



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN CONTROL DIFUSO DEL

NIVEL DE TEMPERATURA EN UN HORNO ELECTRICO

USANDO UN PLC DE LA SERIE SIMATIC S7-1200”

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. CARLOS NOEL HUMPIRI ROJO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

PUNO – PERÚ

2020



DEDICATORIA

Dedicado a todos los docentes, estudiantes e investigadores de la escuela profesional de ingeniera electrónica.

*A mis amados padres **Andrea Rojo Cruz** y **Eladio Humpiri Curo**, quienes son y serán siempre una inspiración constante de lucha por seguir adelante en esta vida.*

*A mis sobrinos, **Marco Antonio**, **Mireia**, **Ronaldo**, **Joaquín**, **Ian** y **Jahír** quienes son la motivación de seguir adelante.*

Carlos Noel Humpiri Rojo.



AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme la oportunidad de ser profesional al servicio de la sociedad.

*A gradezco a mi alma mater **Universidad Nacional Del Altiplano** y a todos los docentes de la escuela profesional de ingeniería electrónica, principalmente, a mi asesor **Ing. David Salinas Mendoza** por su apoyo en esta investigación y motivación constante.*

*A mi hermano y hermanas, **Fredy, Yobana y Liliana**, por sus consejos y quienes son un ejemplo constante.*

*A **Siomara Yelka**, por su apoyo para realizar esta investigación, creer en mí, y estar a mi lado en este camino de la vida.*

Carlos Noel Humpiri Rojo.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE ACRÓNIMOS

RESUMEN 11

ABSTRACT 12

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 13

1.1.1. PROBLEMA GENERAL 13

1.1.2. PROBLEMA ESPECIFICO 13

1.2. OBJETIVO DE LA INVESTIGACION 14

1.2.1. OBJETIVO GENERAL..... 14

1.2.2. OBJETIVO ESPECIFICO 14

1.3. JUSTIFICACION 14

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEORICO 15

2.1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION 15

2.1.2. SENSOR DE TEMPERATURA..... 18

2.1.3. TRANSMISOR..... 20

2.1.4. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)..... 21



2.1.5. STEP 7 Basic	22
2.1.6. INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	22
2.1.7. SISTEMA DE CONTROL (CREUS, 2010).....	24
2.2. CONTROL DIFUSO.....	26
2.2.1. INTERFAZ DE FUSIFICACION.....	28
2.2.2. BASES DE CONOCIMIENTO.	28
2.2.3. INTERFAZ DE DEFUSIFICACION.....	29
2.2.4. MÉTODO DEL CENTRO DE GRAVEDAD.	30
2.3. CARACTERÍSTICAS DEL STEP7	31
2.3.1. LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN:.....	31
2.3.2. TIPO DE DATOS	33
2.3.3. UNIDADES DE ORGANIZACIÓN DEL PROGRAMA	33

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	38
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN.....	38
3.2.1. POBLACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	38
3.2.2. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	38
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	39
3.3.1. SENSOR DE TEMPERATURA.....	40
3.3.2. TRANSMISOR DE TEMPERATURA.....	41
3.3.3. INTERFACE ANALÓGICA – PWM.....	45
3.3.4. RELÉ DE ESTADO SÓLIDO (SSR).....	48
3.4. DESARROLLO DEL PROGRAMA EN EL CONTROLADOR	49
3.4.1. FUSIFICACION	49



3.4.2. INFERENCIA..... 53

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS..... 59

4.2. DISCUSIÓN:..... 65

V. CONCLUSIONES 66

VI. RECOMENDACIONES 67

VII. REFERENCIAS 68

ANEXOS..... 70

ÁREA : Automatización e instrumentación

TEMA : Instrumentación y control de procesos

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 11 de junio del 2020



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Exactitud de transmisores.....	20
Tabla 2: Tipos de datos STEP 7.	33
Tabla 3: Funciones matemáticas.....	36
Tabla 4: Comparación de variables	36
Tabla 5: Variables fuente	37
Tabla 6: Rango de medidas de tensión.	43
Tabla 7: Reglas Lingüísticas	53
Tabla 8: Resumen de resultados en las pruebas.	65



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Curva de resistencia relativa de metales/temperatura.....	19
Figura 2: Curva característica de un RTD Pt100.	19
Figura 3: Partes de un PLC Siemens	22
Figura 4: Diagrama de bloques de un panel de operación	23
Figura 5: KTP400 Basic color PN.....	24
Figura 6: Lazo cerrado de un controlador difuso clásico.....	27
Figura 7: Estructura de un controlador difuso.....	27
Figura 8: Elementos de un esquema de circuito.....	32
Figura 9: Operación AND, OR y XOR del lenguaje FUP.....	32
Figura 10: Estructura Lineal y estructura nodular.....	35
Figura 11: Ubicación del instituto “Steve Jobs”- Arequipa.....	39
Figura 12: Diagrama de bloques del sistema de control.....	40
Figura 13: Instalación del sensor de temperatura RTD Pt100	40
Figura 14: Transmisor de RTD Pt100.	41
Figura 15: Conversión Intensidad – diferencia de potencial.....	41
Figura 16: Diagrama de entradas y salidas de señal.....	42
Figura 17: Propiedades de la entrada de señal analógica.....	43
Figura 18: Proceso de normalización y escalamiento	44
Figura 19: Instalación del signal board en el PLC	44
Figura 20: Propiedades del signal board.....	45
Figura 21: Salida analógica lenguaje KOP	45
Figura 22: Diagrama de bloques del circuito TL494.....	46
Figura 23: Diagrama esquemático de la interface de señal.....	47
Figura 24: Circuito impreso en baquelita de la interface de señal.	47



Figura 25: Relé de estado sólido	48
Figura 26: Diagrama de conexión de SSR-25DA-H	49
Figura 27: Función de membresía	49
Figura 28: Función tipo saturación derecha	50
Figura 29: Función tipo saturación izquierda	51
Figura 30: Ecuacion para la fusificaion EMP en lenguaje KOP	51
Figura 31: Ecuación para la fusificacion EM en lenguaje KOP	52
Figura 32: Ecuación para la fusificacion EMG en lenguaje KOP	53
Figura 33: Reglas lingüísticas MatLAB	54
Figura 34: Función de membresía para la defusificacion	55
Figura 35: Defusificacion en lenguaje KOP	55
Figura 36: Fusificacion y defusificacion en MatLAB	56
Figura 37: Cálculo de centroide en lenguaje KOP	56
Figura 38: Comunicación PLC_1 y HMI_1	57
Figura 39: Imagen raíz HMI	58
Figura 40: Distribución de hardware del sistema	58
Figura 41: Tiempo de retardo en la respuesta transitoria	60
Figura 42: Tiempo de subida en la respuesta transitoria	62
Figura 43: Tiempo pico de la respuesta transitoria.	63
Figura 44: Tiempo de asentamiento de la respuesta transitoria.	64



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

PLC	: Controlador Lógico Programable
AC	: Corriente alterna.
DC	: Corriente directa
RLY	: Relevador
°C	: Grados Celsius
HMI	: Human-Machine Interface
RTD	: Resistance Temperature Detector
KOP	: Lenguaje de esquema de contactos
FUP	: Lenguaje de diagrama de bloques.
SSR	: Relé de estado solido



RESUMEN

La presente investigación pertenece al área de automatización e instrumentación y presenta el diseño e implementación de un control difuso del nivel de temperatura en un horno eléctrico usando un PLC de la serie SIMATIC S7-1200, de la marca SIEMENS, CPU 1214C AC/DC/RLY, donde se plantea una solución ante la carencia de un controlador difuso en el PLC, de la serie antes mencionado, con el objetivo específico de desarrollar las funciones de membresía de fusificación, inferencia y defusificación en el lenguaje KOP; la inferencia elegida para esta investigación es el de Mamdani que con una adecuada elección de las reglas lingüísticas podremos realizar el control del error producido entre el set point, que se encontrará en un HMI KTP Basic y la señal proveniente del transmisor de temperatura RTD pt100, una vez realizado el control del error por medio de la fusificación y defusificación esta señal será enviada a la etapa de acondicionamiento de señal PWM proveniente del PLC, una manera de comprobar el adecuado funcionamiento del controlador difuso y los algoritmos de control es por medio de la herramienta Fuzzy Logic Toolbox del software de Matlab donde nos indica los valores de fusificación, defusificación y curva de control y, así, corroborar el adecuado funcionamiento del controlador difuso de la variable temperatura, en consecuencia se concluye de que es posible el diseño e implementación de un controlador difuso en un PLC SIMATIC S7-1200 para el control de nivel de temperatura en un horno eléctrico con un margen de error de 1.95% en relación a la referencia.

Palabras Clave: Control difuso, S7-1200, Temperatura. HMI



ABSTRACT

This research belongs to the area of automation and instrumentation and presents the design and implementation of a diffuse control of the temperature level in an electric oven using a SIMATIC S7-1200 series PLC, of the SIEMENS brand, CPU 1214C AC / DC / RLY, where a solution is proposed in the absence of a diffuse controller in the PLC, of the aforementioned series, with the specific objective of developing the functions of membership of fusion, inference and defusification in the KOP language; the inference chosen for this investigation is that of Mamdani that with an adequate choice of linguistic rules we can control the error produced between the set point, which will be found in a KTP Basic HMI and the signal from the RTD pt100 temperature transmitter, once the error control has been carried out by means of the fusion and defusification, this signal will be sent to the PWM signal conditioning stage from the PLC, a way to verify the proper functioning of the diffuse controller and the control algorithms is through the Fuzzy Logic Toolbox tool of Matlab software where it indicates the values of melting, defusification and control curve and, thus, corroborate the proper functioning of the diffuse controller of the temperature variable, consequently it is concluded that the design and implementation is possible of a diffuse controller in a SIMATIC S7-1200 PLC for temperature level control in an electric oven with a margin of error of 1.95% in relation to the reference.

Keywords: Fuzzy Control, S7-1200, Temperature, HMI



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los controladores lógicos programables, hoy en día, ocupan un lugar importante dentro de la industria, más aún en la industria 4.0, considerando este punto, es preciso continuar la investigación para el desarrollo y mejora de nuevas acciones de control, uno en particular es el control por lógica difusa.

La lógica difusa surgió del estudio de *Lofli A. Zadeh* en 1965. Este es un formalismo matemático que representa el razonamiento matemático por lo que es muy usado en sistemas expertos y aplicaciones de inteligencia artificial.

El control basado en lógica difusa o control difuso iniciaron a desarrollarse en los años 70s. Hoy en día se aplica en varios procesos con eficacia demostrada y gran interés de la comunidad científica y tecnológica. Las principales ventajas de la lógica difusa para el control de procesos son la capacidad de decisión rápida, la aplicabilidad a sistemas no lineales y la definición intuitiva del comportamiento del controlador. Además, no hay necesidad de datos históricos o modelos matemáticos como otros controladores inteligentes tales como redes neuronales o algoritmos genéticos.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1 PROBLEMA GENERAL

El problema general parte del hecho principal de que el PLC de la marca siemens, serie S7-1200 carece de un controlador lógico difuso para el control de temperatura.

1.1.2 PROBLEMA ESPECIFICO

El desarrollo de la fusificación, inferencia, defusificación en el lenguaje KOP.



El acondicionar de las señales de salida y entrada desde y hacia el controlador lógico programable.

1.2 OBJETIVO DE LA INVESTIGACION

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar de un control difuso del nivel de temperatura en un horno eléctrico con el uso de un PLC SIMATIC S7-1200.

1.2.2 OBJETIVO ESPECIFICO

- Desarrollar la fusificación, inferencia, defusificación en el lenguaje KOP.
- Acondicionar las señales de salida y entrada desde y hacia el controlador lógico programable.

1.3 JUSTIFICACION

(Creus Solé, 2010) afirma. “La medida de la temperatura es una de las más comunes y de las más importantes que se efectúan en los procesos industriales. Casi todos los fenómenos físicos están afectados por ella. La temperatura se utiliza, frecuentemente, para inferir el valor de otras variables del proceso.” p. 253. Es preciso señalar que muchos de estos procesos industriales no son lineales por ello es necesario la utilización de controladores más avanzados como un control basado en lógica difusa. También (Creus Solé, 2010) afirma que “La lógica difusa hace mucho más humano el control, pues tiene muchos puntos en contacto con el lenguaje corriente.” p. 619.

El PLC de la serie SIMATIC S7-1200 carece de un controlador difuso y que demanda un costo adicional para la adquisición del software “Fuzzy Control ++”.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 MARCO TEORICO

2.1.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

Primer antecedente:

(CONDORI & SERPA, 2017) Diseñó un control de temperatura para un horno industrial, mediante la modulación de ancho de pulso usando un PLC, la locación del proyecto fue en el laboratorio de control y automatización de ingeniería mecánica eléctrica de la universidad Nacional del Altiplano, Puno. Desarrollaron un sistema de control de lazo cerrado para el control de temperatura, en un PLC Schneider Electric de la serie MODICON M41 TM241CE24R, un sensor RTD pt100, el controlador para esta oportunidad fue del tipo PID y en donde concluyen que, aplicando el PLC MODICON M241 TM241CE24R que tiene los bloques (PID) y su ajuste de modulación por ancho de pulso que integra el controlador, lograron controlar la temperatura en un 2% de error del set point (punto de referencia); se ha logrado sintonizar la relación PWM en el PLC MODICON M241 TM241CE24R, se logró llegar a controlar la variable del proceso (temperatura), usando la modulación de ancho de pulso de una manera estable controlando la temperatura a un 98.2%, eliminado el error de estado estacionario.

Segundo antecedente:

(VELÁZQUEZ et al., 2017) Realizaron una investigación que lleva por título “Control de proceso de pH embebido en un PLC usando lógica difusa” en el Instituto tecnológico de Querétaro & facultad de ingeniería de Querétaro, México, en donde desarrollaron el sistema de control en un tanque 20 litros donde se depositó el agua, un



mezclador, 2 dosificadores de reactivo, de ácido (HCl) y alcalino (NaOH). El pH se midió con un sensor D0010043 de la marca Hanna Instruments, la señal se envía al PLC de la marca SIEMENS S7-1200 y para la visualización utilizaron una pantalla HMI, el control fue realizado empleando lógica difusa que para ello fue importante definir las variables lingüísticas tanto como para la entrada y salidas todas ellas representadas por una función triangular y concluyen que: “aunque el modelo matemático del sistema a ser controlado, no se deduce, que no era necesario ya que el rendimiento del controlador para la regulación del pH era muy bueno. Se estableció el error final, en promedio, a $\text{pH}=0.035$ unidad la implementación del controlador borroso en el PLC fue fácil y práctico ya que el modelo seleccionado tiene las herramientas necesarias para su aplicación. Las pruebas realizadas demuestran que el funcionamiento del controlador se encuentra con el propósito para el que fue diseñado, también se documenta que la lógica difusa es una excelente opción para los sistemas complejos que requieren soluciones simples.”

Tercer antecedente:

(LEON et al., 2015) Publicó su investigación, “controlador difuso desarrollado en un PLC, basado en el método de promedios ponderado”, en la Chilean Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies, Proceedings of IEEE Chilecon 2015, en donde desarrollaron un controlador difuso, específicamente el modelo difuso de Mamdani, en un PLC Allan Bradley de la serie 5000 y compararon con la ayuda del software Fuzzy Logic Toolbox de Matlab con las salidas obtenidas bajo las mismas condiciones pero en modelo simulado y obtuvieron los resultados con un porcentaje de error inferior a 0.5% con lo cual muestran que el valor de salida obtenido en la aplicación son satisfactorios y concluye que: “El desarrollo de un controlador difuso realizado en un PLC propuesto en este estudio, representa una solución para la implementación de soluciones de control basadas en lógica difusa en PLC's que



no cuentan con herramientas o módulos adicionales fuzzy. Mediante el uso del método de promedios ponderados se logró implementar los algoritmos de control difuso necesarios para calcular el valor de la salida del controlador en el PLC. La creación de un controlador Fuzzy Logic de las mismas características que el desarrollado en el PLC, mediante el uso del Fuzzy Logic Toolbox y la programación de un archivo .m en MATLAB, permitió validar la propuesta presentada en este trabajo. Finalmente, la comparación y contraste de resultados de la salida obtenida en las diferentes aplicaciones (implementadas y simuladas) genera como resultado una desviación estándar inferior al 1.09 en todos los casos analizados; lo cual indica que los resultados obtenidos en el controlador implementado son similares a los que pueden ser obtenidos en una herramienta fuzzy comercial.”

Cuarto antecedente:

(JIMENEZ, 2012) Realizó la defensa de tesis “Control de temperatura de un horno eléctrico mediante lógica difusa” en la Universidad Tecnológica de la Mixteca. Acondicionando la señal de un termopar; del tipo K, obtuvo el error de la temperatura enviando esta información directamente a la tarjeta de adquisición de datos, NI USB 6008 de National Instruments, error es procesado con el software labVIEW 8.5 y como salida del controlador difuso, utilizo un nivel de voltaje, el cual fue enviado desde módulo de disparo. Y donde concluye que, “De acuerdo al análisis realizado a las gráficas de trayectoria de temperatura, se puede decir que el control difuso responde de manera satisfactoria y estable, a pesar de que se 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 permanencia de bajada mayores a 500 °C se obtuvo un error máximo de 1.5 %. Es importante mencionar que el sistema siempre está sometido a perturbaciones las cuales son causadas por las fugas de calor que presenta el horno y éstas aumentan a

mayor temperatura. El controlador difuso proporcionó resultados satisfactorios y cumplió con las trayectorias de temperatura establecidas por los usuarios, mostrando un buen desempeño. Su realización fue sencilla gracias a la herramienta de lógica difusa de MatLab.

2.1.2 SENSOR DE TEMPERATURA

En la actualidad existen varios fenómenos que se encuentra afectados por la temperatura y pueden ser usados para medirla, una de ellas es el cambio de resistencia (CREUS, 2010) afirma:

La medida de temperatura utilizando sondas de resistencia depende de la variación de resistencia en función de la temperatura, que es propia del elemento de detección. El elemento consiste, usualmente, en un arrollamiento de hilo muy fino del conductor adecuado bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o de cerámica. (p.240)

Dentro de los metales más utilizados para realizar los termopares son: el platino, cobre, níquel y níquel hierro. En donde realizan un cambio del valor de su resistencia en función de la temperatura, a este tipo de dispositivos se les conoce como dispositivos termo resistivo o comúnmente llamados RTD (*resistance temperature detector*), en la siguiente imagen, Figura 1, podemos apreciar las curvas características de estos materiales empleados.

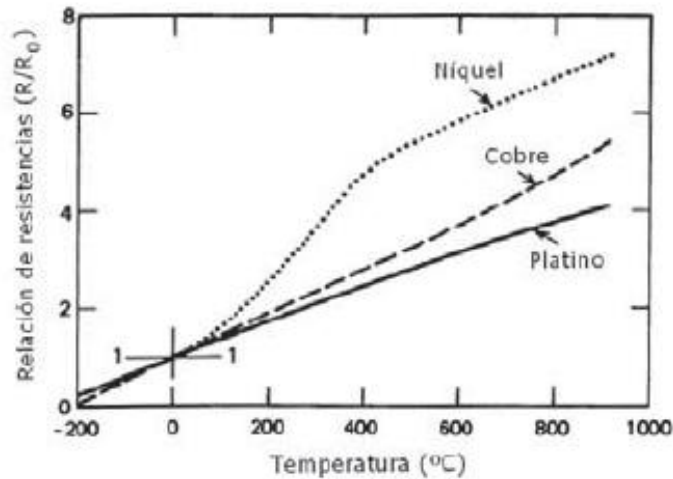


Figura 1: Curva de resistencia relativa de metales/temperatura.

FUENTE: (CREUS, 2010)

El sensor de temperatura Pt100, presenta un alambre de platino, y su principal característica que cuando se encuentra a 0°C tiene una resistencia de 100Ω y que, al acrecentar la temperatura, aumenta su resistencia.

Este tipo de incremento se asemeja a una recta, Figura 2, sin embargo, los valores resistivos según la temperatura en $^{\circ}\text{C}$ de una sonda de platino Pt100 de coeficiente de variación de resistencia 0.00385 según DIN 43.760(IPTS-68). Se encuentra en el Anexo 1 y hace mención con un coeficiente de variación de resistencia 0.00385 según DIN 43.760(IPTS-68).

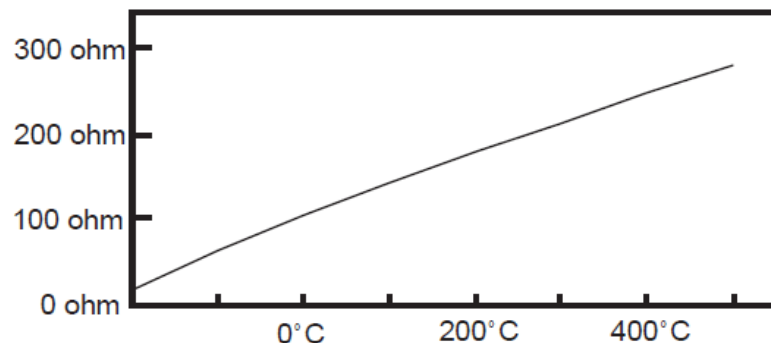


Figura 2: Curva característica de un RTD Pt100.

Fuente:(INTRUMENTACION, 2011)

2.1.3 TRANSMISOR

Uno de los elementos por el nivel de importancia, en el área de instrumentación, son los transmisores de temperatura.

Los transmisores captan la variable de proceso a través del elemento primario y la transmiten a distancia en forma de señal neumática, electrónica, digital, óptica, hidráulica o por radio. La señal neumática es de 3 a 15 psi (libras por pulgada cuadrada) (equivale a 0,206-1,033 bar o 0,21-1,05 kg/cm²) adoptada en Estados Unidos y los países de habla inglesa, o 0,2-1 bar (20-100 kPa) empleada en los países que utilizan el sistema métrico decimal. La señal electrónica normalizada es de 4 a 20 mA de corriente continua, si bien se utilizan de 1 a 5 mA c.c., de 10 a 50 mA c.c. y de 0 a 20 mA c.c. (CREUS, 2010) (p.63).

De acuerdo al autor; antes citado, señala principalmente la exactitud que se consigue con los 4 transmisores en la Tabla 1 se observa un resumen de la exactitud de trasmisores.

Tabla 1: Exactitud de transmisores

Trasmisor	Señal	Exactitud
Neumáticos	3-15 psi, 0,2-1 bar	±0.5%
Electrónico convencional	4-20 mA	±0.5% ±0.1%
Electrónico inteligente	4-20 mA	±0.2%
Digital	Digital	±0.01%

FUENTE: (CREUS, 2010)



2.1.3.1 TRANSMISORES ELECTRÓNICOS

En la actualidad con el avance constante de la electrónica es posible tener en la industria transmisores que prestan mucha mayor eficiencia en las medida y transmisión de la información tomada por los sensores

El transmisor electrónico se alimenta con una fuente de 24 V c.c. y un circuito de dos hilos. El receptor dispone de una resistencia de 250 Ohms conectada en los bornes de entrada. De este modo, si la señal de salida del transmisor varía de 4 mA c.c. a 20 mA c.c., se obtendrán las siguientes tensiones en los bornes de entrada al receptor:

$$250\Omega \times 4mA = 1000 mV = 1V$$

$$250\Omega \times 20mA = 5000 mV = 5V$$

Es decir, de 1 V c.c. a 5 V c.c. y no se pierde tensión en la línea ya que la resistencia de 250 Ohms está conectada justo a la entrada del receptor.(CREUS, 2010), (p.65)

2.1.4 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)

El Controlador Lógico Programable, conocido por sus siglas en ingles PLC (Programmable Logic Controller), es un dispositivo utilizado en el área de la automatización industrial. Particularmente la Gama del S7-1200 de la marca Siemens tiene un diseño compacto, Figura 3, amplio juego de aplicaciones y herramientas.

La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y salida en una carcasa compacta, conformando así un potente PLC. Una vez cargado el programa en la CPU, ésta contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación. La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de contaje y

temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes. (SIEMENS, 2009)(p.11)

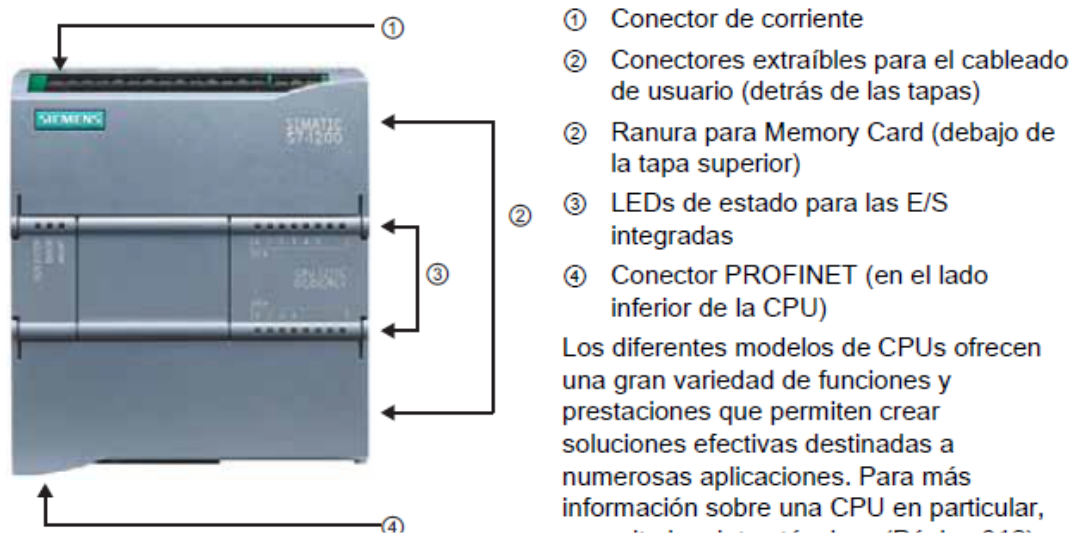


Figura 3: Partes de un PLC Siemens

Fuente:(SIEMENS, 2009)

2.1.5 STEP 7 Basic

El software STEP 7 Basic ofrece un entorno amigable que permite desarrollar, editar y observar la lógica del programa necesaria para controlar la aplicación, incluyendo herramientas para gestionar y configurar todos los dispositivos del proyecto, tales como PLCs y dispositivos HMI. STEP 7 Basic ofrece dos lenguajes de programación (KOP y FUP) que permiten desarrollar el programa de control de la aplicación de forma fácil y eficiente. Asimismo, incluye las herramientas para crear y configurar los dispositivos HMI en el proyecto.

2.1.6 INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)

Este dispositivo permite una mejor interacción entre el operador y el proceso de control por ello (MANDADO, 2009) afirma. “Los equipos de visualización y actuación

reciben actualmente, la denominación de interfaz máquina-usuario y se les suele conocer por el acrónimo HMI (Human Machine Interface)”. (p.638)

Dentro de los principales usos que se le da a un HMI son:

- Cambiar parámetros del autómatas programable y ordenar a los actuadores su activación o desactivación.
- Recibir información del autómatas programable en tiempo real.
- Detectar fallos producidos en el proceso por medio del autómatas programable.

También (MANDADO, 2009) afirma. “Los paneles o pantallas táctiles conocidos por las siglas TP (acrónimo de Touch Panel) utilizan una pantalla grafica que posee elementos sensores sensibles al tacto”. (p.639).

En la Figura 4, es posible apreciar el diagrama de bloque que hace referencia al funcionamiento de una pantalla HMI, en la Figura 5 es posible apreciar el HMI empleado para la investigación.

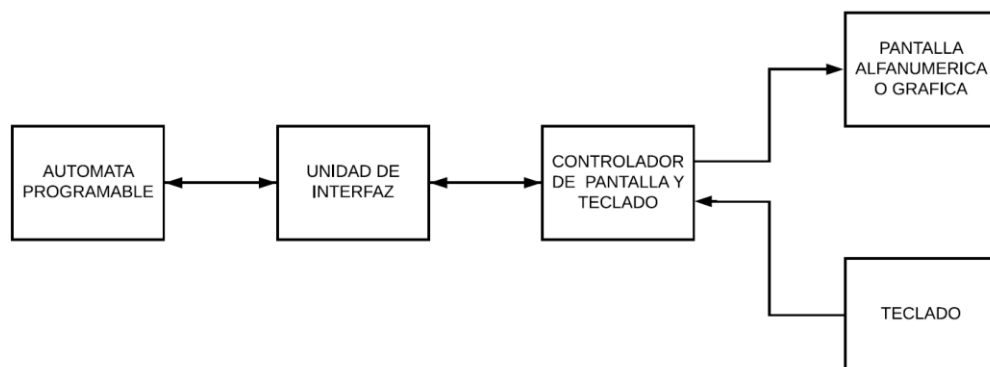


Figura 4: Diagrama de bloques de un panel de operación.

Elaborado por el equipo de trabajo.



Figura 5: KTP400 Basic color PN.

Fuente: (SIEMENS, 2009)

2.1.7 SISTEMA DE CONTROL

Dentro del concepto y cumplimiento de un sistema de control (CREUS, 2010) afirma.

Un sistema de control debe cumplir unas especificaciones de funcionamiento determinadas: las que se establecen en el momento de diseñarlo. Estas especificaciones pueden obedecer a varios criterios: una respuesta temporal determinada, una desviación específica entre la variable y el punto de consigna, es decir, un error que cumpla condiciones determinadas. (p.603)

Asu vez este concepto referido también al control automático es mencionado por (OGATA, 2010) en donde afirma.

El control automático ha desempeñado un papel vital en el avance de la ingeniería y la ciencia. El control automático se ha convertido en una parte importante e integral en los sistemas de vehículos espaciales, en los sistemas robóticos, en los



procesos modernos de fabricación y en cualquier operación industrial que requiera el control de temperatura, presión, humedad, flujo, etc. Es deseable que la mayoría de los ingenieros y científicos estén familiarizados con la teoría y la práctica de control automático. (p.1)

2.1.7.1 SISTEMA DE CONTROL DE LAZO ABIERTO.

En este sistema de control de la abierto (OGATA, 2010) afirma.

Los sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control se denominan sistemas de control en lazo abierto. En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. Un ejemplo práctico es una lavadora. El remojo, el lavado y el centrifugado en la lavadora operan con una base de tiempo. La máquina no mide la señal de salida, que es la limpieza de la ropa. En cualquier sistema de control en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia. Así, a cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fija; como resultado de ello, la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada. En la práctica, el control en lazo abierto sólo se usa si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas ni externas. Es evidente que estos sistemas no son de control realimentado. Obsérvese que cualquier sistema de control que opere con una base de tiempo está en lazo abierto. Por ejemplo, el control de tráfico mediante señales operadas con una base de tiempo es otro ejemplo de control en lazo abierto. (p.8).



2.1.7.2 SISTEMA De Control De Lazo Cerrado.

(OGATA, 2010) afirma.

Los sistemas de control realimentados se denominan también sistemas de control en lazo cerrado. En la práctica, los términos control realimentado y control en lazo cerrado se usan indistintamente. En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (que puede ser la propia señal de salida o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales), con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema. (p.7)

2.2 CONTROL DIFUSO

La comisión electrotécnica internacional, más conocida por sus siglas en inglés IEC hace una descripción en el apartado 1131 sobre el control difuso en (IEC_1131, 1997) afirma.

La teoría de Fuzzy Logic en la aplicación de control se llama Fuzzy Control. El control difuso emerge como una tecnología que puede mejorar las capacidades de automatización industrial, y es adecuada para tareas de nivel de control generalmente realizadas en controladores programables (PC). El control difuso se basa en el conocimiento práctico de la aplicación representado por la llamada regla lingüística bases, en lugar de por modelos analíticos (empíricos o teóricos). Control difuso puede ser utilizado cuando hay una experiencia que se puede expresar en su formalismo. Eso permite aprovechar la oportunidad de conocimiento disponible para mejorar procesos y realizar una variedad de tareas. (p.4)

En la Figura 6, se muestra los bloques principales; controlador difuso, proceso y diferenciador, este conjunto forma parte del sistema de lazo cerrado de un controlador difuso clásico ya que este se encuentra retroalimentado con la información actual proveniente de la planta.

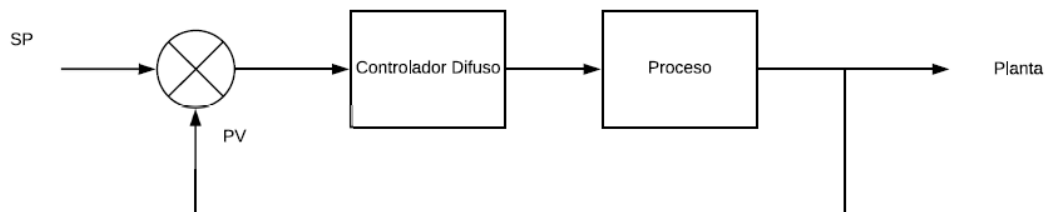


Figura 6: Lazo cerrado de un controlador difuso clásico.

Fuente:(PONCE, 2010)

También (PONCE, 2010) afirma. “Un controlador difuso está compuesto de cuatro partes principales: interfaz de defusificación, base de conocimientos, lógica de decisiones e interfaz de defusificación, las cuales se detallan a continuación”. (p.71)

En la Figura 7, es posible apreciar las cuatro partes principales de un controlador difuso, a esto lo definimos como la estructura de un controlador difuso.

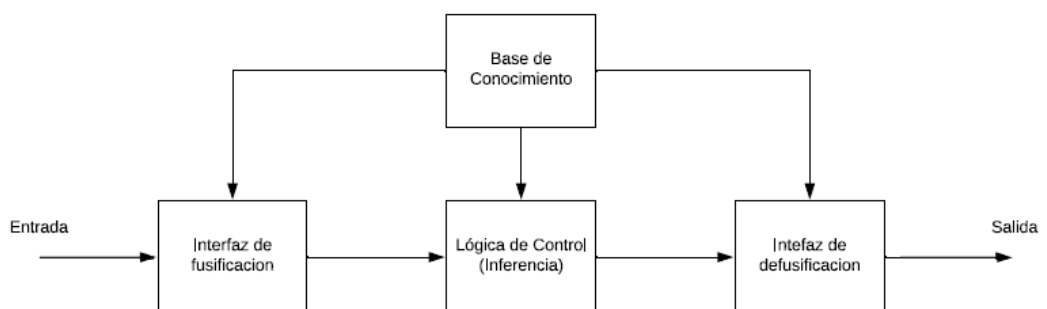


Figura 7: Estructura de un controlador difuso.

Elaborado por el equipo de trabajo.



2.2.1 INTERFAZ DE FUSIFICACION.

Con relación al interfaz de fusificación (PONCE, 2010) afirma.

Mide los valores de las variables de entrada para realizar un mapeo a escala que transfiere el rango de valores de las variables a un universo de discurso difuso. La fusificación convierte los datos de entrada en valores lingüísticos que son las etiquetas de las funciones de pertenencia o conjuntos difusos. (p.72)

Asu vez (PONCE, 2010) afirma.

La representación de información a través de conjuntos difusos puede realizarse en forma discreta. Al “discretizar” información, es decir, segmentar un universo en un número definido de partes, es posible definir un conjunto difuso asignando un grado de pertenencia a cada elemento genérico del nuevo universo discreto. Los niveles de “discretización” tienen una gran influencia en la obtención de un control. Para la “discretización” es necesario realizar un mapeo a escala para transformar valores medidos en las variables a valores del universo discreto, ya sea de manera uniforme o no uniforme, o combinaciones de ambos. (p.72)

2.2.2 BASES DE CONOCIMIENTO.

Con relación a las bases de conocimiento estas son sugeridas por el personal en planta por ello (PONCE, 2010) afirma.

La base de conocimientos contiene toda la información de la aplicación que se va a controlar, así como las metas del controlador. Consta de una base de datos y una base de reglas lingüísticas para controlar la variable. La base de datos proporciona las definiciones para el establecimiento de reglas y la manipulación de datos difusos. La base de reglas caracteriza las metas de control y la política que utilizan los expertos para llevar a cabo el control, empleando proposiciones. Un algoritmo



de control difuso debe ser capaz de inferir una acción de control correspondiente para cada estado del proceso que se va a controlar, propiedad que se denomina unidad. La estrategia de la base de datos comprende los soportes de la definición de los conjuntos difusos. (p.72)

También (PONCE, 2010) afirma.

Existen cuatro modos de derivación de las reglas difusas de control, las cuales contemplan la experiencia de expertos, el conocimiento de ingeniería de control y las acciones de control de un operador, con la forma de proposiciones condicionales que relacionan las variables de estado en el antecedente del proceso con las variables de control del proceso en las consecuencias. (p. 73)

2.2.3 INTERFAZ DE DEFUSIFICACION.

Dentro de las herramientas de defusificación que existen ellas son derivadas de primera que fue planteada por Mamdani por ello (PONCE, 2010) afirma.

Mide los valores de las variables de entrada para realizar un mapeo a escala que transfiere el rango de valores de las variables a un universo de discurso difuso. La defusificación convierte los datos de entrada en valores lingüísticos que son las etiquetas de las funciones de pertenencia o conjuntos difusos. La representación de información a través de conjuntos difusos puede realizarse en forma discreta. Al “discretizar” información, es decir, segmentar un universo en un número definido de partes, es posible definir un conjunto difuso asignando un grado de pertenencia a cada elemento genérico del nuevo universo discreto. Los niveles de “discretización” tienen una gran influencia en la obtención de un control. Para la “discretización” es necesario realizar un mapeo a escala para transformar valores

medidos en las variables a valores del universo discreto, ya sea de manera uniforme o no uniforme, o combinaciones de ambos. (p. 73)

2.2.4 MÉTODO DEL CENTRO DE GRAVEDAD.

El método del centro de área o centro de gravedad se puede representar en forma discreta:

$$\text{salida} = \frac{\sum_{x=a}^b \mu(x) \cdot x \text{ NÚM}}{\sum_{x=a}^b \mu(x)} \quad (1)$$

O continúa:

$$\text{salida} = \frac{\int_a^b \mu(x) \cdot x dx}{\int_a^b \mu(x) dx} \quad (2)$$

Este método inicia con la unión de los puntos de intersección del consecuente, pero para obtener un único valor del controlador es necesario la obtención del valor del centroide como (PONCE, 2010) afirma.

Este método se utiliza para obtener el valor real de la salida. Su metodología es sencilla: corta la función de membresía al grado de la membresía respectiva, es decir, segmenta las funciones de membresía, generando en cada función dos áreas. El área inferior que se forma es la que se toma para hacer el cálculo. Se superponen todas estas áreas y se saca el centroide de la superposición, el cual nos dice la salida real del sistema. (p.74)



2.3 CARACTERÍSTICAS DEL STEP7

2.3.1 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN:

Dentro de las programaciones principales tenemos el lenguaje KOP (del alemán Kontakts Plan-esquema de contactos) o FUP (del alemán Funktions Plan - diagrama de funciones).

2.3.1.1 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN KOP

Uno de los lenguajes más empleados en la programación de autómatas programables es el lenguaje KOP (SIEMENS, 2009) afirma “Para crear la lógica de operaciones complejas, es posible insertar ramas para los circuitos paralelos. Las ramas paralelas se abren hacia abajo o se conectan directamente a la barra de alimentación. Las ramas se terminan hacia arriba”. (p. 97).

Este lenguaje de programación ofrece muchas herramientas como (SIEMENS, 2009) afirma. “KOP ofrece instrucciones con cuadros para numerosas funciones, p. ej. Matemáticas, temporizadores, contadores y transferencia. Tenga en cuenta las reglas siguientes al crear segmentos KOP”. (p. 97).

Sin embargo, es necesario tener en cuenta algunas reglas para la programación.

- la primera (SIEMENS, 2009) afirma. “Todo segmento KOP debe terminar con una bobina o cuadro. No termine un segmento con una instrucción de comparación ni de detección de flancos (ascendentes o descendientes)”. (p. 97)

- la segunda (SIEMENS, 2009) afirma. No se permite programar ramas que puedan ocasionar un flujo invertido de la corriente. (p. 97)

En la Figura 8, se describe los principales elementos de un esquema de circuito en lenguaje KOP el cual está compuesto de contactos normalmente abierto, normalmente cerrado y una bobina.

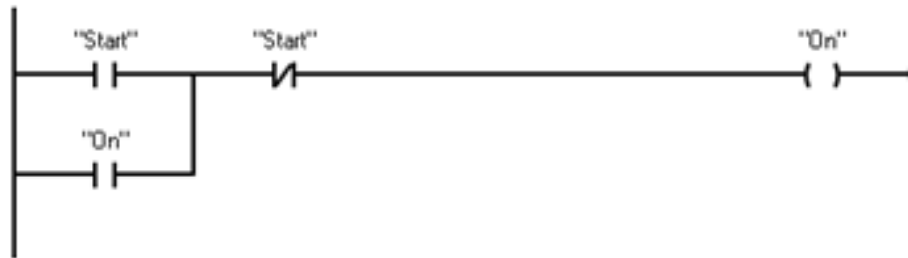


Figura 8: Elementos de un esquema de circuito.

Fuente:(SIEMENS, 2009)

2.3.1.2 Lenguaje de programación FUP

(MANDADO, 2009) afirma que:

El lenguaje de diagrama de funciones de STEP7 es un lenguaje simbólico en el que las distintas combinaciones entre variables se representan mediante los símbolos de las puertas lógicas correspondientes que, aunque no coinciden exactamente con los normalizados por la Comisión Electrotécnica Internacional [MAND 08], se inspiran en general en dicha norma. Este lenguaje de programación está especialmente indicado para los usuarios familiarizados con la Electrónica Digital. Una versión reducida de este lenguaje se utiliza para programar micro autómatas programables como los pertenecientes a la familia LOGO de Siemens. (p. 190)

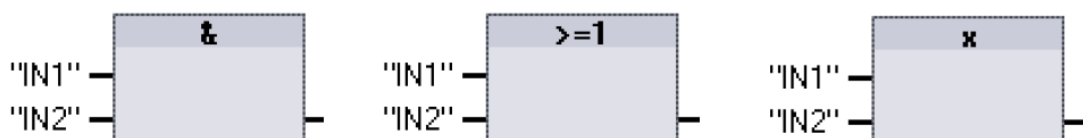


Figura 9: Operación AND, OR y XOR del lenguaje FUP.

Fuente: (SIEMENS, 2009)

2.3.2 TIPO DE DATOS

Considerando los tipos de datos de la tabla 2, es posible determinar la denominación del dato a emplear de acuerdo al sistema de programación necesario.

Tabla 2: Tipos de datos STEP 7.

DENOMINACIÓN	BITS	EJEMPLO	DESCRIPCIÓN
BOOL	1	FALSE O TRUE	Variable binaria
INT	16	-32768...32767	Número entero con signo
DINT	32	$-2^{31} \dots +2^{31} - 1$	Número entero doble con signo
REAL	32	0.4560	Número real
BYTE	8	0...255	Conjunto de 8 bits.
WORD	16	0...65535	Conjunto de 16 bits
DWORD	32	$0 \dots 2^{32} - 1$	Conjunto de 32 bits.
TIME	32	T#5d_4h_2m_38s_3.5ms	Duración
DATE	16	D#2002-01-01	Fecha
TIME_OF_DAY	32	TOD#15:35:08.36	Hora del día
S5TIME	16	S5T#2h2m38s	Duración
DATE_AND_TIME	64	DT#2002-01-01-15:35:08.36	Fecha y hora

FUENTE: (MANDADO, 2009)

2.3.3 UNIDADES DE ORGANIZACIÓN DEL PROGRAMA

El desarrollo de un programa implica tener plena conciencia de los que se prende hacer dentro de la configuración del autómata por ellos es necesario el uso de bloques que nos permiten organizar y estructurar bien las funciones.

2.3.3.1 BLOQUE DE ORGANIZACIÓN (OB)

(SIEMENS, 2009) afirma que.



El bloque de organización, conocido también como MAIN, permite al usuario administrar otros bloques de funciones ya que este realizara ejecuciones cíclicas del desarrollo del programa del usuario (OB1), también la estructura planteada dentro de este bloque es básica.

Según los requisitos necesario para la presente investigación, es posible escoger entre una estructura *lineal o modular*.

- Un programa lineal ejecuta todas las instrucciones de la tarea de automatización de forma secuencial, es decir, una tras otra. Generalmente, el programa lineal deposita todas las instrucciones del programa en el OB encargado de la ejecución cíclica del programa (OB 1). (SIEMENS, 2009)
- Un programa modular llama bloques de función específicos que ejecutan determinadas tareas. Para crear una estructura modular, la tarea de automatización compleja se divide en tareas subordinadas más pequeñas, correspondientes a las funciones tecnológicas del proceso. Cada bloque lógico provee el segmento del programa para cada tarea subordinada. El programa se estructura llamando uno de los bloques lógicos desde otro bloque. (p.94)

En la Figura 10, se expone el sistema de trabajo del bloque de organización que pueden ser en la estructura lineal o estructura modular.

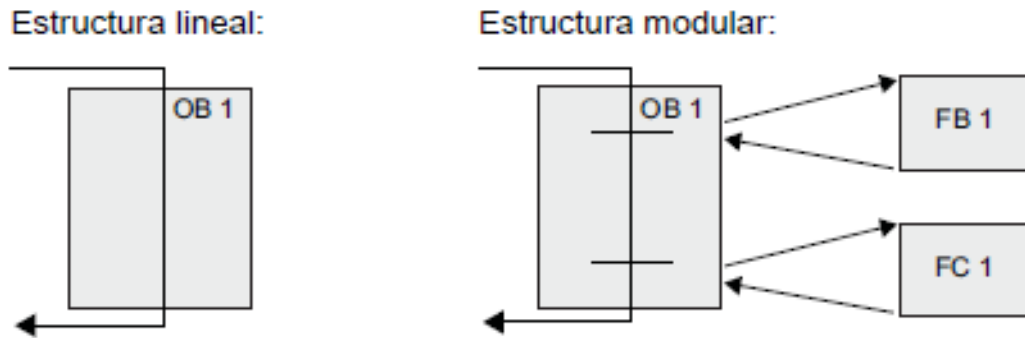


Figura 10: Estructura Lineal y estructura nodular.

Fuente:(SIEMENS, 2009)

2.3.3.2 FUNCIONES

Con relación a las funciones que posee este controlador según (MANDADO, 2009) afirma “Una función es una unidad de organización del programa que, cuando se ejecuta, proporciona únicamente un dato (una única salida). Su invocación se puede realizar en los lenguajes literales como operando de una expresión. Se suele denominar FC (abreviatura de Function)”. (p. 208)

Sin embargo la Comisión Electrotécnica Internación expresado en (MANDADO, 2009) afirma.

La norma IEC 1131-3 establece el conjunto mínimo de funciones que deben poseer los lenguajes de un autómata programable para poder ser considerado normalizado. Dichas funciones se indican en la Tabla 3 y Tabla 4. La forma de utilizarlas en cada uno de los lenguajes normalizados se describe en los apartados correspondientes. (p. 208).



Tabla 3: Funciones matemáticas.

Símbolo	Descripción
ABS	Valor absoluto
SQR	Elevar al cuadrado
SQRT	Raíz cuadrada
LN	Logaritmo natural
EXP	Exponencial natural
SIN	Seno de un ángulo en radianes
COS	Coseno de un ángulo en radianes
TAN	Tangente de un ángulo en radianes
ASIN	Arco seno de un ángulo
ACOS	Arco coseno de un ángulo
ATAN	Arco tangente de un ángulo

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Tabla 4: Comparación de variables

Símbolo	Descripción
>	Mayor
>=	Mayor o igual
= =	Igual
<	Menor
< =	Menor o igual
< >	desigual

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

2.3.3.3 VARIABLE

Las variables, Tabla 5, forman una parte importante para determinar las direcciones de entrada y salida del autómata programable, estas variables pueden ser físicas o memorias a continuación, en la siguiente tabla, se describe cada una de ellas.

Tabla 5: Variables fuente

Área de memoria	Descripción	Forzad o perma nente	Rema nente
I Memoria imagen de proceso de las entradas (entrada física)	Se copia de a entradas física al inicio del ciclo.	No	No
	Lectura inmediata de las entradas físicas de la CPU.	Si	No
Q Memoria imagen de proceso de las salidas (salidas físicas)	Se copia en las salidas físicas al inicio del ciclo.	No	No
	Escritura inmediata en las salidas físicas del CPU.	Si	No
M Área de marcas	Control y memoria de datos	No	Si

FUENTE: (SIEMENS, 2009)



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación, es una del tipo experimental con relación al control de la variable independiente (causa) y variable dependiente (efecto).(CHARAJA, 2011) afirma. “La investigación experimental también corresponde a las investigaciones explicativas causales. Este tipo de investigación se caracteriza por la manipulación de la variable independiente (causa) con el fin de generar determinados cambios en la variable dependiente (efecto)”. (p.304).

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN

3.2.1 POBLACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La población para la presente investigación fue el módulo de control de temperatura, en los laboratorios de electrónica y electrotecnia del instituto Steve Jobs en la ciudad de Arequipa.

3.2.2 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Región: Arequipa

Provincia: Arequipa

Distrito: Arequipa

Ciudad: Arequipa

Elevación sobre el nivel del mar: 2349 m.s.n.m.

El desarrollo del proyecto de investigación se encuentra ubicado en las coordenadas -16° 24' 27.21'' S y -71°31' 44.93'' O, al sur del Perú, en la ciudad de Arequipa, es ahí

donde se encuentran los laboratorios de electrónica y electrotecnia del instituto “Steve Jobs” Figura 11.



Figura 11: Ubicación del instituto “Steve Jobs”- Arequipa.

FUENTE: Google Maps

3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

En la ejecución de la presente investigación se procedió al desarrollo de un diagrama de bloques, Figura 12, el cual representa el sistema de control de lazo cerrado para el control de temperatura, el primer procedimiento fue el acondicionamiento de señal del sensor y la señal proveniente del interface hombre máquina, HMI, hacia el PLC, para una segunda parte se realizó el control difuso, del error, teniendo como referencia el programa fuzzy logic de MATLAB, a continuación se obtuvo la señal de salida analógica proveniente del PLC, del signal board incorporado en el PLC, esta señal se dirige hacia el interface que tiene como propósito realizar la conversión entre un señal analógica a una señal del tipo PWM, esta señal es la que se encuentra en la entrada del actuador SSR y posterior a ello permite el control de la carga de la planta que para fines demostrativos se optó por un foto incandescente y un estructura de acrílico el cual representa una horno eléctrico.

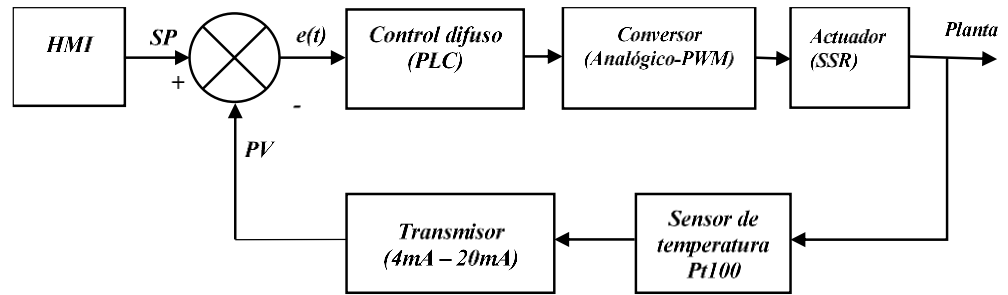


Figura 12: Diagrama de bloques del sistema de control

Elaborado por el equipo de trabajo

3.3.1 SENSOR DE TEMPERATURA

En cuando al sensor de temperatura fue instalada en la parte lateral de la estructura acrílica del horno piloto, como muestra en la Figura 13, ello me permitió la toma de muestra constante del nivel de temperatura y el cambio del valor de resistencia del RTD Pt100 para luego ser enviada hacia el transmisor de temperatura.



Figura 13: Instalación del sensor de temperatura RTD Pt100

Elaborado por el equipo de trabajo.

3.3.2 TRANSMISOR DE TEMPERATURA

En cuanto al transmisor de temperatura, Figura 14, su principal función fue la de cambiar el valor de la resistencia proveniente del RTD pt100, a una señal de 4mA - 20mA con una función lineal de 0 – 200° C para un RTD de tres hilos



Figura 14: Transmisor de RTD Pt100.

Elaborado por el equipo de trabajo

Considerando que el rango de salida del transmisor es de 4mA hasta 20mA y la entrada de señal del PLC se encuentra en un rango de 0 – 10 Voltios, fue necesario utilizar un resistor para de esta forma realizar la conversión por ley de Ohm, Figura 15.

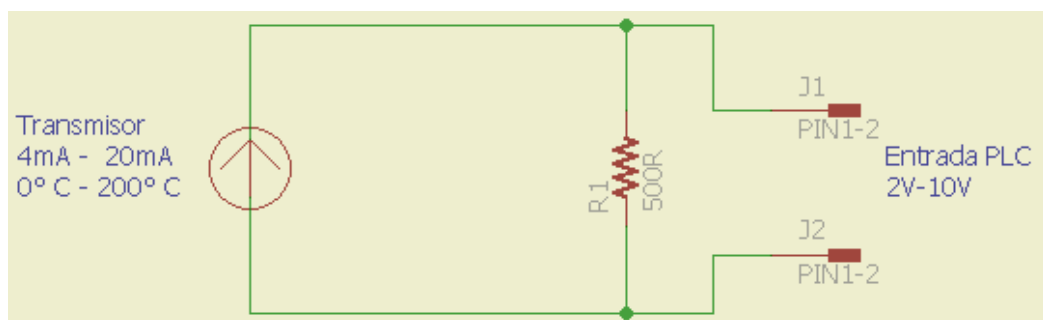


Figura 15: Conversión Intensidad – diferencia de potencial

Elaborado por el equipo de trabajo

3.3.2.1 ENTRADA DE SEÑAL ANALÓGICA

El controlador lógico programable de la serie s7 1200, Figura 16, contiene 2 entradas de señal analógica instaladas y clasificadas por el acrónimo “AI”, contiene 3 borneras donde la primera denominada “2M” representa la masa o referencia para el ingreso de señal de las borneras “0” y “1”.

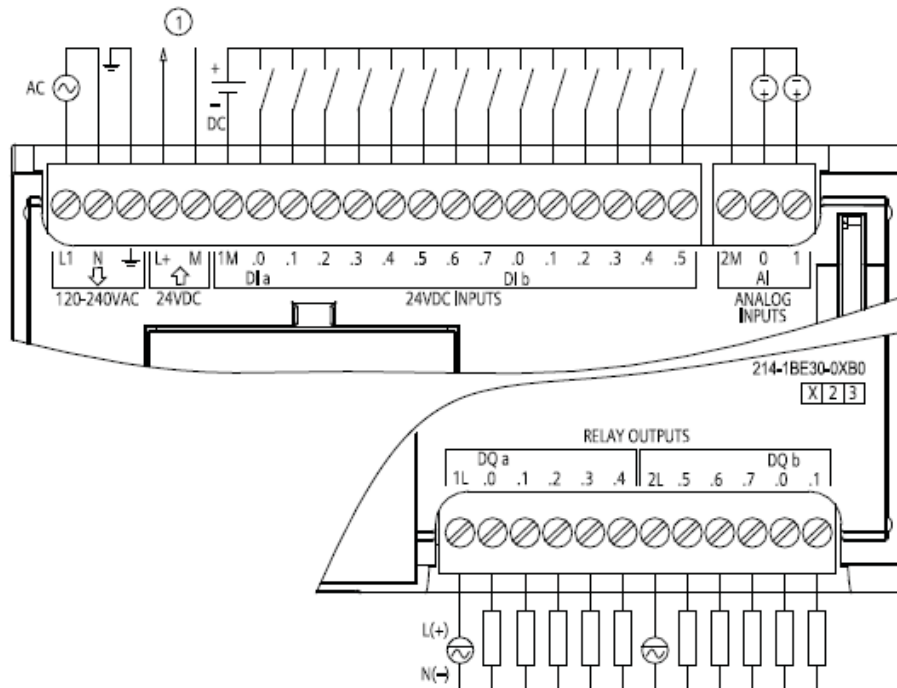


Figura 16: Diagrama de entradas y salidas de señal

FUENTE:(SIEMENS, 2009)

La característica de la entrada es que trabaja en un rango de tensión de 0 a 10V, sin embargo, para trabajar con estas señales analógicas el software, TIA Portal, realiza una conversión representada en la Tabla 6 en donde también muestra los rangos de trabajos permitidos.

Tabla 6: Rango de medidas de tensión.

SISTEMA		RANGO DE MEDIDA DE TENSIÓN	
Decimal	Hexadecimal	0 a 10 V	
32767	7FFF	11.851 V	Rebase por exceso
32512	7F00		
32511	7EFF	11.759 V	Rango de sobre impulso
27648	6C00	10 V	
20736	5100	7.5 V	Rango nominal
1	1	361.7 μ V	
0	0	0	

FUETE: (SIEMENS, 2009)

Para la presente investigación se hizo uso del canal 0 de la entrada analógica con la dirección de canal IW 64 en donde el tipo de medición se encuentra en tensión en un rango de 0 a 10V como muestra la Figura 17.

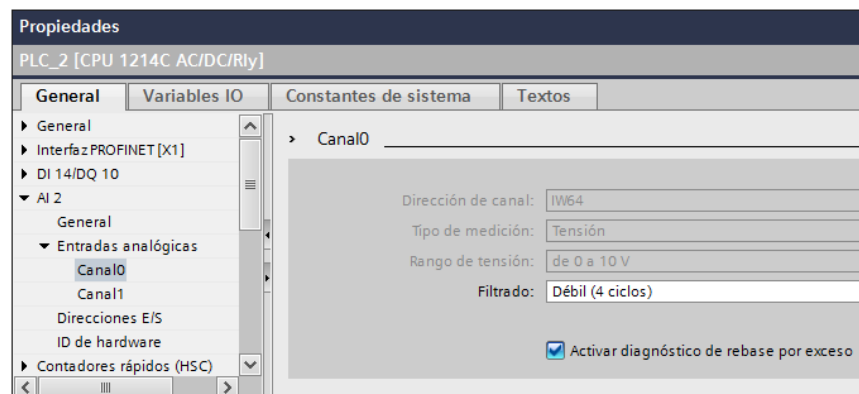


Figura 17: Propiedades de la entrada de señal analógica.

Elaborado por el equipo de trabajo

Posteriormente se realizó la normalización y el escalamiento teniendo en consideración que los valores en tensión ingresados hacia el PLC son convertidos en valores del tipo de variable INT(enteros) esos valores viene por defecto en la

configuración del software y es posible realizar una función con ayuda de la Tabla 6, el procedimiento mencionado es posible verlo en Figura 18.

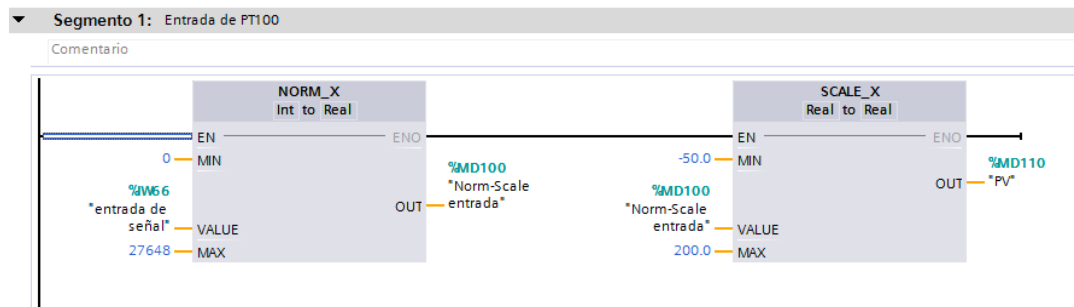


Figura 18: Proceso de normalización y escalamiento

Elaborado por el equipo de trabajo

3.3.2.2 SALIDA DE SEÑAL ANALÓGICA

Es un hecho de que el controlador lógico programable no contiene una salida de señal analógica por defecto, sin embargo es posible acondicionar módulos de señal tanto de entradas y salidas analógicas en esta investigación acondicionaremos una salida de señal analógica también conocido como “Signal Board” en donde el modelo específico es un SB1232 de 12 bits, la instalación del signal board en el PLC se presenta en la Figura 19.



Figura 19: Instalación del signal board en el PLC

Elaborado por el equipo de trabajo

Para esta parte de la investigación se hizo uso del canal 0 de la salida analógica con la dirección de canal QW 64 en donde el tipo de medición se encuentra en tensión en un rango de trabajo de 0 a 10V como muestra la Figura 20.



Figura 20: Propiedades del signal board.

Elaborado por el equipo de trabajo

Considerando los valores de la Tabla 6 también se realizó la normalización y el escalamiento de salida analógica, considerando que este tuvo una protección contra la sobre tensión para que el adaptador de señal no sobrepase el rango máximo, Figura 21.

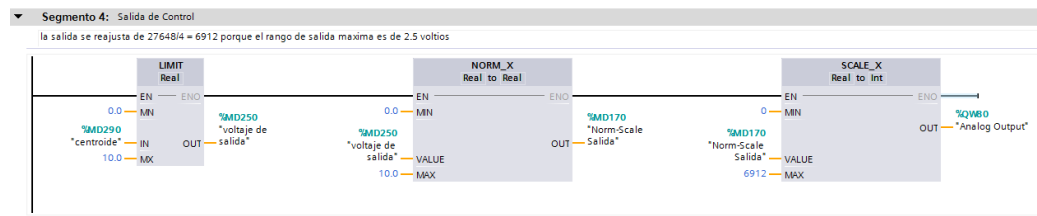


Figura 21: Salida analógica lenguaje KOP

Elaborado por el equipo de trabajo

3.3.3 INTERFACE ANALÓGICA – PWM

Para enviar la señal de control proveniente del signal board que se encuentra en un rango de tensión de 0 a 10 V hacia el relé de estado sólido donde el sistema de control fue un Control proporcional de tiempo variable, fue necesario el diseño e implementación de un circuito impreso en baquelita que permitió realizar la conversión.

El circuito integrado TL 494, Figura 22, fue el encargado para esta conversión de señal analógica a señal PWM en donde hace una relación lineal entre la tensión de entrada y el ciclo de trabajo de la señal PWM.

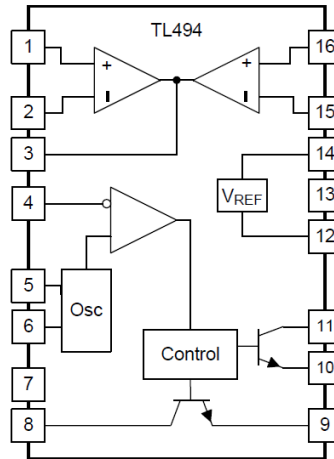


Figura 22: Diagrama de bloques del circuito TL494.

FUENTE:(TEXAS INSTRUMENT, 2017)

Para el desarrollo del interface, se consideró una frecuencia de trabajo de 1Hz, para ello fue necesario la elección de los componentes externos, un resistor y un capacitor, el producto de estos dos componentes son directamente proporcional a la frecuencia de oscilacion, y se encuentra expresada en las ecuaciones (3), (4), y (5).

$$f_{osc} = \frac{1}{R_T * C_T} \quad (3)$$

$$f_{osc} = \frac{1}{100k\Omega * 10\mu F} \quad (4)$$

$$f_{osc} = 1 \text{ Hz} \quad (5)$$

Donde:

RT :Resistor de oscilacion.

CT: Capacitor de oscilacion.

Para la salida se señal hacia el rele de estado solido se realizo por el colector del transistor NPN de control que se encuentra dentro del mismo integrado, como se muestra en el diagrama de esquemático de la Figura 23.

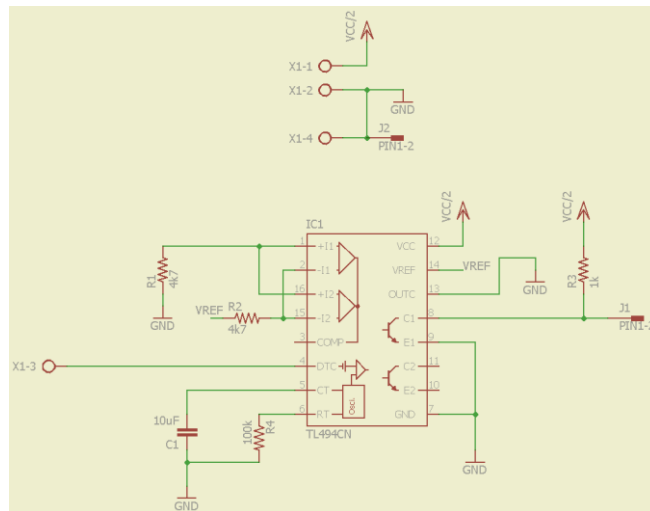


Figura 23: Diagrama esquemático de la interface de señal.

Elaborado por el equipo de trabajo

En la Figura 24, es posible percibir el desarrollo del circuito impreso en baquelita de la interface de señal, el mismo que permitió la conversión de una señal analógica a una señal PWM hacia el SSR.

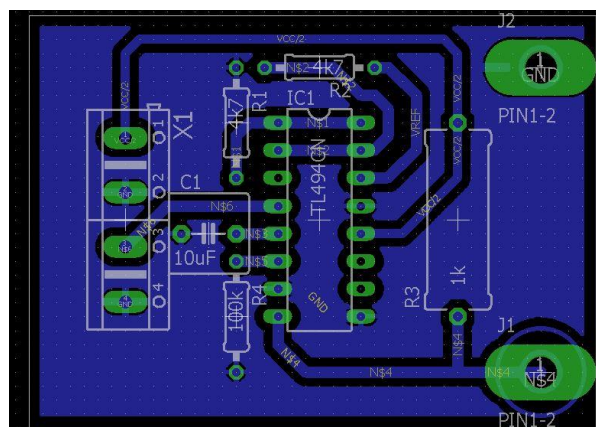


Figura 24: Circuito impreso en baquelita de la interface de señal.

Elaborado por el equipo de trabajo

3.3.4 RELÉ DE ESTADO SÓLIDO (SSR)

El relé de estado sólido (SSR) empleado para esta investigación, Figura 25, es el SSR-25DA-H de la marca FOTEK, este es un dispositivo electrónico que permite el control de paso de corriente hacia una carga, que se alimenta con corriente alterna, con una tensión de entrada en DC.



Figura 25: Relé de estado sólido

Elaborado por el equipo de trabajo

En la Figura 26 es posible apreciar la composición interna del relé de estado sólido ello lo compone un diodo emisor de luz, un fototransistor un Triac y demás componentes complementario, la imagen anterior mente mencionada, Figura 26, nos permite también percibir la conexión externa del relé de estado sólido en los terminales 3 y 4, ello permite el control en DC, y en los terminales 1 y 2 es donde se realiza la conexión de la carga y la alimentación.

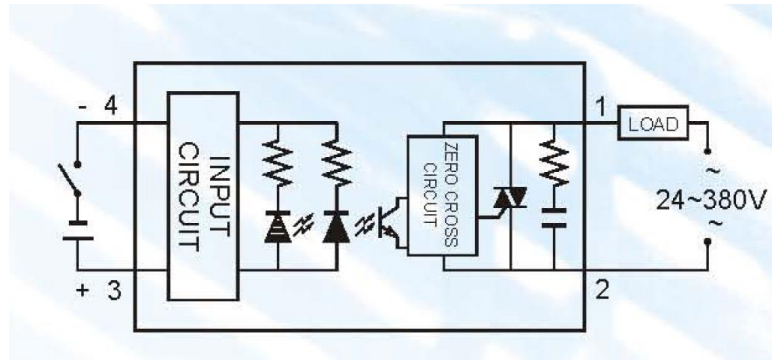


Figura 26: Diagrama de conexión de SSR-25DA-H

FUENTE:(*Fotek SSR Datasheet, 2012*)

3.4 DESARROLLO DEL PROGRAMA EN EL CONTROLADOR

3.4.1 FUSIFICACION

En relación a la fusificación, este se desarrolló en el lenguaje KOP, consiste principalmente determinar los límites del universo de discurso, para ellos fue necesario el uso del software MATLAB herramienta fuzzylogic, el cual nos permite realizar este primer paso, Figura 27.

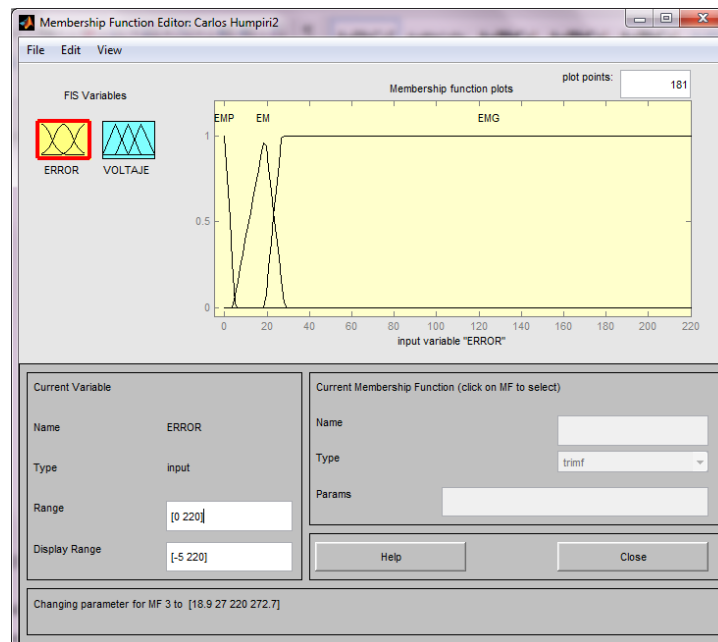


Figura 27: Función de membresía

Elaborado por el equipo de trabajo

Previo al desarrollo en el lenguaje KOP fue necesario tener en consideración las ecuación (6) y la ecuación (7) donde nos permite delimitar el dominio de cada una de las variables lingüísticas la interpretación grafica de la saturación a la derecha y saturación a la izquierda es posible apreciarlo en la Figura 28 y Figura 29 respectivamente.

Para ello se desarrolló de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$f(x) = \begin{cases} x \leq \alpha, & 1 \\ \alpha \leq x \leq \beta, & \frac{x-\beta}{\alpha-\beta} \\ x > \beta, & 0 \end{cases} \quad (6)$$

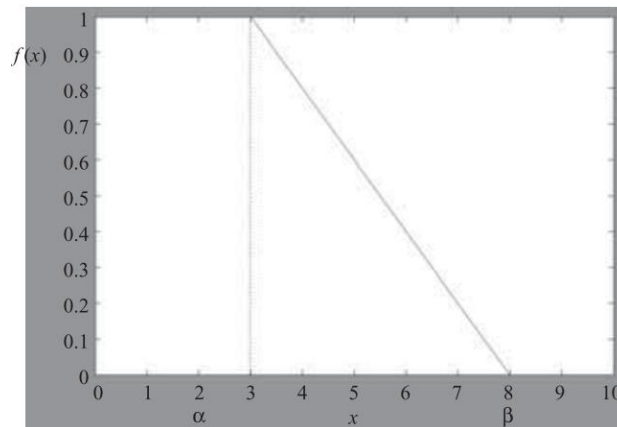


Figura 28: Función tipo saturación derecha

FUENTE: (PONCE, 2010)

$$f(x) = \begin{cases} x \leq \alpha, & 0 \\ \alpha \leq x \leq \beta, & \frac{x-\alpha}{\beta-\alpha} \\ x > \beta, & 1 \end{cases} \quad (7)$$

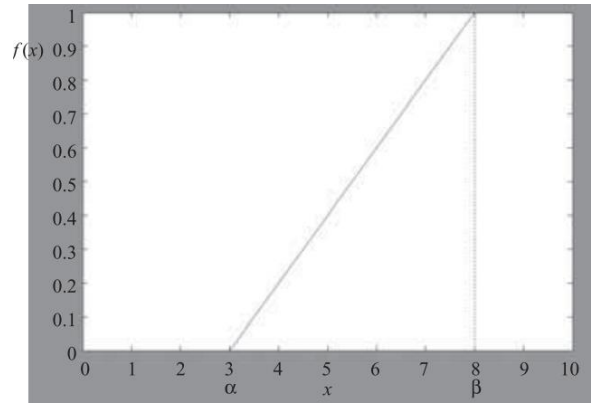


Figura 29: Función tipo saturación izquierda.

FUENTE: (PONCE, 2010)

Una vez que fue determinado estos parámetros, ya antes mencionado, se procedió a realizar las funciones matemáticas en el lenguaje KOP, Figura 30, considerando valores como pendientes, dominio y rango.

Para el caso de la función de membresía de la variable error muy pequeño, EMP, que es del tipo hombro o saturación izquierda se empleó la ecuación (8).

$$u_1(x) = \begin{cases} x < 0 \rightarrow 0 \\ 0 \leq x < 5 \rightarrow \frac{(x-5)}{-5} \end{cases} \quad (8)$$

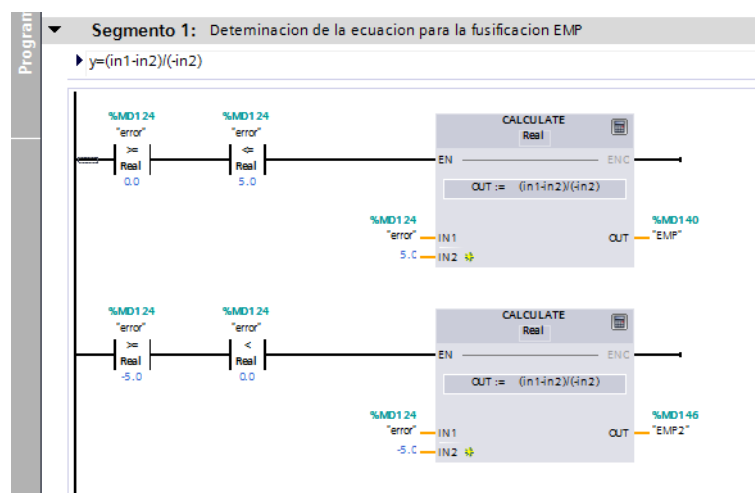


Figura 30: Ecuacion para la fusificaion EMP en lenguaje KOP

Elaborado por el equipo de trabajo

Para el caso de la función de membresía de la variable error medio, EM, que es del tipo triangular se empleó la ecuación (9):

$$u_2(x) = \begin{cases} 3,78 \leq x < 19 & \rightarrow \frac{(x - 3,78)}{(19 - 3,78)} \\ 19 \leq x < 28,39 & \rightarrow \frac{(x - 28,39)}{(19 - 28,39)} \\ 0 & \rightarrow \text{de otra manera} \end{cases} \quad (9)$$

En la Figura 31, es posible divisar la interpretación, de la ecuacion (9) en el lenguaje KOP, para ello fue necesario el uso de comparadores y la funcion de calculadora con el tipo de dato real.

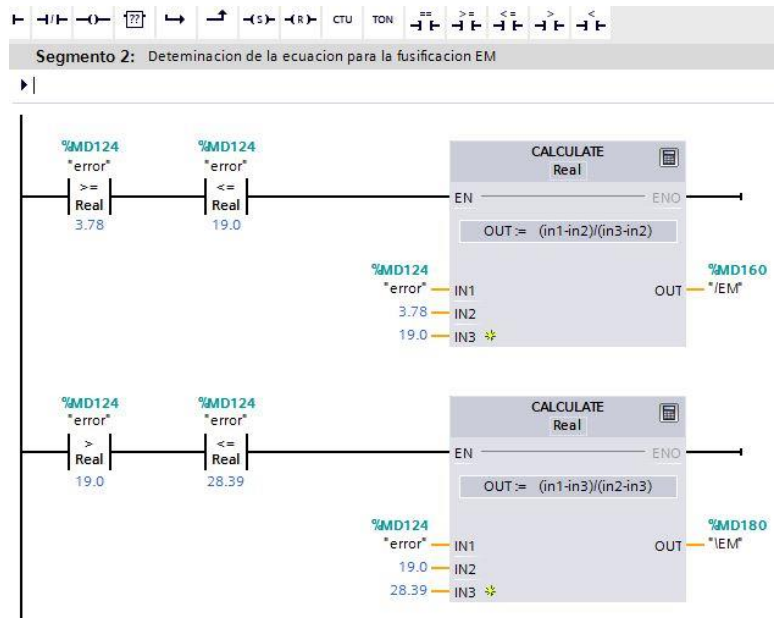


Figura 31: Ecuación para la fusificación EM en lenguaje KOP

Elaborado por el equipo de trabajo

Para el caso de la función de membresía de la variable error muy grande, EMG, que es del tipo hombro o saturación derecha se empleó la ecuación (10):

$$u_3(x) = \begin{cases} x < 18 & \rightarrow 0 \\ 18 \leq x \leq 220 & \rightarrow \frac{(x - 18)}{(220 - 18)} \end{cases} \quad (10)$$

En la Figura 32, es posible percibir la interpretación de la ecuación (10) para fusificación EMG en el lenguaje KOP, la cual me permitió la fusificación de la variable lingüística EMG, considerando el uso de comparadores y la función de calculadora en valores del tipo real.

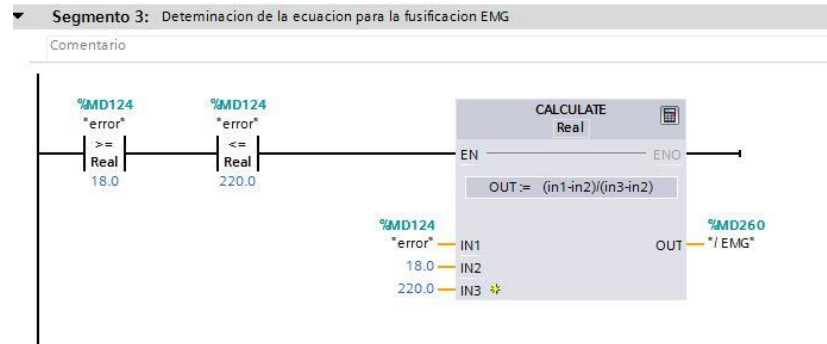


Figura 32: Ecuación para la fusificación EMG en lenguaje KOP

Elaborado por el equipo de trabajo

3.4.2 INFERENCIA

Método de inferencia realizada en esta investigación fue el de Mamdani, considerando las reglas lingüísticas expresadas en la Tabla 7, estas mismas reglas fueron introducidos en el software de MatLAB, Figura 33, para realizar las comparaciones necesarias.

Tabla 7: Reglas Lingüísticas

regla	Antecedente (Error)	Consecuente (Voltaje)
Regla 1	EMP	VP
Regla 2	EM	VM
Regla 3	EMG	VG

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Donde:

EMP: Error muy pequeño.

EM: Error medio

EMG: Error muy grande.

VP: Voltaje pequeño.

VM: Voltaje medio.

VG: Voltaje grande

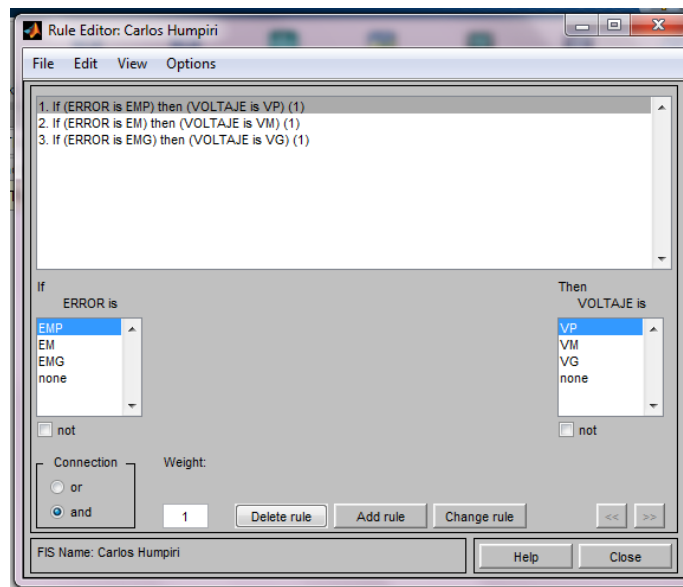


Figura 33: Reglas lingüísticas MatLAB

Elaborado por el equipo de trabajo

Considerando el rango de trabajo, Figura 34, se realizó una conversión del valor EMP a un valor $u(x_1)$, Figura 35, este valor ingresó a la función matemática para obtener el valor de x_1 , el desarrollo de esta función matemática se encuentra expresado en el software MatLAB, Figura 36.

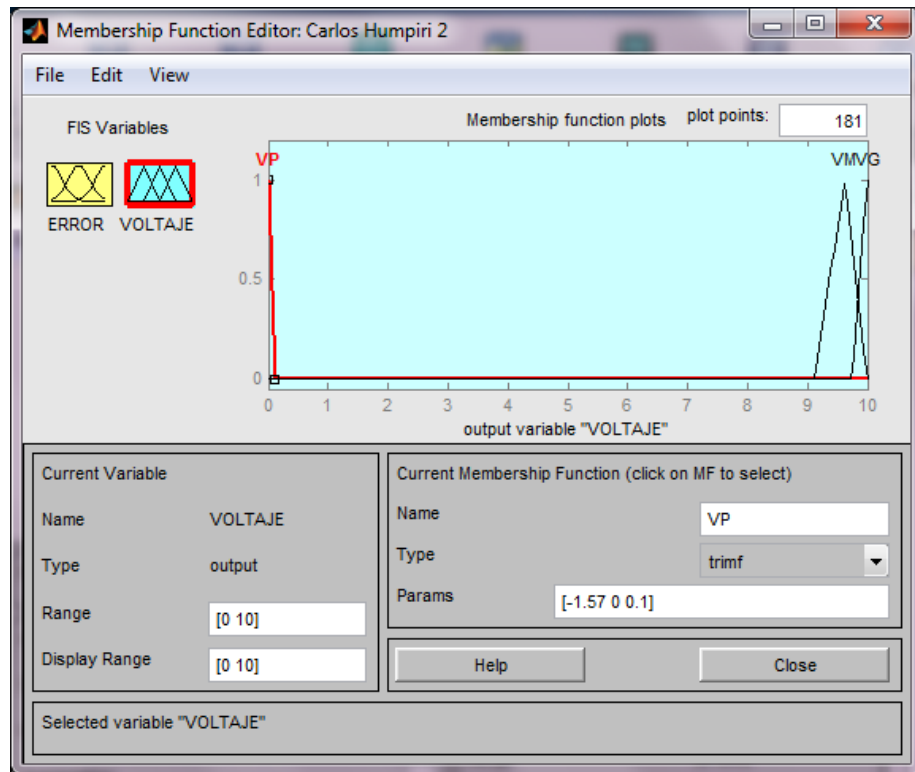


Figura 34: Función de membresía para la defusificación

Elaborado por el equipo de trabajo

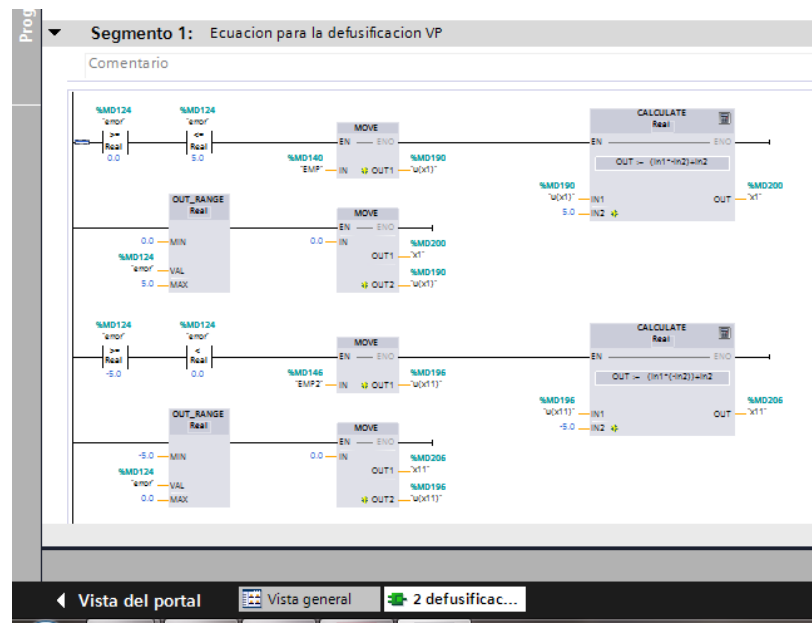


Figura 35: Defusificación en lenguaje KOP

Elaborado por el equipo de trabajo

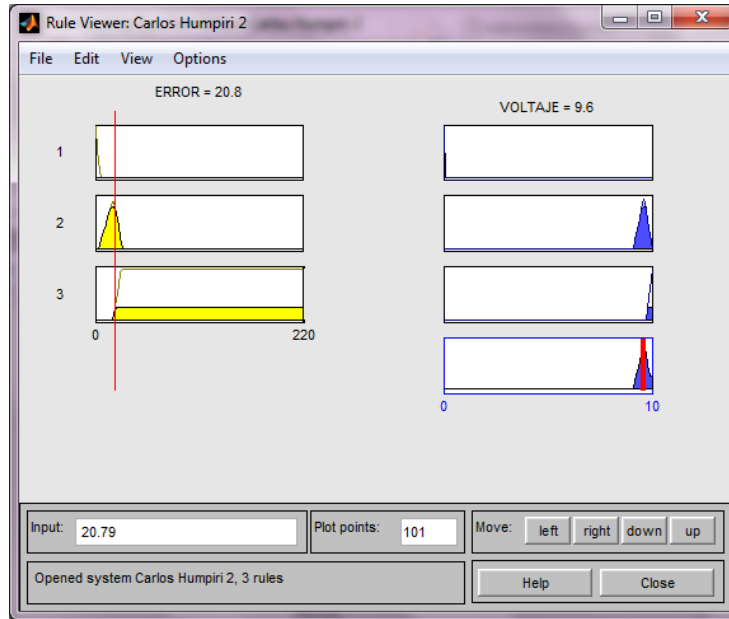


Figura 36: Fusificación y defusificación en MatLAB

Elaborado por el equipo de trabajo

Para determinar el valor final dentro del rango de trabajo de la imagen, fue necesario el uso del cálculo del centroide expresado, el desarrollo en el lenguaje KOP se expresa en la Figura 37.

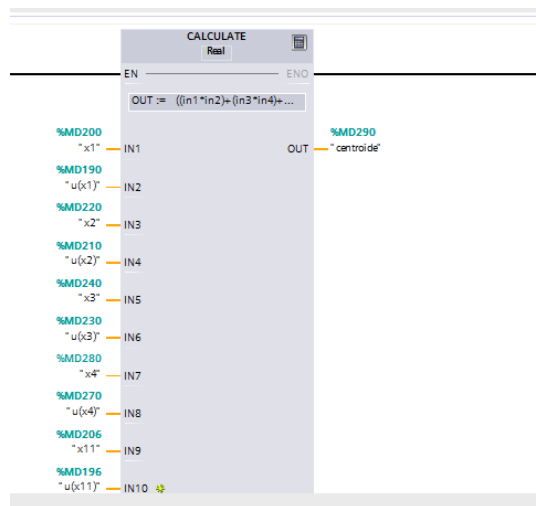


Figura 37: Cálculo de centroide en lenguaje KOP

Elaborado por el equipo de trabajo

Para el desarrollo de la interface hombre maquina se hubo que realizar la conexión por medio del protocolo de comunicación PROFINET el cual fue necesario la asignación direcciones IP y máscaras de subred y en consecuencia fue posible la comunicación entre el PLC_1 y el HMI_1, Figura 38.

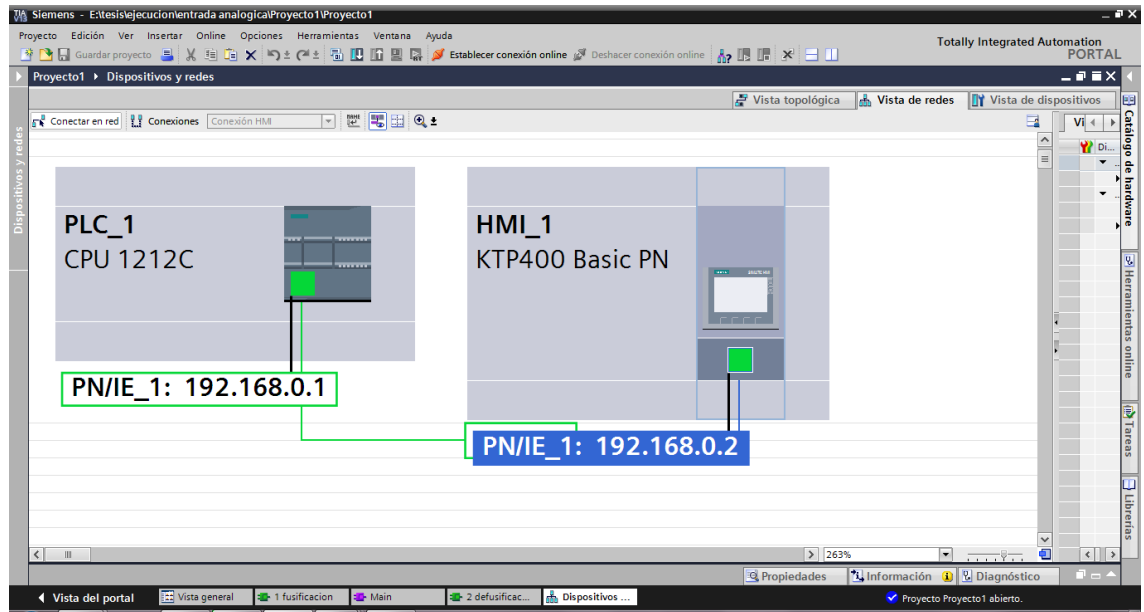


Figura 38: Comunicación PLC_1 y HMI_1

Elaborado por el equipo de trabajo

Dentro del desarrollo de la imagen raíz, Figura 39, comprenden dos valores, SP y PV, siendo el primero, el valor de referencia de control y el segundo, el valor de la temperatura actual de la planta a controlar, en la parte lateral de esto valores podemos encontrar dos barras de referencia que nos facilitará a la hora de poder percibir cambio en la temperatura del horno piloto.

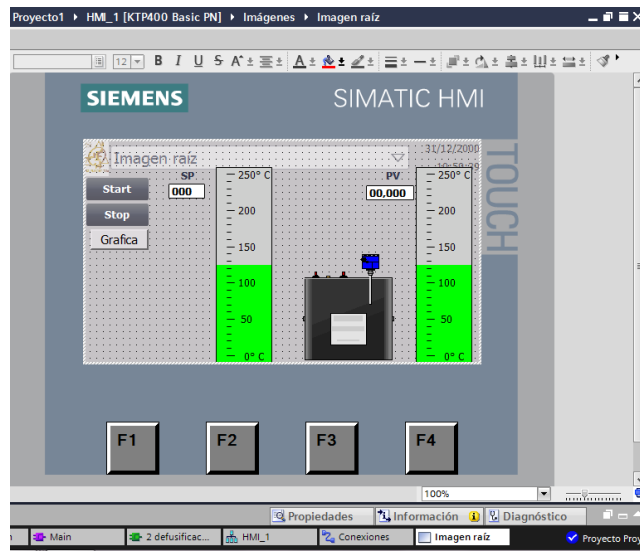


Figura 39: Imagen raíz HMI

Elaborado por el equipo de trabajo

En la Figura 40, es posible ver la distribución de hardware del sistema donde es posible apreciar la pantalla HMI, PLC, módulos de interface, y la planta piloto con la instalación del sensor de temperatura.

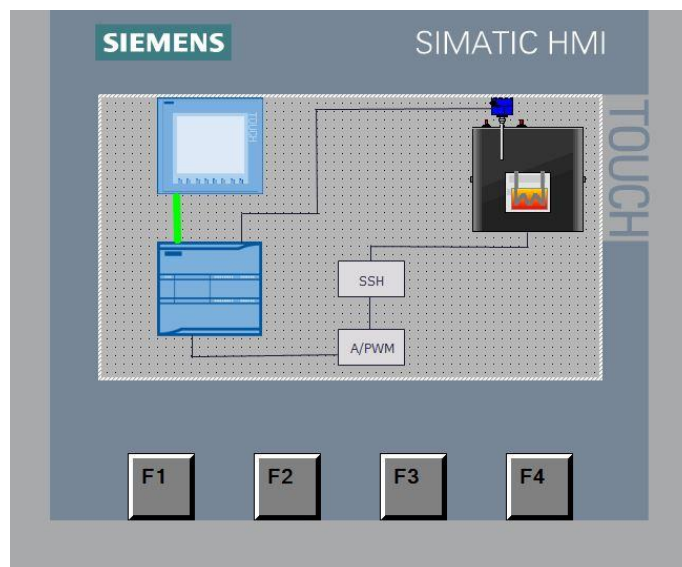


Figura 40: Distribución de hardware del sistema

Elaborado por el equipo de trabajo



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS

Dentro de los resultados obtenidos en la investigación se procesara a realizar un análisis del desempeño de control en respuesta transitoria del sistema (OGATA, 2010) afirma que:

Con frecuencia, las características de desempeño de un sistema de control se especifican en términos de la respuesta transitoria para una entrada escalón unitario, puesto que esta es fácil de generar y es suficientemente drástica. (Si se conoce la respuesta a una entrada escalón, es matemáticamente posible calcular la respuesta para cualquier entrada.). (p. 169)

A continuación, se proporciona los resultados obtenidos del desempeño de control difuso a la temperatura del horno eléctrico, en donde se presenta los valores de la respuesta transitoria como son:

1. Tiempo de retardo.
2. Tiempo de subida.
3. Tiempo pico.
4. Sobrepaso máximo.
5. Tiempo de asentamiento.

En la Figura 41, podemos apreciar en la parte superior la respuesta transitoria del sistema en donde se encuentra el SP (set point) representado con el color azul; el PV (variable del proceso) representado por el color verde, y en la parte inferior podemos

apreciar la señal PWM (modulación de ancho de pulso) representado por el color magenta, que va al actuador de la planta en respuesta al error obtenido.

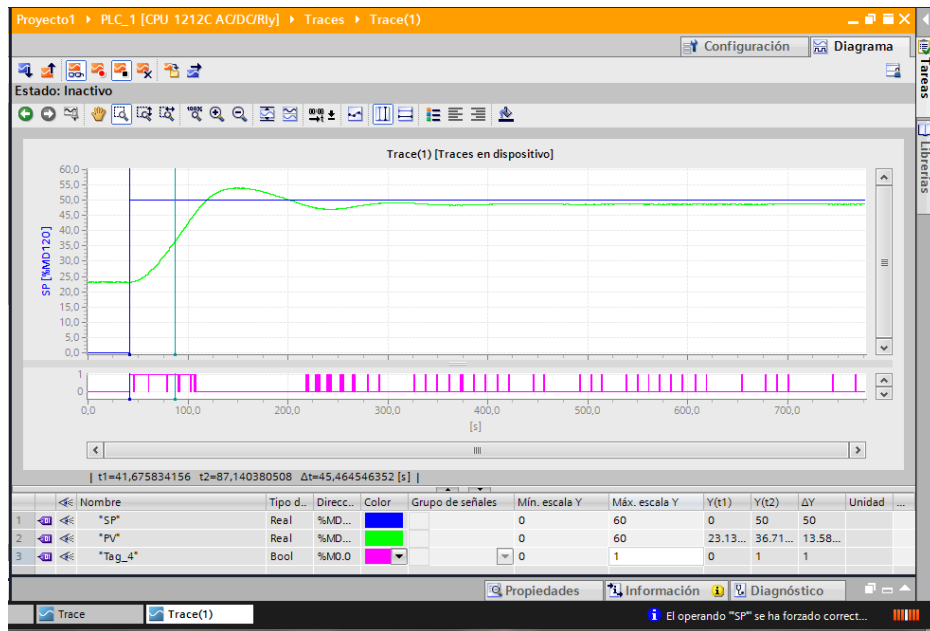


Figura 41: Tiempo de retardo en la respuesta transitoria

Elaborado por el equipo de trabajo

1. **Tiempo de retardo**, (OGATA, 2010) afirma que: “el tiempo de retardo es el tiempo requerido para que la respuesta alcance la primera vez



la mitad el valor final.” En nuestro caso de acuerdo a la Figura 41 este tiempo se encuentra en:

$$\frac{T_{inicial} + T_{SP}}{2} = T_m$$

$$\frac{23.13 + 50}{2} = T_m$$

$$36.565 = T_m$$

Donde:

$T_{inicial}$: Temperatura inicial

T_{SP} : Temperatura de referencia

T_m : Temperatura media

Los cursores t_1 y t_2 , ubicado al inicio de la entrada escalón unitario y en el valor de temperatura media, respectivamente, ayuda a determinar el valor del tiempo de retardo.

$$t_2 - t_1 = t_d$$

$$87.14038050 - 41.675834 = t_d$$

$$\underline{45.464546 = t_d}$$

Donde:

t_1 : Tiempo de inicio

t_2 : Tiempo en temperatura media

t_d : Tiempo de retardo

2. **Tiempo de subida** (OGATA, 2010) afirma que: “el tiempo de subida es el tiempo requerido para que la respuesta pase del 10 al 90%, del 5 al 95% o del 0 al 100% de su valor final.”. en la Figura 42 es posible apreciar el valor de 49.98 °C en un tiempo de subida, t_r , igual a 76.72 seg.

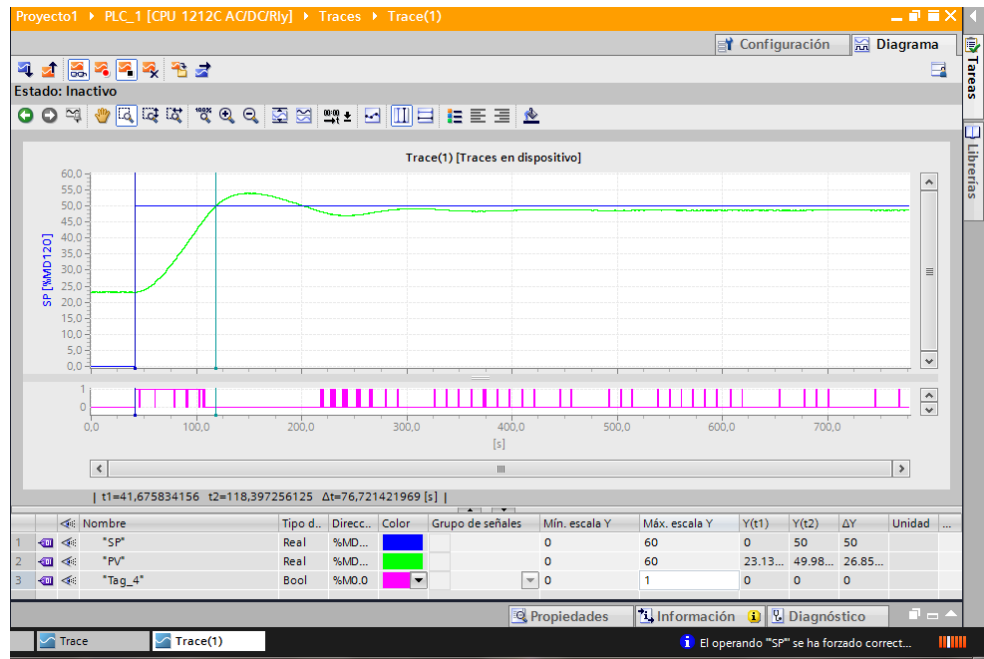


Figura 42: Tiempo de subida en la respuesta transitoria

Elaborado por el equipo de trabajo

3. **Tiempo pico** “el tiempo pico es el tiempo requerido para que la respuesta alcance el primer pico de sobre elongación.” (OGATA, 2010). En la Figura 43, se precisa este valor pico, t_p , de 53.99° C en un tiempo de 104.1895 seg.

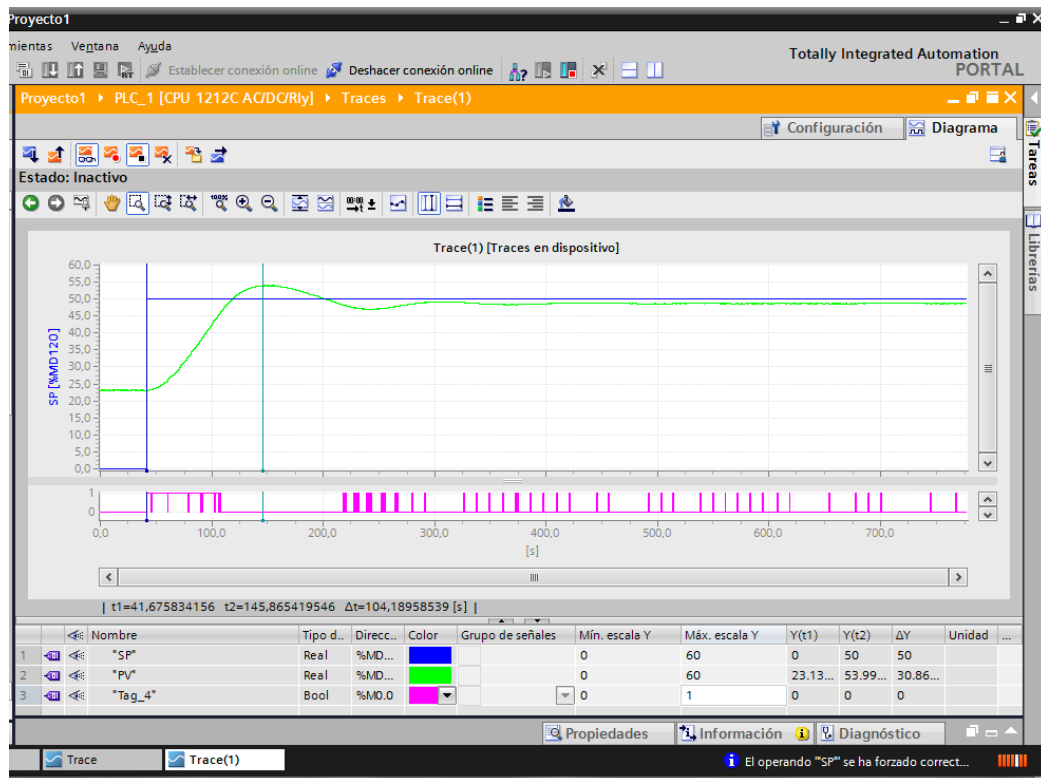


Figura 43: Tiempo pico de la respuesta transitoria.

Elaborado por el equipo de trabajo

4. **Sobrepaso máximo M_p** “la máxima sobre elongación es el máximo valor del pico de la curva de respuesta, medido a partir de la unidad. Si el valor final en estado estacionario de la respuesta es diferente de la unidad, es frecuente utilizar el porcentaje de sobre elongación máxima. Se define mediante:” (OGATA, 2010)

$$\text{porcentaje de sobreelongacion maxima} = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} * 100\%$$

$$\text{porcentaje de sobreelongacion maxima} = \frac{53.99 - 49.05}{49.05} * 100\%$$

$$\text{porcentaje de sobreelongacion maxima} = 10.071\%$$

5. Tiempo de asentamiento t_s . (OGATA, 2010) afirma que: “El tiempo de asentamiento es el tiempo que se requiere para que la curva de respuesta

alcance un rango alrededor del valor final del tamaño especificado por el porcentaje absoluto del valor final (por lo general, de 2 o 5%). El tiempo de asentamiento se relaciona con la mayor constante de tiempo del sistema de control.” El valor obtenido, Figura 44, en la presente investigación es de 49.05° C

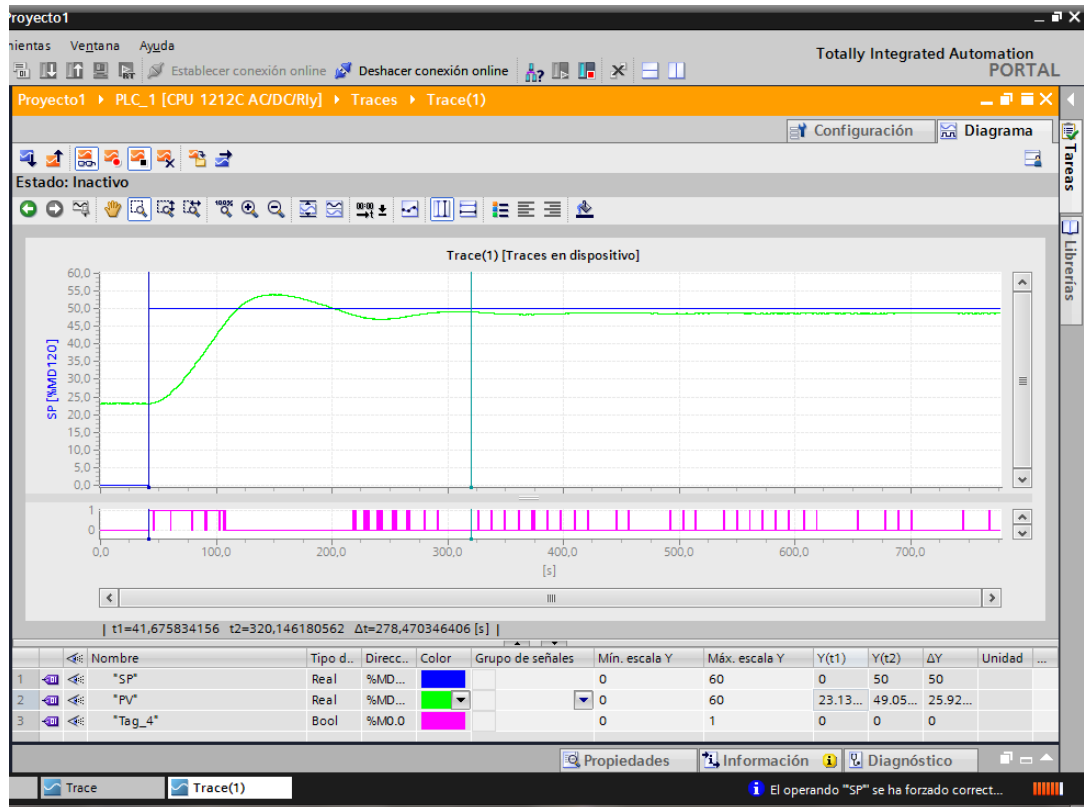


Figura 44: Tiempo de asentamiento de la respuesta transitoria.

Elaborado por el equipo de trabajo

En la siguiente

Tabla 8 se muestra un resumen de los resultados en las pruebas realizadas.



Tabla 8: Resumen de resultados en las pruebas.

Variable	Prueba 1	Prueba 2
SP	50°C	70° C
td	45.46 (seg)	95.12(seg)
tr	76.72(seg)	138.2(seg)
tp	104.18(seg)	142.33(seg)
Mp	10.071%	2.10%
Error absoluto	0.95° C	1.4° C
Error relativo	1.9%	2%

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

4.2 DISCUSIÓN:

a). Comparando con la tesis que lleva por título: **“Diseño del control de temperatura para un horno industrial, mediante la modulación de ancho de pulso usando un PLC de gama alta”** desarrollada por CONDORI, Saul y SERPA, Javier; desarrollaron un sistema de control de temperatura con un controlador lógico programable MODICON M241 TM241CE24R. Obteniendo como resultado un control por PWM con un error 2%

En nuestro caso fue desarrollado con un PLC Siemens S7-1200 1214C AC/DC/RLY considerando que la salida de nuestro controlador es de salida del tipo relay se optó por una salida analógica con signal board SB1232, con un error de control de 1.95%.

b). Comparando con la investigación desarrollado por JIMENEZ, Isaac **“Control de temperatura de un horno eléctrico mediante lógica difusa”** desarrollaron un



controlador con el software LabView y con una tarjeta de adquisición de datos lograron controlar la temperatura de un horno eléctrico con valores de error promedio de 2.65%

En nuestro caso la adquisición de datos se realizó con las entradas analógicas que tiene por defecto el PLC Siemens S7-1200 en la dirección IW66, con un error de 1.95%.

V. CONCLUSIONES

Primero

Con un adecuado uso de las instrucciones básicas del software TIA Portal v13, se concluye que es posible el desarrollo de la fusificación, inferencia, defusificación en el lenguaje KOP utilizando las instrucciones básicas como son: comparadores, funciones matemáticas, transferencias y conversiones, teniendo como referencia la app Fuzzy Logic design del programa de MatLAB.

Segundo

Conforme a criterios establecidos de normalización, escalamiento y análisis de circuito fue posible el acondicionar las señales enviada por el PT100 hacia la entrada del PLC por medio de un transmisor de temperatura 0 – 200°C a 4mA- 20mA, así también se realizó el acondicionamiento de la señal analógica proveniente del PLC hacia la planta por medio de un relé de estado sólido y un circuito impreso, de esa forma, se concluye que es posible el envío y la recepción de la señal desde y hacia el PLC Siemens S7-1200.



VI. RECOMENDACIONES

Primero:

Una primera recomendación será realizar un esquema por bloques del funcionamiento general y analizar el funcionamiento de cada bloque, de tal forma que el problema se toma por partes e ir avanzado bloque por bloque para que de esa manera se pueda desarrollar la investigación.

Segundo:

Se recomienda el uso de nuevos controladores lógicos programados, una alternativa de ellas puede ser un PLC de la serie LOGO de la marca Siemens.

Tercero:

Para un mayor control de la salida de señal digital en PWM se recomienda usar un módulo de señal con estas características ya que al usar un módulo de salida analógica implica el uso de componentes electrónicos externos.



VII. REFERENCIAS

- CHARAJA, F. (2011). *El MAPIC en la Metodología de la investigación* (2da Edicio).
- CONDORI, S., & SERPA, J. (2017). Diseño del control de temperatura para un horno industrial, mediante la modulación de ancho de pulso usando un PLC de gama alta [Universidad Nacional del Altiplano]. In *Universidad Nacional del Altiplano*. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6103/Condori_Chahuara_Saul.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- CREUS, A. (2010). Instrumentación Industrial. In Alfaomega (Ed.), *Instrumentación Industrial* (8va ed.).
- Fotek SSR Datasheet. (2012). *Solid State Relay SSR-25DA* (p. 6).
- IEC_1131. (1997). *Fuzzy Control Programing*.
- INTRUMENTACION, A. C. E. (2011). *Conexión de la Pt100*. 1–6. <http://www.arian.cl>
- JIMENEZ, I. (2012). CONTROL DE TEMPERATURA DE UN HORNO ELECTRICO MEDIANTE LOGICA DIFUSA. In *Universidad tecnologica de la Mixteca*. http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/11597.pdf
- LEON, P., LARA, H., AGUILAR, D., VEGA, C., SOTOMAYOR, D., & ESPINOSA, N. (2015). Controlador difuso desarrollado en un PLC, basado en el Método de Promedios Ponderados [universidad nacional del altiplano]. In *CHILECON 2015 - 2015 IEEE Chilean Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies, Proceedings of IEEE Chilecon 2015*. <https://doi.org/10.1109/Chilecon.2015.7400352>
- MANDADO, E. (2009). *Automatas Programables y sistemas de automatización* (Segunda Ed, Vol. 1). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>



- OGATA, K. (2010). *Ingeniería de control moderna* (PEARSON (ed.); 5ta ed.).
PEARSON. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- PONCE, P. (2010). *Inteligencia Artificial con Aplicaciones a la Ingeniería* (A. Herrera (ed.); Primera).
- SIEMENS. (2009). *MANUAL DEL SISTEMA* (pp. 1–378).
- TEXAS INSTRUMENT. (2017). *TL494 Pulse-Width-Modulation Control Circuits*.
- VELÁZQUEZ, R., GOMEZ, T., & RODRÍGUEZ, J. (2017). A pH process control embedded on a PLC Using Fuzzy Logic. *Universidad Autonoma de Querétaro*.
https://doi.org/10.1007/978-3-0348-5921-9_4



ANEXOS

Anexo 1: Resistencia según temperatura para las sondas de resistencias Pt100,

°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
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9



°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
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Anexo 2: Desarrollo del bloque MAIN en lenguaje KOP

Totally Integrated Automation Portal	
Proyecto1 / PLC_1 [CPU 1212C AC/DC/Rly] / Bloques de programa	
Main [OB1]	
Main Propiedades	
General	
Nombre	Main
Número	1
Tipo	OB
Idioma	KOP
Información	
Título	"Main Program Sweep (Cycle)"
Autor	
Comentario	Familia
Versión	0.1
ID personalizada	
Main	
Nombre	
Tipo de datos	Valor predet.
Comentario	
Initial_Call	Bool
Remanence	Bool
Temp	
Constant	
<p>Segmento 1: Entrada de PT100</p>	
Símbolo	"entrada de señal"
Dirección	%IWD66
Tipo	Int
Comentario	

Totally Integrated Automation Portal		
Símbolo	Dirección	Tipo
"Norm-Scale entrada"	%MD100	Real
"PV"	%MD110	Real
Segmento 2: Determinación del Error		
Símbolo	Dirección	Tipo
"error"	%MD124	Real
"PV"	%MD110	Real
"SP"	%MD120	Real
Segmento 3:		

Totally Integrated Automation Portal	
Símbolo	Dirección
Tipo	Comentario
<p>Segmento 4: Salida de Control</p> <p>la salida se reajusta de 27648/4 = 6912 porque el rango de salida máxima es de 2.5 voltios</p>	
Símbolo	Dirección
Tipo	Comentario
"Analog Output"	%QW80
"centroide"	%MD290
"Norm-Scale Salida"	%MD170
"voltaje de salida"	%MD250

Anexo 3: Desarrollo del bloque de fusificación en el lenguaje KOP.

Totally Integrated Automation Portal		
--------------------------------------	--	--

Proyecto1 / PLC_1 [CPU 1212C AC/DC/Rly] / Bloques de programa

1 fusificación [FC1]

1 fusificación Propiedades					
General					
Nombre	1 fusificación	Número	1	Tipo	FC
Idioma	KOP	Numeración	automática		
Información					
Título		Autor		Comentario	
Familia		Versión	0.1	ID personalizada	

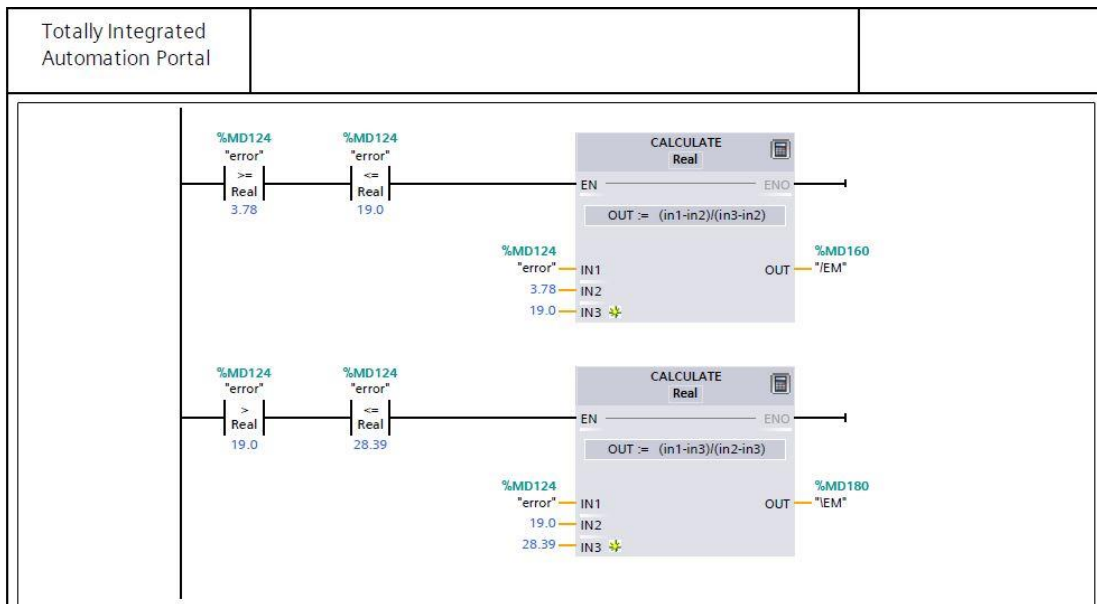
1 fusificación			
Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Comentario
Input			
Output			
InOut			
Temp			
Constant			
▼ Return			
1 fusificación	Void		

Segmento 1: Deteminacion de la ecuacion para la fusificación EMP

$y=(in1-in2)/(-in2)$

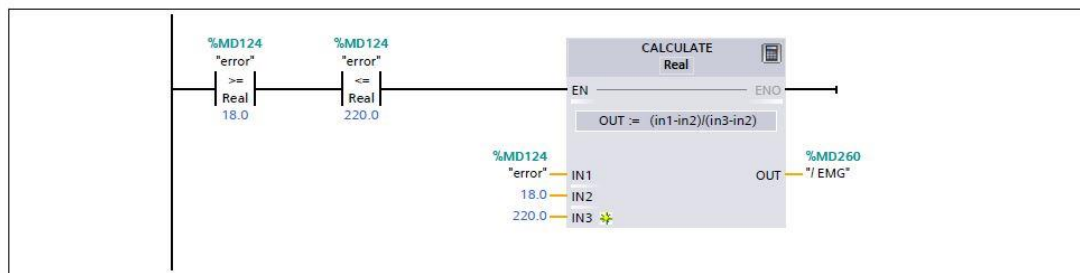
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"EMP2"	%MD146	Real	
"EMP"	%MD140	Real	
"error"	%MD124	Real	

Segmento 2: Deteminacion de la ecuacion para la fusificación EM



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"/EM"	%MD160	Real	
"/EM"	%MD180	Real	
"error"	%MD124	Real	

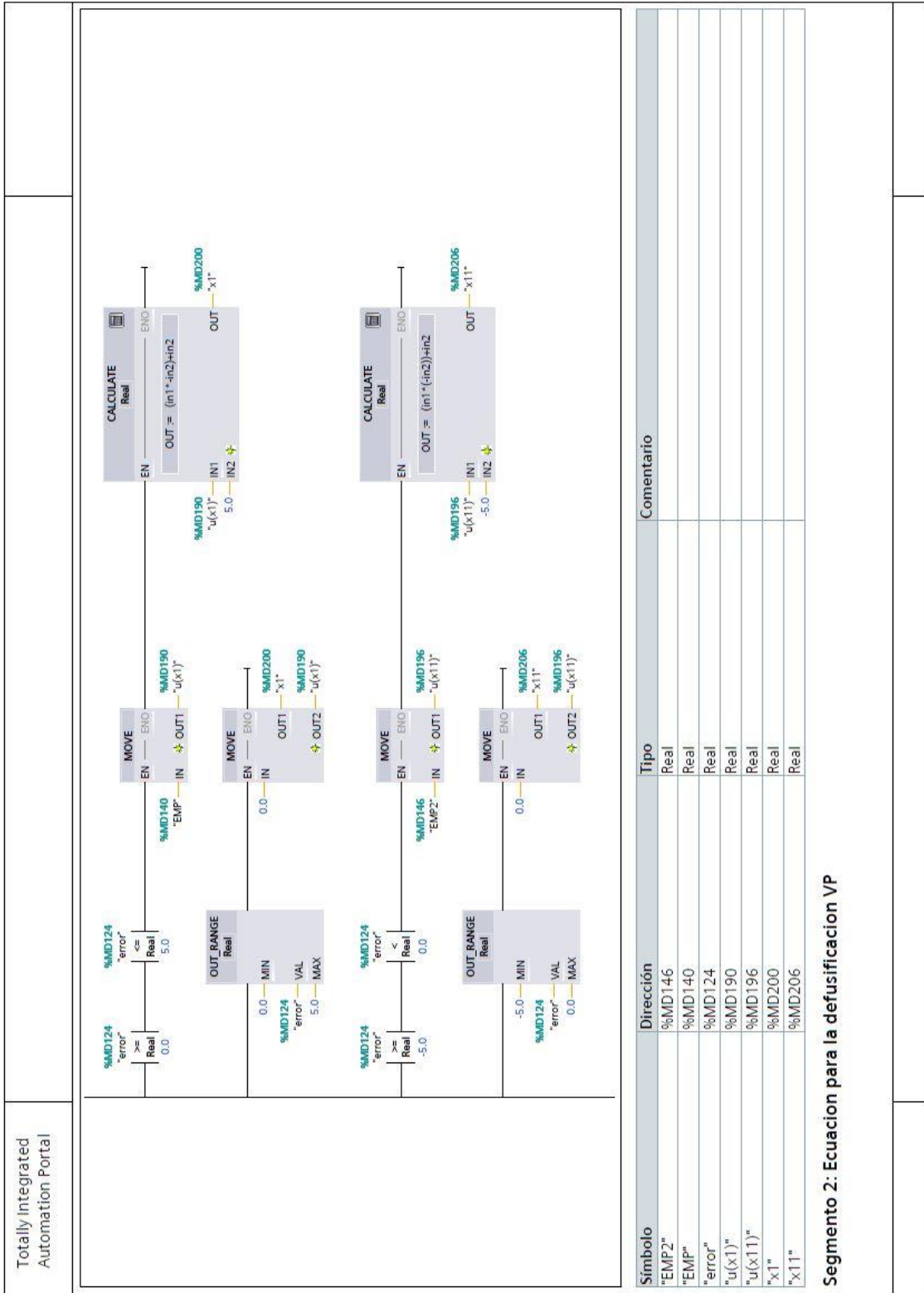
Segmento 3: Detemination de la ecuacion para la fusificacion EMG

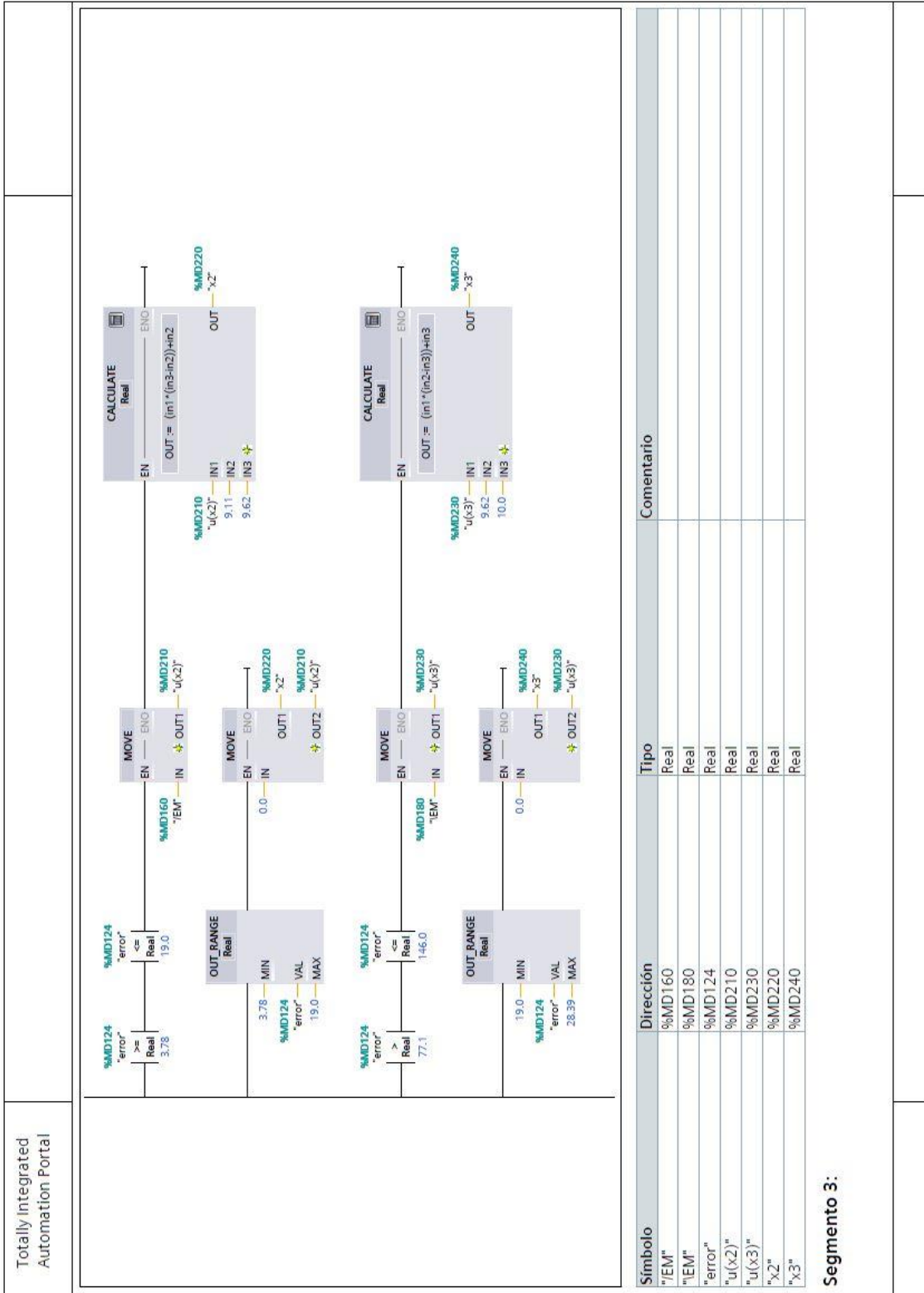


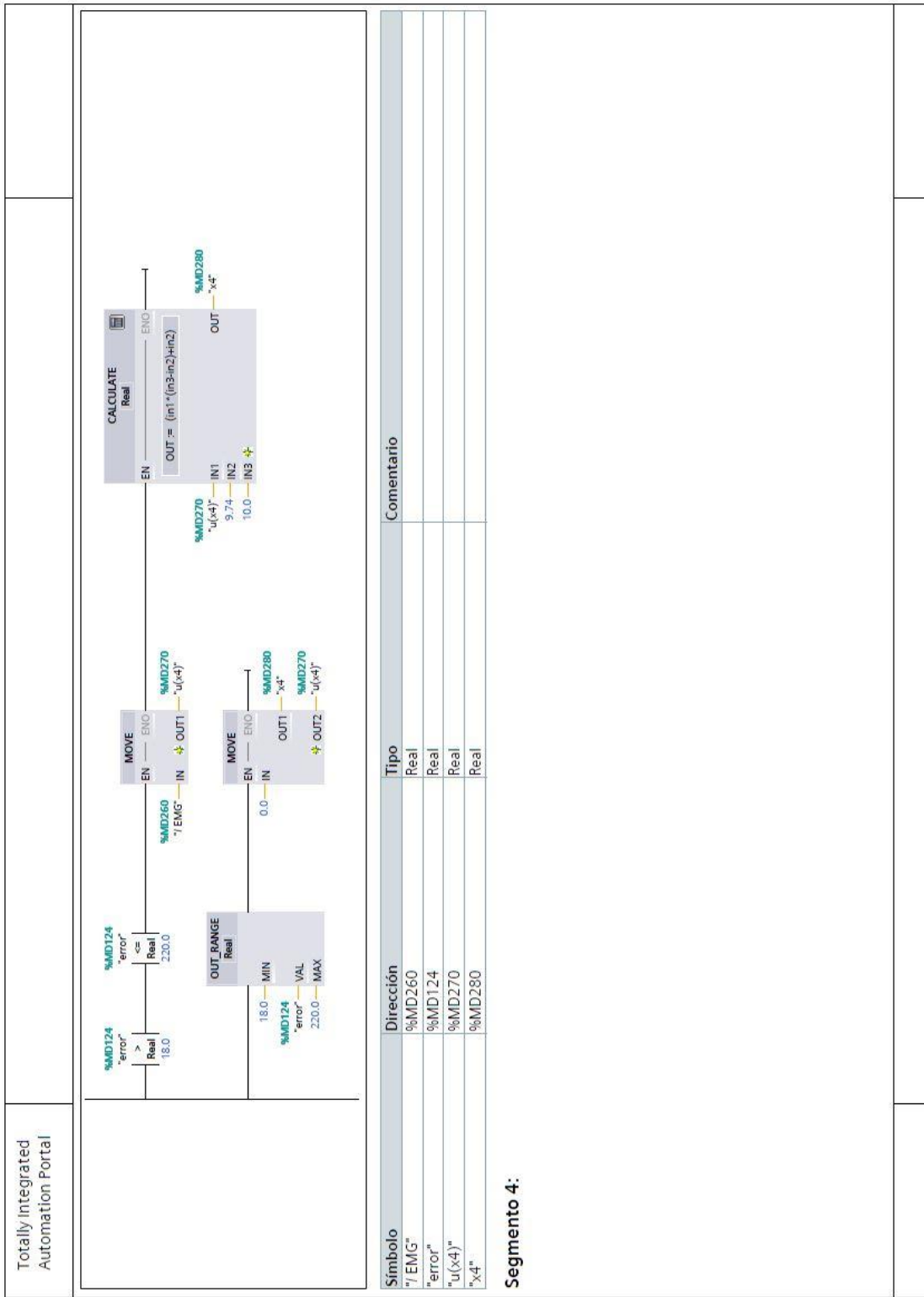
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"/EMG"	%MD260	Real	
"error"	%MD124	Real	

Anexo 4: Desarrollo del bloque de defusificación en el lenguaje KOP

Totally Integrated Automation Portal	
Proyecto1 / PLC_1 [CPU 1212C AC/DC/Rly] / Bloques de programa 2 defusificación [FC2]	
2 defusificación Propiedades	
General	
Nombre	2 defusificación automática
Numeración automática	Número 2
Tipo	FC
Idioma	KOP
Información	
Título	Autor
Comentario	Familia
Versión	0.1
ID personalizada	
2 defusificación	
Nombre	Tipo de datos
Input	Valor predet.
Output	
InOut	
Temp	
Constant	
Return	
2 defusificación	Void
Segmento 1: Ecuacion para la defusificación VP	







<p>Totally Integrated Automation Portal</p>																																																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Símbolo</th> <th>Dirección</th> <th>Tipo</th> <th>Comentario</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>"centroide"</td> <td>%MD290</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"u(x1)"</td> <td>%MD190</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"u(x2)"</td> <td>%MD210</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"u(x3)"</td> <td>%MD230</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"u(x4)"</td> <td>%MD270</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"u(x11)"</td> <td>%MD196</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"x1"</td> <td>%MD200</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"x2"</td> <td>%MD220</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"x3"</td> <td>%MD240</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"x4"</td> <td>%MD280</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"x11"</td> <td>%MD206</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario	"centroide"	%MD290	Real		"u(x1)"	%MD190	Real		"u(x2)"	%MD210	Real		"u(x3)"	%MD230	Real		"u(x4)"	%MD270	Real		"u(x11)"	%MD196	Real		"x1"	%MD200	Real		"x2"	%MD220	Real		"x3"	%MD240	Real		"x4"	%MD280	Real		"x11"	%MD206	Real	
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario																																														
"centroide"	%MD290	Real																																															
"u(x1)"	%MD190	Real																																															
"u(x2)"	%MD210	Real																																															
"u(x3)"	%MD230	Real																																															
"u(x4)"	%MD270	Real																																															
"u(x11)"	%MD196	Real																																															
"x1"	%MD200	Real																																															
"x2"	%MD220	Real																																															
"x3"	%MD240	Real																																															
"x4"	%MD280	Real																																															
"x11"	%MD206	Real																																															

Anexo 5: Datasheet del HMI 6AV2123-2DB03-0AX0

SIEMENS

Data sheet

6AV2123-2DB03-0AX0

SIMATIC HMI, KTP400 Basic, Basic Panel, Key/touch operation, 4" TFT display, 65536 colors, PROFINET interface, configurable from WinCC Basic V13/ STEP 7 Basic V13, contains open-source software, which is provided free of charge see enclosed CD



General information	
Product type designation	KTP400 Basic color PN
Display	
Design of display	TFT widescreen display, LED backlighting
Screen diagonal	4.3 in
Display width	95 mm
Display height	53.9 mm
Number of colors	65 536
Resolution (pixels)	
• Horizontal image resolution	480 Pixel
• Vertical image resolution	272 Pixel
Backlighting	
• MTBF backlighting (at 25 °C)	20 000 h
• Backlight dimmable	Yes
Control elements	
Keyboard fonts	
• Function keys	
— Number of function keys	4



— Number of function keys with LEDs	0
• Keys with LED	No
• System keys	No
• Numeric keyboard	Yes; Onscreen keyboard
• alphanumeric keyboard	Yes; Onscreen keyboard
Touch operation	
• Design as touch screen	Yes
Installation type/mounting	
Mounting position	vertical
Mounting in portrait format possible	Yes
Mounting in landscape format possible	Yes
maximum permissible angle of inclination without external ventilation	35°
Supply voltage	
Type of supply voltage	DC
Rated value (DC)	24 V
permissible range, lower limit (DC)	19.2 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Input current	
Current consumption (rated value)	125 mA
Starting current inrush I ² t	0.2 A ² ·s
Power	
Active power input, typ.	3 W
Processor	
Processor type	ARM
Memory	
Flash	Yes
RAM	Yes
Memory available for user data	10 Mbyte
Type of output	
Acoustics	
• Buzzer	Yes
• Speaker	No
Time of day	
Clock	
• Hardware clock (real-time)	Yes
• Software clock	Yes
• retentive	Yes; Back-up duration typically 6 weeks
• synchronizable	Yes



Interfaces	
Number of industrial Ethernet interfaces	1
Number of RS 485 interfaces	0
Number of RS 422 interfaces	0
Number of RS 232 interfaces	0
Number of USB interfaces	1; Up to 16 GB
Number of 20 mA interfaces (TTY)	0
Number of parallel interfaces	0
Number of other interfaces	0
Number of SD card slots	0
With software interfaces	No
Industrial Ethernet	
• Industrial Ethernet status LED	2
Protocols	
PROFINET	Yes
Supports protocol for PROFINET IO	No
IRT	No
PROFIBUS	No
MPI	No
Protocols (Ethernet)	
• TCP/IP	Yes
• DHCP	Yes
• SNMP	Yes
• DCP	Yes
• LLDP	Yes
WEB characteristics	
• HTTP	No
• HTML	No
Redundancy mode	
• MRP	No
Further protocols	
• CAN	No
• EtherNet/IP	Yes
• MODBUS	Yes; Modicon (MODBUS TCP/IP)
Interrupts/diagnostics/status information	
Diagnostic messages	
• Diagnostic information readable	No
EMC	
Emission of radio interference acc. to EN 55 011	
• Limit class A, for use in industrial areas	Yes
• Limit class B, for use in residential areas	No

Anexo 6: Datasheet del rele de estado solido (SSH)

FOTEK SSR SERIES SOLID STATE RELAY

- ★ High Reliability by S.M.T. & TQC.
(Surface Mounting Technology)
- ★ High Isolation over than 50MΩ / 500VDC
- ★ High Dielectric over than 2.5KV
- ★ Low Enable Current less than 7.5mA / 12VDC
C MOS IC or TTL Compatible.
- ★ Low EMI / EFI & Surge by Zero Cross Trigger Method.
- ★ High Surge Current Duration Over 10 Times of Rated Current / One Cycle
- ★ High Surge Voltage Duration by Snubber Circuit.
- ★ 表面貼焊技術及全面品管，提供最可靠的 SSR
- ★ 高絕緣阻抗超過 50MΩ / 500VDC
- ★ 高耐壓超過 2.5KV
- ★ 低觸發電流小於 7.5mA / 12VDC，可與 CMOS IC及 TTL 匹配
- ★ 零點觸發方式避免電磁 / 高頻干擾
- ★ 高耐過電流，超過10倍額定電流 / 一週期
- ★ 具緩衝迴路可吸收瞬間突破



Guiding of Model

Terminal Type

Ex. **SSR-40 D A-H**

① ② ③ ④ ⑤

- ① **Product 產品別**
SSR: SINGLE PHASE SOLID STATE RELAY
單相固態繼電器
STR: THREE PHASE SOLID STATE RELAY
三相固態繼電器
- ② **Output Current 輸出電流**
10 : 10A 25 : 25A
40 : 40A 50 : 50A

75 : 75A
- ③ **Input Voltage 輸入方式**
D: DC3W~32V<ON/OFF>
A: AC80~250V<ON/OFF>
L: 4~20mA(linear)
V: VARIABLE RESISTER
- ④ **Output Voltage 輸出電壓**
A: AC VOLTAGE
D: DC VOLTAGE
- ⑤ **Output Voltage Range 輸出電壓範圍**
H : High Voltage Type < 90 ~ 480VAC >
Non: Standard Type < 24 ~ 380VAC >

PCB Type

Ex. **SSR-P 03 D A**

① ② ③ ④ ⑤

- ① **Product 產品別**
SSR : SINGLE PHASE SOLID STATE
- ② **Mounting Method 固定方式**
PCB: PCB TYPE
- ③ **Output Current 輸出電流**
03 = 3A
05 = 5A
- ④ **Input Method 輸入方式**
D : DC VOLTAGE
- ⑤ **Output Voltage 輸出電壓**
D : DC 5 ~ 60V
A : AC 24 ~ 280V

SSR SERIES



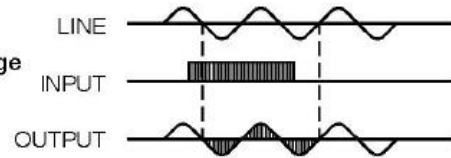
Control Method

Zero Cross Trigger Method

Output TURN ON or TURN OFF only on Zero Cross Point of sine wave , may avoid surge or EMI / RFI occurring.

Specially suited to control resistive , capacitive and Non - saturated inductive loads.

輸出只在正弦波的零點才會動作或復歸，可避免生突波或 EM / RFI，特別適於控制阻抗性，電容性和不飽和感抗性等負載。

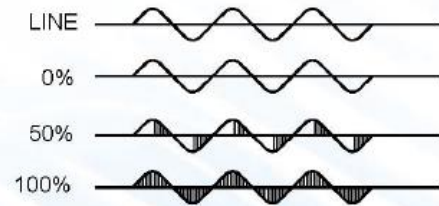


Variable Resistance Control Method

< Trimmer Control Method >

Power Output is Controlled by the Trigger Angle of Triac with Variable Resistor 250K Ω /110VAC, 500K Ω /220VAC

輸出功率以可變電阻 250K Ω /110VAC, 500K Ω /220VAC 控制 Triac 觸發角決定輸出功率。



Application Hints

Input	NPN	Output	NO	Input	PNP	Output	NO	Input	L.S.	Output	NO
Input	NPN	Output	NC	Input	PNP	Output	NC	Latch Circuit (AC to AC)			

FOTEK SSR SERIES DC TO AC SOLID STATE RELAY

Specification

Type	Terminal Type					PCB Type
Model	SSR-10DA	SSR-25DA	SSR-40DA	SSR-25DA-H	SSR-40DA-H	SSR-P03DA
Rated Load Current	10A	25A	40A	25A	40A	3A
Input Data						
Operating Voltage	3~32VDC					
Min. ON / OFF Voltage	ON > 2.4V , OFF < 1.0V					
Trigger Current	7.5mA / 12V					
Control Method	Zero Cross Trigger					
Output Data						
Operating Voltage	24~380VAC		90~480VAC		24~380VAC	
Min. Black Voltage	600 VAC < Repetive >					
Voltage Drop	1.6 V / 25 C					
Max. Durated Current	135A	275A	410A	275A	410A	135A
Leakage Current	3.0mA	3.0mA	3.0mA	5.0mA	5.0mA	3.0mA
Response Time	ON < 10ms , OFF < 10ms					
General Data						
Dielectric Strength	Over 2.5KVAC / 1min.					
Isolation Strength	Over 50M Ω / 500VDC					
Operating Temperature	-20 C ~+80 C					
Housing Material	Intensive ABS					
Weight	Appr. 105g					Appr. 15g
Connection Diagram						

FOTEK SSR SERIES HIGH CURRENT DC TO AC SOLID STATE RELAY

Specification

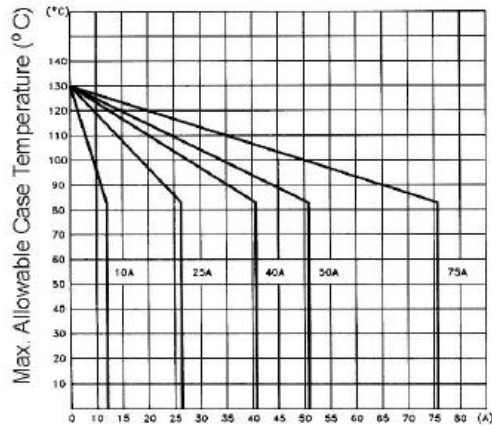
Type	Terminal Type			
Model	SSR-50DA	SSR-75DA	SSR-50DA-H	SSR-75DA-H
Rated Load Current	50A	75A	50A	75A
Input Data				
Operating Voltage	3~32VDC			
Min. ON / OFF Voltage	ON>2.4V , OFF<1.0V			
Trigger Current	7.5mA / 12V			
Control Method	Zero Cross Trigger			
Operating Data				
Operating Voltage	24~380VAC		90~480VAC	
Min. Blocking Voltage	600 VAC<Repetitive>			
Voltage Drop	1.6V / 25°C			
Max. Duratde Current	550A	820A	550A	820A
Leakage Current Max.	6.0mA	6.0mA	6.0mA	6.0mA
Response Time	ON<10ms , OFF<10ms			
General Data				
Dielectric Strength	Over 2.5KVAC/1min.			
Isolation Strength	Over 50M Ω / 500VDC			
Operating Temperature	-20°C ~+80°C			
Housing Material	Intensive ABS			
Weight	Appr.125g			
Connection Diagram/Dimension				

SSR SERIES



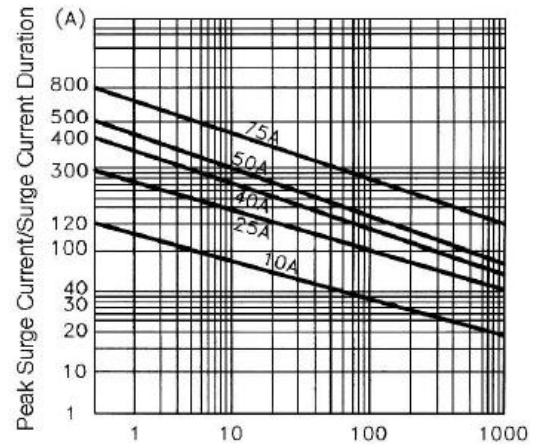
Curve of Characteristic

Max. Allowable Case Temperature
最高容許表面溫度



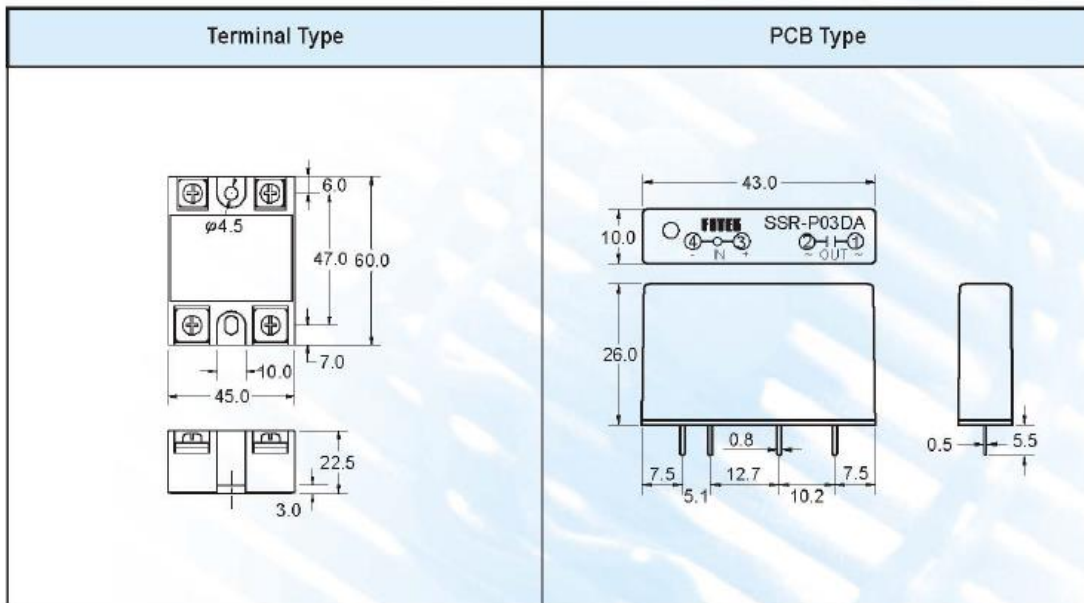
ON State Current (A) 動作電流

Peak Surge Current/Surge Current Duration
衝擊電流/承受次數



Surge Current Duration (Full cycles)

Dimension



Anexo 7: Datasheet del signal board 6ES7232-4HA30-0XB0

SIEMENS

Data sheet

6ES7232-4HA30-0XB0

SIMATIC S7-1200, Analog output, SB 1232, 1 AO, +/-10 V DC (12 bit resol.) or 0-20mA (11 bit resol.)



General information	
Product type designation	SB 1232, AQ 1x12 bit
Input current	
from backplane bus 5 V DC, typ.	15 mA
Output voltage	
Power supply to the transmitters	
• Supply current, max.	25 mA
Power loss	
Power loss, typ.	1.5 W
Analog inputs	
Number of analog inputs	0
Analog outputs	
Number of analog outputs	1
Cycle time (all channels) max.	Voltage: 300 μ S (R), 750 μ S (1 uF) Current: 600 ms (1 mH); 2 ms (10 mH)
Output ranges, voltage	
• -10 V to +10 V	Yes



Output ranges, current	
• 0 to 20 mA	Yes
Load impedance (in rated range of output)	
• with voltage outputs, min.	1 000 Ω
• with current outputs, max.	600 Ω
Cable length	
• shielded, max.	100 m; shielded, twisted pair
Analog value generation for the outputs	
Conversion principle	Differential
Integration and conversion time/resolution per channel	
• Resolution with overrange (bit including sign), max.	12 bit
Errors/accuracies	
Temperature error (relative to output range), (+/-)	25 °C ±0.5%, to 55 °C ±1%
Interrupts/diagnostics/status information	
Alarms	Yes
Diagnostics function	Yes
Diagnostics indication LED	
• for status of the outputs	Yes
Standards, approvals, certificates	
CE mark	Yes
CSA approval	Yes
UL approval	Yes
cULus	Yes
FM approval	Yes
RCM (formerly C-TICK)	Yes
KC approval	Yes
Marine approval	Yes
Ambient conditions	
Free fall	
• Fall height, max.	0.3 m; five times, in product package
Ambient temperature during operation	
• min.	-20 °C
• max.	60 °C
• horizontal installation, min.	-20 °C
• horizontal installation, max.	60 °C
• vertical installation, min.	-20 °C
• vertical installation, max.	50 °C
Ambient temperature during storage/transportation	
• min.	-40 °C
• max.	70 °C



Air pressure acc. to IEC 60068-2-13	
• Storage/transport, min.	660 hPa
• Storage/transport, max.	1 080 hPa
Relative humidity	
• Operation at 25 °C without condensation, max.	95 %
Pollutant concentrations	
• SO ₂ at RH < 60% without condensation	SO ₂ : < 0.5 ppm; H ₂ S: < 0.1 ppm; RH < 60% condensation-free
Mechanics/material	
Enclosure material (front)	
• Plastic	Yes
Dimensions	
Width	38 mm
Height	62 mm
Depth	21 mm
Weights	
Weight, approx.	40 g
last modified:	07/30/2019

Anexo 8: Datasheet del circuito principal del interface TL494



TL494

SLVS074H – JANUARY 1983 – REVISED MARCH 2017

TL494 Pulse-Width-Modulation Control Circuits

1 Features

- Complete PWM Power-Control Circuitry
- Uncommitted Outputs for 200-mA Sink or Source Current
- Output Control Selects Single-Ended or Push-Pull Operation
- Internal Circuitry Prohibits Double Pulse at Either Output
- Variable Dead Time Provides Control Over Total Range
- Internal Regulator Provides a Stable 5-V Reference Supply With 5% Tolerance
- Circuit Architecture Allows Easy Synchronization

2 Applications

- Desktop PCs
- Microwave Ovens
- Power Supplies: AC/DC, Isolated, With PFC, > 90 W
- Server PSUs
- Solar Micro-Inverters
- Washing Machines: Low-End and High-End
- E-Bikes
- Power Supplies: AC/DC, Isolated, No PFC, < 90 W
- Power: Telecom/Server AC/DC Supplies: Dual Controller: Analog
- Smoke Detectors
- Solar Power Inverters

3 Description

The TL494 device incorporates all the functions required in the construction of a pulse-width-modulation (PWM) control circuit on a single chip. Designed primarily for power-supply control, this device offers the flexibility to tailor the power-supply control circuitry to a specific application.

The TL494 device contains two error amplifiers, an on-chip adjustable oscillator, a dead-time control (DTC) comparator, a pulse-steering control flip-flop, a 5-V, 5%-precision regulator, and output-control circuits.

The error amplifiers exhibit a common-mode voltage range from -0.3 V to $V_{CC} - 2\text{ V}$. The dead-time control comparator has a fixed offset that provides approximately 5% dead time. The on-chip oscillator can be bypassed by terminating RT to the reference output and providing a sawtooth input to CT, or it can drive the common circuits in synchronous multiple-rail power supplies.

The uncommitted output transistors provide either common-emitter or emitter-follower output capability. The TL494 device provides for push-pull or single-ended output operation, which can be selected through the output-control function. The architecture of this device prohibits the possibility of either output being pulsed twice during push-pull operation.

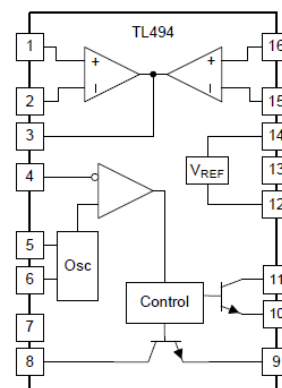
The TL494C device is characterized for operation from 0°C to 70°C . The TL494I device is characterized for operation from -40°C to 85°C .

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE (PIN)	BODY SIZE
TL494	SOIC (16)	9.90 mm × 3.91 mm
	PDIP (16)	19.30 mm × 6.35 mm
	SOP (16)	10.30 mm × 5.30 mm
	TSSOP (16)	5.00 mm × 4.40 mm

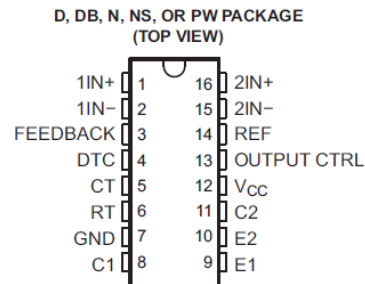
(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

4 Simplified Block Diagram



An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

6 Pin Configuration and Functions



Pin Functions

PIN		TYPE	DESCRIPTION
NAME	NO.		
1IN+	1	I	Noninverting input to error amplifier 1
1IN-	2	I	Inverting input to error amplifier 1
2IN+	16	I	Noninverting input to error amplifier 2
2IN-	15	I	Inverting input to error amplifier 2
C1	8	O	Collector terminal of BJT output 1
C2	11	O	Collector terminal of BJT output 2
CT	5	—	Capacitor terminal used to set oscillator frequency
DTC	4	I	Dead-time control comparator input
E1	9	O	Emitter terminal of BJT output 1
E2	10	O	Emitter terminal of BJT output 2
FEEDBACK	3	I	Input pin for feedback
GND	7	—	Ground
OUTPUT CTRL	13	I	Selects single-ended/parallel output or push-pull operation
REF	14	O	5-V reference regulator output
RT	6	—	Resistor terminal used to set oscillator frequency
V _{CC}	12	—	Positive Supply

TL494

SLVS074H – JANUARY 1983 – REVISED MARCH 2017

www.ti.com

7 Specifications

7.1 Absolute Maximum Ratings

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)⁽¹⁾

	MIN	MAX	UNIT
V _{CC} Supply voltage ⁽²⁾		41	V
V _I Amplifier input voltage		V _{CC} + 0.3	V
V _O Collector output voltage		41	V
I _O Collector output current		250	mA
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds		260	°C
T _{stg} Storage temperature range	-65	150	°C

- (1) Stresses beyond those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions* is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.
- (2) All voltages are with respect to the network ground terminal.

7.2 ESD Ratings

	MAX	UNIT
V _(ESD) Electrostatic discharge	Human body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001, all pins	500
	Charged device model (CDM), per JEDEC specification JESD22-C101, all pins	200

7.3 Recommended Operating Conditions

	MIN	MAX	UNIT
V _{CC} Supply voltage	7	40	V
V _I Amplifier input voltage	-0.3	V _{CC} - 2	V
V _O Collector output voltage		40	V
Collector output current (each transistor)		200	mA
Current into feedback terminal		0.3	mA
f _{OSC} Oscillator frequency	1	300	kHz
C _T Timing capacitor	0.47	10000	nF
R _T Timing resistor	1.8	500	kΩ
T _A Operating free-air temperature	TL494C	0	70
	TL494I	-40	85

7.4 Thermal Information

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

PARAMETER	TL494					UNIT
	D	DB	N	NS	PW	
R _{θJA} Package thermal impedance ⁽¹⁾⁽²⁾	73	82	67	64	108	°C/W

- (1) Maximum power dissipation is a function of T_{J(max)}, θ_{JA}, and T_A. The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is P_D = (T_{J(max)} - T_A) / θ_{JA}. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.
- (2) The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

7.5 Electrical Characteristics, Reference Section

over recommended operating free-air temperature range, $V_{CC} = 15\text{ V}$, $f = 10\text{ kHz}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS ⁽¹⁾	TL494C, TL494I			UNIT
		MIN	TYP ⁽²⁾	MAX	
Output voltage (REF)	$I_O = 1\text{ mA}$	4.75	5	5.25	V
Input regulation	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$		2	25	mV
Output regulation	$I_O = 1\text{ mA to }10\text{ mA}$		1	15	mV
Output voltage change with temperature	$\Delta T_A = \text{MIN to MAX}$		2	10	mV/V
Short-circuit output current ⁽³⁾	REF = 0 V		25		mA

(1) For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

(2) All typical values, except for parameter changes with temperature, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

(3) Duration of short circuit should not exceed one second.

7.6 Electrical Characteristics, Oscillator Section

$C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\text{ k}\Omega$ (see Figure 5)

PARAMETER	TEST CONDITIONS ⁽¹⁾	TL494C, TL494I			UNIT
		MIN	TYP ⁽²⁾	MAX	
Frequency			10		kHz
Standard deviation of frequency ⁽³⁾	All values of V_{CC} , C_T , R_T , and T_A constant		100		Hz/kHz
Frequency change with voltage	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		1		Hz/kHz
Frequency change with temperature ⁽⁴⁾	$\Delta T_A = \text{MIN to MAX}$			10	Hz/kHz

(1) For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

(2) All typical values, except for parameter changes with temperature, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

(3) Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (x_n - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

(4) Temperature coefficient of timing capacitor and timing resistor are not taken into account.

7.7 Electrical Characteristics, Error-Amplifier Section

See Figure 6

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494C, TL494I			UNIT
		MIN	TYP ⁽¹⁾	MAX	
Input offset voltage	V_O (FEEDBACK) = 2.5 V		2	10	mV
Input offset current	V_O (FEEDBACK) = 2.5 V		25	250	nA
Input bias current	V_O (FEEDBACK) = 2.5 V		0.2	1	μA
Common-mode input voltage range	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$	-0.3 to $V_{CC} - 2$			V
Open-loop voltage amplification	$\Delta V_O = 3\text{ V}$, $V_O = 0.5\text{ V to }3.5\text{ V}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$		70	95	dB
Unity-gain bandwidth	$V_O = 0.5\text{ V to }3.5\text{ V}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$		800		kHz
Common-mode rejection ratio	$\Delta V_O = 40\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		65	80	dB
Output sink current (FEEDBACK)	$V_{ID} = -15\text{ mV to }-5\text{ V}$, V (FEEDBACK) = 0.7 V		0.3	0.7	mA
Output source current (FEEDBACK)	$V_{ID} = 15\text{ mV to }5\text{ V}$, V (FEEDBACK) = 3.5 V		-2		mA

(1) All typical values, except for parameter changes with temperature, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

TL494

SLVS074H—JANUARY 1983—REVISED MARCH 2017

www.ti.com

7.8 Electrical Characteristics, Output Section

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP ⁽¹⁾	MAX	UNIT
Collector off-state current		$V_{CE} = 40\text{ V}, V_{CC} = 40\text{ V}$		2	100	μA
Emitter off-state current		$V_{CC} = V_C = 40\text{ V}, V_E = 0$			-100	μA
Collector-emitter saturation voltage	Common emitter	$V_E = 0, I_C = 200\text{ mA}$		1.1	1.3	V
	Emitter follower	$V_{O(C1\text{ or }C2)} = 15\text{ V}, I_E = -200\text{ mA}$		1.5	2.5	
Output control input current		$V_I = V_{ref}$			3.5	mA

(1) All typical values, except for temperature coefficient, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

7.9 Electrical Characteristics, Dead-Time Control Section

See [Figure 5](#)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP ⁽¹⁾	MAX	UNIT
Input bias current (DEAD-TIME CTRL)		$V_I = 0\text{ to }5.25\text{ V}$		-2	-10	μA
Maximum duty cycle, each output		V_I (DEAD-TIME CTRL) = 0, $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\text{ k}\Omega$		45%		—
Input threshold voltage (DEAD-TIME CTRL)	Zero duty cycle			3	3.3	V
	Maximum duty cycle		0			

(1) All typical values, except for temperature coefficient, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

7.10 Electrical Characteristics, PWM Comparator Section

See [Figure 5](#)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP ⁽¹⁾	MAX	UNIT
Input threshold voltage (FEEDBACK)		Zero duty cycle		4	4.5	V
Input sink current (FEEDBACK)		V (FEEDBACK) = 0.7 V	0.3	0.7		mA

(1) All typical values, except for temperature coefficient, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

7.11 Electrical Characteristics, Total Device

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP ⁽¹⁾	MAX	UNIT
Standby supply current	$R_T = V_{ref}$, All other inputs and outputs open	$V_{CC} = 15\text{ V}$		6	10	mA
		$V_{CC} = 40\text{ V}$		9	15	
Average supply current		V_I (DEAD-TIME CTRL) = 2 V, See Figure 5		7.5		mA

(1) All typical values, except for temperature coefficient, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

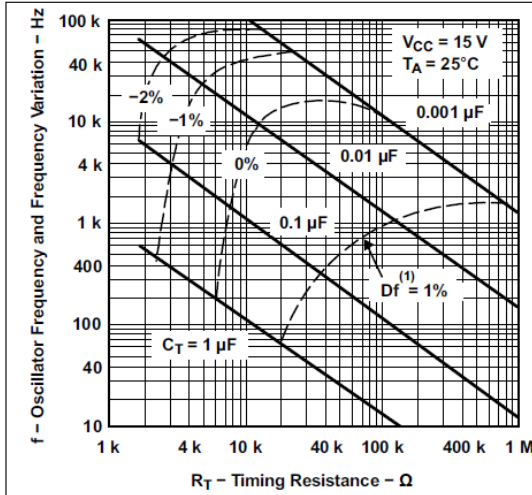
7.12 Switching Characteristics

$T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP ⁽¹⁾	MAX	UNIT
Rise time	Common-emitter configuration, See Figure 7			100	200	ns
Fall time				25	100	ns
Rise time	Emitter-follower configuration, See Figure 8			100	200	ns
Fall time				40	100	ns

(1) All typical values, except for temperature coefficient, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

7.13 Typical Characteristics



Frequency variation (Δf) is the change in oscillator frequency that occurs over the full temperature range.

Figure 1. Oscillator Frequency and Frequency Variation vs Timing Resistance

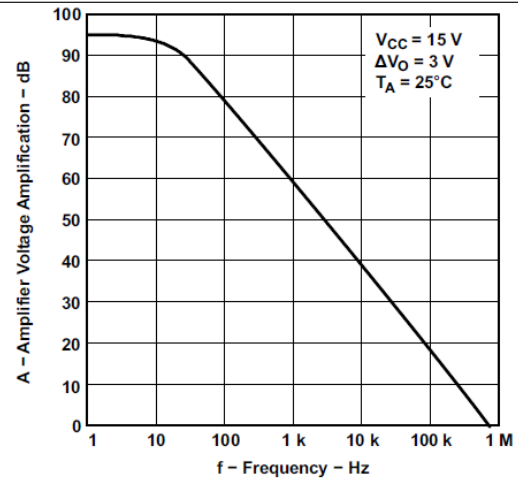


Figure 2. Amplifier Voltage Amplification vs Frequency

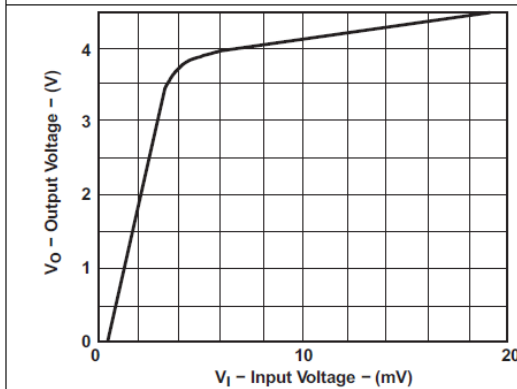


Figure 3. Error Amplifier Transfer Characteristics

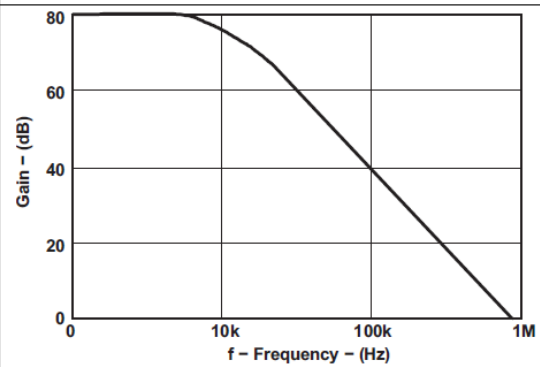


Figure 4. Error Amplifier Bode Plot

TL494

SLVS074H – JANUARY 1983 – REVISED MARCH 2017

www.ti.com

8 Parameter Measurement Information

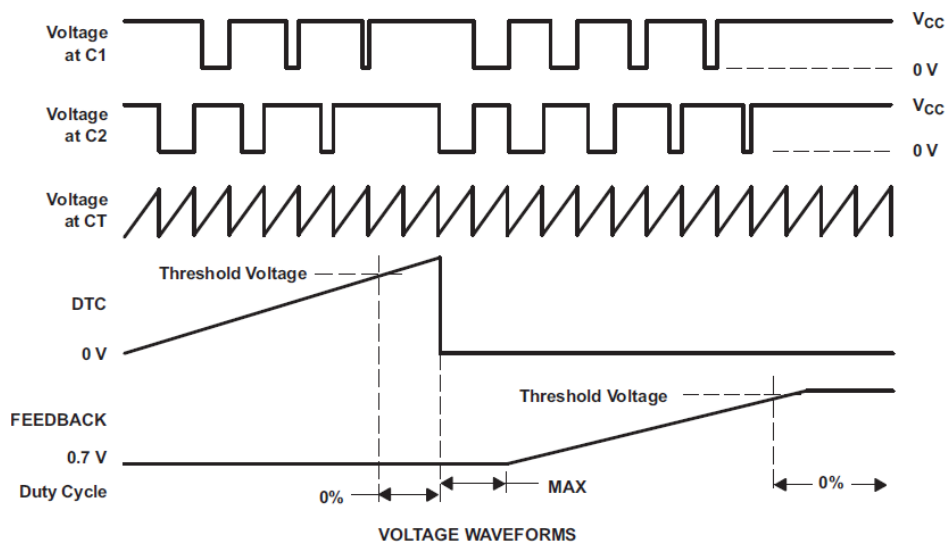
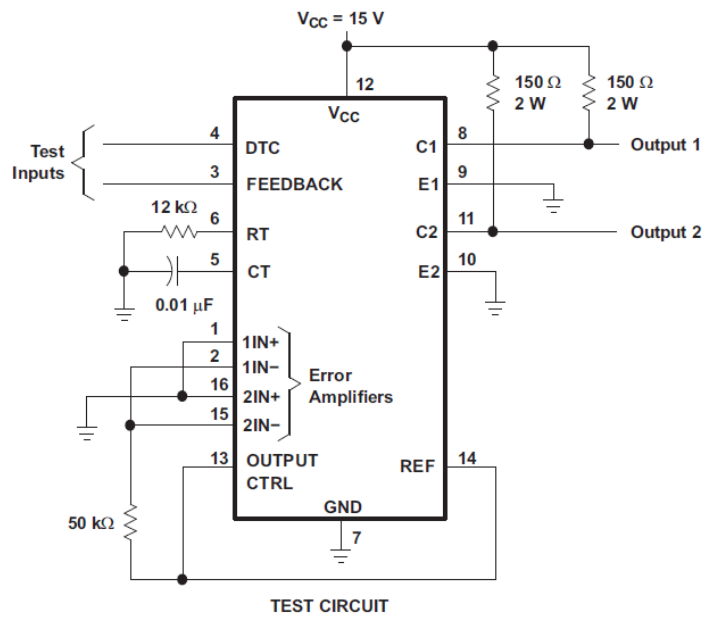


Figure 5. Operational Test Circuit and Waveforms

Parameter Measurement Information (continued)

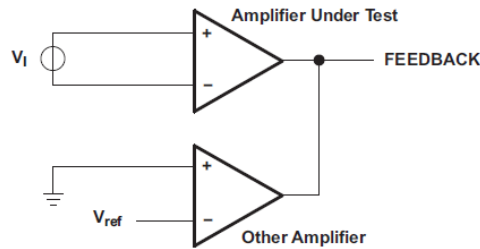
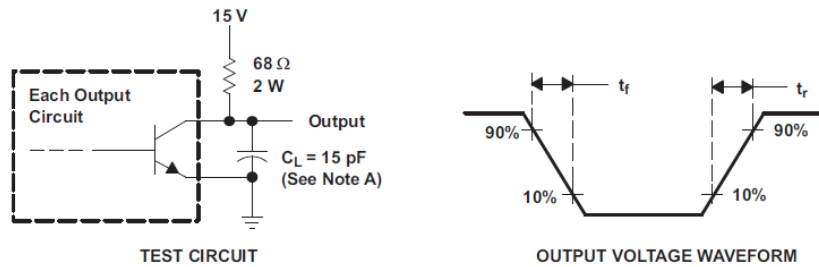
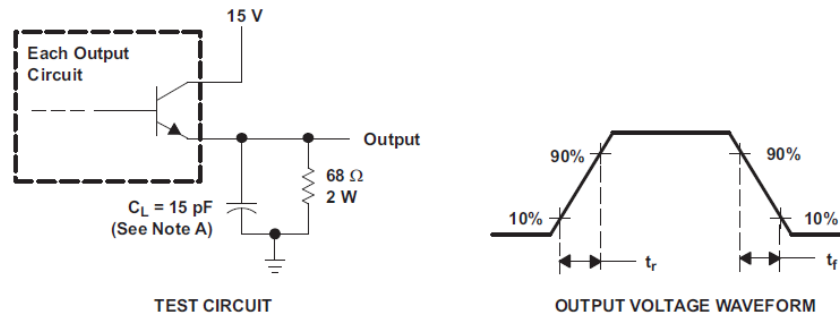


Figure 6. Amplifier Characteristics



NOTE A: C_L includes probe and jig capacitance.

Figure 7. Common-Emitter Configuration



NOTE A: C_L includes probe and jig capacitance.

Figure 8. Emitter-Follower Configuration