entre 0 y t. así, debido a que después de que el error comienza, el área se incrementa en una razón regular. La salida del controlador se debe incrementar en una razón regular. La salida da a cualquier tiempo es, entonces, proporcional a la acumulación de los efectos de los errores pasados.

Figura 14: Control integral con error de forma escalón



Fuente: Bolton, 2001

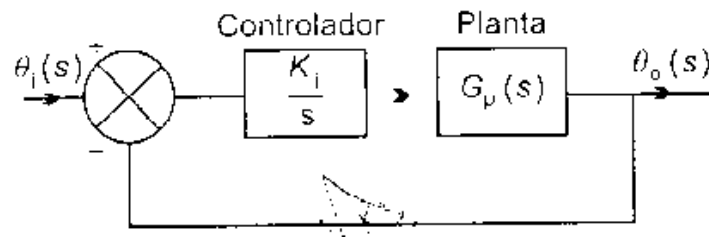
Al tomar la transformación de la place de la ecuación anterior, da como resultado la función de transferencia, para el controlador, de

$$G_C(s) = \frac{salida(s)}{e(s)} = \frac{K_i}{s} \dots\dots\dots (Ec. 17)$$

Así, para el sistema de la forma que se ilustra en la figura 15, el control integral da la función de transferencia de la trayectoria directa $(\frac{K_i}{s})G_p(s)$ y, por lo tanto, una función de transferencia en lazo abierta.

$$G_0(s) = \left(\frac{K_i}{s}\right) G_p(s) \dots\dots\dots (Ec. 18)$$

Figura 15: Control integral



Fuente: Bolton, 2001

Una ventaja del control integral es que la introducción de un término s en el denominador incrementa el tipo de sistema en 1. De esta manera, si el sistema hubiera sido de tipo 0, el error en estado estable que se habría presentado con la entrada escalón desaparecería cuando se presentara el control integral. Una desventaja del control integral es que el término $(s - 0)$ en el dominio significa que se ha introducido un polo en el origen. Puesto que no se introducen ceros, la diferencia entre números de polos n y de ceros m se incrementa en 1. Una consecuencia de lo anterior es que los ángulos de las asíntotas de los lugares geométricos de las raíces decrecen, es decir, estas apuntan más hacia el semiplano derecho del plano s y, de este modo, se reduce la estabilidad relativa

$$\text{Ángulos de las asíntotas} = \pm \frac{\pi}{n-m}, \quad \frac{3\pi}{n-m}, \text{ etcétera.}$$

2.1.6.3. Control derivativo

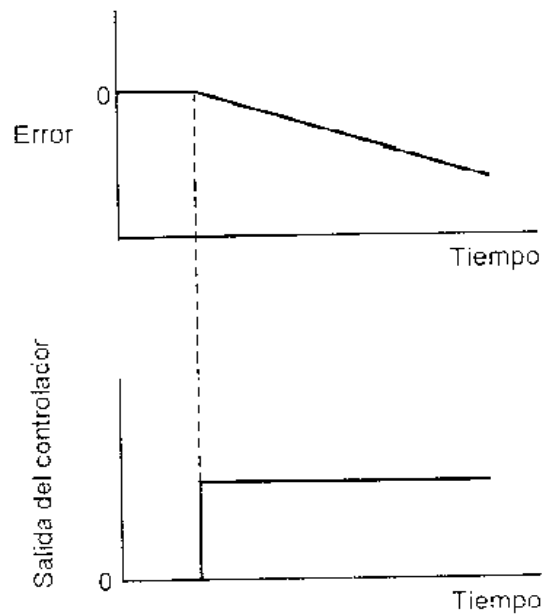
Con la forma derivativa del controlador, la salida del controlador es proporcional a la razón de cambio con el tiempo del error e , es decir

$$\text{Salida} = K_d \frac{de}{dt} \dots \dots \dots \text{(Ec. 19)}$$

Donde K_d es la ganancia derivativa y tiene unidades de s . La figura 16, muestra que pasa cuando hay un error de entrada rampa. Con el control derivativo, tan pronto como la señal de error inicia puede haber una salida del controlador muy grande, puesto que esta es proporcional a la razón de cambio de la señal de

error y no a su valor. De este modo puede proporcionar una acción correctiva grande antes de que se presente un error grande en realidad. Sin embargo, si el error es grande. Así, el control derivativo es insensible a señales de error constantes o que varían con lentitud y, en consecuencia, no se usa solo, si combinado con otras formas de controlador.

Figura 16: Control derivativo con entrada rampa



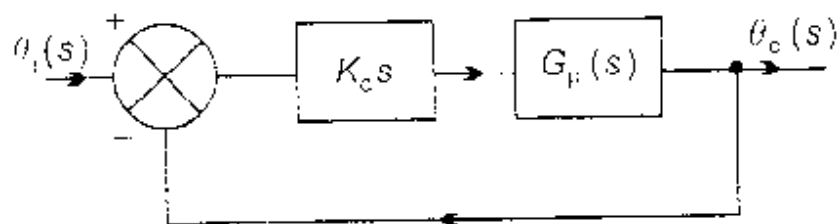
Fuente: Bolton, 2001

Al tomar la transformación de Laplace de la (Ec.16). Resulta, para el control derivativo, una función de transferencia salida $salida(s)/e(s)$

$$G_c(s) = K_d s \quad \dots \dots \dots (Ec. 19)$$

Por lo tanto, para el sistema en lazo cerrado que muestra la figura 17, la presencia del control derivativo produce una transferencia en lazo abierto de

Figura 17: Control derivativo



Fuente: Bolton, 2001

$$G_0(s) = \frac{K_d s G_p(s)}{1 + K_d s G_p(s)} \quad \dots \dots \dots (Ec. 20)$$

Si la planta es de tipo 1 o mayor, entonces la aplicación de la acción derivativa es para cancelar una s en el denominador y así reducir el orden en 1. No obstante, como antes se mencionó, la acción derivativa no se usa sola, sino solo en conjuntos con otra forma de controlador. Cuando se usa esta acción de control se logra que la respuesta sea rápida.

Existen dificultades en la implantación de una ley de control derivativa, por lo que en la práctica se obtiene una aproximación mediante el uso de un compensador de adelanto. Este tiene una función de transferencia de la forma $\frac{K(s+z)}{s+z}$, con $p > z$

2.1.6.4. Controlador proporcional integral derivativo (PID)

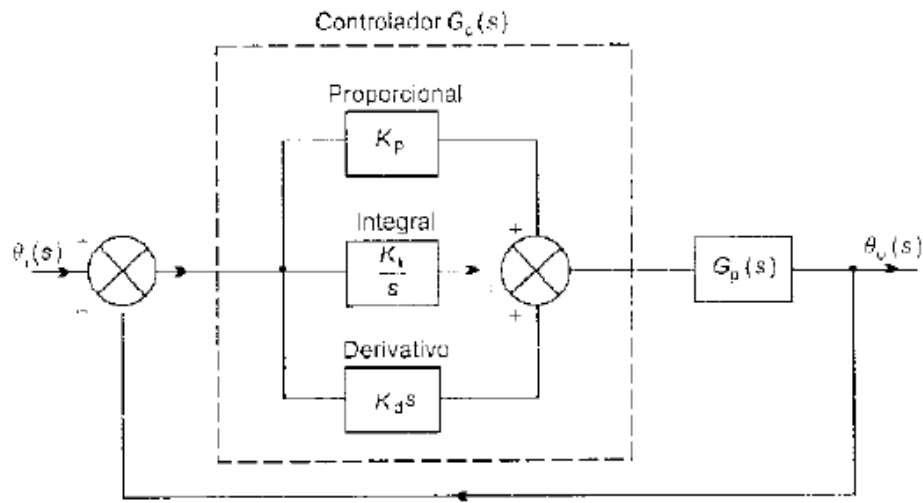
Mejor conocido como controlador de tres términos, con un sistema de la forma que ilustra la figura 18, dará una salida, para una entrada de error e , de.

$$Salida = K_p e + K_i \int_0^t e dt + K_d \frac{de}{dt} \quad \dots \dots (Ec. 21)$$

La función de transferencia, salida $(s)/e(s)$, del controlador es de esta manera

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad \dots \dots \dots (Ec. 22)$$

Figura 18: Control PID



Fuente: Bolton, 2001

Debido a que la constante de tiempo integral, τ_i , es K_p / K_i y la constante de tiempo derivativa, τ_d , es K_d / K_p la ecuación se puede escribir como.

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{K_i}{K_p s} + \frac{K_d s}{K_p} \right)$$

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s \right) \dots \dots \dots (Ec. 23)$$

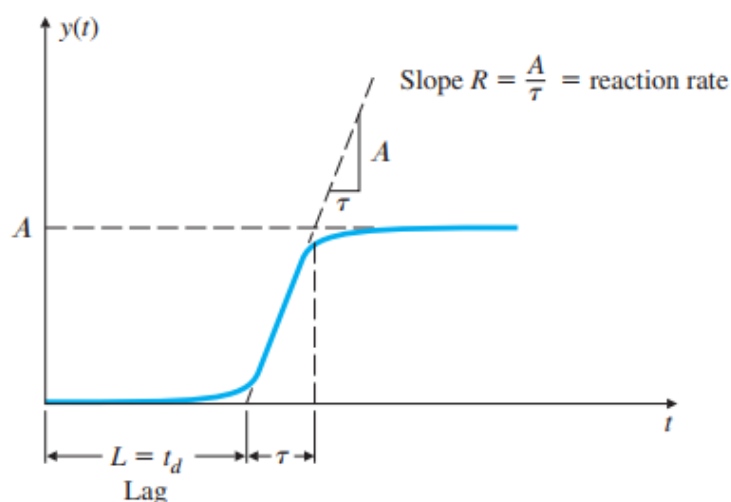
2.1.6.5. Ziegler-Nichols

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 que se comportan como un sistema de primer orden con retardo y presentan una curva de respuesta como la de la figura ante la entrada escalón y en cadena abierta.

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{Ae^{-st_d}}{\tau s + 1} = \frac{K * e^{-Ls}}{\tau s + 1} \dots \dots \dots (ec. 24)$$

Figura 19: Medición de constante en la respuesta ante escalón



Fuente: Díez, Díaz, & Robles, 2009

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

Tabla 3: Parámetros óptimos

Tipos de controlador	Parámetros óptimos
Proporcional	$k_p = \frac{1}{RL}$
PI	$k_p = \frac{0,9}{RL}$, $T_i = \frac{L}{0.3}$
PID	$k_p = \frac{1,2}{RL}$, $T_i = 2L$ $T_D = 0,5L$

Fuente: Díez, Díaz, & Robles, 2009

$$R = \frac{A}{\tau} = \frac{K}{\tau}$$

Reemplazando R en la tabla de parámetros óptimos tenemos.

Tabla 4: *Sintonía de Ziegler-Nichols*

TIPO DE CONTROLADOR	K_p	τ_i	τ_d
P	$\frac{\tau}{K * L}$	————	————
PI	$\frac{0.9 * \tau}{K * L}$	3.33L	————
PID	$\frac{1.2 * \tau}{K * L}$	2L	0.5L

Elaboración: Propia.

K es la ganancia en %/%, L es el tiempo de retardo, τ es la constante de tiempo, τ_i y τ_d en las mismas unidades que L. nótese que $\tau_i = 4\tau_d$ (Díez, Díaz, & Robles, 2009)

Método basado en la curva de reacción

Muchas plantas, pueden ser descritas satisfactoriamente por el modelo:

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K_0 e^{-st_0}}{v_0 s + 1} \dots\dots\dots (Ec. 25)$$

Donde: $v_0 > 1$

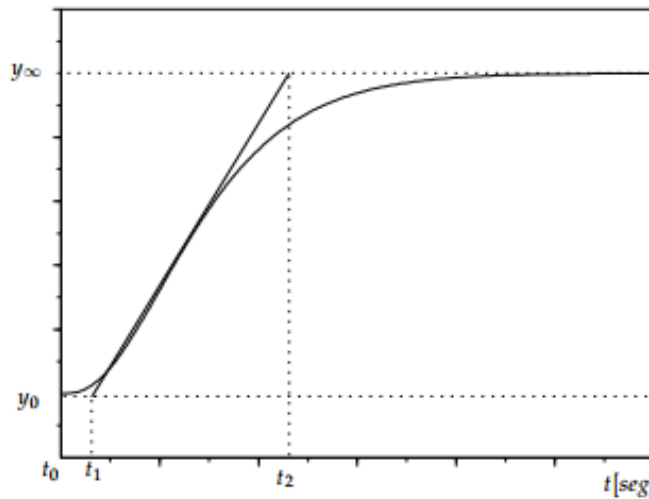
Una versión cuantitativa lineal de este modelo puede ser obtenida mediante un experimento a lazo abierto, utilizando el siguiente procedimiento:

- a) Con la planta a lazo abierto, llevar a la planta a un punto de operación normal. Digamos que la salida de la planta se estabiliza en $y(t) = y_0$ para una entrada constante $u(t) = u_0$.
- b) En el instante inicial t_0 , aplicar un cambio en la entrada escalón, desde u_0 a u_∞ (esto debería ser en un rango de 10 al 20% de rango completo).
- c) Registrar la salida hasta que se estabilice en el nuevo punto de operación. Supongamos que la curva que se obtiene es la que se muestra en la figura 20x. esta curva se llama curva de reacciones del proceso.

Calcular los parámetros del modelo matemático de la siguiente forma:

$$K = \frac{y_{\infty} - y_0}{y_{\infty} - u_0} = \frac{T_{max} - T_{amb}}{T_N - T_0} \dots\dots\dots (Ec. 26)$$

Figura 20: Respuesta al escalón de la planta

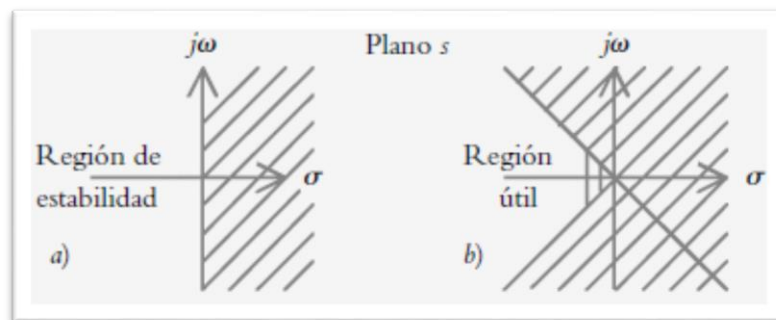


Fuente: Virginia Mazzone

2.1.7. ESTABILIDAD RELATIVA, MÁRGENES DE GANANCIA

Está bien sabido que un sistema es estable si todos sus polos están a la izquierda del eje $j\omega$, según se muestra en la figura 20a sin embargo la región útil del plano es acortarse aún más, como la indica la figura 20b, ya que polos reales situados a la izquierda del origen, pero cercanos a este, presentan una respuesta lenta; si además los polos son complejos, la respuesta presentara un comportamiento muy oscilado

Figura 21: Región de estabilidad en el plano s . a) definición formal de estabilidad. b) acotamiento de la izquierda del eje $j\omega$

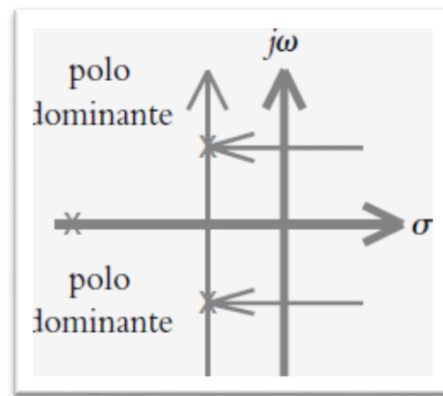


Fuente: Hernandez Gaviño, 2010

El objetivo de cuantificar la región útil del semiplano izquierdo, se introduce el concepto de estabilidad relativa, la cual en principio establece que tanto se puede recorrer el eje $j\omega$ hacia la izquierda hasta llegar al polo o polos dominantes (si se supone que estos son complejos). La figura 26, ilustra este concepto en forma gráfica.

El criterio de routh-hurwitz es un procedimiento que indica simplemente si un sistema es estable o no, de ahí que a dicho método se le catalogue como de estabilidad absoluta.

Figura 22: *Concepto de estabilidad relativa*



Fuente: Hernandez Gaviño, 2010

El polo dominante es el elemento que ejerce mayor influencia sobre el sistema; si dicho polo presenta parte real e imaginaria, $P_{1,2} = a + jb$ la parte real será indicativa de la velocidad de respuesta (ya que el recíproco en valor absoluto del polo define a la constante de tiempo τ) y la parte imaginaria será la responsable de la frecuencia angular de oscilación ω del sistema.

Por lo tanto, la estabilidad relativa será un indicador de cuán estable es un sistema con respecto a los componentes real e imaginario.

Si se considera la ganancia de diseño K_d es el factor por el que hay que multiplicar a $G(s)H(s)$ para que el sistema opere en un punto específico del LGR

(lugar geométrico de raíces) (el cual se elige según las especificaciones particulares que deba satisfacer cada sistema), el margen de ganancia MG se define como el factor positivo por el que se multiplica la ganancia de diseño K_d para que el sistema se torne marginalmente estable. Hay recordar la regla que hace referencia al punto de cruce del LGR con el eje $j\omega$ (llamada frecuencia ω_π); a la ganancia en dicho punto de cruce se denomina ganancia máxima K_u , por lo que será de gran importancia en la sintonización de los diferentes tipos de controladores.

El margen de ganancia se obtiene a partir del LGR al aplicar la siguiente ecuación:

$$MG = \frac{\text{Ganancia maxima}}{\text{Ganancia de diseño}} = \frac{K_u}{K_d} \quad \dots \dots \dots (Ec. 27)$$

Si $MG < 1$, el sistema es inestable, ya que K_d excederá el valor de la ganancia máxima K_u para configuraciones en los que el LGR nunca cruza el eje $j\omega$, se dice que el sistema tiene un margen de error de ganancia infinito, por ejemplo, los sistemas son estables para toda ganancia, por ejemplo, los sistemas de primer y segundo grados. El rango de márgenes de ganancia recomendable está comprendido en el intervalo: $2 < MG < 10$ unidades. (Hernandez Gaviño, 2010)

2.1.8. MODULACIÓN

Modulación engloba el conjunto de técnicas para transportar información sobre una onda portadora, típicamente una onda sinusoidal. Esta técnica permite un mejor aprovechamiento del canal de comunicación lo que posibilita transmitir más información en forma simultánea, protegiéndola de posibles interferencias y ruidos.

Básicamente, la modulación consiste en hacer que un parámetro de la onda portadora cambie de valor de acuerdo con las variaciones de la señal moduladora, que es la información que queremos transmitir.

En la modulación intervienen los siguientes datos:

a) Señal portadora

Señal periódica encargada de “transportar” la información a transmitir, y cuya frecuencia es la frecuencia transmisión deseada.

b) Señal moduladora

Señal que representa el mensaje que deseamos transmitir y cuya frecuencia en general no será la frecuencia de transmisión deseada. Esta señal modifica algún parámetro de la portadora.

c) Modulación

Modificación de algún parámetro de una señal por otra.

d) Señal modulada

Señal resultante de la modulación de una señal portadora por una señal modulada.

2.1.8.1. Señales de transmisión y señales de datos

Las señales de transmisión corresponden a la portadora, mientras que las señales de datos corresponden a la moduladora.

De acuerdo al sistema de transmisión se pueden tener los siguientes casos

Tabla 5: *Casos de sistema de transmisión*

Señal de transmisión	Señal de datos
Analógica	Analógica
Analógica	Digital
Digital	Analógica
Digital	Digital

Fuente: Valencia Miranda

2.1.8.2. Tipos de modulación

La clasificación de los tipos de modulación existente se basa en dos criterios:

2.1.8.2.1. Tipos de señal

Tanto la portadora como la moduladora pueden ser analógica o digital, resultando en 4 posibilidades.

2.1.8.2.2. Parámetros de la portadora que se modifica

Los parámetros de la señal portadora se pueden modificar la moduladora son tres: amplitud, frecuencia y fase.

Por lo tanto, estos dos criterios determinan la clasificación de los tipos de modulación existente:

- a). Amplitud** (AM, ASK: Amplitude Shift Keyne). La modifica la amplitud de la modulada.
- b). Frecuencia** (FM, FSK: Frecuency Shift Keyne). La modulación modifica la frecuencia de la modulada.
- c). Fase** (PM, PSK: Phase Shift Keyne). La modulación modifica la fase de la modulada.

Tabla 6: *Tipos de modulación posible*

	Moduladora Analógica	Moduladora Digital
P. Analógica	AM (Amplitude Modulation) FM (Frequency Modulation) PM (Phase Modulation)	ASK (Amplitude Shift Keying) FSK (Frequency Shit Keying) PSK (Phase Shift Keying)
Port. Digital	PAM (Pulse Amplitude Modulation) PDM (Pulse Duration Modulation) PPM (Pulse Position Modulation) PCM (Pulse Codification Modulation) Modulación Delta	NRZ (Non Return to Zero) RZ (Return to Zero) Bifase Bipolar

Fuente: Valencia Miranda

2.1.9. MODULACIÓN DE PULSOS

En la modulación de pulsos, lo que se varía es alguno de los parámetros de un tren de pulsos uniformes, bien sea su amplitud, duración o posición. En este tipo de modulación se distinguen dos clases:

2.1.9.1. Modulación analógica de pulsos

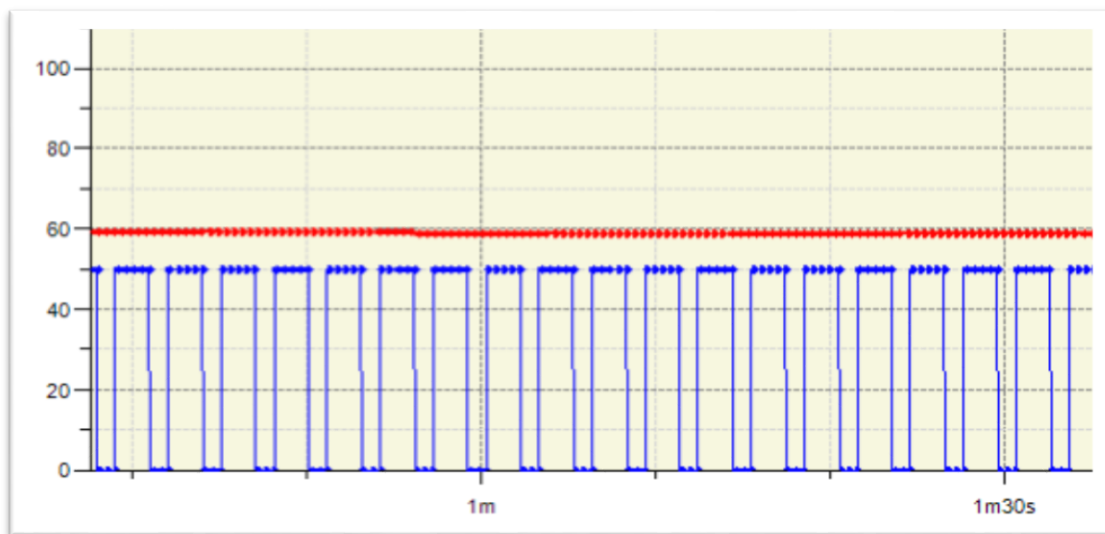
En que la información se transmite básicamente en forma analógica, pero la transmisión tiene lugar a intervalos discretos de tiempo-

2.1.9.2. Modulación digital de pulsos

En que la señal de información es discreta, tanto en amplitud como en tiempo, permitiendo la transmisión digital como una secuencia de pulsos codificados, todos de la misma amplitud. Este tipo de transmisión no tiene contraparte en los sistemas de onda continua. En la modulación digital, la señal de información es un flujo binario compuesto por señales binarios, es decir cuyos niveles de voltaje solo son dos y corresponden a ceros y unos. En la modulación analógica de pulsos, la señal no necesariamente es de dos niveles, sino que el nivel de la señal puede tener cualquier valor, si bien la señal es discreta, en el sentido de que se presenta a intervalos definidos de tiempo, con amplitudes, frecuencias, o anchos de pulso variables. (Perez Vega)

2.1.10. MODULACIÓN EN ANCHURA DE PULSOS

La modulación de anchura de pulsos **PWM** (pulse width modulation) es una forma de codificar la información que utiliza, para ello, pulsos de anchura variable; es decir, en lugar de una señal que expresa la información a través de su amplitud (variaciones de tensión), se utilizan pulsos de amplitud fija cuya anchura (la duración de los pulsos) es variable, proporcional al valor de la señal en cada momento.

Figura 23: *Modulación de ancho de pulso*

Elaboración: Propia

El paso de señal en amplitud a pulsos modulados en anchura se consigue mediante una transformación $V-\Delta t$ tensión-anchura de pulso. Precisamente es el apartado anterior (control todo/nada) se ha utilizado una transformación $n-\Delta t$, numero-anchura de pulso, que efectúa la modulación **PWM** a partir del valor numérico de la señal.

El teorema de muestreo de Shannon garantiza que la información contenida en los pulsos de anchura modulada es la misma que transmite la amplitud de la señal si la frecuencia de los pulsos es superior al doble de la máxima frecuencia de dicha señal.

El control todo/nada es la forma más simple y directa de transformar un número en un pulso de anchura proporcional al mismo. Esta modulada on/off actúa cíclicamente con un periodo T dividido en dos intervalos: activo/inactivo ($1/0$). De forma que, al inicio de cada periodo T se produce un pulso cuyo “tiempo en 1”, proporcional al número n , señala el intervalo activo. (Pollan Santamaria)

2.1.11. SOFTWARE DE PROCESAMIENTO DE DATOS

2.1.11.1. SoMachine central

SoMachine central proporciona el entorno de configuración y programación para los proyectos de SoMachine que cree con SoMachine central.

Muestra los diferentes elementos de un proyecto en vistas separadas que se pueden organizar en la interfaz de usuario de SoMachine en el escritorio, en función de las necesidades individuales, esta estructura de vistas permite añadir elementos de hardware y software al proyecto mediante el método de arrastrar y soltar. Los principales cuadros de diálogo de configuración que permiten crear contenido para el proyecto se proporcionan en el centro de la pantalla SoMachine central.

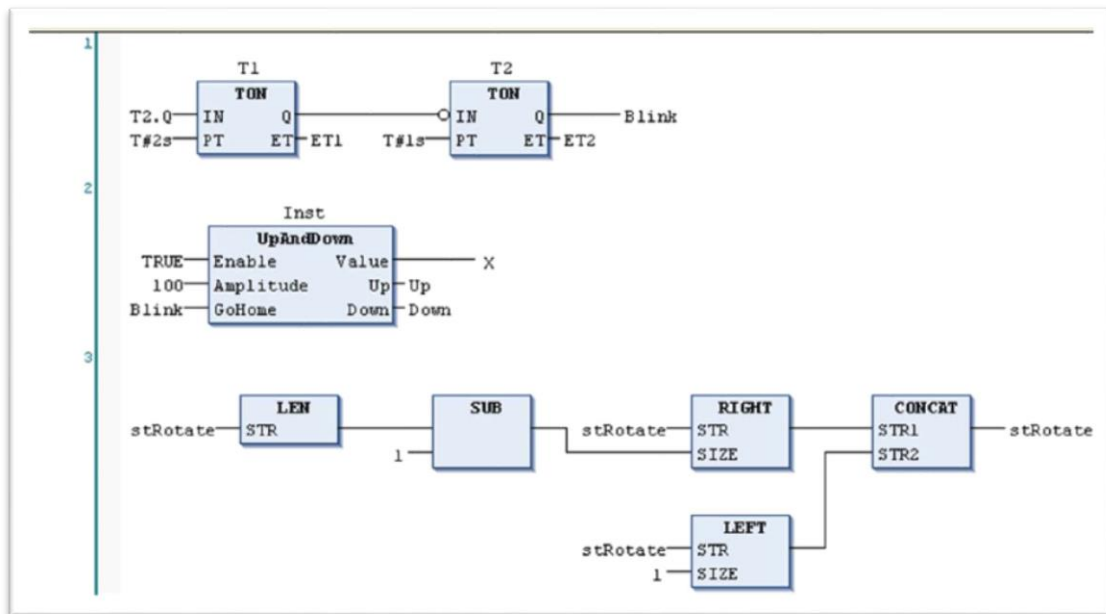
Además de una sencilla configuración y programación, SoMachine central también proporciona potentes funciones de diagnóstico y mantenimiento.

2.1.11.2. Tipos Lenguaje de programación

2.1.11.2.1. Lenguaje de diagrama de bloques de funciones (FBD)

El diagrama de bloques de funciones es un lenguaje de programación orientada gráficamente. Funciona con una lista de redes en la que cada red contiene una estructura gráfica de cuadros y líneas

de conexión que representa una expresión lógica o aritmética, la llamada de un bloque de redes FBD

Figura 24: Lenguaje de programación de bloques de funciones (FBD)

Fuente: Schneider Electric

2.1.11.2.2. Lenguaje del diagrama de contactos (LD)

El diagrama de contactos es un lenguaje de programación orientada a gráficos que se asemeja a la estructura de un circuito eléctrico.

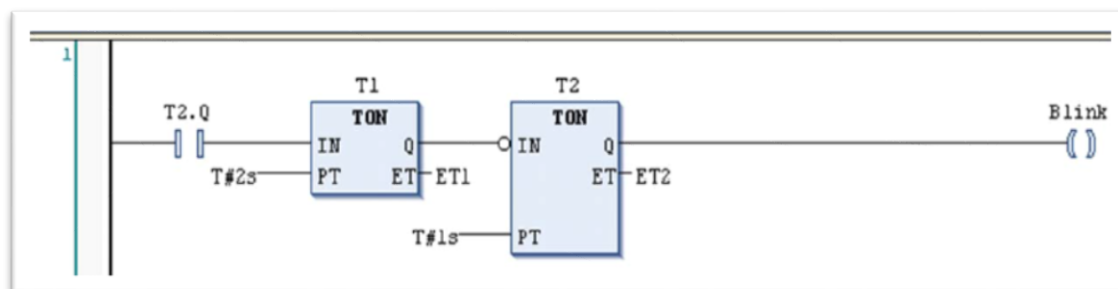
Por un lado, el diagrama de contactos es adecuado para la confección de interruptores lógicos y por otro lado, también permite crear redes como en FBD. Por lo tanto, el LD es útil para controlar la llamada de otras POU.

El diagrama de contactos se compone de una serie de redes, cada una limitada por una línea de corriente vertical (rail de alimentación) a la izquierda. Una red de corriente un diagrama de circuito formado por contactos, bobinas, POU adicionales opcionales (módulos) y líneas de conexión.

En el lazo izquierdo, hay 1 contacto o una serie de contactos que transmiten a derecha la condición ON u OFF, que corresponde a los valores booleanos TRUE y FALSE. A cada contacto se le asigna una variable booleana. Si esta variable es TRUE, la condición se transmitirá de izquierda a derecha a lo largo de la línea de conexión, de lo contrario, se transmitirá OFF, por lo tanto, la bobina colocada en

la parte derecha de la red recibe un ON u OFF proveniente de la parte izquierda. En consecuencia, el valor TRUE o FALSE se escribirá en una variable booleana asignada.

Figura 25: Red de diagrama de contactos



Fuente: Schneider Electric

2.2. HIPÓTESIS

2.2.1. Hipótesis general

Los factores tecnológicos en la modulación de ancho de pulso tienen una relación directa en el control óptimo de la temperatura del horno industrial.

2.2.2. Hipótesis específico

- a) El conocimiento de la modulación de ancho de pulso aplicada en el PLC de gama alta es considerado como una tecnología eficiente en el control de temperatura para el horno industrial.
- b) Existe una relación significativa con la modulación de ancho de pulso que interactúa con el control de temperatura óptimo en el horno industrial.
- c) La tecnología aplicada en el control de temperatura, actualmente en el mercado nacional es aplicada en el sector industrial; tiene un costo muy elevado de implementación en su fase inicial, pero después de un tiempo se lleva a solventar de manera autónoma siendo sostenible a largo plazo.

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACION.

La tesis investigada, es un proyecto de alcance aplicativo referente a la automatización, por lo tanto, el proyecto realizado es de tipo aplicada y académico.

La investigación del diseño de control de temperatura atreves de modulación de ancho de pulso con un controlador de gama alta se diseñó, Calculo, se hizo el montaje de los diferentes componentes y se hizo pruebas en software SoMachine.

3.2. POBLACION Y MUESTRA DE INVESTIGACION.

3.2.1. Población de la investigación.

La población que se tomó para la investigación en nuestro módulo de control de temperatura, en el laboratorio de control y automatización de ingeniería mecánica eléctrica una puno

3.2.2. Ubicación y descripción de la investigación.

La universidad nacional del altiplano está ubicada en la sierra sudeste del país, en la meseta del Collao a: $13^{\circ}00'66''00''$ y $17^{\circ}17'30''$ de latitud sur y los $71^{\circ}06'57''$ y $68^{\circ}48'46''$ de longitud oeste del meridiano de Greenwich. Limita por la región sur. Con la región Tacna. Por el este. Con la Republica de Bolivia y por oeste, con la región de Cusco, Arequipa y Moquegua. La región de puno y la universidad del altiplano puno

se encuentra entre los 3,812 y 5,500 msnm y entre la caja de selva y está ubicado a orillas de lago Titicaca.

3.2.3. Diseño de la investigación.

Para el diseño de control de temperatura con un PLC de gama alta, nos basamos en la formulación del planteamiento del problema, sistema de control de primer orden y con la sintonía de Ziegler y Nichols utilizando software SoMachine basado a la aplicación de horno industrial de la región de puno.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. PLC MODICON M241 TM241CE24R.

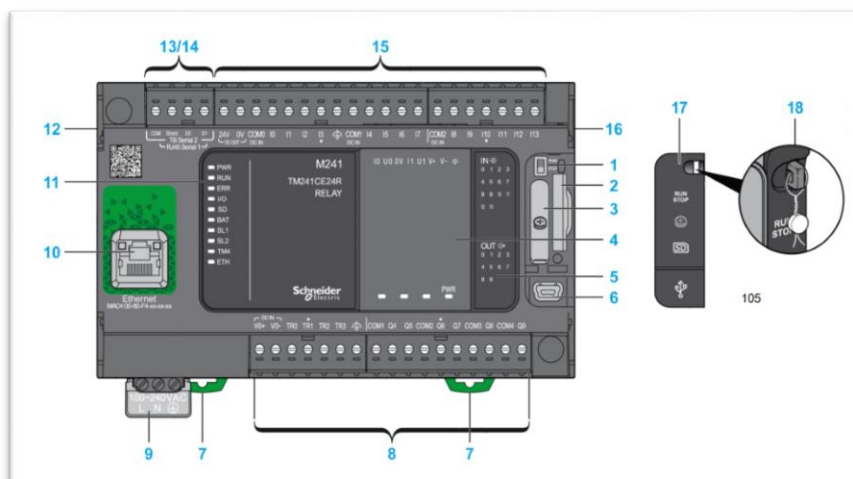
Un controlador lógico programable, más conocido por sus siglas en inglés PLC (Programmable Logic Controller) o por autómatas programables, es una computadora utilizada en automatización de horno industrial, para automatizar procesos, tales como el control de temperatura durante el proceso.

Controlador lógico TM241CE24R:

14 Entradas digitales, 10 Salidas digitales, Puerto de comunicación

Descripción: La siguiente figura muestra los diferentes componentes del controlador lógico TM241CE24R:

Figura 26: Componentes de controlador lógico TM241CE24R



Fuente: Schneider Electric

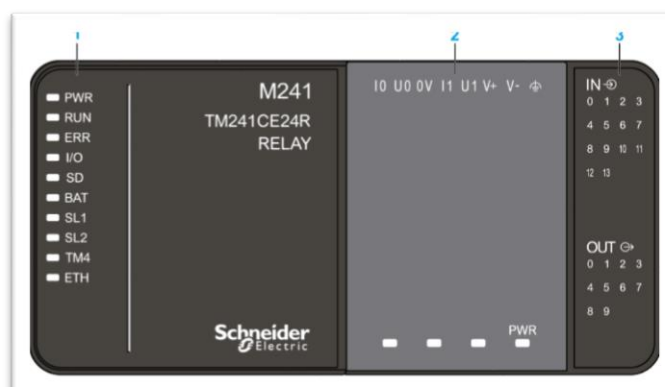
Tabla 7: Descripción del controlador lógico TM241CE24R

N°	Descripción	Referirse a
1	interruptor de arranque / parada	Marcha / Paro
2	ranura para tarjetas SD	Tarjeta SD
3	Soporte de la batería	Reloj de tiempo real (RTC) (
4	ranura para cartuchos	-
5	LEDs para indicar estados de E / S	Las entradas digitales LED de estado
		Salidas de relé LED de estado
		Salidas rápidas LEDs de estado
6	puerto de programación USB mini-B / Para la conexión del terminal a un PC de programación (SoMachine)	Mini-B USB puerto de programación
7	Clip de la cerradura de 35 mm (1,38 pulg.) De carril de la sección sombrero de copa (carril DIN)	Sección del sombrero de copa del carril
8	salidas de relé incrustados	8 Las salidas de relé
	salidas de transistor rápida incrustados	Las salidas de transistores rápidos
	bloque de terminales extraíble de salida	Reglas para extraíble tornillo del bloque de terminales
9	100 ... 240 V CA 50/60 Hz fuente de alimentación	Características de alimentación de CA (alimentación y cableado)
10	Puerto Ethernet/ tipo RJ45 (RS-232 o RS-485)	Puerto Ethernet
11	LED de estado	-
12	Conector de bus TM4	Módulos de expansión(TM4)
13	Serial línea de puerto 1 / Tipo RJ45 (RS-232 o RS-485)	Línea serie 1
14	Serial línea puerto 2 / tornillo terminal de tipo bloque (RS-485)	Línea serie 2
15	entradas digitales incrustadas	Entradas digitales incrustadas
	bloque de terminales extraíble de entrada	Reglas para extraíble tornillo del bloque de terminales
16	Conector de bus TM3 / TM2	Módulos de expansión (TM3)
17	Cubierta de protección (ranura para tarjetas SD, interruptor de marcha / parada, y el puerto mini-USB de programación B)	-
18	Bloqueo de gancho (Hook no incluido)	-

Fuente: Schneider Electric

Los LED de estado

Figura 27: LED de estado



Fuente: Schneider Electric

1. LED de estado del sistema
2. LED de estado del cartucho (opcional)
3. LED de estado de E / S con 3

Tabla 8: Descripción de los LED de estado del sistema

Etiqueta	Tipo de función	Color	Estado	Descripción		
				estados del controlador	Prg. puerto de comunicación	Aplicación Ejecución
PWR	Poder	Verde	Encendido	Indica que se aplica energía.		
			Apagado	Indica que se desconecta la alimentación.		
RUN	estado de la máquina	Verde	Encendido	Indica que el controlador está ejecutando una aplicación válida.		
			Brillante	Indica que el controlador tiene una aplicación válida que se detuvo.		
			1 destello	Indica que el controlador ha detenido en punto de interrupción.		
			Apagado	Indica que el controlador no está programado	-	-
ERR	Error	Rojo	Encendido	EXCEPCIÓN	Restringido	NO
			Brillante	Error interno	restringido	NO
			1 solo flash	detecta menor Error	Sí	NO
			3 destellos	sin Aplicación	Sí	Sí
I / O	error I / O	Rojo	Encendido	Indica errores de los dispositivos en la línea serie 1 o 2, tarjeta SD, cartuchos, autobús TM4, autobús TM3 o puerto Ethernet.		
SD	acceso a la tarjeta SD	Verde	Encendido	Indica que se está accediendo a la tarjeta SD		

Continúa...

Etiqueta	Tipo de función	Color	Estado	Descripción		
				estados del controlador	Puerto de comunicación	Aplicación Ejecución
BAT	Batería	Rojo	Encendido	En Indica que la batería necesita ser reemplazada		
			Brillante	Indica que la carga de la batería es baja		
SL1	Línea serie 1	Verde	Encendido	Indica el estado de la línea serie 1		
			Apagado	Indica que no hay comunicación en serie		
SL2	Línea serie 2	Verde	Encendido	Indica el estado de línea serie 2		
			Apagado	Indica que no hay comunicación en serie		
TM4	Error en TM4 bus	Rojo	Encendido	Indica que un error se ha detectado en el bus TM4		
			Apagado	Indica que no hay error se ha detectado en el bus TM4		
ETH	estado del puerto Ethernet	Verde	encendido	Indica que el puerto Ethernet está conectado y la dirección IP se define.		
			3 destellos	Indica que el puerto Ethernet no está conectado		
			4 destellos	Indica que la dirección IP ya está en uso		
			5 destellos	Indica que el módulo está esperando BOOTP o DHCP secuencia		
			6 destellos	Indica que la dirección IP configurada no es válido.		

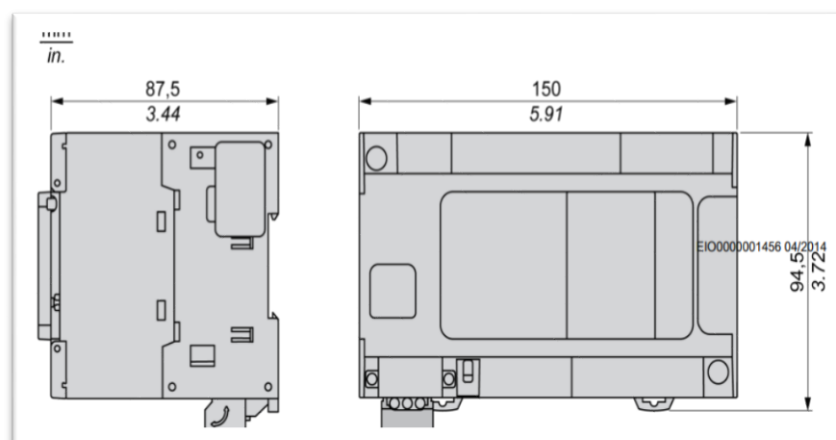
Fuente: Schneider Electric

Para obtener más información acerca de la descripción de estado del controlador, consulte el controlador lógico M241 - Guía de programación.

Dimensiones

La siguiente figura muestra las dimensiones externas del controlador lógico:

Figura 28: Dimensiones del controlador lógico TM241CE24R



Fuente: Schneider Electric

3.3.2. PORTAFUSIBLE RIEL 10X38MM 32A EBCHQ

Descripción.

Portafusibles elemento de protección montados en riel DIN proporciona una protección para los circuitos de cualquier sistema de control industrial. Los fusibles se pueden adquirir por separado (consulte la tabla de accesorios de la página siguiente).

- a) Características Rango de Corriente: 32A
- b) Rango de Voltaje: 500V
- c) Indicación: LED Dimensiones
- d) fusible: 10X38mm
- e) Montaje: Riel
- f) Origen: China

Figura 29: Porta fusible riel 10X38MM 32A EBCHQ



Fuente: catalogo general de productos – 2016, automatizacion y control.

3.3.3. FUSIBLES CILÍNDRICAS DE ACCIONAMIENTO RÁPIDO

Características:

Fusible inserto en un tubo cilíndrico que protege un circuito eléctrico frente a un excesivo flujo de corriente.

- a) **Rango de Corriente:** 2A
- b) **Rango de Voltaje:** 500V
- c) **Tipo de Fusible:** Accionamiento normal (gG)
- d) **Capacidad de ruptura:** 100kA

- e) **Dimensiones:** D: 10.3 L: 38mm
- f) **Peso:** 0,9g aprox.
- g) **Cumple normas:** IEC269-2-1, NFC 63-210
- h) **Origen:** China

Figura 30: Fusible cilíndrico

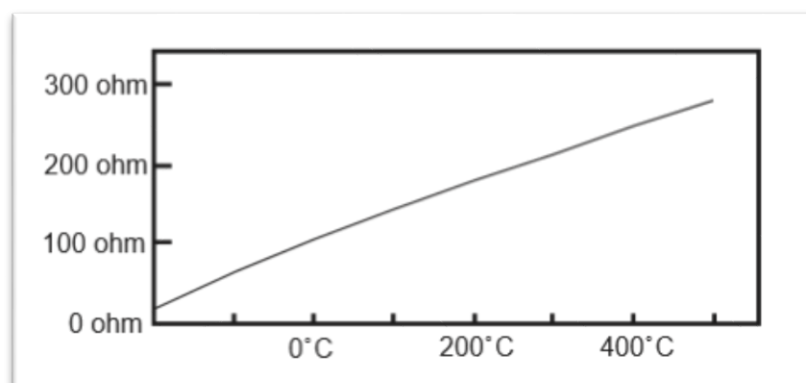


Fuente: catálogo general de productos – 2016, automatización y control.

3.3.4. SENSOR DE TEMPERATURA Pt - 100.

- a) Tipo: Pt-100
- b) Diámetro Bulbo: 4.8mm
- c) Long. Útil del Bulbo: 5 cm
- d) Material: Acero Inoxidable 316
- e) Rango de Temp.: 0- 350°C
- f) Cable de extensión: 80 Cm (en Teflon - 3 Hilos)
- g) Origen: TAIWAN

Un Pt100 es un sensor de temperatura. Consiste en un alambre de platino que a 0 °C tiene 100 ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica. El incremento de la resistencia no es lineal, pero si creciente y característico del platino de tal forma que mediante tablas es posible encontrar la temperatura exacta a la que corresponde.

Figura 31: *Grafica del pt100*

Fuente: ARIAN, Control & Instrumentación

Un Pt100 es un tipo particular de RTD (Dispositivo Termo Resistivo).

Normalmente las Pt100 industriales se consiguen encapsuladas en la misma forma que las termocuplas, es decir dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material (vaina), en un extremo está el elemento sensible (alambre de platino) y en el otro está el terminal eléctrico de los cables protegido dentro de una caja redonda de aluminio (cabezal).

Ventajas del Pt_100

Por otra parte, los Pt100 siendo levemente más costosos y mecánicamente no tan rígidos como las termocuplas, las superan especialmente en aplicaciones de bajas temperaturas. (-100 a 200 °).

Los Pt100 pueden fácilmente entregar precisiones de una décima de grado con la ventaja que la Pt100 no se descompone gradualmente entregando lecturas erróneas, si no que normalmente se abre, con lo cual el dispositivo medidor detecta inmediatamente la falla del sensor y da aviso.

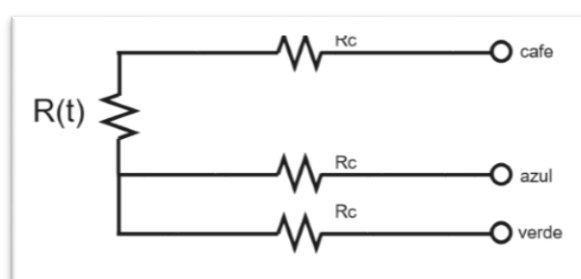
Este comportamiento es una gran ventaja en usos como cámaras frigoríficas donde una desviación no detectada de la temperatura podría producir algún daño grave.

Además, la Pt100 puede ser colocada a cierta distancia del medidor sin mayor problema (hasta unos 30 metros) utilizando cable de cobre convencional para hacer la extensión.

Pt_100 Con 3 hilos

El modo de conexión de 3 hilos es el más común y resuelve bastante bien el problema de error generado por los cables.

Figura 32: Circuito del pt100 de tres hilos



Fuente: ARIAN, Control & Instrumentación

El único requisito es que los tres cables tengan la misma resistencia eléctrica pues el sistema de medición se basa (casi siempre) en el "puente de Wheatstone". Por supuesto el lector de temperatura debe ser para este tipo de conexión. En el caso particular de los instrumentos ARIAN, se hace pasar una corriente conocida a través de los cables azul y verde con lo cual el instrumento mide $2R_c$. Luego mide la resistencia por los cables café y azul para finalmente restarle $2R_c$ al valor medido y obtener $R(t)$.

Figura 33: Sensor de temperatura pt100



Fuente: catalogo general de productos – 2016, automatizacion y control.

Tabla 9: De temperatura del pt 100

Pt 100 ohms										
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-190	22.78	22.35	21.93	21.50	21.08	20.66	20.23	19.81	19.38	18.96
-180	27.01	26.59	26.17	25.74	25.32	24.90	24.47	24.05	23.63	23.20
-170	31.24	30.81	30.39	29.97	29.55	29.13	28.70	28.28	27.86	27.44
-160	35.45	35.03	34.61	34.19	33.77	33.34	32.92	32.50	32.08	31.66
-150	39.65	39.23	38.81	38.39	37.97	37.55	37.13	36.71	36.29	35.87
-140	43.78	43.37	42.96	42.54	42.13	41.72	41.30	40.89	40.48	40.06
-130	47.90	47.49	47.08	46.67	46.26	45.85	45.43	45.02	44.61	44.20
-120	52.01	51.60	51.19	50.78	50.37	49.96	49.55	49.14	48.73	48.32
-110	56.11	55.70	55.29	54.88	54.48	54.07	53.66	53.25	52.84	52.43
-100	60.20	59.79	59.38	58.98	58.57	58.16	57.75	57.34	56.93	56.52
-90	64.23	63.83	63.43	63.02	62.62	62.22	61.81	61.41	61.01	60.60
-80	68.25	67.85	67.45	67.05	66.65	66.25	65.84	65.44	65.04	64.64
-70	72.26	71.86	71.46	71.06	70.66	70.26	69.86	69.46	69.06	68.66
-60	76.26	75.86	75.46	75.06	74.67	74.27	73.87	73.47	73.07	72.67
-50	80.25	79.85	79.45	79.06	78.66	78.26	77.86	77.46	77.06	76.66
-40	84.22	83.83	83.43	83.03	82.64	82.24	81.84	81.44	81.05	80.65
-30	88.18	87.79	87.39	87.00	86.60	86.21	85.81	85.41	85.02	84.62
-20	92.13	91.74	91.35	90.95	90.56	90.16	89.77	89.37	88.98	88.58
-10	96.07	95.68	95.29	94.89	94.50	94.11	93.71	93.32	92.92	92.53
0	100.00	99.61	99.22	98.82	98.43	98.04	97.65	97.25	96.86	96.47
0	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51
10	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.41
20	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.74	110.12	110.51	110.90	111.29
30	111.67	112.06	112.45	112.84	113.22	113.61	114.00	114.38	114.77	115.16
40	115.54	115.93	116.32	116.70	117.09	117.47	117.86	118.24	118.63	119.01
50	119.40	119.78	120.17	120.55	120.94	121.32	121.71	122.09	122.48	122.86
60	123.24	123.63	124.01	124.39	124.78	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69
70	127.07	127.46	127.84	128.22	128.60	128.99	129.37	129.75	130.13	130.51
80	130.89	131.28	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.56	133.94	134.32
90	134.70	135.08	135.46	135.84	136.22	136.60	136.98	137.36	137.74	138.12
100	138.50	138.88	139.26	139.64	140.02	140.40	140.77	141.15	141.53	141.91
110	142.29	142.67	143.04	143.42	143.80	144.18	144.55	144.93	145.31	145.69
120	146.06	146.44	146.82	147.19	147.57	147.95	148.32	148.70	149.07	149.45
130	149.83	150.20	150.58	150.95	151.33	151.70	152.08	152.45	152.83	153.20
140	153.58	153.95	154.33	154.70	155.08	155.45	155.83	156.20	156.57	156.95
150	157.32	157.69	158.07	158.44	158.81	159.19	159.56	159.93	160.30	160.68
160	161.05	161.42	161.79	162.16	162.53	162.91	163.28	163.65	164.02	164.39
170	164.76	165.13	165.50	165.88	166.25	166.62	166.99	167.36	167.73	168.10
180	168.47	168.84	169.21	169.58	169.95	170.31	170.68	171.05	171.42	171.79
190	172.16	172.53	172.90	173.26	173.63	174.00	174.37	174.74	175.10	175.47
200	175.84	176.21	176.58	176.94	177.31	177.68	178.04	178.41	178.78	179.14
210	179.51	179.88	180.24	180.61	180.98	181.34	181.71	182.07	182.44	182.81
220	183.17	183.54	183.90	184.27	184.63	185.00	185.36	185.73	186.09	186.45
230	186.82	187.18	187.55	187.91	188.27	188.64	189.00	189.37	189.73	190.09
240	190.46	190.82	191.18	191.54	191.91	192.27	192.63	192.99	193.36	193.72
250	194.08	194.44	194.80	195.17	195.53	195.89	196.25	196.61	196.97	197.33
260	197.69	198.05	198.41	198.77	199.14	199.50	199.86	200.22	200.58	200.94
270	201.29	201.65	202.01	202.37	202.73	203.09	203.45	203.81	204.17	204.53
280	204.88	205.24	205.60	205.96	206.32	206.68	207.03	207.39	207.75	208.11
290	208.46	208.82	209.18	209.53	209.89	210.25	210.60	210.96	211.32	211.67

Continúa...

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
300	212.03	212.39	212.74	213.10	213.45	213.81	214.16	214.52	214.88	215.23
310	215.59	215.94	216.29	216.65	217.00	217.36	217.71	218.07	218.42	218.77
320	219.13	219.48	219.84	220.19	220.54	220.90	221.25	221.60	221.96	222.31
330	222.66	223.01	223.37	223.72	224.07	224.42	224.77	225.13	225.48	225.83
340	226.18	226.53	226.88	227.24	227.59	227.94	228.29	228.64	228.99	229.34
350	229.69	230.04	230.39	230.74	231.09	231.44	231.79	232.14	232.49	232.84
360	233.19	233.54	233.89	234.23	234.58	234.93	235.28	235.63	235.98	236.32
370	236.67	237.02	237.37	237.72	238.06	238.41	238.76	239.11	239.45	239.80
380	240.15	240.49	240.84	241.19	241.53	241.88	242.23	242.57	242.92	243.26
390	243.61	243.95	244.30	244.65	244.99	245.34	245.68	246.03	246.37	246.72
400	247.06	247.40	247.75	248.09	248.44	248.78	249.12	249.47	249.81	250.16
410	250.50	250.84	251.19	251.53	251.87	252.21	252.56	252.90	253.24	253.58
420	253.93	254.27	254.61	254.95	255.29	255.64	255.98	256.32	256.66	257.00
430	257.34	257.68	258.02	258.37	258.71	259.05	259.39	259.73	260.07	260.41
440	260.75	261.09	261.43	261.77	262.11	262.45	262.78	263.12	263.46	263.80
450	264.14	264.48	264.82	265.16	265.49	265.83	266.17	266.51	266.85	267.18
460	267.52	267.86	268.20	268.53	268.87	269.21	269.54	269.88	270.22	270.55
470	270.89	271.23	271.56	271.90	272.24	272.57	272.91	273.24	273.58	273.91
480	274.25	274.58	274.92	275.25	275.59	275.92	276.26	276.59	276.93	277.26
490	277.60	277.93	278.26	278.60	278.93	279.26	279.60	279.93	280.26	280.60
500	280.93	281.26	281.60	281.93	282.26	282.59	282.93	283.26	283.59	283.92
510	284.25	284.58	284.92	285.25	285.58	285.91	286.24	286.57	286.90	287.23
520	287.56	287.90	288.23	288.56	288.89	289.22	289.55	289.88	290.21	290.54
530	290.86	291.19	291.52	291.85	292.18	292.51	292.84	293.17	293.50	293.82
540	294.15	294.48	294.81	295.14	295.47	295.79	296.12	296.45	296.78	297.10
550	297.43	297.76	298.08	298.41	298.74	299.07	299.39	299.72	300.04	300.37
560	300.70	301.02	301.35	301.68	302.00	302.33	302.65	302.98	303.30	303.63
570	303.95	304.28	304.60	304.93	305.25	305.58	305.90	306.22	306.55	306.87
580	307.20	307.52	307.84	308.17	308.49	308.81	309.14	309.46	309.78	310.11
590	310.43	310.75	311.07	311.40	311.72	312.04	312.36	312.68	313.01	313.33
600	313.65	313.97	314.29	314.61	314.93	315.26	315.58	315.90	316.22	316.54
610	316.86	317.18	317.50	317.82	318.14	318.46	318.78	319.10	319.41	319.73
620	320.05	320.37	320.69	321.01	321.33	321.65	321.96	322.28	322.60	322.92
630	323.24	323.55	323.87	324.19	324.51	324.82	325.14	325.46	325.78	326.09
640	326.41	326.73	327.04	327.36	327.67	327.99	328.31	328.62	328.94	329.25
650	329.57	329.89	330.20	330.52	330.83	331.15	331.46	331.78	332.09	332.41
660	332.72	333.04	333.35	333.66	333.98	334.29	334.61	334.92	335.23	335.55
670	335.86	336.17	336.49	336.80	337.11	337.43	337.74	338.05	338.36	338.68
680	338.99	339.30	339.61	339.92	340.24	340.55	340.86	341.17	341.48	341.79
690	342.11	342.42	342.73	343.04	343.35	343.66	343.97	344.28	344.59	344.90
700	345.21	345.52	345.83	346.14	346.45	346.76	347.07	347.38	347.68	347.99
710	348.30	348.61	348.92	349.23	349.53	349.84	350.15	350.46	350.77	351.07
720	351.38	351.69	352.00	352.30	352.61	352.92	353.22	353.53	353.84	354.14
730	354.45	354.75	355.06	355.37	355.67	355.98	356.28	356.59	356.89	357.20
740	357.51	357.81	358.12	358.42	358.72	359.03	359.33	359.64	359.94	360.25
750	360.55	360.85	361.16	361.46	361.77	362.07	362.37	362.68	362.98	363.28
760	363.59	363.89	364.19	364.49	364.80	365.10	365.40	365.70	366.01	366.31
770	366.61	366.91	367.21	367.51	367.81	368.12	368.42	368.72	369.02	369.32
780	369.62	369.92	370.22	370.52	370.82	371.12	371.42	371.72	372.02	372.32
790	372.62	372.92	373.22	373.52	373.82	374.12	374.42	374.71	375.01	375.31
800	375.61	375.91	376.21	376.50	376.80	377.10	377.40	377.70	377.99	378.29
810	378.59	378.88	379.18	379.48	379.77	380.07	380.37	380.66	380.96	381.26
820	381.55	381.85	382.14	382.44	382.74	383.03	383.33	383.62	383.92	384.21
830	384.51	384.80	385.10	385.39	385.69	385.98	386.27	386.57	386.86	387.16
840	387.45	387.74	388.04	388.33	388.62	388.92	389.21	389.50	389.79	390.09

Fuente: ARIAN, Control & Instrumentación

3.3.5. SISTEMA DE MANDO Y SEÑALIZACIÓN PULSADORES

SELECTORES

Una completa gama de elementos de mando y señalización para todo tipo de aplicaciones industriales. Todos los pulsadores, pilotos y actuadores son rápidos y fáciles de instalar, siendo una elección natural para tableristas e instaladores.

Figura 34: Sistema de mando y pulsadores



Fuente: catatalogo general de productos – 2016, automatizacion y control.

Tabla 10: De mando y pulsadores selectores y pilotos

MANDO/PULSADORES SELECTORES Y PILOTOS				
PILOTOS	COLOR	ALIMENTACION	MATERIAL	FUENTE DE LUZ
TIPO LED Ø 22mm	Rojo	220vac	Plástico	Bloque LED fijo
	Verde			
	Azul			
	Amarillo			

Fuente: catatalogo general de productos – 2016, automatizacion y control.

3.3.6. RELE RÁPIDO CON ENTRADA TENSIÓN TRANSITORIA.

Los relés encapsulados son utilizados en control eléctrico y como interfaces en aplicaciones industriales:

- a) Permiten adecuar señales de bajo nivel a un nivel superior, unen el control electrónico (PLC), PC, o buses de campo con el nivel de sensores y actuadores.
- b) Conmutación de tensiones desde (24Vdc a 220Vac), y en corriente desde unos poco 3mA hasta 16A.

Tabla 11: Características del relé

Relés para aplicaciones estándar			
Tensión de control	Número de contactos - Corriente Térmica		
	1 C/O -12 A 5 Pines Referencia	1 C/O -16 A 5 Pines Referencia	2 C/O -8 A 8 Pines Referencia
V			
≡ 6	RSB1A120RD	RSB1A160RD	RSB2A080RD
≡ 12	RSB1A120JD	RSB1A160JD	RSB2A080JD
≡ 24	RSB1A120BD	RSB1A160BD	RSB2A080BD
≡ 48	RSB1A120ED	RSB1A160ED	RSB2A080ED
≡ 60	RSB1A120ND	RSB1A160ND	RSB2A080ND
≡ 110	RSB1A120FD	RSB1A160FD	RSB2A080FD
~ 24	RSB1A120B7	RSB1A160B7	RSB2A080B7
~ 48	RSB1A120E7	RSB1A160E7	RSB2A080E7
~ 120	RSB1A120F7	RSB1A160F7	RSB2A080F7
~ 220	RSB1A120M7	RSB1A160M7	RSB2A080M7
~ 230	RSB1A120P7	RSB1A160P7	RSB2A080P7
~ 240	RSB1A120U7	RSB1A160U7	RSB2A080U7
Bases 12 A ~ 300 V			
Terminales	Tipo de Relé		Referencia unitaria
Separados	RSB 1A120 ●●		RSZE1S35M
	RSB 1A160 ●● (2)		RSZE1S48M
	RSB 2A080 ●●		
Módulos de protección			
Descripción	Para usar con	Tensión	Referencia
Circuito RC	Todas las bases	~ 24...60	RZM041BN7
		~ 110...240	RZM041FU7
Diodo + LED verde	Todas las bases	≡ 6...24	RZM031RB
		≡ 24...60	RZM031BN
		≡ 110...230	RZM031FPD
Varistor + LED verde	Todas las bases	≡ 0 ~ 6...24	RZM021RB
		≡ 0 ~ 24...60	RZM021BN
		≡ 0 ~ 110...230	RZM021FP
Accesorios			
Descripción	Para usar con	Referencia	
Accesorio de sujeción	Todas las bases	RSZR215	
Placa leyenda	Todas las bases	RSZL300	

Fuente: catalogo general de productos – 2016, automatizacion y control.

3.3.7. TERMINALES TIPO PIN SOLIDO

Tabla 12: Características de las terminales tipo pin solido

REF	MODELO	CALIBRE		CORRIENTE	COLOR
		mm ²	AWG		
34444	PTV1.25-12	0.5 – 1.5	22 - 16	19 ^a	Rojo
34450	PTV.2-12	1.5 - 2.5	16 – 14	27 ^a	Azul
34456	PTV5.5-12	4 – 6	12 - 10	48 ^a	Amarillo

Material de aislamiento PVC – terminal cobre.

Fuente: *catatalogo general de productos – 2016, automatizacion y control.*

Figura 35: Terminales tipo pin



Fuente: *catatalogo general de productos – 2016, automatizacion y control.*

3.3.8. BASES ADHESIVAS.

Tabla 13: Características de bases adhesivas

REF.	TAMAÑO(mm)				MATERIAL	COLOR
	ANCHO	LONGITUD	ALTURA	Ø ORIFICIO		
35590	25	25	7.5	3.5	Nilón 66	Blanco
35591						negro

Unidad de empaque: bolsa por 100 unidades

Fuente: *catatalogo general de productos – 2016, automatizacion y control.*

Figura 36: Bases adhesivas



Fuente: *catatalogo general de productos – 2016, automatizacion y control.*

3.3.9. ESTRUCTURA DEL BORNE.

Como lo anticipara, en forma general el borne consta de un cuerpo aislante y de una pieza o elemento metálico conductor que conecta la conexión de entrada o entradas con la de salidas o salidas.

CUERPO.

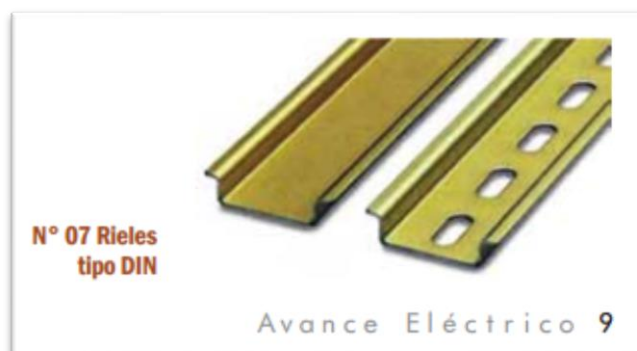
Se construyen con dos tipos de materiales plástico aislante: melanina y poliamida.

La melanina es un tipo de material clasificado como termo rígido, que tiene características de no hidroscoptico o sea que no absorbe la humedad ambiente.

La poliamida en cambio es de tipo termo-plástico.

Ambos materiales tienen una elevada resistencia mecánica y muy buen comportamiento dieléctrico, su temperatura de trabajo es del orden de los 100°C.

Figura 37: *Riel tipo DIN*



FUENTE. Ing. Alberto Luis Farina

3.3.10. MÓDULO DE CONTROL

Se muestra el modulo armado con todos sus elementos de conexión en la Figura.

Figura 38: *Módulo de control con todos sus elementos*



Elaboración: propia

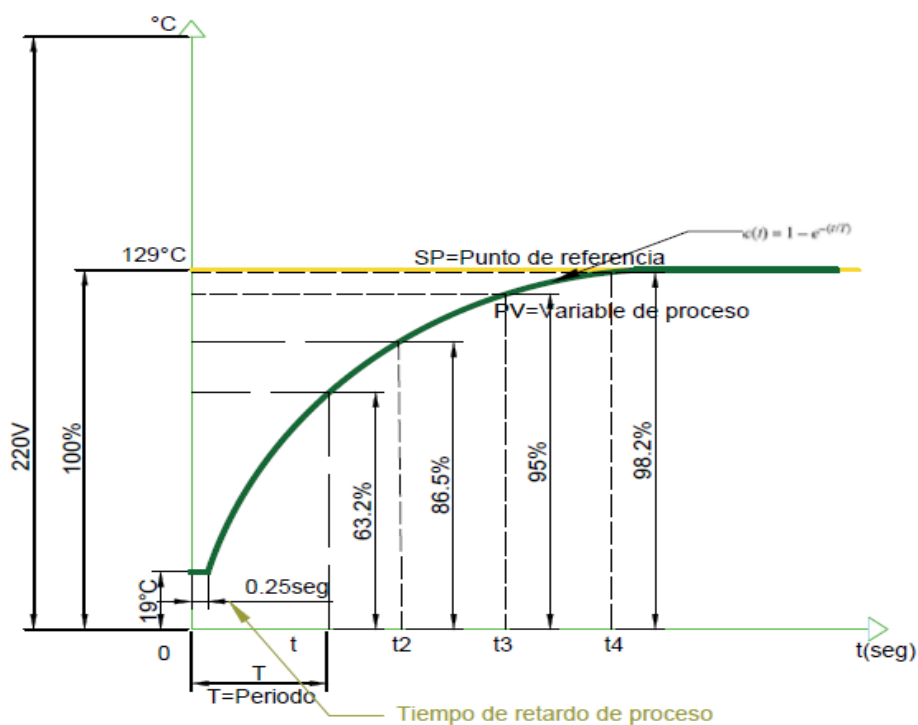
3.4. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

Se utiliza la metodología para modelar el proceso con la función de transferencia de primer orden en el dominio Laplace, usando los siguientes pasos.

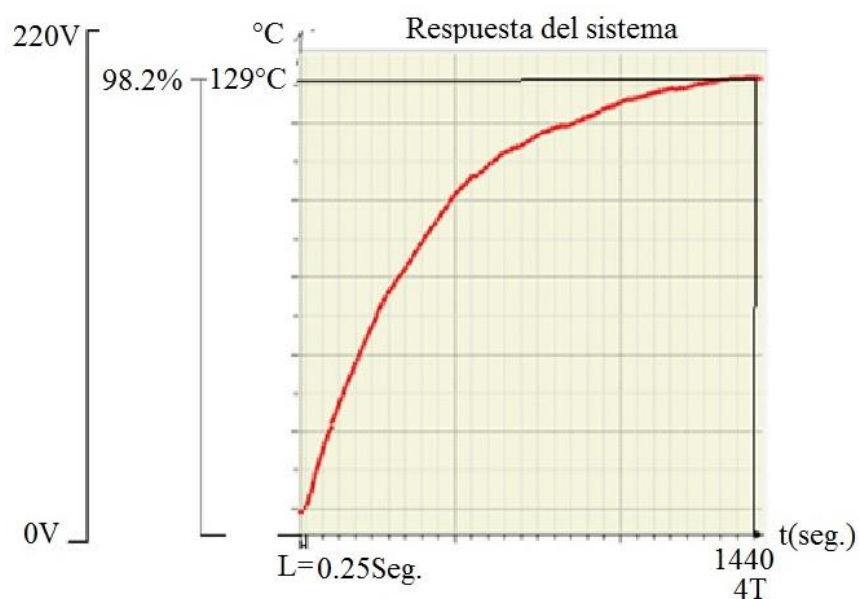
- a) Ensayo experimental para obtener el modelo matemático de la función de transferencia de primer orden.

Se hizo un ensayo experimental para obtener la temperatura máxima, donde llego hasta una temperatura de 129°C según se muestra en la figura.

Figura 39: *Diseño de curva de repuesta exponencial*



Elaboración: Propia

Figura 40: Curva de respuesta exponencial obtenida en el ensayo

Elaboración: Propia

Modelo matemático de primer orden con tiempo de retardo:

Para obtener el modelo matemático de primer orden con tiempo de retardo, se utilizó la ecuación 24.

Donde se tiene los siguientes parámetros:

K : Ganancia.

L : Tiempo de retardo.

τ : Constante de tiempo

Datos del ensayo.

$$\text{Temperatura Maxima } (T_{max}) = 129^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Temperatura ambiente } (T_{amb}) = 19^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Tension de encendido } (T_N) = 220V$$

$$\text{Tension apagada } (T_0) = 0V$$

$$\text{Tiempo de retardo } (L) = 0.25s$$

$$\text{Tiempo maximo } (\tau_{max}) = 1440s$$

Ganancia (K) :

Usando la ecuación 26. Y Reemplazando valores del ensayo en la ecuación tenemos la ganancia para nuestro modelo matemático

$$K = \frac{129 - 19}{220 - 0}$$

$$K = 0.5$$

Calculando la constante de tiempo (τ):

Usando la figura 8. La curva de respuesta exponencial a un 98.2% tenemos la constante de tiempo será.

$$t = 4 \tau \dots \dots \dots (Ec. 28)$$

Despejando τ, tenemos la constante de tiempo expresado en la siguiente ecuación.

$$\tau = \frac{\tau_{max} - L}{4} \dots \dots \dots (Ec. 29)$$

Reemplazando valores en la ecuación 29:

$$\tau = \frac{1440 - 0.25}{4}$$

$$\tau = 359.938$$

Reemplazando valores en la ecuación 24. La función de transferencia de nuestro modelo matemático de primer orden con tiempo de queda expresado de la siguiente manera.

$$G_{(s)} = \frac{0.5 * e^{-0.25s}}{359.938s + 1}$$

b). Implementación del controlador PWM al modelo matemático obtenido anteriormente.

Controlador proporcional integral derivativo (PID)

Para obtener la función de transferencia del controlador PID, se utilizó la ecuación 23.

Donde se tiene los siguientes parámetros:

K_p : Ganancia proporcional

τ_i : Tiempo integral

τ_d : Tiempo derivativo

Utilizando la tabla 4 (sintonía de Ziegler-Nichols).se calcula los parámetros del controlador PID.

Ganancia proporcional (K_p).

Utilizando la tabla 4, tenemos la siguiente ecuación.

$$K_p = \frac{1.2 * \tau}{K * L} \dots \dots \dots (Ec. 30)$$

Reemplazando valores en la ecuación 30:

$$K_p = \frac{1.2 * 359.938}{0.5 * 0.25}$$

$$K_p = 3455.405$$

Calculamos el tiempo integral (τ_i).

Utilizando la tabla 4, tenemos la siguiente ecuación.

$$\tau_i = 2L \dots \dots \dots (Ec. 31)$$

Reemplazando valores en la ecuación 31:

$$\tau_i = 2 * 0.25$$

$$\tau_i = 0.5$$

Calculamos el tiempo derivativo (τ_d).

Utilizando la tabla 4, tenemos la siguiente ecuación.

$$\tau_d = 0.5L \dots \dots \dots (Ec. 32)$$

Reemplazando valores en la ecuación 32:

$$\tau_d = 0.5 * 0.25$$

$$\tau_d = 0.125$$

Entonces los parámetros (independientes) de nuestro controlador PID son:

$$K_p = 3455.405$$

$$\tau_i = 0.5$$

$$\tau_d = 0.125$$

Reemplazando valores en la ecuación 23, tenemos la función de transferencia de nuestro sistema:

$$G_c(s) = 3455.405 \left(1 + \frac{1}{0.5s} + 0.125s \right)$$

Modulación de ancho de pulso (PWM)

Donde T es el periodo, se tiene buena estabilidad cuando el periodo está dentro del rango que se muestra a continuación.

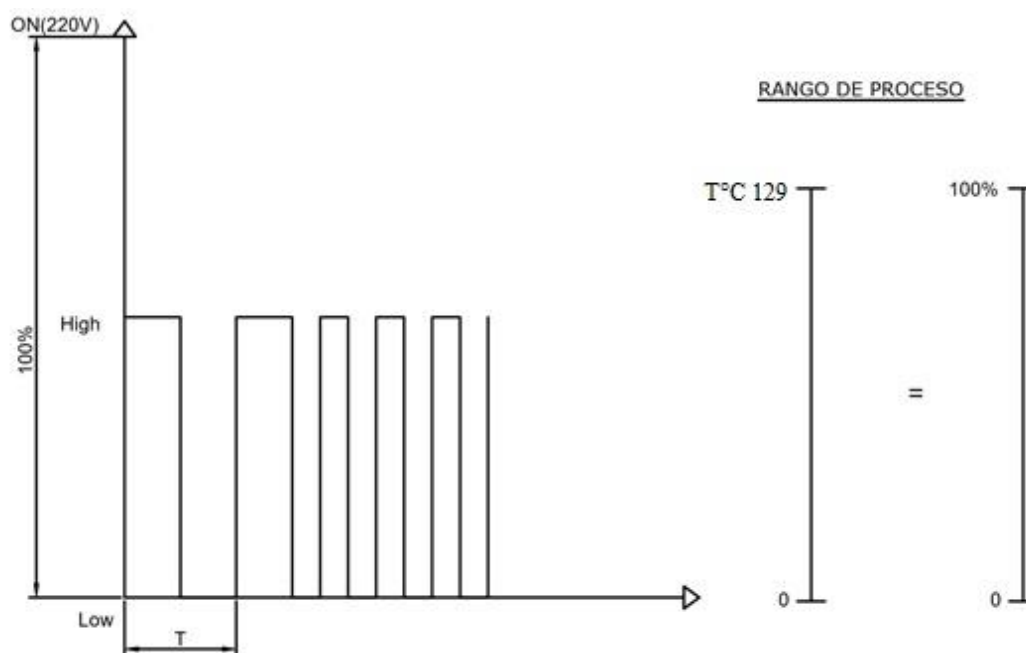
$$\left(\frac{\tau}{20} < T < \frac{\tau}{10}\right)$$

Reemplazando la constante de tiempo calculado.

$$\left(\frac{359.938}{20} < T < \frac{359.938}{10}\right)$$

$$(17.9 < T < 35.9)$$

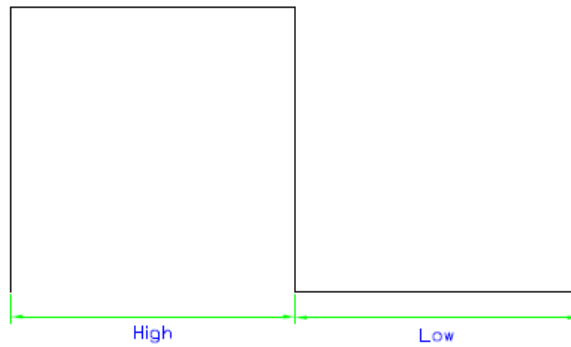
Figura 41: *Diseño del funcionamiento del PWM*



Elaboración: Propia

El PWM se utiliza para regular la temperatura.

Figura 42: Esquema de periodo



Elaboración: Propia

$$High = \frac{T \times CV}{100} =$$

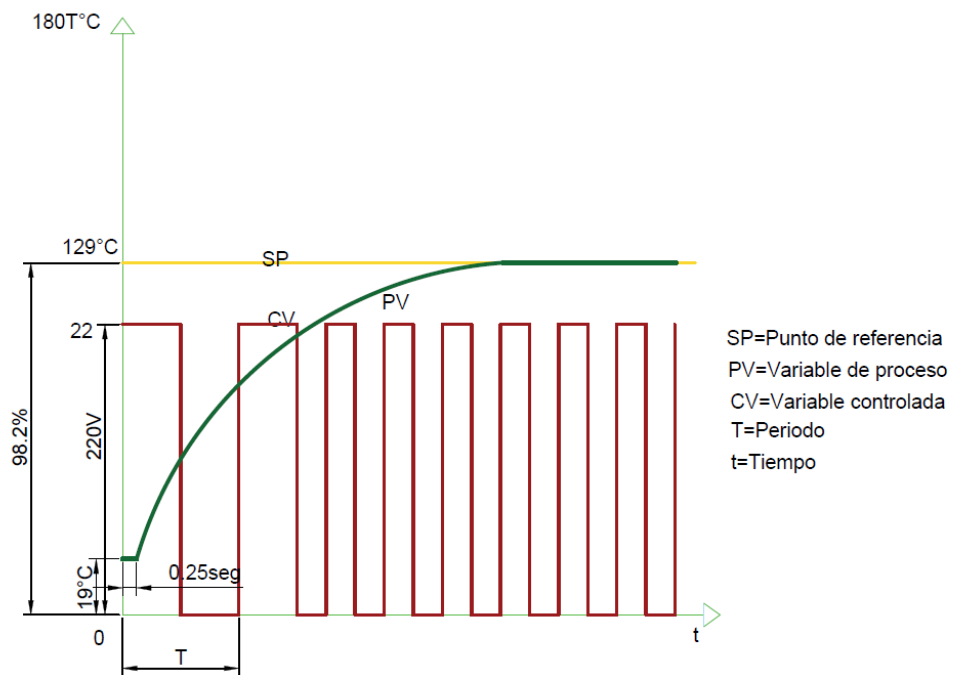
$$Low = T - High$$

Los valores de *High* y *low* son variables que dependen de la estabilidad de la temperatura

Donde *High* (Alto) y *low* es (bajo)

A continuación, se muestra un esquema estable por el controlador PWM

Figura 43: Esquema de controlador PWM



SP=Punto de referencia
 PV=Variable de proceso
 CV=Variable controlada
 T=Periodo
 t=Tiempo

Elaboración: Propia

c). Simulación de proceso de control con el controlador

Elaboración en el software

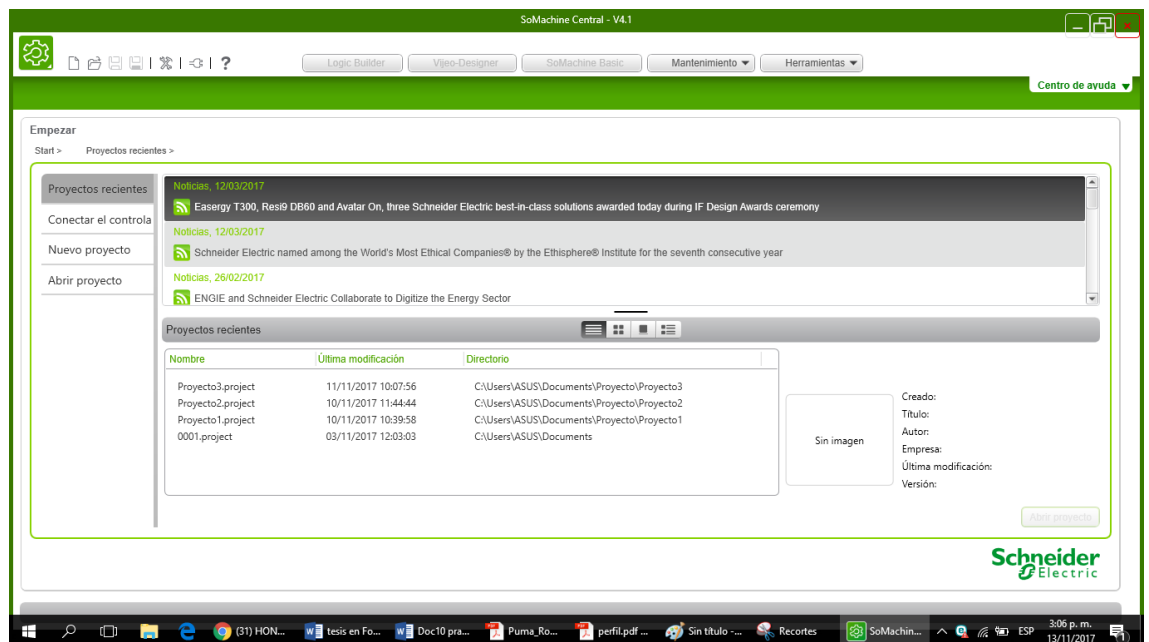
Para trabajar con el PLC Modicón TM241CE24R se necesita proceder con los siguientes pasos.

- a) Establecer elaboración conexión entre el PLC y la PC
- b) Programación del PLC (SoMachine)

3.5. PROCEDIMIENTO Y ANALISIS DE DATOS.**3.5.1. Software de comunicación SoMachine**

El SoMachine es un software que nos permite comunicar entre el PLC Modicón TM241CE24R y la computadora. Se puede verificar la ventana principal del software en la figura.

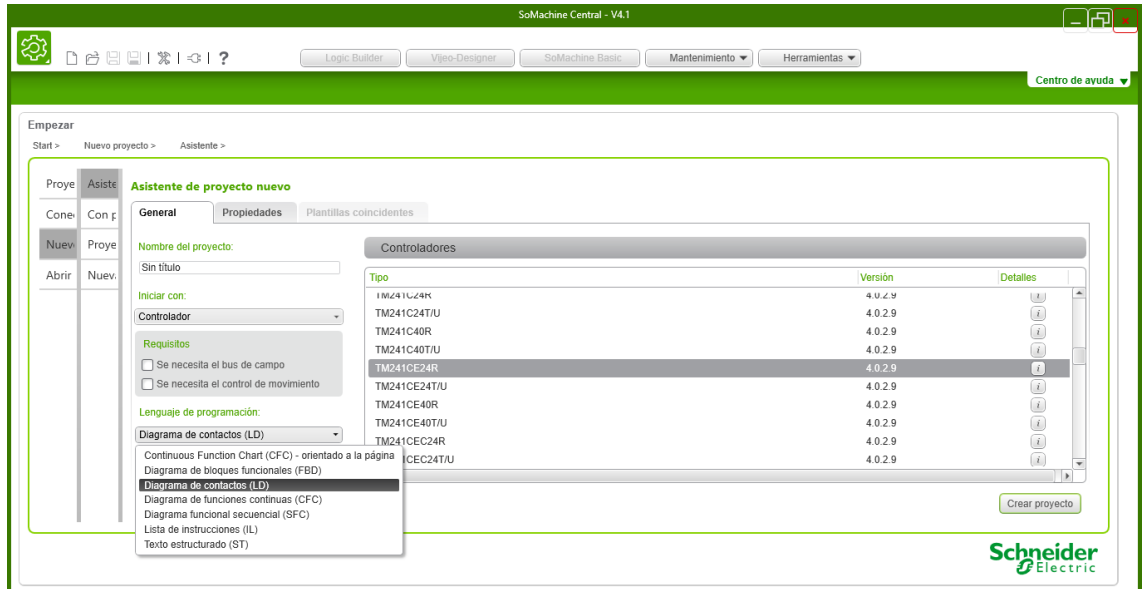
Figura 44: Vista principal de software SoMachine



Elaboración: Propia

En la siguiente figura se puede ver lenguaje de programación y el PLC a utilizar. El lenguaje de programación donde se elabora es el diagrama de contactos (LD) donde el PLC lo ejecutara y controlara la temperatura del actuador.

Figura 45: De selección de lenguaje de programación y PLC



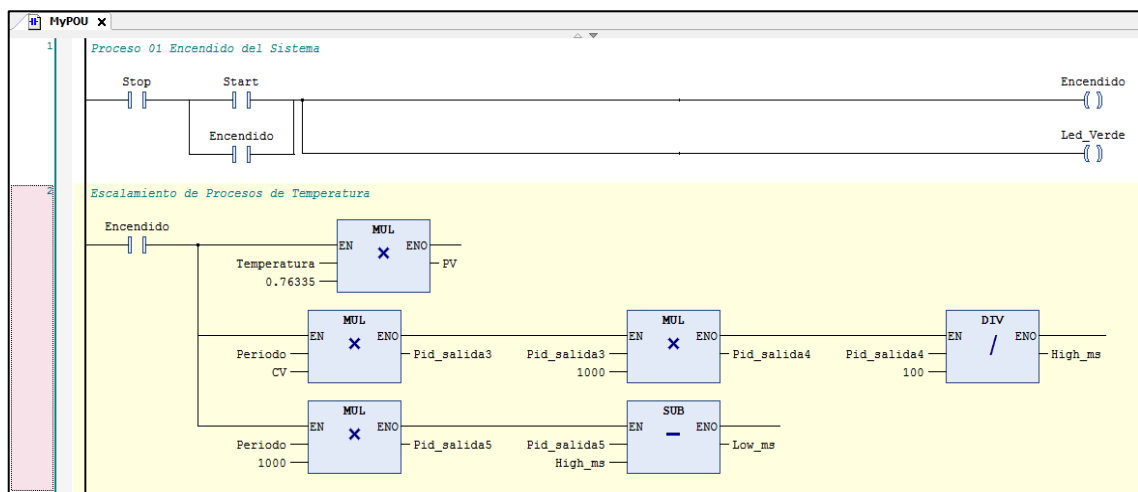
Elaboración: Propia

3.5.2. Procesos de programación:

Se utilizan los datos obtenidos en el proceso de programación.

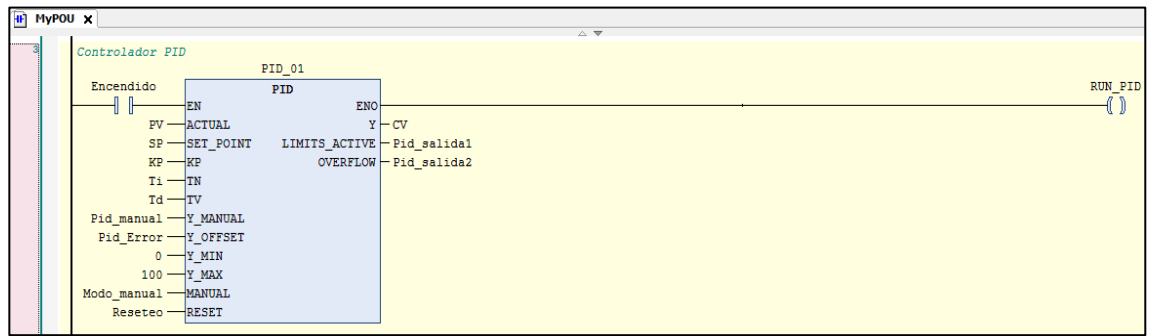
Proceso 1:

Figura 46: Programación de encendido del sistema y escalamiento de proceso de temperatura



Elaboración: Propia

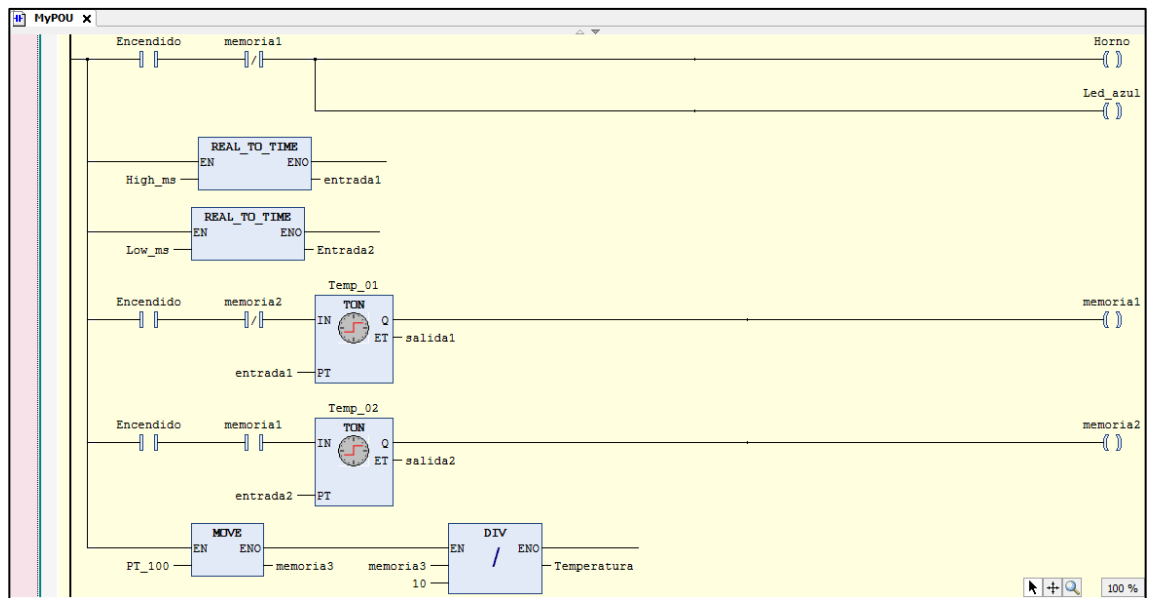
Figura 47: Programación PID



Elaboración: Propia

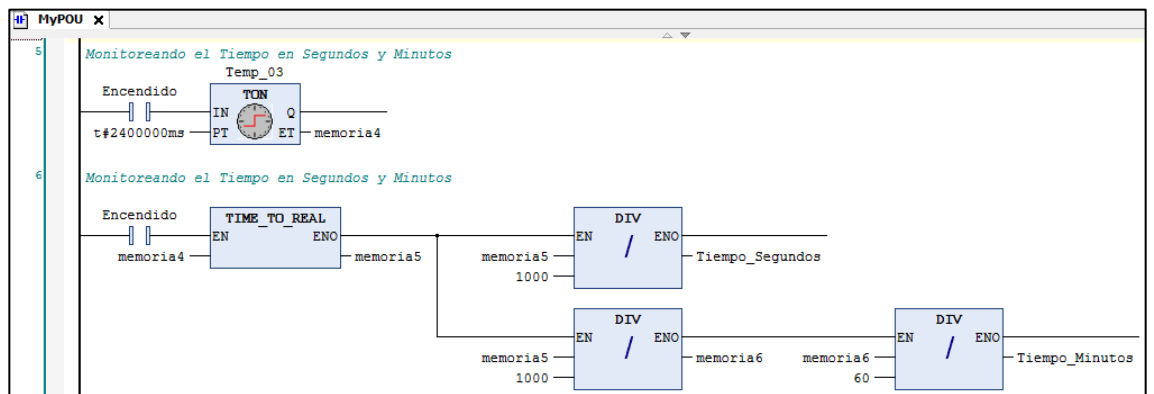
Proceso 2:

Figura 48: Programación de Monitoreo de Temperatura



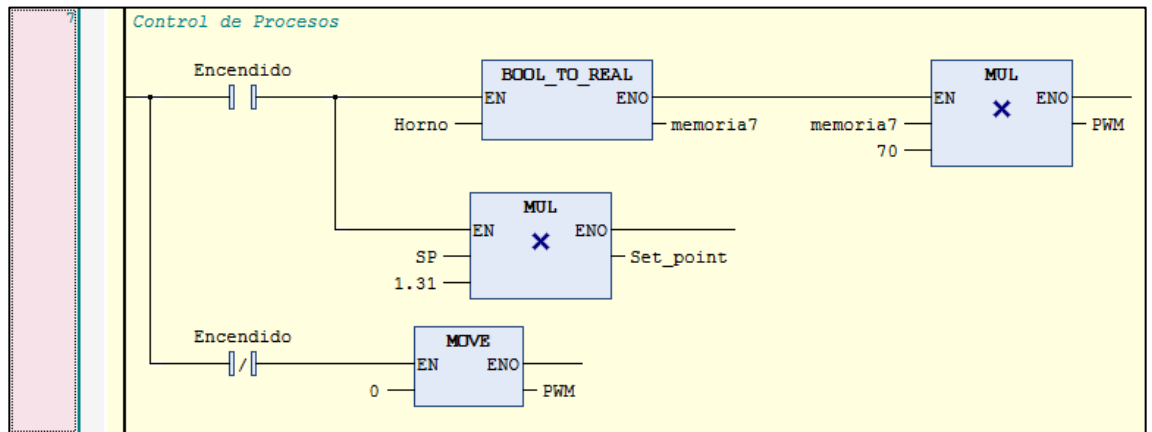
Elaboración: Propia

Figura 49: Programación de monitoreo de tiempo en segundos y minutos



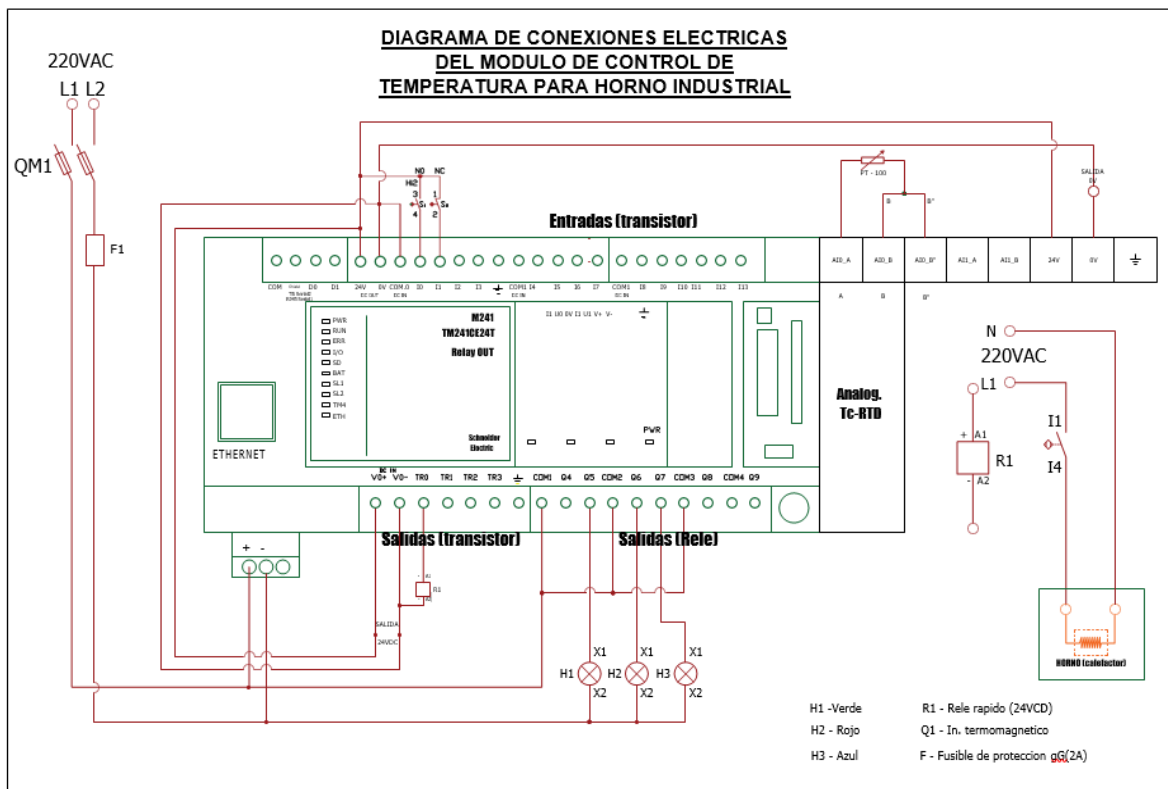
Elaboración: Propia

Figura 50: Control de procesos



Elaboración: Propia

Figura 51: Conexión eléctrica del proyecto



Elaboración: Propia

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

Pruebas de control de la temperatura a distintos periodos y puntos de referencia según se muestra en las figuras.

Donde:

El color verde: Es la variable de proceso (temperatura)

El color rojo: Es la variable controlada (PWM)

El color amarillo: Es el punto de referencia (set_point)

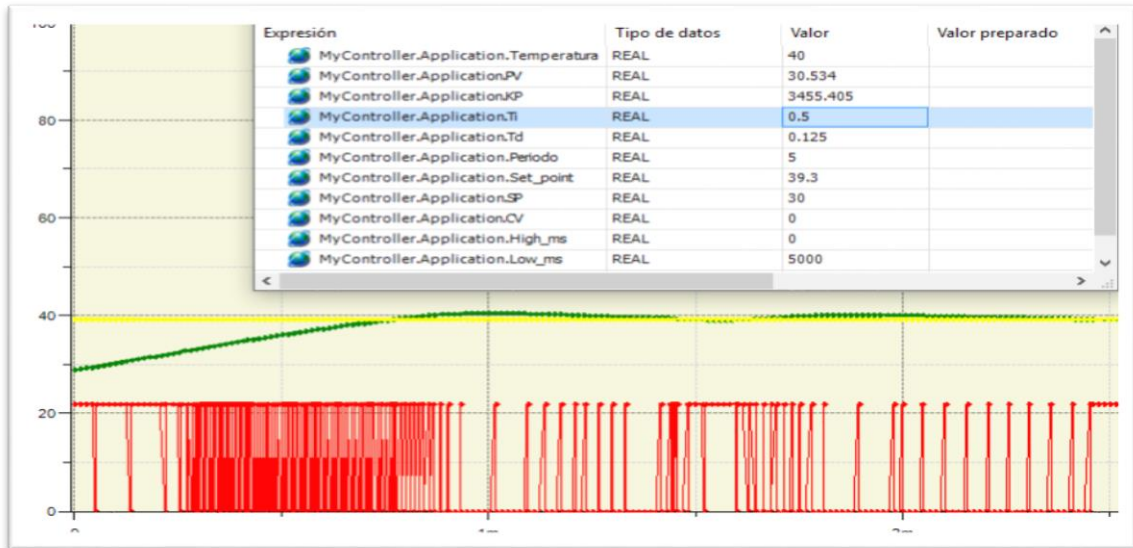
Figura 52: *Colores de las variables*



Elaboración: Propia

PRUEBA 1: Le damos un periodo de 5 segundos y le damos el punto de referencia de 39.3°C. La temperatura se mantiene en 40°C tal como se muestra en la figura 53.

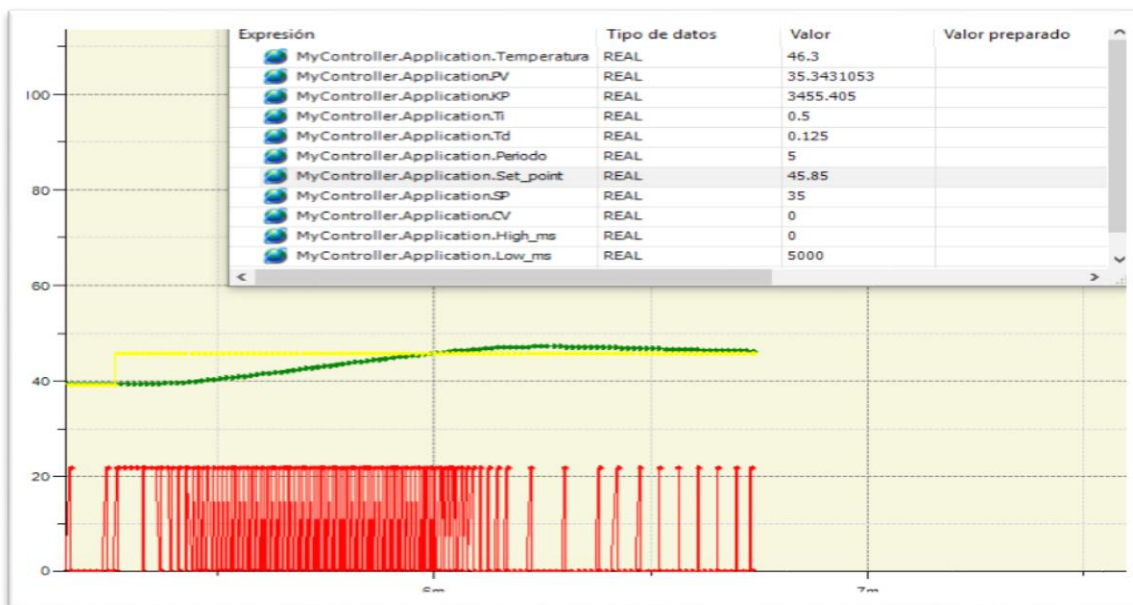
Figura 53: Comportamiento de la temperatura a un set_point de 39.3°C y un periodo de 5 seg



Elaboración: Propia

PRUEBA 2: Le damos un periodo de 5 segundos y le damos el punto de referencia de 45.85°C. La temperatura se mantiene por 45.3°C tal como se muestra en la figura 54.

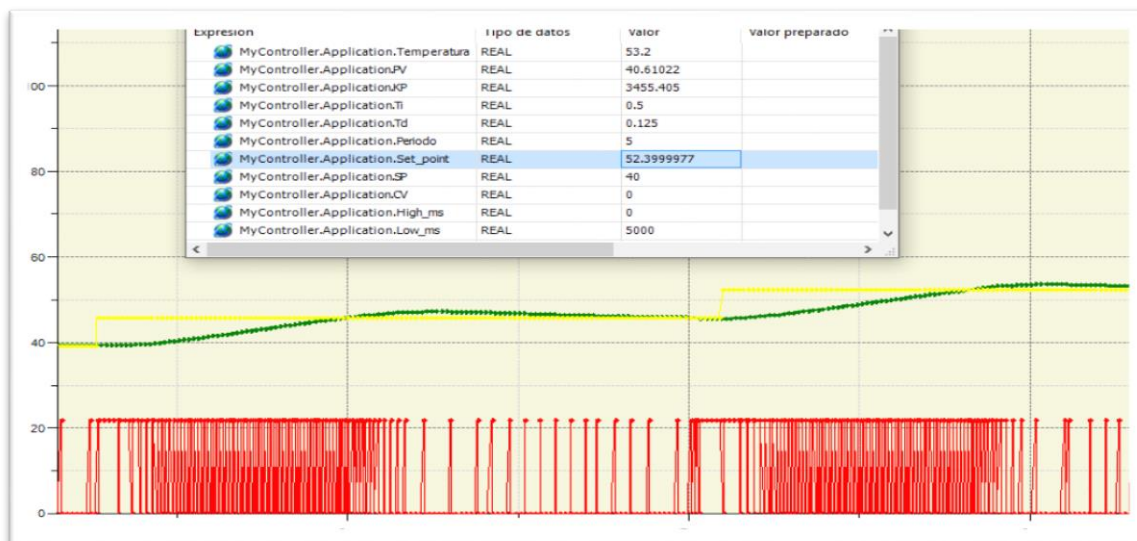
Figura 54: Comportamiento de la temperatura a un sep_point De 45.85°C y un periodo de 5seg



Elaboración: Propia

PRUEBA 3: Le damos un periodo de 5 segundos y le damos el punto de referencia de 53.39°C. La temperatura se mantiene por 52.2°C tal como se muestra en la figura 55.

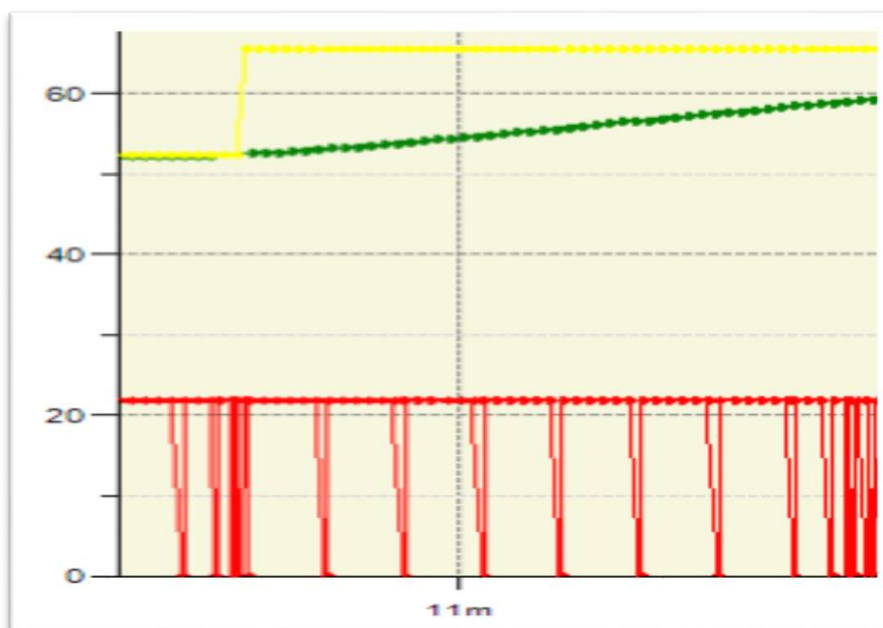
Figura 55: Comportamiento de la temperatura a un set_point de 52.39°C y un periodo de 5seg



Elaboración: Propia

PRUEBA 4: Le damos un periodo de 5 segundos y cambiamos nuestro punto de referencia de 53.39°C a 65.5°- C. En el grafico se puede apreciar un salto del set-point.

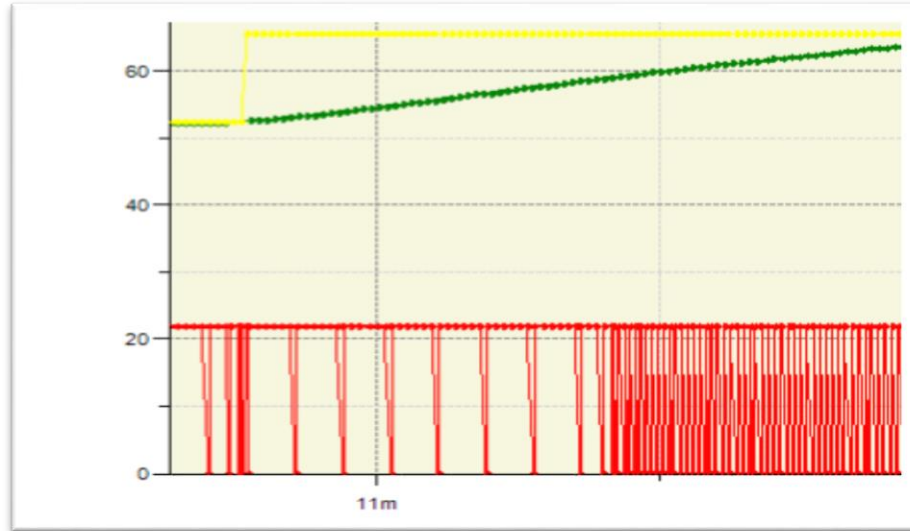
Figura 56: Salto del set_point a 65.5°C y en un periodo de 5 seg



Elaboración: Propia

En el siguiente grafico podemos notar como va aumentando la temperatura para poder alcanzar hasta punto de referencia.

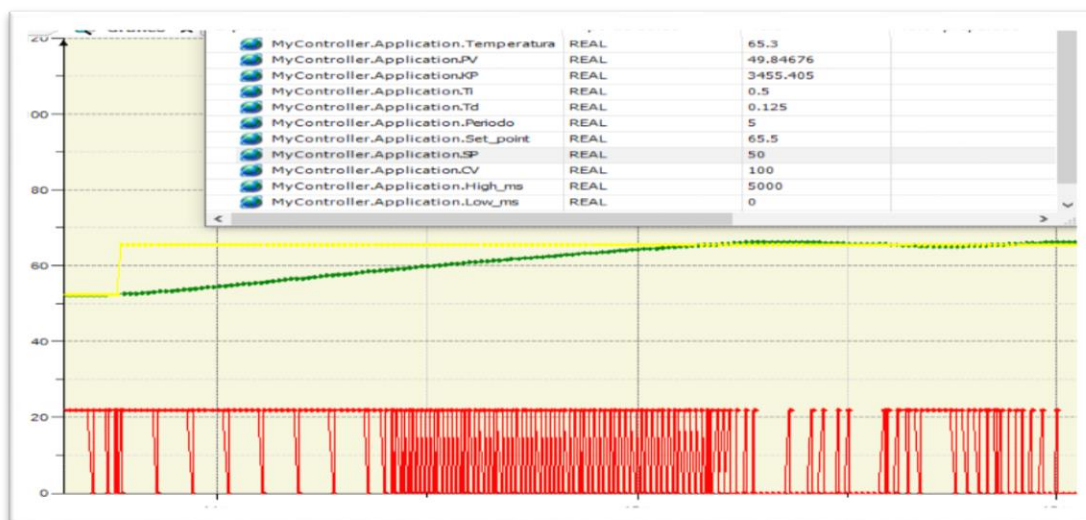
Figura 57: Aumento de la temperatura para alcanzar al set_point



Elaboración: Propia

En el siguiente grafico se puede apreciar cómo llega a alcanzar a nuestro punto de referencia después de un tiempo. Donde el periodo es de 5 segundos y nuestro punto de referencia es de 65.5°C, la temperatura se mantiene en 65.3°C. Tal como se muestra en la figura.

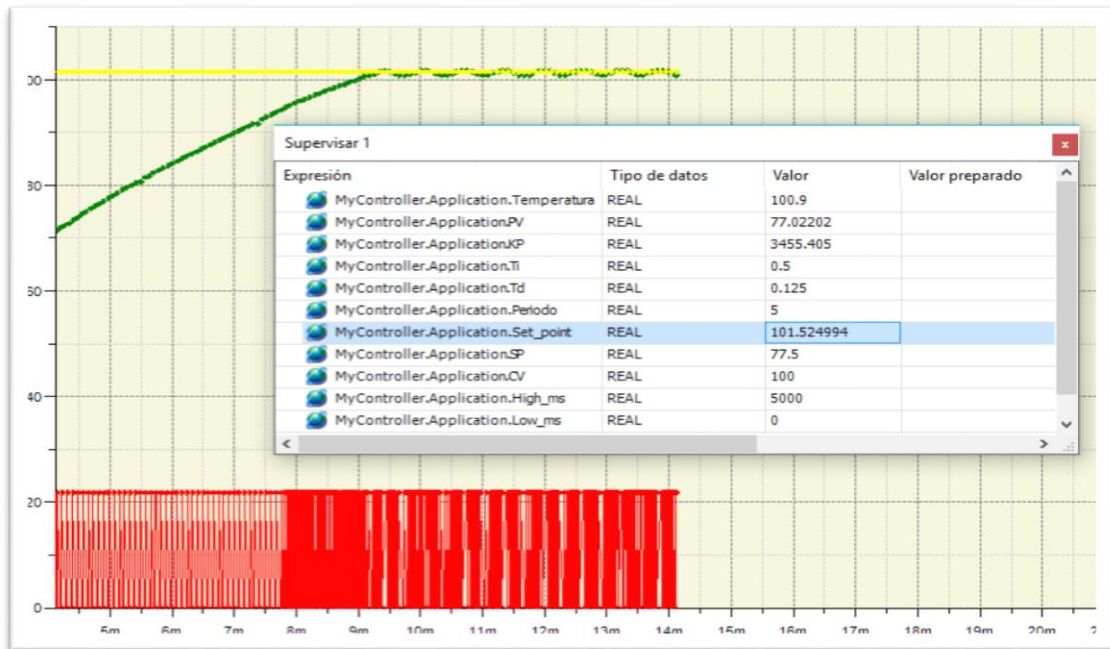
Figura 58: Comportamiento de la temperatura a un sep_point de 65.5°C y un periodo de 5seg



Elaboración: Propia

Prueba 5: Le damos un periodo 5 segundos y le damos el punto de referencia de 101.52°C. La temperatura se mantiene por 100.9 °C tal como se muestra en la figura.

Figura 59: Comportamiento de la temperatura a un set_point de 101.52°C y un periodo de 5seg



Elaboración: Propia

4.2. DISCUSIÓN

Se menciona las siguientes comparaciones.

- comparación con la tesis de, **Julio C. Delgado López, Jacobo Montoya Becerra y Oscar A. Sandoval Rodríguez. “control de temperatura con el PLC S7-200” (2007). Universidad autónoma de zacatecas.**

En esta tesis el control realizado por el PLC S7-200 de siemens en el centro de cómputo es preciso y estable. Claramente se observa la temperatura del cuarto es alterada por el calor de las computadoras, y como el control compensa la temperatura deseada.

En nuestro caso realizamos el control de la temperatura con un PLC MODICON M241 TM241CE24R en un nuestro modulo la tempera es estable. Se

puede observar en las pruebas realizadas como la temperatura se adecua al punto de referencia (set_point)

- b) Comparación con la tesis de, **Isaac Salomón Jiménez Escamilla. “control de temperatura de un horno industrial mediante lógica difusa” (2012). Universidad tecnológica de la mixteca.**

Se puede decir que el control difuso responde de manera satisfactoria y estable, a pesar de que presentaron errores que parecen grandes, el error máximo fue de apenas el 3.8%, para rampas y permanencias de subida mayores de 220°C, para rampas y permanencias de bajada mayores a 500°C se obtuvo un error máximo de 1.5%.

En nuestro caso el controlador PWM usando el PLC, en las pruebas realizadas se controla la temperatura satisfactoriamente, manteniendo la temperatura deseada con un error de 2%.

- c) Comparación con la tesis de, **José Fabio Arguedas Romero. “sistema de control automático para un horno industrial” (2010). Instituto Tecnológico de Costa Rica.**

El control automático de temperatura del horno por medio del regulador PID programado en el PLC, disminuyó el tiempo de estabilización de la temperatura del horno y corrigió el error de estado estacionario.

En nuestro caso utilizando el PLC MODICON M241 TM241CE24R que tiene el bloque proporcional integral Derivativo (PID) y su ajuste PWM que integra el controlador, logramos corregir el error de estado estacionario y controlar la temperatura respecto al set_point (punto de referencia).

- d) Comparación con la tesis de, **Isaac Ramírez Enríques. “control PID de temperatura con PLC siemens S7-300 y allen bradley SLC 500” (2017). Universidad Nacional Autónoma de México.**

Los dos PLC utilizados, hizo falta una mayor acción de control en los primeros 2 minutos y medio del proceso para que durante ese lapso se alcanzara el 68% de los valores en estado permanente. Además, aunque fueron valores cercanos, la temperatura en estado permanente de todos los casos no fue igual a su respectivo set_point, lo que indica una necesidad una mayor componente integrar de control. Sin embargo, para ambos materiales tubo un mejor desempeño el PLC siemens S7-300 que el allen bradley SLC 500.

En nuestro caso usando la modulación de ancho y el PLC MODICON M241TM241CE24R PLC se ha logrado controlar la temperatura a un error menor de 2% del set_point.

CONCLUSIONES

PRIMERO: Aplicando el PLC MODICON M241 TM241CE24R que tiene el bloque proporcional integral Derivativo (PID) y su ajuste PWM que integra el controlador, logramos controlar la temperatura a un 1.8% de error del set_point (punto de referencia).

SEGUNDO: Se ha logrado sintonizar la relación de la modulación de ancho de pulso en el PLC MODICON M241 TM241CE24R, utilizando el periodo high y low usando los parámetros de PID.

TERCERO: Se ha logrado llegar a controlar la variable del proceso (temperatura), usando la modulación de ancho de pulso (PWM) de una manera estable controlando la temperatura a un 98.2%, eliminando el error de estado estacionario.

RECOMENDACIONES

PRIMERO: Los resultados obtenidos se podrán utilizar (modelamiento de planta de control de temperatura), para optimizar la eficiencia energética en otros procesos que tenga relación con la modulación de ancho de pulso.

SEGUNDO: Se recomienda a futuros estudiantes que tengan interés en la investigación de control de temperatura mediante la modulación de ancho de pulso usando un PLC de gama alta, y aún más recomendable sería la implementación de más tipos de control de proceso, para hacer comparaciones entre los resultados obtenidas por estas.

TERCERO: Extender los estudios expuestos en esta tesis al estudio de control de temperatura en diferentes campos de aplicación.

CUARTO: Los estudios realizados en este proyecto se pueden utilizar en un sistema de refrigeración, ya que el sensor pt-100 puede registrar temperaturas por debajo de cero.

REFERENCIAS

- Arguedas Romero, J. F. (Noviembre de 2010). Sistema de control automatico para un horno industrial. cartago, Costa Rica .
- ARIAN. (s.f.). pt100, Su operacion instalacion y tablas .
- Bolton, W. (2001). *Ingeniería de control*. mexico: Alfaomega.
- Calvopina Esquivel, G. H., & Quimuña Llumiquinga, P. D. (2011). Diseño e implementacion de un controlador de velocidades de un motor monofasico utilizando la tecnica de control mediante modulacion de ancho de pulso sinusoidal (SPWM) de dos y tres niveles. Quito.
- Castillo Velasquez, C. E., & Martinez Garcia, J. J. (2015). Propuesta de un sistema de control para temperatura y presion en el proceso de hidrolizado de plumas mediante el estudio y analisis de la estrategias de control en la empresa APRINOR S.A.C de la ciudad de trujillo. trujillo, Peru.
- Delgado Lopez, J., Montoya Becerra, J., & Saldoval Rodriguez, O. (29 de Junio de 2007). Control de temperatura con el PLC S7-200. Zacatecas, Mexico.
- Díez, A., Díaz, I., & Robles, A. (2009). *Sintonización de PIDS y Control Digital*.
- EBCHQ. (2016). Catalogo general de productos.
- Hernandez Gaviño, R. (2010). *introduccion a los sistemas de control*. Mexico: PEARSON EDUCATION.
- Jimenez Escamilla, I. S. (junio de 2012). Control de temperatura de un horno industrial mediante logica difusa. huajuapan de leon.
- Jimenez Moreno, G. (2006). Elementos y equipos eléctricos.
- Lara hernandez, E. G., & Rocha Nuñez, J. M. (s.f.). Criterio de estabilidad de routh (ingenieria de control).

- Mahammad SAdegh, O. Y. (05 de Febrero de 2017). Un nuevo y mejorado de frecuencia variable carrier-PWM con MOPSO algoritmos para tecnicas de deporte a base de PWM en inversores. Irán: TEM Journal.
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. Madrid: PEARSON EDUCACION .
- Ojasvi Aryan, K., & Nitin, K. (Junio de 2016). Diseño del sistema de control para hornos con multiples pasadas paralelas. India: Elsevier.
- Perez Vega, C. (s.f.). modulacion de pulsos.
- Perez, M. A., Perez Hidalgo, A., & Perez Berebguer, E. (2008). Control.
- Pollan Santamaria, T. (s.f.). modulacion de anchura de pulsos.
- Ramirez Enriques, I. (2017). Control PID de temperatura con PLC siemess S7-300 y allen bradley SLC 500. Mexico.
- Ridong, Z. (2017). Diseño de ordenación fraccional basado en el espacio de estado extendido no minimo MPC para la temperatura en un horno de calefaccion eléctrica industrial. Hong Kong, China: Elsevier.
- Steren. (s.f.). El ABC de la mecatronica.
- Steren. (s.f.). *El ABC de la mecatronica*.
- Valencia Miranda, A. (s.f.). Introduccion a la Ingeniería de Telecomunicaciones. Lima, Perú.

ANEXOS

ANEXO A: ESTRUCTURA DEL MODULO



Elaboración: Propia

ANEXO B: COMPONENTES DEL MODULO



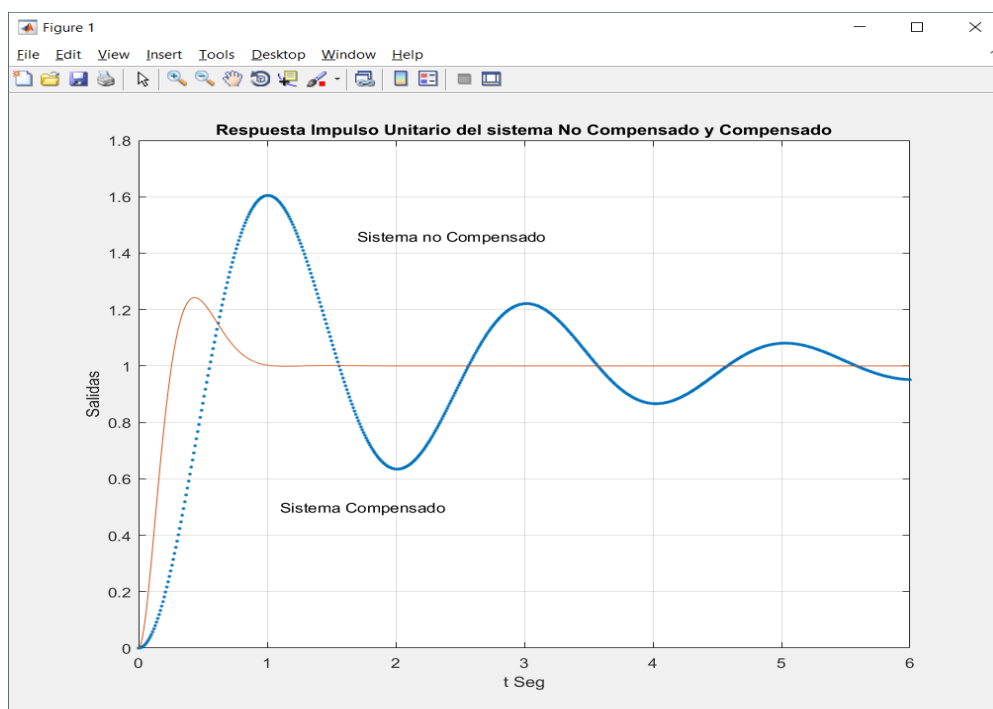
Elaboración: Propia

ANEXO C: ACTUADOR DE TEMPERATURA



Elaboración: Propia

ANEXO D: RESPUESTA IMPULSADO UNITARIO DEL SISTEAM NO COMPENSADO Y COMPENSADO



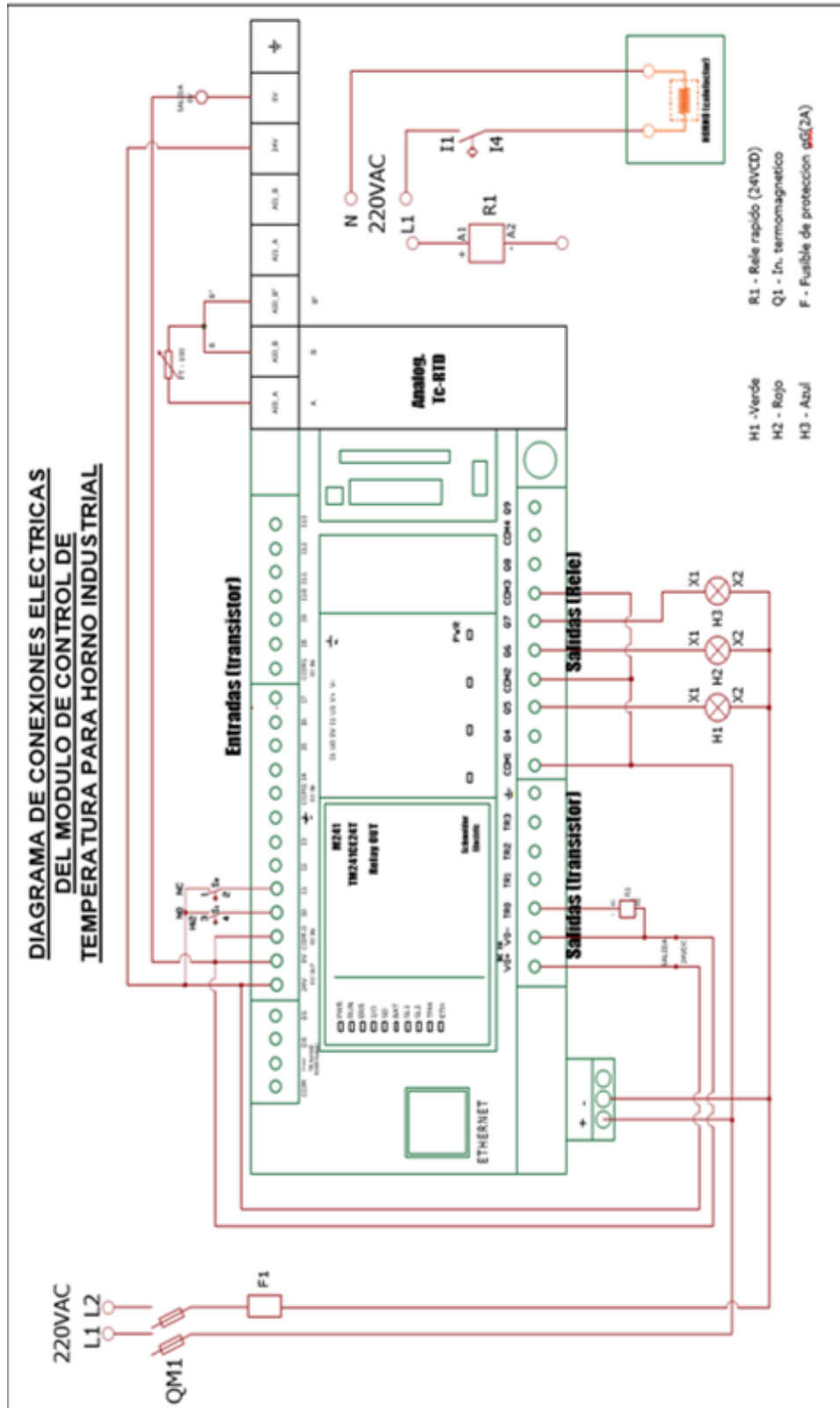
Elaboración: Propia

ANEXO E: MÓDULO DE CONTROL DE TEMPERATURA



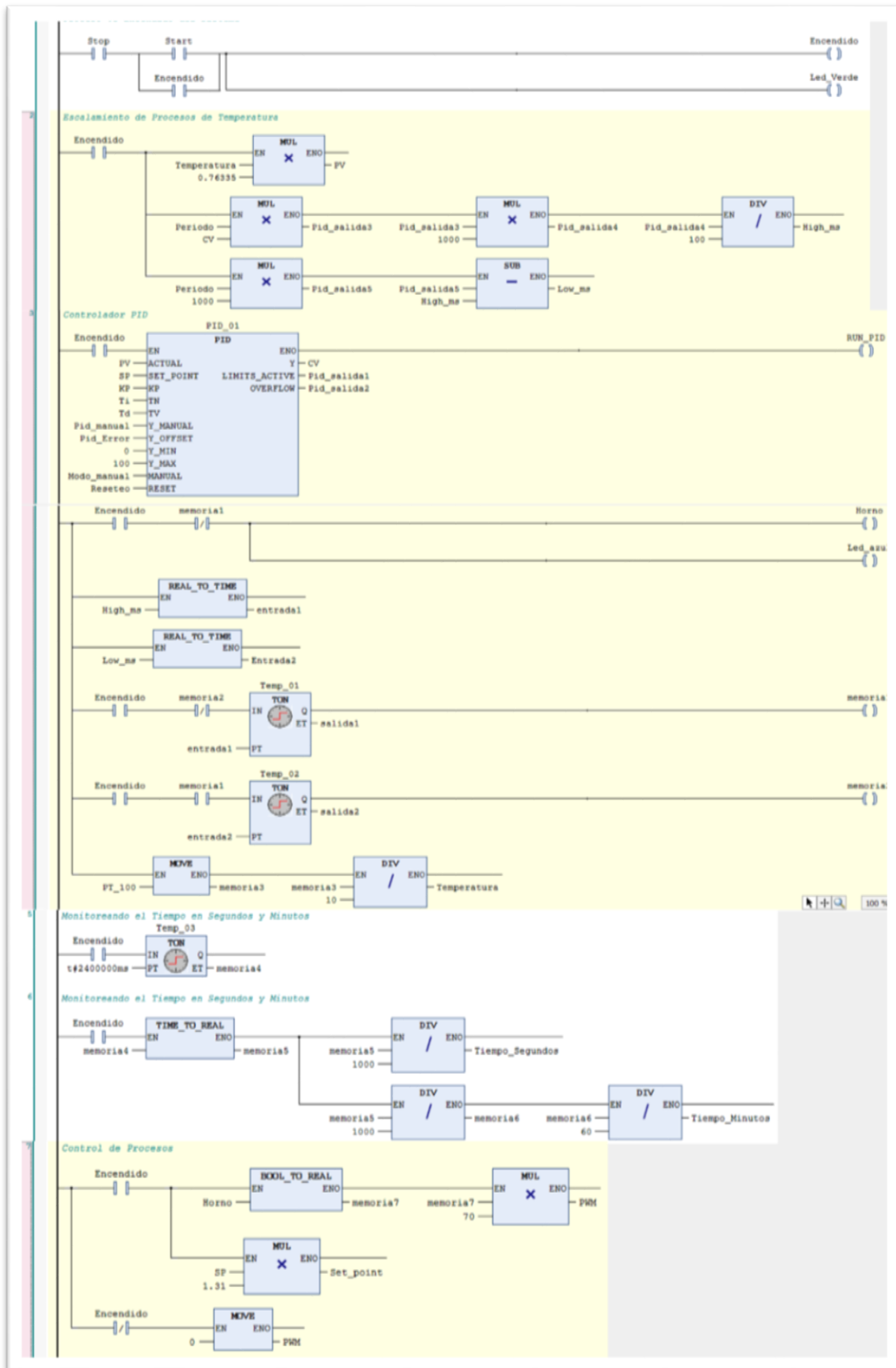
Elaboración: Propia

ANEXO F: DIAGRAMA DE CONEXIONES ELÉCTRICAS



Elaboración: Propia

ANEXO G: LENGUAJE LADER (SOFTWARE SOMACHINE)



Elaboración: Propia