

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA



**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN CONTROLADOR DIFUSO EN
CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES UTILIZANDO EL METODO DEL
CENTROIDE”**

Área de Investigación:
CONTROL DE PROCESOS INDUSTRIALES

Autor(es):
Br. Daukan March Chávez Alberca
Br. Edmar Omar Chávez Gallardo

Jurado Evaluador:

Presidente: Vargas Díaz, Luis
Secretario: Llanos León, Lenin
Vocal: Alvarado Rodriguez, Luis

Asesor:
Linares Vértiz, Saul Noe
Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4272-9743>

**TRUJILLO-PERU
2021**

Fecha de sustentación: 2021/06/25

“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN CONTROLADOR DIFUSO EN
CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES UTILIZANDO EL METODO
DEL CENTROIDE”

Elaborado Por:

Br. Edmar Omar Chávez Gallardo

Br. Daukan March Chávez Alberca

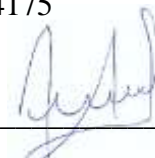
Aprobado por:



Ing. Luis Alberto Vargas Díaz

PRESIDENTE

CIP N° 104175



Ing. Lenin Humberto Llanos León

SECRETARIO

CIP N° 139213



Ing. Luis Enrique Alvarado Rodriguez

VOCAL

CIP N° 149200



Ing. Saúl Noé Linares Vértiz

ASESOR

CIP N° 142213

DEDICATORIA

Se lo dedico a mis padres Marcelo y María.
A mis tres hermanas y a toda mi familia en general,
Por el apoyo incondicional que me han brindado
y siguen brindando. En especial a mi abuelita Ignacia
y mi primo Slash.

Daukan Chavez

El presente trabajo quiero dedicarlo a un
hombre que fue amigo, consejero y un gran PADRE
a pesar de no estar en este mundo me sigue
cuidando con su gran amor. GRACIAS PAPÁ
PORFIRIO.

A mis padres,
Manuel y Sonia ya que, sin el amor, la confianza y la
amistad que me brindaron no hubiese podido
culminar este gran sueño

A mi mama JULIA, porque siempre me brindo su cariño
y su
gran amor.

A mis hermanos Jairo, Jhoysi y Carmen porqué
son el motivo para luchar y seguir adelante.

A mi Rosmery por gran amor, cariño
y su apoyo incondicional.

A mis dos hermosa hijas Xiomara y Madison a quienes
amo mucho
y son el motivo para seguir adelante.

Edmar Chavez

AGRADECIMIENTO

Con mucha gratitud, a todos los docentes ingenieros de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica UPAO, que compartieron con nosotros sus conocimientos para hacer posible una de nuestras metas en nuestra vida profesional, especialmente al Ing. Saúl Linares Vértiz, por su paciencia, motivación y su valiosa guía y asesoramiento profesional; por haber inculcado en nosotros el sentido de responsabilidad y rigor académico, sin los cuales no habiéramos hecho posible este trabajo de investigación, para así obtener la titulación profesional.

Muchas gracias a todos por el apoyo que nos brindaron.

Los Autores.

RESUMEN

En la presente investigación se aborda la propuesta de implementar un controlador difuso en un Controlador lógico Programable haciendo una reformulación del método del Centroide.

En el capítulo I, se discute la realidad problemática de la falta de bloques que permitan la implementación de controladores difusos en PLCs.

En el capítulo II se aborda el marco teórico y conceptual necesario para nuestra investigación.

En el capítulo III, se realiza la reformulación del método del Centroide y se realiza el algoritmo para múltiples zonas, se implementa el controlador difuso en un PLC S7-1200 el cual se configura mediante un panel HMI KTP -700, además se realizan las pruebas de operación implementando un control de velocidad de un motor DC con encoder.

En el capítulo IV se analizan los datos obtenidos en el capítulo II

Los capítulos posteriores están dedicados a las conclusiones y recomendaciones.

ABSTRACT

In this research, the proposal to implement a fuzzy controller in a Programmable Logic Controller is approached by reformulating the Centroid method.

In chapter I, the problematic reality of the lack of blocks that allow the implementation of fuzzy controllers in PLCs is discussed.

Chapter II addresses the theoretical and conceptual framework necessary for our research.

In chapter III, the reformulation of the Centroid method is carried out and the algorithm is carried out for multiple zones, the fuzzy controller is implemented in an S7-1200 PLC which is configured by means of an HMI KTP -700 panel, in addition the tests are carried out of operation implementing a speed control of a DC motor with encoder.

In chapter IV the data obtained in chapter II are analyzed

Subsequent chapters are dedicated to conclusions and recommendations.

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

De conformidad y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego y el Reglamento Interno de la Carrera Profesional de Ingeniería Electrónica para obtener el Título Profesional de Ingeniero Electrónico, se pone a vuestra disposición el presente trabajo de tesis titulado: **“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN CONTROLADOR DIFUSO EN CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES UTILIZANDO EL METODO DEL CENTROIDE”**

Este trabajo, es el resultado de la aplicación de los conocimientos adquiridos en la formación profesional en la Universidad, excusando anticipadamente de los posibles errores involuntarios cometidos en su desarrollo.

Trujillo, marzo de 2021

Br. Edmar Omar Chávez Gallardo

Br. Daukan March Chávez Alberca

INDICE DE CONTENIDO Página 8 de 63

INDICE DE CONTENIDO	8
INDICE DE FIGURAS.....	11
INDICE DE TABLAS	14
I.INTRODUCCION	15
1.1. El Problema de investigación.....	15
1.1.1. Realidad problemática.....	15
1.1.2. Enunciado del problema.....	17
1.1.3. Formulación del problema.....	17
1.2. Hipótesis	17
1.3. Objetivos de la investigación.....	17
1.3.1. Objetivo general.....	17
1.3.2. Objetivos específicos.....	17
II. MARCO DE REFERENCIA.....	19
2.1. ANTECEDENTES.....	19
2.2. MARCO TEORICO.....	19
2.2.1. Lógica difusa.....	19
2.2.2. Qué es una variable lingüística.....	20
2.2.3. Anatomía básica de un controlador difuso	20
2.2.4. Representación de conjuntos difusos discretos	20
2.2.5. Operaciones en lógica difusa.....	21
2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	21
2.3.1. Sistemas de control.....	21
2.4. OPERACIONALIZACION DE LAS VARIABLES.....	22
III. METODOLOGIA.....	24
3.1. Material	24
3.2. Metodos.....	24
3.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	24
3.3.1. Modelo del Centroides	24

3.3.2. Cálculo del centroide de regiones compuestas.....	24
3.3.3. Caso: Dos Zonas.....	25
3.3.4. Caso: Zonas Múltiples. En la figura 14 se muestra el caso de múltiples funciones de membrecía	31
3.4. Algoritmo de programación.....	35
3.5. Programación en Tia Portal	36
3.5.1. Algoritmo a Implementar de 7 zonas	36
3.5.2. Implementación	37
3.6. Prueba de operación del controlador.....	48
3.6.1. Sintonía del controlador difuso con Error mínimo 15 y salida mínima 0,005.	48
3.6.2. Sintonía del controlador difuso con Error mínimo 15 y salida mínima 0,01.	49
3.6.3. Sintonía del controlador difuso con Error mínimo 15 y salida mínima 0,05.	50
3.6.4. Sintonía del controlador difuso con Error mínimo 20 y salida mínima 0,05	51
3.6.5. Sintonía del controlador difuso con Error mínimo 15 y salida mínima 0,001	52
3.6.6. Sintonía del controlador difuso con Error mínimo 20 y salida mínima 0,001	53
IV. ANALISIS DE DATOS	55
4.1. Para la combinación de <i>Errormimin</i> = 15 y <i>SalidaMaxima</i> = 0.001 ,.....	55
4.2. Para la combinación de <i>Errormimino</i> = 15 y <i>SalidaMaxima</i> = 0.005 ,	56
4.3. Para la combinación de <i>Errormimino</i> = 15 y <i>SalidaMaxima</i> = 0.01 ,.....	57
4.4. Para la combinación de <i>Errormimino</i> = 15 y <i>SalidaMaxima</i> = 0.05 ,.....	58
4.5. Para la combinación de <i>Errormimino</i> = 20 y <i>SalidaMaxima</i> = 0.05 ,.....	58
4.6. Para la combinación de <i>Errormimino</i> = 20 y <i>SalidaMaxima</i> = 0.001 ,	59
4.7. Método del Centroide Reformulado	59
4.8. Algoritmo del controlador difuso.	59
4.9. Implementación del controlador Difuso en PLC.....	59

4.10. Pruebas de operación del controlador difuso	60
V. CONCLUSIONES	61
VI. RECOMENDACIONES	62

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Sistema de control Realimentado.....	16
Figura 2.	Reglas de pertenencia para los valores x_i	21
Figura 3	Reglas de pertenencia para los valores x_i	25
Figura 4	Centroide del trapecio con inicio en el origen.....	26
Figura 5	Centroide de señal compuesta trapecio con inicio en el origen y triangulo centrado en el origen.....	28
Figura 6	Función de membrecía para una entrada $x < x_1$	29
	Elaboración fuente propia.....	29
Figura 7	Señal compuesta para el cálculo de la variable de salida	30
Figura 8	Función de membrecía para una entrada $x_1 < x < x_2$	30
	Elaboración fuente propia.....	30
Figura 9	Señal compuesta para el cálculo de la variable de salida	30
Figura 10	Función de membrecía para entradas múltiples	31
Figura 11	Señal compuesta para el cálculo de la variable de salida	31
Figura 12	Señal compuesta para el cálculo de la variable de salida	32
Figura 13	Señal compuesta para el cálculo de la variable de salida	32
Figura 14	Señal compuesta para el cálculo de la función de membrecía para el n -ésimo intervalo	33
Figura 15	Señal compuesta para el cálculo de la variable de salida para el n -ésimo intervalo	33
Figura 16	Señal compuesta para el cálculo de la función de membrecía para el $(n-1)$ -ésimo intervalo	34
Figura 17	Señal compuesta para el cálculo de la variable de salida para el $(n-1)$ -ésimo intervalo	34
Figura 18	Señal para el cálculo de la variable de salida para el intervalo final.....	34
Figura 19	variable de entrada.....	36
Figura 20	variable de salida	36

Figura 21 Creación del Proyecto en Tía Portal V15	37
Figura 22 Selección del CPU del controlador.....	37
Figura 23 Selección de la Signal Board de salida Analógica	38
Figura 24 Selección del HMI de 7" con comunicación Profinet	38
Figura 25 Configuración del bus de comunicación.	39
Figura 26 Pantalla de HMI Configurada.....	39
Figura 27 Red de comunicación entre el PLC y HMI	40
Figura 28 Controlador de Contador Rápido.....	40
Figura 29 Configuración del Contador rápido como medidor de frecuencia.	41
Figura 30 Bloques para el cálculo de los Máximos RPM del motor	42
Figura 31 Bloques para calcular la Variable de Proceso	42
Figura 32 Cálculo del error y de la salida del Controlador Difuso.....	43
Figura 33 Creación del Bloque de Interrupción cíclica en Lenguaje SCL.	43
Figura 34 configuración del Tiempo de muestreo del bloque de interrupción cíclica. ...	43
Figura 35 Creación de las variables Temporales en SCL.	44
Figura 36 Programa del controlador Difuso. En SCL.....	44
Figura 37 Lista de variables Globales del PLC.	45
Figura 38 Pantalla Principal del HMI.	46
Figura 39 pantalla de configuración del controlador Difuso.	46
Figura 40 Circuito para conexión con El PLC.....	47
Figura 41 Circuito completo PLC y Interface con motor DC.....	48
Figura 42 Respuesta del controlador Difuso.....	48
Figura 43 Configuración del controlador Difuso.....	49
Figura 44 Respuesta del controlador Difuso.....	49
Figura 45 Configuración del controlador Difuso.....	50
Figura 46 Respuesta del controlador Difuso.....	50
Figura 47 Configuración del controlador Difuso.....	51

Figura 48 Respuesta del controlador Difuso.....	51
Figura 49 Configuración del controlador Difuso.....	52
Figura 21 Respuesta del controlador Difuso.....	52
Figura 50 Configuración del controlador Difuso.....	53
Figura 51 Respuesta del controlador Difuso.....	53
Figura 52 Configuración del controlador Difuso.....	54
Figura 53 Tiempo de establecimiento 50 segundos.....	55
Figura 54 Tiempo de establecimiento 5 segundos.....	56
Figura 55 Tiempo de establecimiento 15 segundos.....	57
Figura 56 Sistema inestable.....	58
Figura 57 Sistema inestable.....	58
Figura 58 Tiempo de establecimiento 78 segundos.....	59
Figura 59 Controlador difuso conectado a un Motor DC	60

INDICE DE TABLAS

TABLA N°1: OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE.....	23
TABLA N°02: OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE DEPENDIENTE.....	23
Tabla 3 Valores de tiempo de establecimiento	55

I. INTRODUCCION

1.1.El Problema de investigación

1.1.1. Realidad problemática.

Para Ogata. (2003, pág. 255) “Los sistemas industriales modernos han obligado a la comunidad científica y académica a encontrar actualizaciones para todas las disciplinas dentro del campo de la automatización”. Este hecho ha motivado a las universidades a disponer de laboratorios polivalentes que puedan ayudar a los estudiantes a desarrollarse y capacitarse en los diferentes campos de la ingeniería.

Paralelamente los sistemas de control automático, son dispositivos utilizados en la industria, que permiten el control de variables críticas de un proceso industrial. Estos sistemas permiten que las variables controladas permanezcan en un punto de referencia, o en cierto rango aceptable respecto a este punto, esto con el fin que los procesos industriales sean eficientes, con lo que se logra maximizar la producción, además de minimizar costos ya que los lazos de control permiten una optimización de las materias primas y la minimización de la energía utilizada en producción.

Para Ogata. (2003, pág. 380) “El uso de sistemas de control como el PID tradicional clásico, es tal que aproximadamente el 95% de los lazos de control que existen en las aplicaciones industriales son de este tipo, lo que muestra la preferencia del usuario en el uso de algoritmos simples de control”

Los controladores lógicos programables en las gamas más recientes cuentan con bloques PID para su uso en procesos industriales, algunas de las marcas más populares son Siemens, Rockwell y Schneider y sus controladores lógicos programables cuentan con estos bloques. La marca Siemens en su controlador

S7-1200 cuenta en su sub gama 1214-AC/DC/RLY con 6 bloques PID para poder controlar 6 Lazos de control

Los sistemas de control industrial actualmente se encuentran automatizados a través del uso de controladores lógicos programables los cuales cuentan con recursos de hardware robustos y un software muy flexible, pero estos controladores solo permiten el control de lazo cerrado en sistemas con una variable de entrada y una variable de salida. Tal como se aprecia en la siguiente figura.

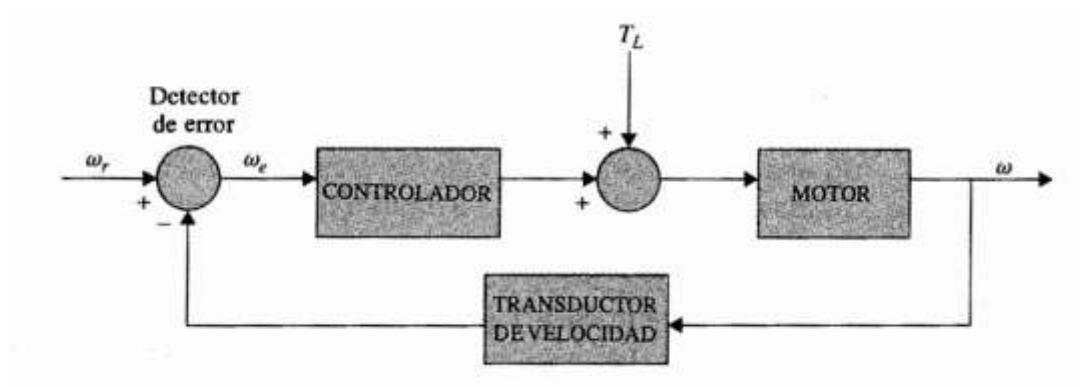


Figura 1 Sistema de control Realimentado.

*Fuente Benjamín Kuo
Sistemas de control Automático.*

Pero en la industria se encuentran procesos de múltiples variables de entrada y múltiples variables de salida, uno de estos ejemplos es el control de molienda de mineral en el cual las variables de salida son el ingreso de mineral y flujo de agua y las variables de salida son el flujo de molienda y la densidad del mismo. Frente este problema el PLC no tiene forma de controlar, ya que no cuenta con las herramientas necesarias; para este tipo de procesos es necesario el uso de un

controlador multivariable y uno de los que ajustan a la realidad son el controlador Difuso.

Los Controladores Lógicos Programables en la actualidad no cuentan con esta herramienta tecnológica en su repertorio por lo que hace imposible la utilización de estos en el control Multivariable.

Además, el alto grado de calculo que se requiere para la implementación de un controlador difuso haría que el controlador no tenga un tiempo de respuesta aceptable.

1.1.2. Enunciado del problema.

El problema se encuentra en la falta de control multivariable que puede ofrecer un controlador lógico programable frente a la necesidad de la industria.

1.1.3. Formulación del problema.

¿Cómo implementar un controlador Difuso en un Controlador lógico programable?

1.2.Hipótesis

La reformulación del cálculo del controlador difuso permite su implementación en Controladores lógicos Programables.

1.3.Objetivos de la investigación.

1.3.1. Objetivo general.

Implementar un controlador Difuso en un Controlador Lógico Programable

1.3.2. Objetivos específicos.

- Reformular el método de cálculo de la salida del controlador Difuso
- Desarrollar un algoritmo para la implementación de un controlador Difuso.
- Implementar el controlador difuso en un Controlador Lógico Programable

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1.ANTECEDENTES.

Aparicio. C,(2008) en su tesis “ESTRUCTURACIÓN DE SISTEMAS DE CONTROL DE EVENTOS DISCRETOS EN UN PLC APLICADO A PROCESOS HÍBRIDOS”. Brinda información acerca de la formulación de un modelo híbrido para analizar y controlar. Así, mediante la aplicación de un sistema de control discreto sobre las variables continuas y discretas del proceso, se busca mejorar el desempeño del mismo

Duque, M. (2006). En su tesis “SINTONIZACIÓN DE UN CONTROLADOR PID IMPLEMENTADO EN UN PLC HACIENDO USO DE INTELIGENCIA DE ENJAMBRES”, nos Muestra la implementación en un PLC Allen Bradley de una técnica de inteligencia de enjambres cuya función es determinar el modelo matemático de un sistema o proceso. Con el modelo del sistema encontrado, se calculan los parámetros de un controlador PID que garantizan un comportamiento deseado del sistema.

Vargas, J. (2016) en su tesis “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ALGORITMO DE CONTROLADOR PID PARA PLATAFORMAS BASADAS EN MICROCONTROLADORES PIC”, nos muestra cómo se puede modelar sistemas continuos en sistemas discretos para plataformas de bajos recursos computacionales.

2.2.MARCO TEORICO.

2.2.1. Lógica difusa.

Es una herramienta de control avanzado, que está basada en la emulación de la emulación experiencia humana para realizar su funcionamiento.

La lógica difusa o también llamada lógica borrosa no tiene conjuntos nítidos como la lógica convencional, sino más bien conjuntos borrosos, los que indican que un elemento no solo tiene pertenencia a un solo, por el contrario, este elemento tiene pertenencias a múltiples conjuntos.

Por lo tanto, un elemento de la lógica difusa no tiene valores discretos como la lógica tradicional de 0 y 1, por el contrario, los valores que toman las variables de la lógica difusa son valores reales que oscilan entre 0 y 1.

$$0 \leq \gamma \leq 1$$

A estos valores se les llama grado de pertenencia y denotan cuanto de pertenencia tiene una variable a ese conjunto.

2.2.2. Qué es una variable lingüística

Es aquella que permite describir en palabras el comportamiento de una variable, esta descripción son los conjuntos difusos.

Esta variable lingüística representa el dominio de valores de una entrada numérica, por ejemplo, si se quiere representar la temperatura del agua.

$$15^{\circ}C \leq T \leq 38^{\circ}C \quad \in \quad Fria$$

$$20^{\circ}C \leq T \leq 60^{\circ}C \quad \in \quad Tibia$$

$$50^{\circ}C \leq T \leq 100^{\circ}C \quad \in \quad Caliente.$$

2.2.3. Anatomía básica de un controlador difuso

Consta de 3 partes:

Reglas: permiten interactuar a las variables de entrada con las variables de salida y a si emular el comportamiento humano.

Difusificador: permite convertir la entrada numérica en una variable lingüística y así asignarle el grado de pertenencia a dicho conjunto.

Desdifusificador: la misión del desdifusificador es la de entregar a la salida un valor numérico a partir de una variable lingüística.

2.2.4. Representación de conjuntos difusos discretos

La representación de un conjunto difuso está dada en forma de par ordenado como se muestra en la siguiente gráfica:

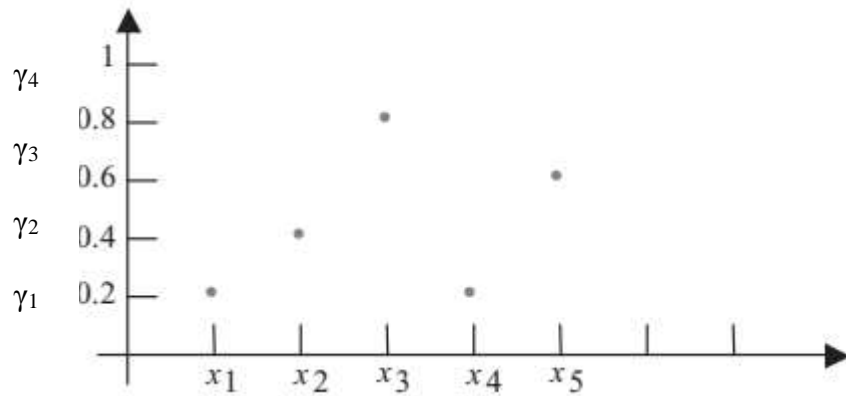


Figura 2. Reglas de pertenencia para los valores x_i

Elaboración Fuente Propia.

$$\tilde{B} = \left\{ \frac{\gamma_1}{x_1} + \frac{\gamma_2}{x_2} + \frac{\gamma_3}{x_3} + \frac{\gamma_4}{x_4} + \frac{\gamma_5}{x_5} \dots \dots \right\}$$

La representación del par ordenado en el conjunto difuso es mediante de una fracción y símbolo + indica unión de los pares ordenados.

2.2.5. Operaciones en lógica difusa

Las operaciones que se pueden realizar en los conjuntos difusos son:

- la unión de conjuntos.

$$\mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(X) = \mu_{\tilde{A}}(X) \vee \mu_{\tilde{B}}(X)$$

- la intersección de conjuntos

$$\mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(X) = \mu_{\tilde{A}}(X) \wedge \mu_{\tilde{B}}(X)$$

- Complemento

$$\mu_{\tilde{A}}(X) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(X)$$

La intersección se clasifica como una norma triangular (norma T) y la unión es una co-norma T (o norma S).

2.3.MARCO CONCEPTUAL.

2.3.1. Sistemas de control.

Para dar una descripción teórica de un sistema de control Román, G. (2012): menciona lo siguiente, “está conformado por un conjunto de componentes capaces de regular su propio comportamiento o la de otro sistema, con el fin de lograr un funcionamiento previamente establecido”. Basa su funcionamiento de acuerdo a mediciones que realiza en el sistema (utiliza, por ejemplo, sensores como de nivel, flujómetros, manómetros, etc.). De acuerdo a los resultados de esta medición, el sistema de control decide la acción a realizar para obtener el resultado deseado.

Para Román, G. (2012) los principales elementos de un sistema de control son los siguientes:

- **Entrada o estímulo:** Es la excitación o el mando aplicado a un sistema de control.
- **Salida:** Respuesta real que se obtiene del sistema.
- **Planta:** Es cualquier objeto físico a controlar.
- **Proceso:** Consiste en la operación o desarrollo natural y continuo marcado por cambios controlados que conducirán al resultado deseado.
- **Perturbación:** Conocido también como error. Es la señal que generalmente afecta negativamente el valor de salida del sistema. Es la señal que se trata de reducir o controlar.
- **Variable Controlada:** Es, como su nombre lo indica, la variable que se mide o controla; normalmente es la salida del sistema.
- **Variable Manipulada:** Es la variable que se modifica para obtener el resultado deseado en la variable controlada.

2.4. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Variable independiente:

Reformulación del cálculo del controlador difuso.

Variable dependiente:

Programación del controlador difuso en el PLC

Operacionalización de Variables

TABLA N°1: OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	INDICADORES	TÉCNICA	INSTRUMENTO
Reformulación del cálculo del controlador difuso	técnica de control Avanzado, basado en la experiencia del operador.	Método de cálculo de salida	Observación	Reporte de Diseño.
		Numero de variables de entrada y salida	Observación	Reporte de Diseño

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA N°02: OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE DEPENDIENTE

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	INDICADORES	TÉCNICA	INSTRUMENTO
Programación del controlador difuso en el PLC	Desarrollo de programas en el controlador lógico programable.	Numero de bloque de programación Lenguaje de programación	Observación	Reporte de implementación

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

III.METODOLOGIA

3.1.Material

3.1.1. Población

PLC S7-1200

3.1.2. Muestra

PLC 1214C

3.2.Metodos.

3.2.1. Diseño de Contrastación

$$X \rightarrow F \rightarrow Y$$

X: Reformulación del controlador difuso

Y: Implementación de controlador difuso en PLC

F: PLC

3.2.2. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Reporte de simulación

3.2.3. Procesamiento y Análisis de Datos

Análisis estadístico porcentual

3.3.Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.3.1. Modelo del Centroide

Para calcular el Centroide de un sólido en un eje, se utiliza la siguiente fórmula.

$$\bar{x}_f = \frac{\int_a^b f(x)x dx}{\int_a^b f(x) dx}$$

Basado en esta esta definición se propondrá el cálculo alternativo del Centroide de regiones compuestas.

3.3.2. Cálculo del Centroide de regiones compuestas.

Sea $h(x) = f(x) + g(x)$ tal que $f(x)$ solo existe en (a, b) y $g(x)$ en (b, c)

Entonces el Centroide de $h(x)$ será.

$$\bar{x} = \frac{\int_a^c h(x)xdx}{\int_a^c h(x)dx} = \frac{\int_a^b f(x)xdx + \int_b^c g(x)xdx}{\int_a^b f(x)dx + \int_b^c g(x)dx}$$

Pero el Centroide de $f(x)$ y $g(x)$ es:

$$\bar{x}_f = \frac{\int_a^b f(x)xdx}{\int_a^b f(x)dx} \text{ entonces } \int_a^b f(x)xdx = \bar{x}_f \int_a^b f(x)dx$$

$$\bar{x}_g = \frac{\int_b^c g(x)xdx}{\int_b^c g(x)dx} \text{ entonces } \int_b^c g(x)xdx = \bar{x}_g \int_b^c g(x)dx$$

$$\bar{x} = \frac{\bar{x}_f \int_a^b f(x)dx + \bar{x}_g \int_b^c g(x)dx}{\int_a^b f(x)dx + \int_b^c g(x)dx}$$

$$\bar{x} = \frac{\bar{x}_f A_f + \bar{x}_g A_g}{A_f + A_g}$$

Donde

$$A_f = \int_a^b f(x)dx \quad y \quad A_g = \int_b^c g(x)dx$$

Se modelarán las funciones de salida y se simplificarán.

Para esta parte se tomarán dos casos y se seguirá un procedimiento:

3.3.3. Caso: Dos Zonas

3.3.3.1. Determinación de las ecuaciones de las variables lingüísticas.

Sea el siguiente gráfico.

Figura 3 Reglas de pertenencia para los valores xi

Elaboración Fuente Propia.

$$f_+(x) = \frac{x_1 - x}{x_1} \qquad f_-(x) = \frac{x_1 + x}{x_1}$$

$$g_+(x) = \frac{x}{x_1} \qquad g_-(x) = \frac{-x}{x_1}$$

3.3.3.2. Cálculo del Centroide del trapecio.

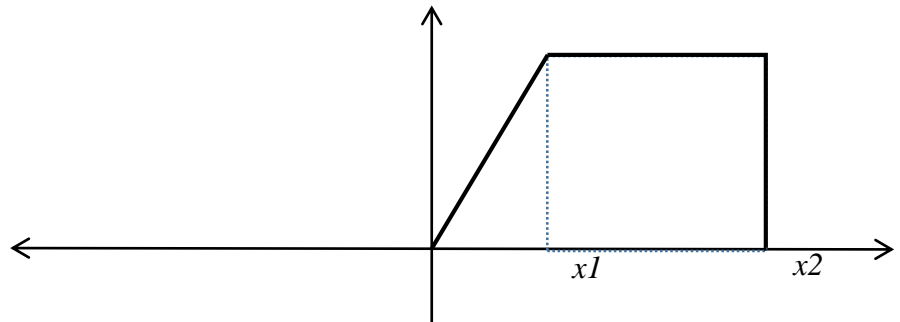


Figura 4 Centroide del trapecio con inicio en el origen

Elaboración fuente propia.

3.3.3.3. Centroide del triángulo.

$$X_T = \frac{\int_0^{x_1} \frac{x}{x_1} x dx}{A_T} = \frac{\frac{x^3}{3x_1} \Big|_0^{x_1}}{\left(\frac{x_1}{2}\right)} = \frac{2x_1}{3} \qquad X_T = \frac{2x_1}{3}$$

Área del triángulo

$$A_T = \frac{x_1}{2}$$

3.3.3.4. Centroide del rectángulo

$$X_R = \frac{\int_{x_1}^{x_2} 1 x dx}{A_R} = \frac{\frac{x^2}{2} \Big|_{x_1}^{x_2}}{(x_2 - x_1)} = \frac{\frac{(x_1)^2 - (x_2)^2}{2}}{(x_2 - x_1)} = \frac{x_1 + x_2}{2}$$

$$X_R = \frac{x_1 + x_2}{2}$$

Área del rectángulo

$$A_R = x_2 - x_1$$

3.3.3.5. Cálculo del Centroide del trapecio

$$\text{sea } h(x) = f(x) + g(x)$$

tal que $f(x)$ solo existe en (a, b)

y $g(x)$ en (b, c)

Entonces el Centroide de $h(x)$ será.

$$\bar{x} = \frac{\int_a^c h(x)xdx}{\int_a^c h(x)dx} = \frac{\int_a^b f(x)xdx + \int_c^c g(x)xdx}{\int_a^b f(x)dx + \int_c^c g(x)dx}$$

Pero el Centroide de $f(x)$ y $g(x)$ es:

$$\begin{aligned}\bar{x}_f &= \frac{\int_a^b f(x)xdx}{\int_a^b f(x)dx} \text{ entonces } \int_a^b f(x)xdx \\ &= \bar{x}_f \int_a^b f(x)dx\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{x}_g &= \frac{\int_c^c g(x)xdx}{\int_c^c g(x)dx} \text{ entonces } \int_b^c g(x)xdx \\ &= \bar{x}_g \int_b^c g(x)dx\end{aligned}$$

$$\bar{x} = \frac{\bar{x}_f \int_a^b f(x)dx + \bar{x}_g \int_b^c g(x)dx}{\int_a^b f(x)dx + \int_b^c g(x)dx}$$

$$\bar{x} = \frac{\bar{x}_f A_f + \bar{x}_g A_g}{A_f + A_g}$$

Donde

$$A_f = \int_a^b f(x)dx \quad y \quad A_g = \int_b^c g(x)dx$$

Por lo tanto.

$$X_{Trap} = \frac{\left(\frac{2x_1}{3}\right)\left(\frac{x_1}{2}\right) + \left(\frac{x_2 + x_1}{2}\right)(x_2 - x_1)}{\left(\frac{x_1}{2}\right) + (x_2 - x_1)}$$

$$X_{Trap} = \frac{3(x_2)^2 - (x_1)^2}{3(2x_2 - x_1)}$$

3.3.3.6. Cálculo del Centroide de la salida compuesta.

Para ello se debe tener en cuenta que cada salida tiene su grado de pertenencia y esta se usará para usar el método de contracción esto se muestra en la figura 5.

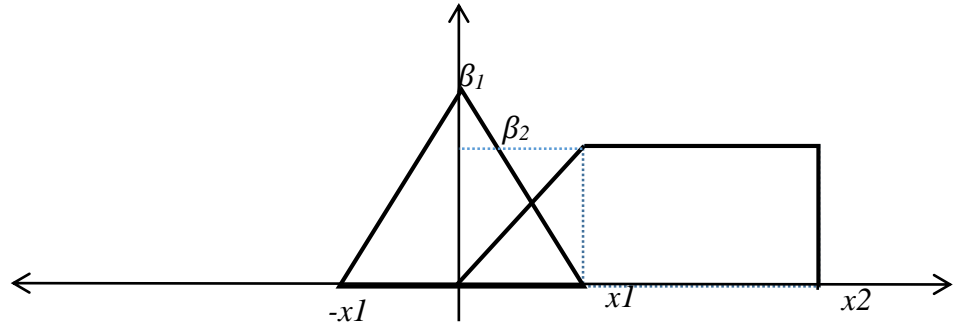


Figura 5 Centroide de señal compuesta trapecio con inicio en el origen y triángulo centrado en el origen

Elaboración fuente propia.

Centroide del triángulo.

Como se observa en la gráfica el Centroide del triángulo es cero y tiene un área de:

$$A_{Trian} = x_1 \beta_1 \quad X_{Trian} = 0$$

Centroide del trapecio.

Como ya se calculó anteriormente, esto es:

$$X_{Trap} = \frac{3(x_2)^2 + (x_1)^2}{3(2x_2 - x_1)};$$

$$A_{Trap} = \frac{x_2 + (x_2 - x_1)}{2} \beta_2 = \frac{(2x_2 - x_1)}{2} \beta_2$$

3.3.3.7. La aproximación del Centroide de salida será:

$$X_{Sal} = \frac{0(x_1 \beta_1) + \left(\frac{3(x_2)^2 + (x_1)^2}{3(2x_2 - x_1)} \right) \left(\frac{(2x_2 - x_1)}{2} \beta_2 \right)}{\left((x_1 \beta_1) + \frac{(2x_2 - x_1)}{2} \beta_2 \right)}$$

$$X_{Sal} = \frac{\left(\frac{3(x_2)^2 + (x_1)^2}{3(2x_2 - x_1)}\right) \left(\frac{(2x_2 - x_1)}{2} \beta_2\right)}{\left((x_1\beta_1) + \frac{(2x_2 - x_1)}{2} \beta_2\right)}$$

$$X_{Sal} = \frac{\left(\frac{3(x_2)^2 + (x_1)^2}{3(2x_2 - x_1)}\right) (\beta_2)}{\left(\beta_2 + \frac{2(x_1\beta_1)}{(2x_2 - x_1)}\right)}$$

De la ecuación anterior se puede ver que la salida depende exclusivamente del grado de pertenencia de las áreas.

Además, el Centroide para la parte positiva es el mismo que el de la parte negativa.

3.3.3.8. Determinación de la salida

En la figura 6 se muestra que para una entrada x se tendrá:

Si $0 < x < x_1$ se tienen β_1 y β_2

$$\beta_1 = \frac{x_1 - x}{x_1} \quad \text{y} \quad \beta_2 = \frac{x}{x_1}$$

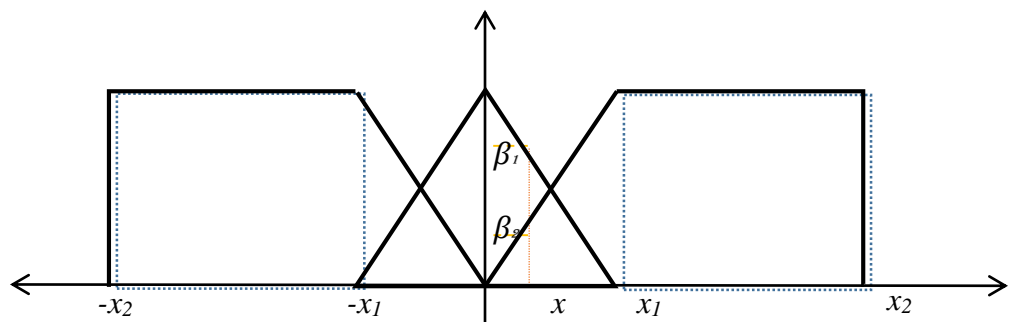


Figura 6 Función de membresía para una entrada $x < x_1$

Elaboración fuente propia.

La salida tendrá el siguiente valor.

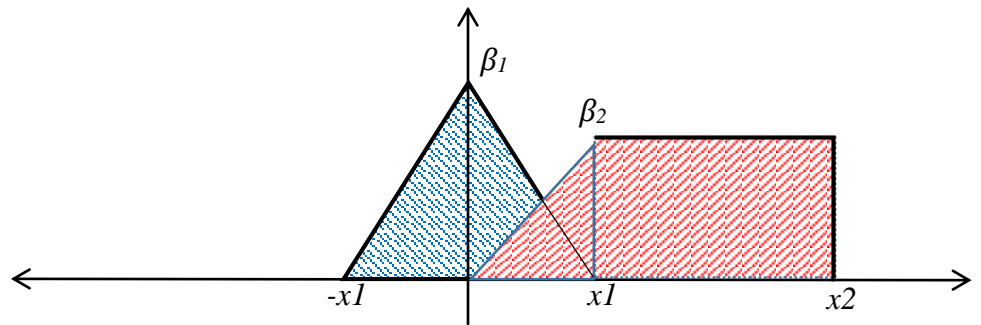


Figura 7 Señal compuesta para el cálculo de la variable de salida

Elaboración fuente propia.

$$X_{Sal} = \frac{\left(\frac{3(x_2)^2 + (x_1)^2}{3(2x_2 - x_1)}\right) (\beta_2)}{\left(\beta_2 + \frac{2(x_1\beta_1)}{(2x_2 - x_1)}\right)}$$

Si $x_1 < x < x_2$ se tendrá que se tienen $\beta_1 = 0$ y $\beta_2 = 1$.

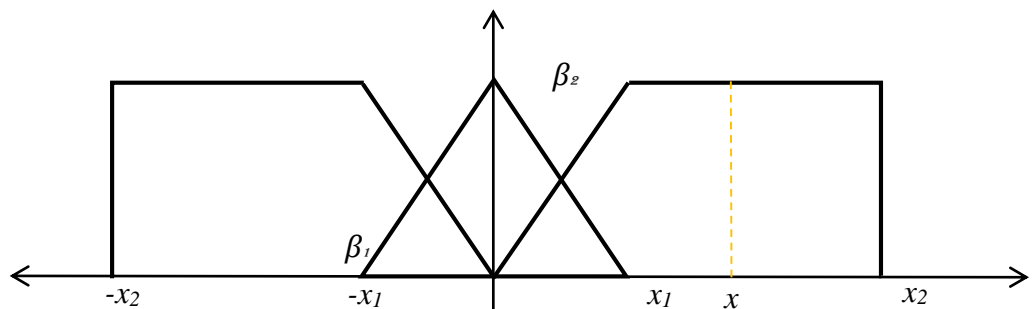


Figura 8 Función de membrecía para una entrada $x_1 < x < x_2$

Elaboración fuente propia.

La salida será:

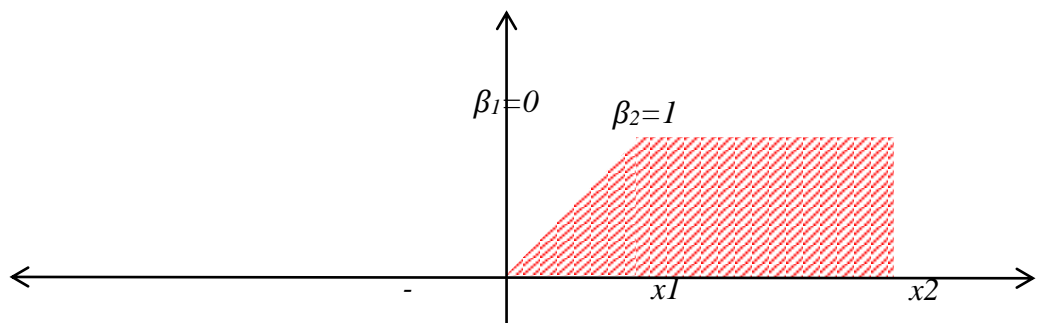


Figura 9 Señal compuesta para el cálculo de la variable de salida

Elaboración fuente propia.

$$X_{sal} = \frac{3(x_2)^2 + (x_1)^2}{3(2x_2 - x_1)}$$

$$\beta_1, \beta_2 = \begin{cases} 0 < x < x_1, \beta_1 = \frac{x_1 - x}{x_1} & , \beta_2 = \frac{x}{x_1} \\ x_1 < x < x_2, \beta_1 = 0 & , \beta_2 = 1 \end{cases}$$

3.3.4. Caso: Zonas Múltiples. En la figura 14 se muestra el caso de múltiples funciones de membrecía

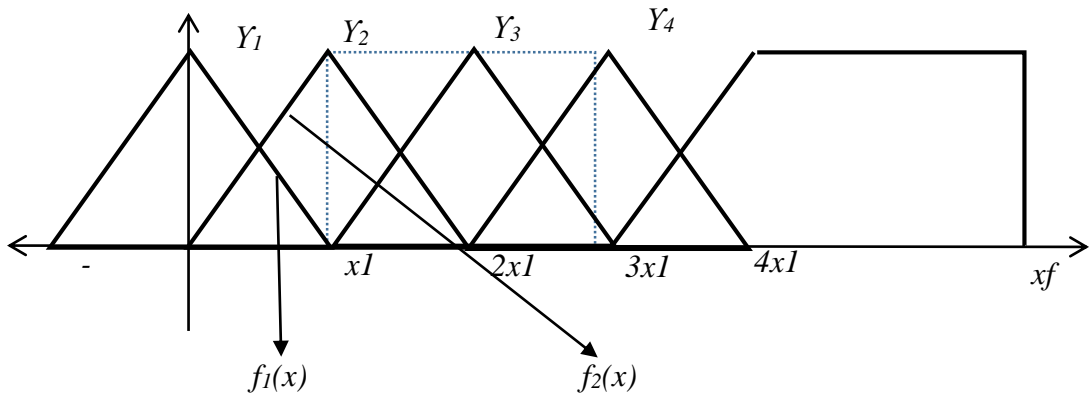


Figura 10 Función de membrecía para entradas múltiples
Elaboración fuente propia.

para $0 \leq x \leq x_1$ se tiene que

$$\gamma_1 = \frac{x_1 - x}{x_1} \quad y \quad \gamma_2 = \frac{x}{x_1}$$

La salida será:

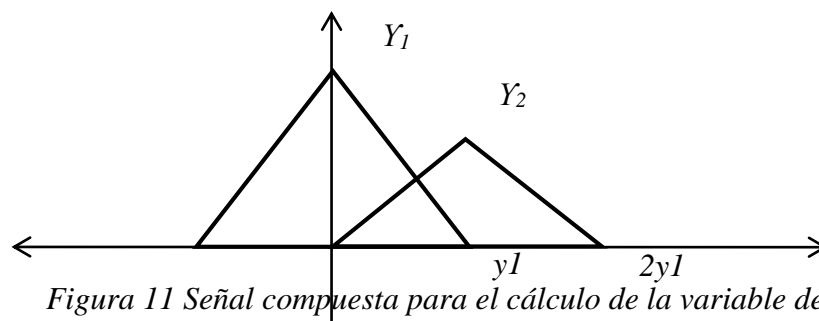


Figura 11 Señal compuesta para el cálculo de la variable de salida
Elaboración fuente propia.

$$\text{Salida} = \frac{\gamma_2 y_1 y_1}{\gamma_1 y_1 + \gamma_2 y_1} = \frac{\gamma_2}{\gamma_1 + \gamma_2} y_1$$

para $x_1 \leq x \leq 2x_1$ se tiene que

$$\gamma_2 = \frac{2x_1 - x}{x_1} \quad y \quad \gamma_3 = \frac{x - x_1}{x_1}$$

La salida será:

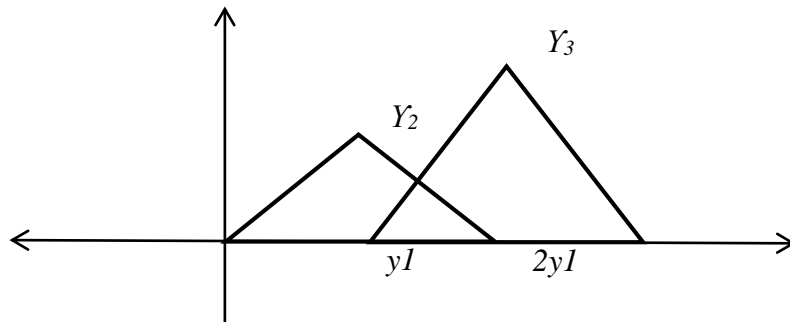


Figura 12 Señal compuesta para el cálculo de la variable de salida
elaboración fuente propia.

$$\text{Salida} = \frac{y_1 \gamma_2 y_1 + y_1 \gamma_3 2y_1}{\gamma_2 y_1 + \gamma_3 y_1} y_1^2 = \frac{\gamma_2 + 2\gamma_3}{\gamma_2 + \gamma_3} y_1$$

para $2x_1 \leq x \leq 3x_1$ se tiene que

$$\gamma_3 = \frac{3x_1 - x}{x_1} \quad y \quad \gamma_4 = \frac{x - 2x_1}{x_1}$$

La salida será:

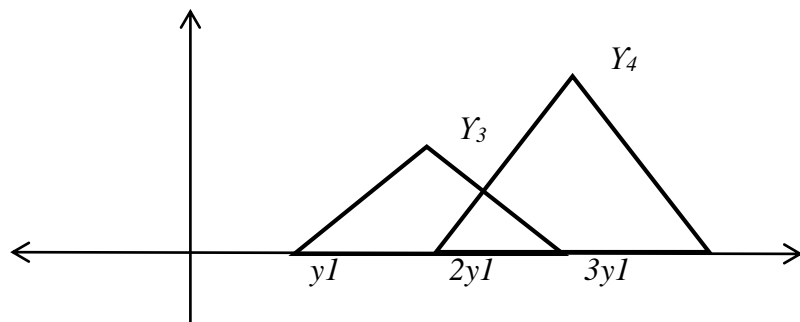


Figura 13 Señal compuesta para el cálculo de la variable de salida
Elaboración fuente propia.

$$Salida = \frac{y_1 \gamma_3 2y_1 + y_1 \gamma_4 3y_1}{\gamma_3 y_1 + \gamma_4 y_1} y_1^2 = \frac{2\gamma_3 + 3\gamma_4}{\gamma_3 + \gamma_4} y_1$$

Por inducción se tiene que:

para $(n - 1)x_1 \leq x \leq nx_1$ se tiene que

$$\gamma_n = \frac{nx_1 - x}{x_1} \quad y \quad \gamma_{n+1} = \frac{x - (n - 1)x_1}{x_1}$$

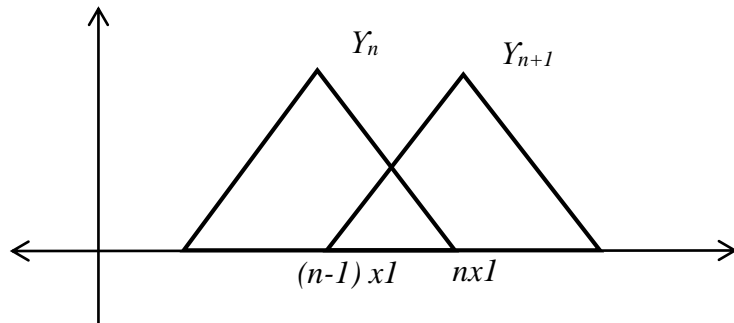


Figura 14 Señal compuesta para el cálculo de la función de membresía para el enésimo intervalo

Elaboración fueete propia.

La salida será:

$$Salida = \frac{y_1 \gamma_n (n - 1)y_1 + y_1 \gamma_{n+1} ny_1}{\gamma_n y_1 + \gamma_{n+1} y_1} y_1^2 = \frac{(n - 1)\gamma_n + n\gamma_{n+1}}{\gamma_n + \gamma_{n+1}} y_1$$

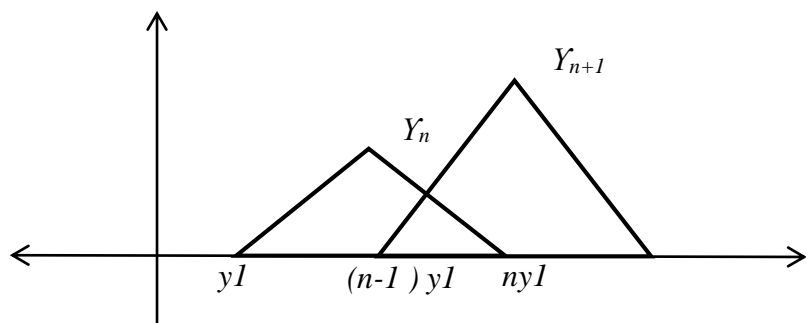


Figura 15 Señal compuesta para el cálculo de la variable de salida para el enésimo intervalo

Elaboración fueete propia.

Para la salida semifinal.

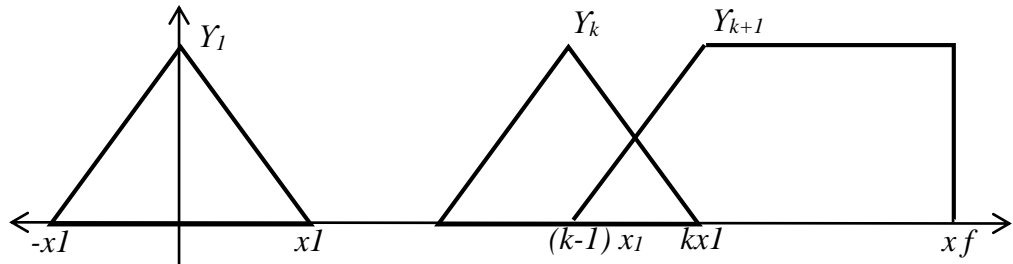


Figura 16 Señal compuesta para el cálculo de la función de membresía para el késimo-1 intervalo
Elaboración fuente propia.

para $(k - 1)x_1 \leq x \leq kx_1$ se tiene que

$$\gamma_k = \frac{kx_1 - x}{x_1} \quad y \quad \gamma_{k+1} = \frac{x - (k - 1)x_1}{x_1}$$

Para la salida se tiene:

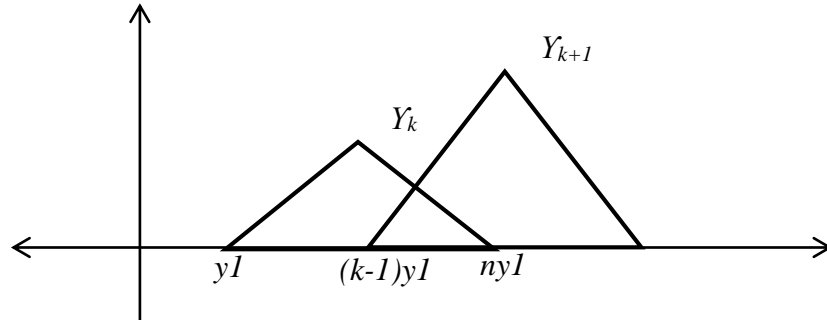


Figura 17 Señal compuesta para el cálculo de la variable de salida para el késimo-1 intervalo
Elaboración fuente propia.

$$Salida = \frac{y_1 \gamma_k (k - 1) y_1 + y_1 \gamma_{k+1} k y_1}{\gamma_k y_1 + \gamma_{k+1} y_1} y_1^2 = \frac{(k - 1) \gamma_k + k \gamma_{k+1}}{\gamma_k + \gamma_{k+1}} y_1$$

La salida final

para $kx_1 \leq x \leq xf$ se tiene que

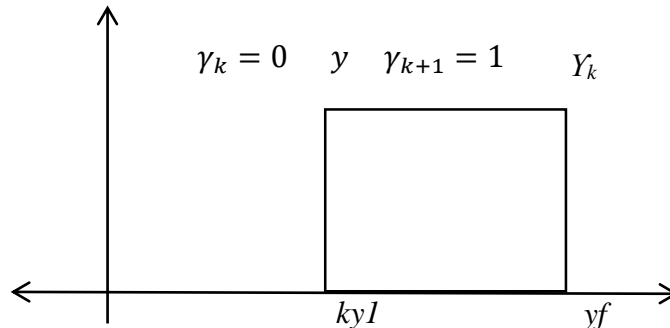


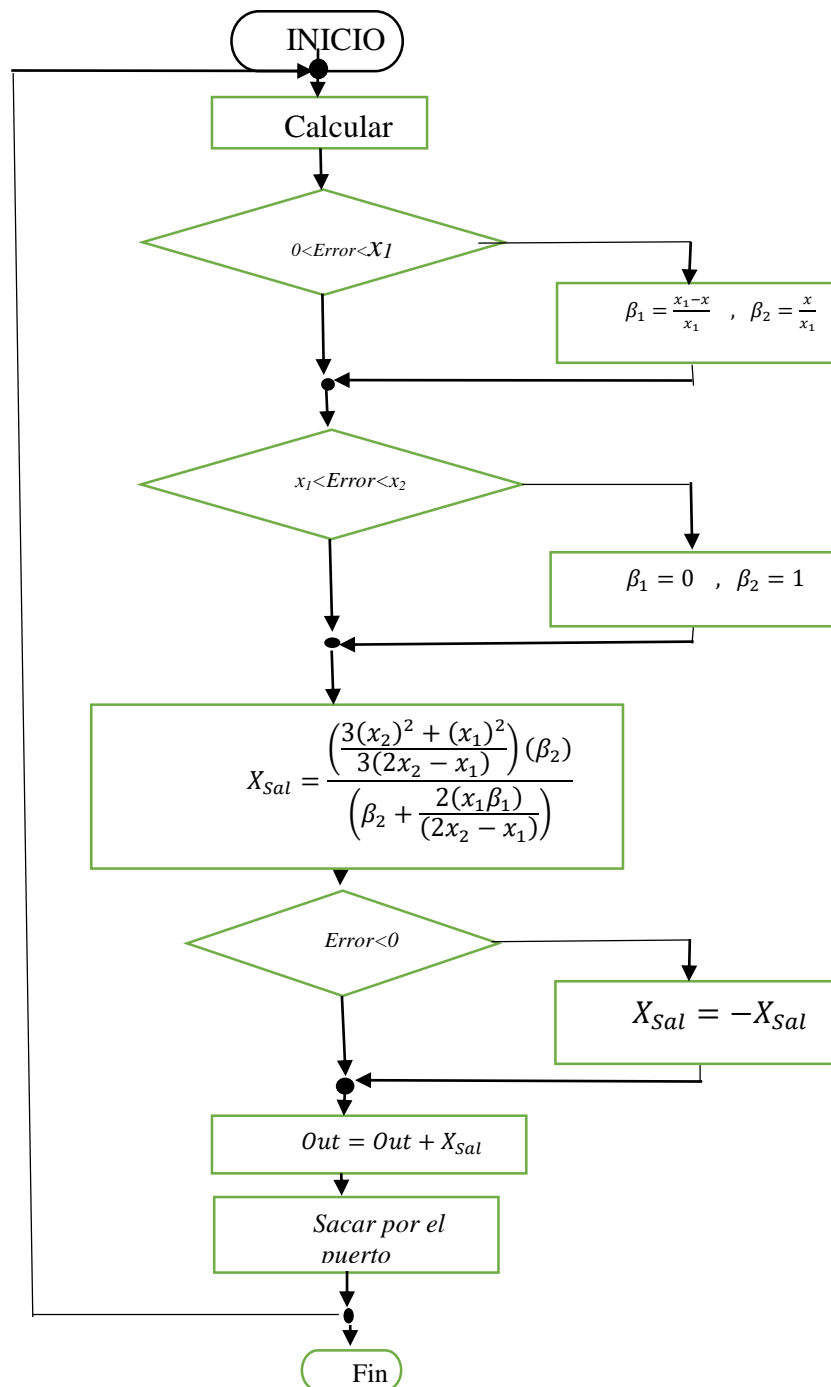
Figura 18 Señal para el cálculo de la variable de salida para el intervalo final
Elaboración fuente propia.

$$Salida = \frac{ky1 + yf}{2}$$

- Una vez hecho el cálculo alternativo del método del Centroide, se procederá a elaborar el diagrama de flujo para la implementación del controlador difuso, caso específico de 2 zonas.

3.4. Algoritmo de programación

Este algoritmo de programación está desarrollado para 2 zonas



3.5.Programación en Tia Portal

3.5.1. Algoritmo a Implementar de 7 zonas

- Si $0 \leq x \leq x_1$ entonces $\gamma_1 = \frac{x_1-x}{x_1}$, $\gamma_2 = \frac{x}{x_1}$ por lo tanto la salida será $\frac{\gamma_2}{\gamma_1+\gamma_2} y_1$
- Si $x_1 < x \leq 2x_1$ entonces $\gamma_2 = \frac{2x_1-x}{x_1}$, $\gamma_3 = \frac{x-x_1}{x_1}$ por lo tanto la salida será $\frac{\gamma_2 + 2\gamma_3}{\gamma_2+\gamma_3} y_1$
- Si $2x_1 < x \leq 3x_1$ entonces $\gamma_3 = \frac{3x_1-x}{x_1}$, $\gamma_4 = \frac{x-2x_1}{x_1}$ por lo tanto la salida será $\frac{2\gamma_3+3\gamma_4}{\gamma_3+\gamma_4} y_1$
- Si $x > 3x_1$ entonces $\gamma_4 = 1$, por lo tanto la salida será $\frac{2y_1+y_F}{2}$
- Si $x < 0$ entonces salida = | - salida |

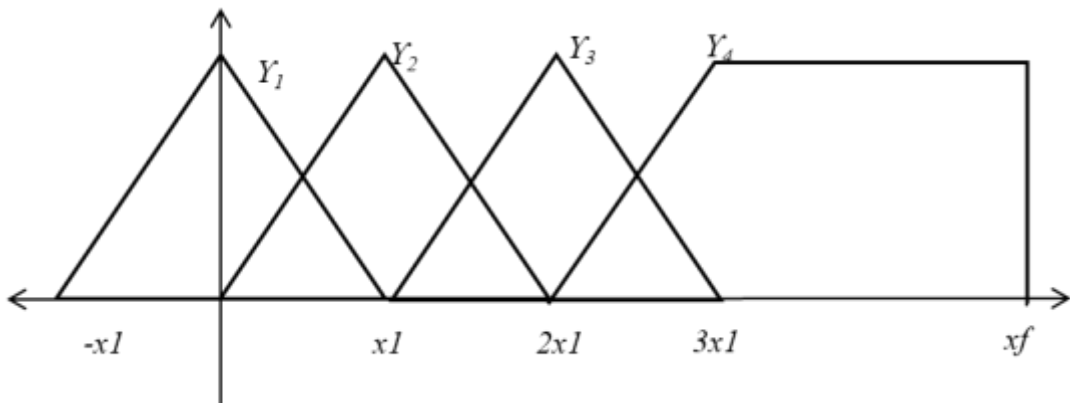


Figura 19 variable de entrada

Elaboración Fuente Propia

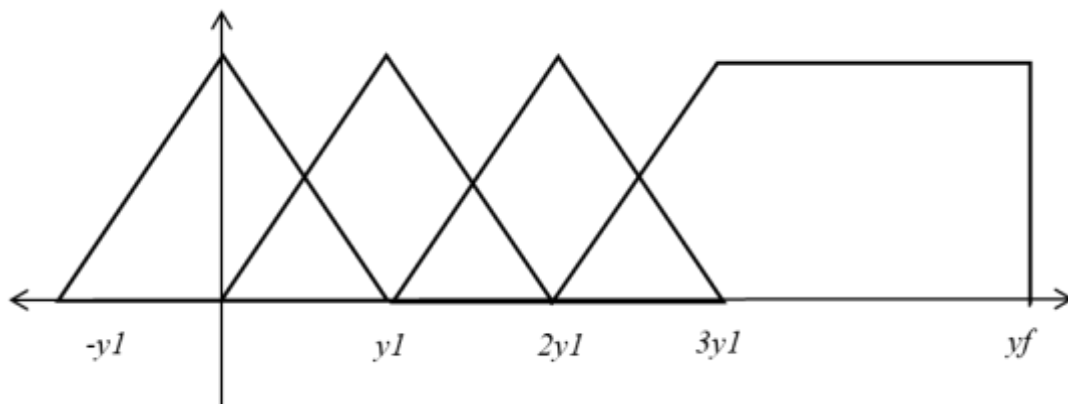


Figura 20 variable de salida

Elaboración Fuente Propia

3.5.2. Implementación

➤ Creación del proyecto

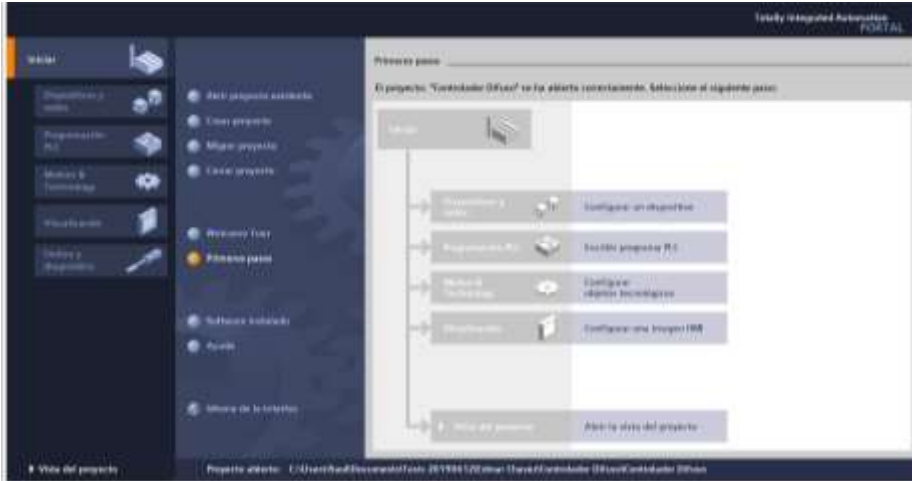


Figura 21 Creación del Proyecto en Tía Portal V15

Fuente Elaboración propia

➤ Selección del CPU del PLC: este PLC tiene 2 entradas analógicas embebidas

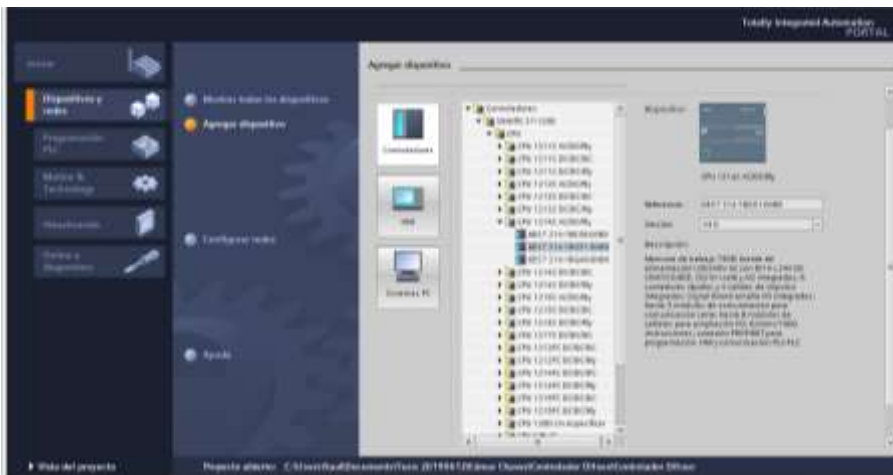


Figura 22 Selección del CPU del controlador

Fuente Elaboración propia

➤ Selección del módulo de salida analógico embebido: cuenta con una salida analógica de $\pm 10v$ o de $4mA \leq I_{salida} \leq 20mA$.

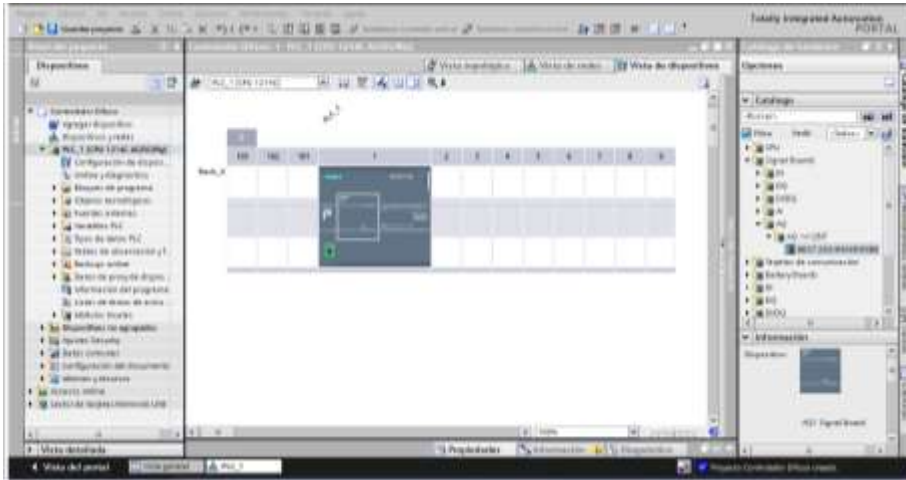


Figura 23 Selección de la Signal Board de salida Analógica

Fuente Elaboración propia

- Selección del panel HMI :será usado para configurar las zonas de trabajo del controlador difuso.

Este panel HMI debe de tener comunicación vía Profinet.

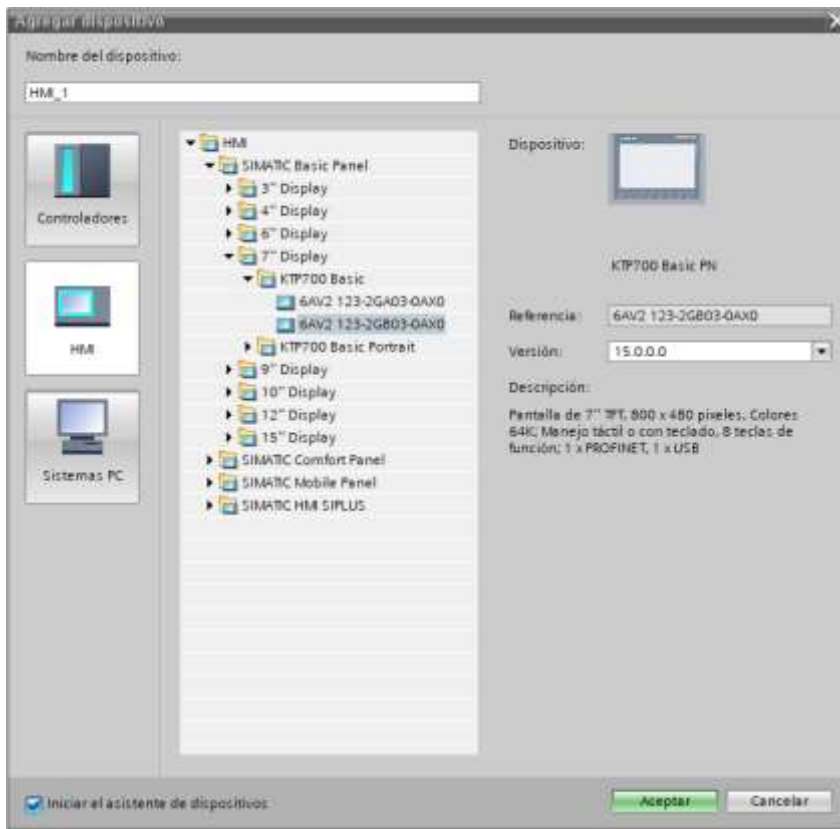


Figura 24 Selección del HMI de 7" con comunicación Profinet

Fuente Elaboración propia



Figura 25 Configuración del bus de comunicación.

Fuente Elaboración propia

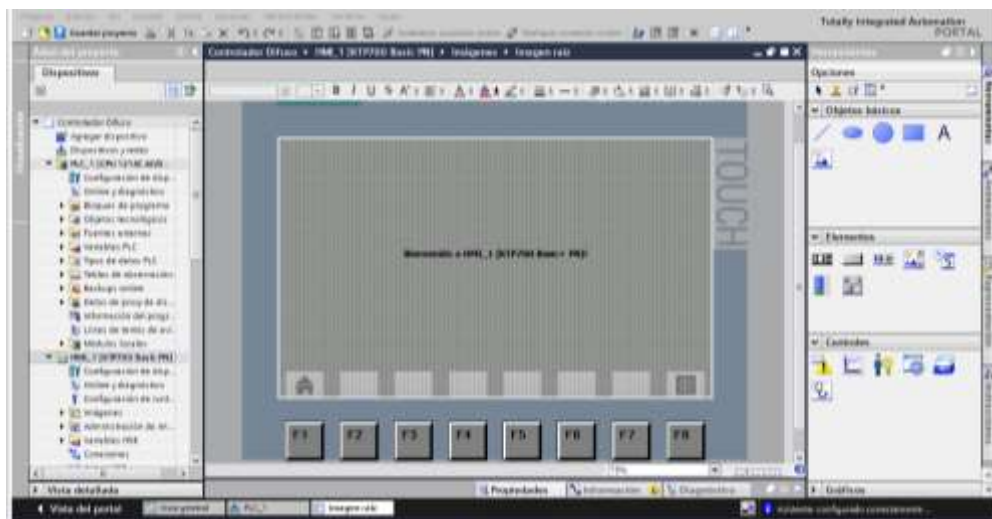


Figura 26 Pantalla de HMI Configurada

Fuente Elaboración propia

- Red de comunicación: se muestra en la siguiente figura como queda la red conformada por el PLC y el panel HMI

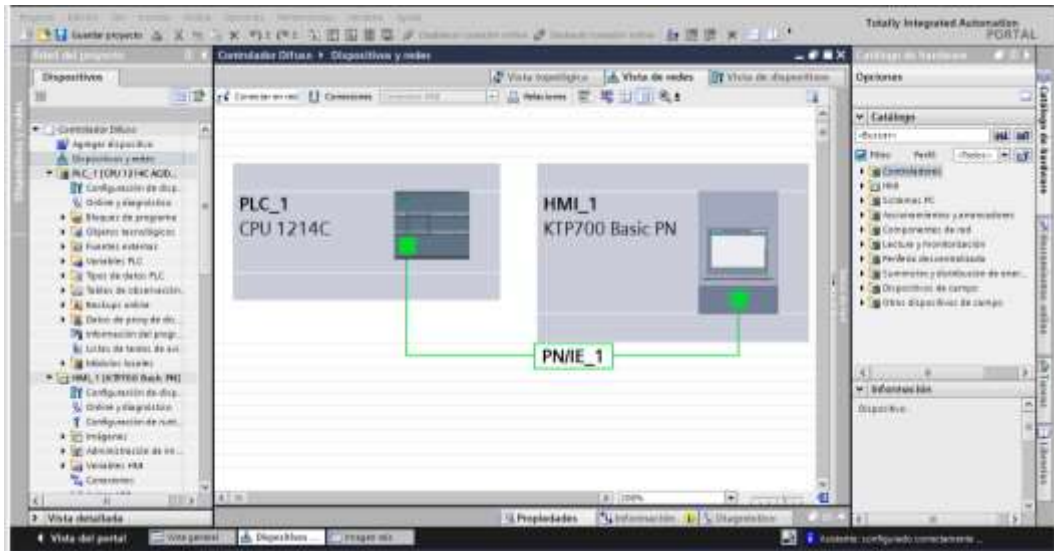


Figura 27 Red de comunicación entre el PLC y HMI

Fuente Elaboración propia

➤ Creación del Programa Principal

Primero se crea un contador Rápido que permita calcular la velocidad del Motor, ya que este debe de contar con un encoder esto se muestra en la figura x

En la figura x1 se muestra como se configura este contador rapido

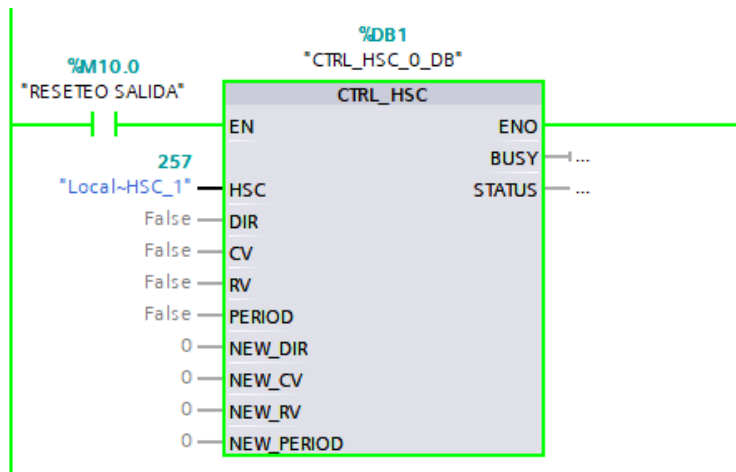


Figura 28 Controlador de Contador Rápido

Fuente Elaboración propia

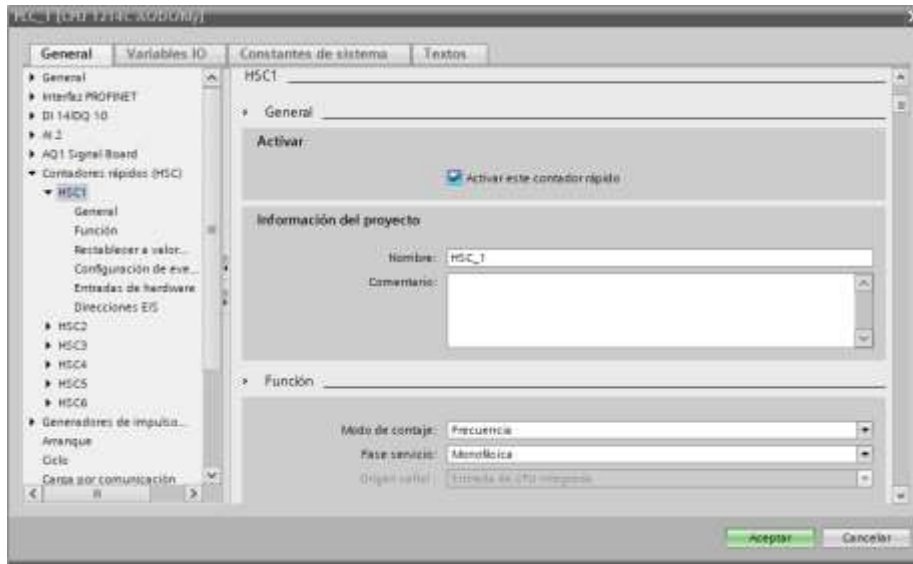


Figura 29 Configuración del Contador rápido como medidor de frecuencia.

Fuente Elaboración propia

- Se calcula los máximos valores en RPM que puede arrojar el motor, en nuestro caso para 10v de entrada de motor este arroja una frecuencia máxima de 1290 Pulsos/s

$$RPM_{Max} = F_{Maxima} * \frac{60}{\text{Numero de pulsos por Rev}}$$

El número de pulsos por revolución del motor usado en este proyecto es de $144 \frac{\text{Pulsos}}{\text{Rev}}$ pero como el programa es para cualquier valor de frecuencia y de numero de pulsos por revolución se realizó el siguiente programa

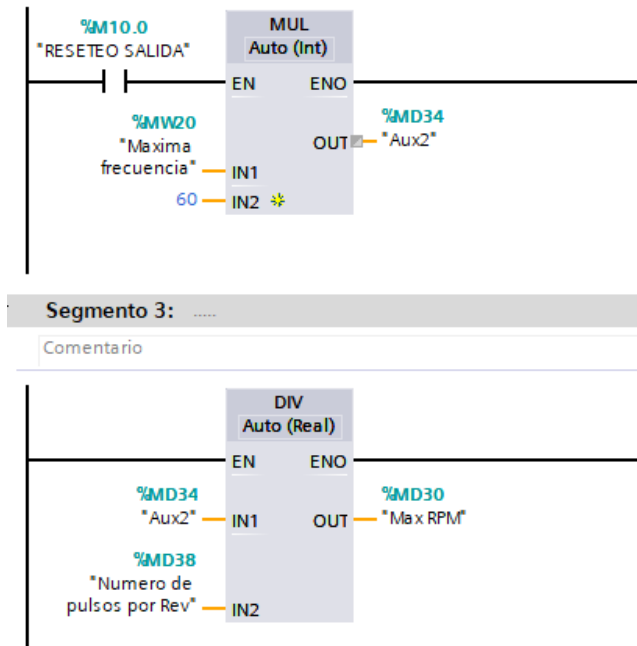


Figura 30 Bloques para el cálculo de los Máximos RPM del motor

Fuente Elaboración propia

- Se calcula la variable de proceso V_pRPM usando Bloque de Normalización y escalamiento.

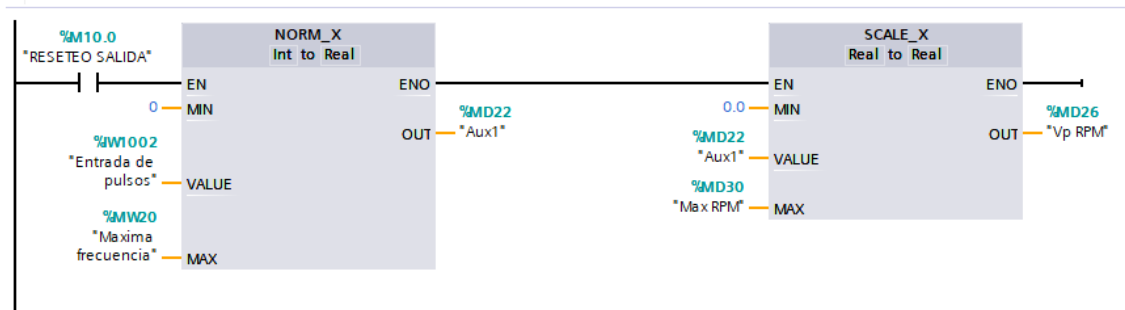


Figura 31 Bloques para calcular la Variable de Proceso

Fuente Elaboración propia

- En las siguientes figuras se muestra el cálculo del Error y como se configura la salida del controlador Difuso usando nuevamente un bloque de Normalización y Escalamiento.

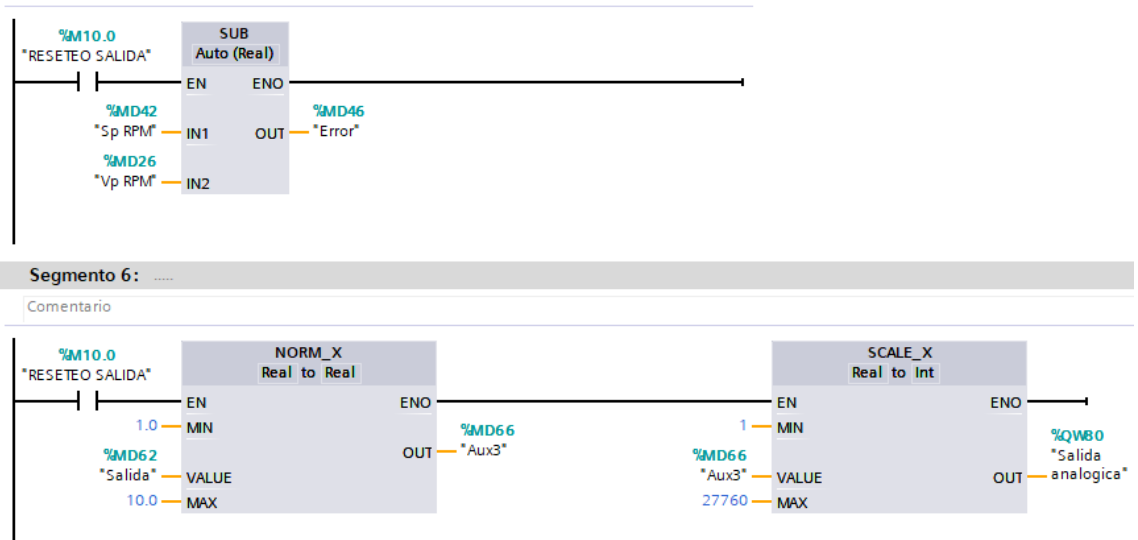


Figura 32 Calculo del error y de la salida del Controlador Difuso.
Fuente Elaboración propia

- Para realizar el Controlador Difuso fue necesario el uso de un Bloque de interrupción cíclica con un tiempo de muestreo de 10ms y con lenguaje de Programación SCL, esto se muestra en la Figura siguiente.

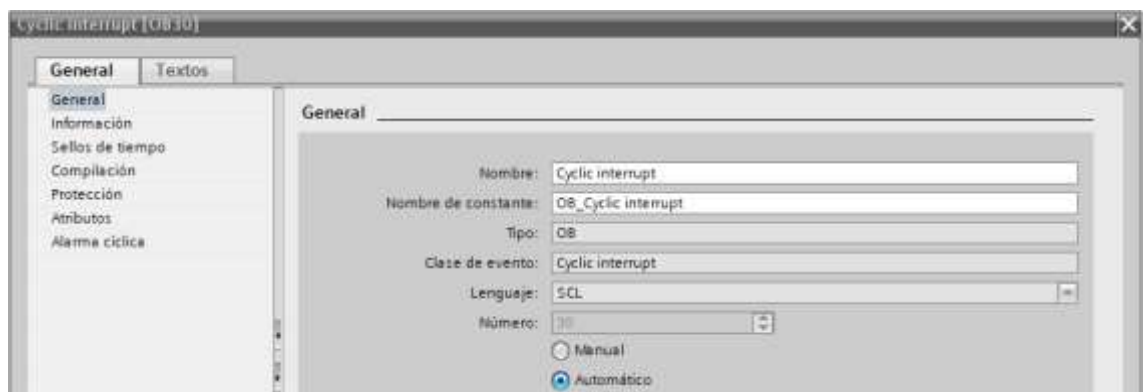


Figura 33 Creación del Bloque de Interrupción cíclica en Lenguaje SCL.
Fuente Elaboración propia

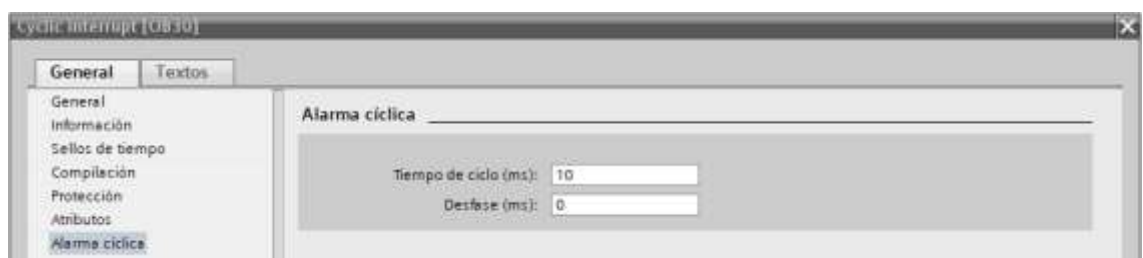


Figura 34 configuración del Tiempo de muestreo del bloque de interrupción cíclica.
Fuente Elaboración propia

- Programación del bloque de interrupción cíclica en lenguaje SCL, se muestra las variables locales usadas y la programación del controlador difuso.

Cyclic interrupt		
	Nombre	Tipo de datos
1	Temp	
2	G1	Real
3	G2	Real
4	G3	Real
5	X	Real
6	G4	Real
7	Y	Real
8	Constant	

Figura 35 Creación de las variables Temporales en SCL.
Fuente Elaboración propia

```

1 #X:=ABS("Error");
2 IF (0<#X) AND (#X<="E1") THEN
3     // Statement section IF
4     #G1:=("E1"-#X)/"E1";
5     #G2 := #X / "E1";
6     #Y := #G2 *"Salidal"/ (#G1 + #G2);
7 END_IF;
8 IF ("E1"<#X) AND (#X<=2*"E1") THEN
9     // Statement section IF
10    #G2:=(2*"E1"-#X)/"E1";
11    #G3 := (#X - "E1") / "E1";
12    #Y := (#G2 + 2 * #G3) * "Salidal" / (#G2+#G3);
13 END_IF;
14 IF (2*"E1" < #X) AND (#X <= 3 * "E1") THEN
15     // Statement section IF
16     #G3 := (3 * "E1" - #X) / "E1";
17     #G4 := (#X - 2*"E1") / "E1";
18     #Y := (2*#G3 + 3 * #G4) * "Salidal" / (#G3 + #G4);
19 END_IF;
20 IF #X > 3 * "E1" THEN
21     // Statement section IF
22     #Y := (3 * "Salidal" + "Salida Final") / 2;
23 END_IF;
24 IF "Error"<0 THEN
25     // ACCION INTEGRAL
26     #Y:=-#Y;
27 END_IF;
28 "Salida" := "Salida" + #Y;
29 IF "Salida">10 THEN
30     // LIMITACION SUPERIOR HASTA 10
31     "Salida" := 10;
32 END_IF;
33 IF "Salida"<0 THEN
34     // LIMITACION INFERIOR HASTA 0
35     "Salida":=0 ;
36 END_IF;

```

Figura 36 Programa del controlador Difuso. En SCL.
Fuente Elaboración propia

- Lista de Variables Globales del PLC para el controlador Difuso.

Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección
Entrada de pulsos	Tabla de variabl...	Int	%IW1002
Maxima frecuencia	Tabla de variables e..	Int	%MW20
Aux1	Tabla de variables e..	Real	%MD22
Vp RPM	Tabla de variables e..	Real	%MD26
Max RPM	Tabla de variables e..	Real	%MD30
Aux2	Tabla de variables e..	Real	%MD34
Numero de pulsos por Rev	Tabla de variables e..	Real	%MD38
Sp RPM	Tabla de variables e..	Real	%MD42
Error	Tabla de variables e..	Real	%MD46
E1	Tabla de variables e..	Real	%MD50
Salida 1	Tabla de variables e..	Real	%MD54
Salida Final	Tabla de variables e..	Real	%MD58
Salida	Tabla de variables e..	Real	%MD62
Aux3	Tabla de variables e..	Real	%MD66
Salida analogica	Tabla de variables e..	Int	%QW80
SALIDA INTEGRAL	Tabla de variables e..	Real	%MD70
RESETEO SALIDA	Tabla de variables e..	Bool	%M10.0

Figura 37 Lista de variables Globales del PLC.

Fuente Elaboración propia

- Programación del Panel HMI. Se realizaron 2 pantallas, en la primera se muestra la variable de proceso V_p y el Set Point S_p ambos están en RPM, además se muestra como estos evolucionan en función del Tiempo ($V_p(t)$ y $S_p(t)$).

En la segunda pantalla se muestra la configuración del controlador difuso, donde se debe de ingresar:

- Frecuencia Máxima que arroja el encoder del motor.
- El número de Pulsos por revolución.
- El error mínimo por Zona.
- La salida mínima por Zona.
- La salida Máxima.



Figura 38 Pantalla Principal del HMI.
Fuente Elaboración propia

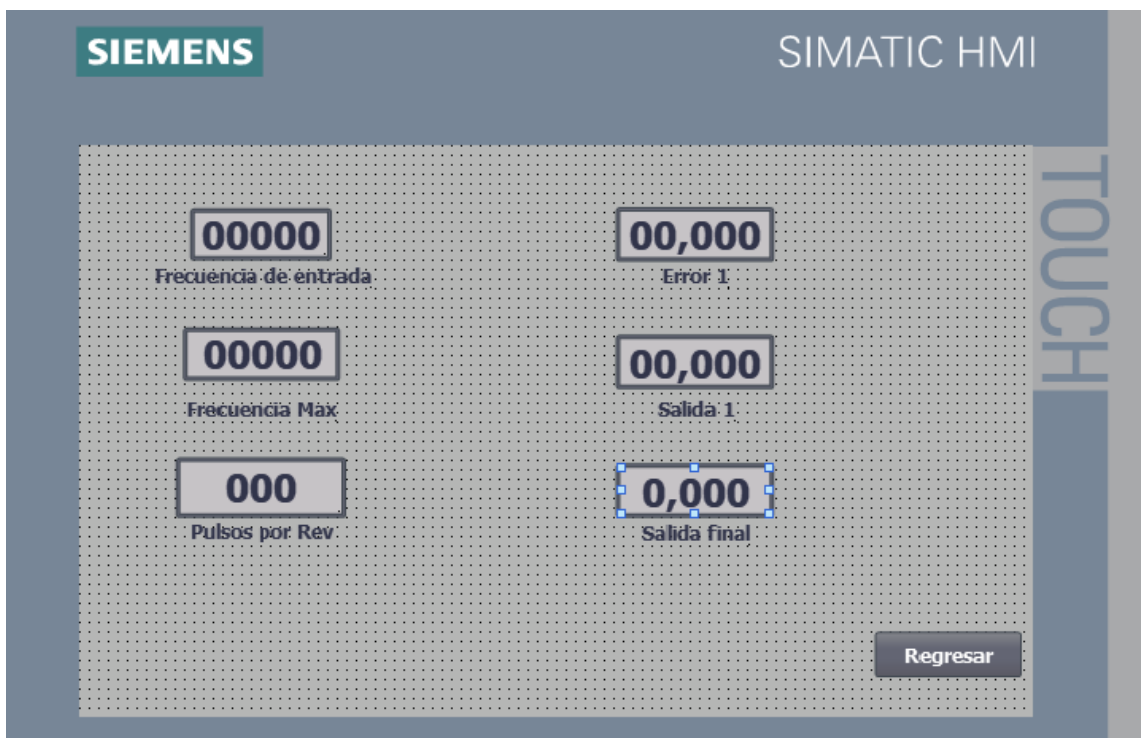


Figura 39 pantalla de configuración del controlador Difuso.
Fuente Elaboración propia

- Implementación del circuito de prueba del controlador difuso. Se utilizó un motor con encoder con $144 \frac{\text{pulsos}}{\text{Rev}}$, para poder controlar el motor se usó un Puentes H L298 en Configuración Paralelo.

Como el PLC arroja un valor analógico este debe de convertirse a modulación por ancho de Pulso, para ello se utilizó un microcontrolador 16F877 debido a que este se tenía disponible, pero se puede usar cualquier otro solo debe de tener modulo analógico y módulo PWM.

Debido a que la salida del PLC es 0v a 10v, y el microcontrolador solo acepta valores de 0v a 5v, se utilizó un divisor de tensión compuesto por 2 resistencias iguales de 10kΩ.

La salida del encoder es de 0v a 5v y el PLC acepta por I0:0 una señal de 0V a 24V, por este motivo se usó un transistor como Driver para elevar el nivel de tensión hasta 24V, esto se muestra en la siguiente figura.

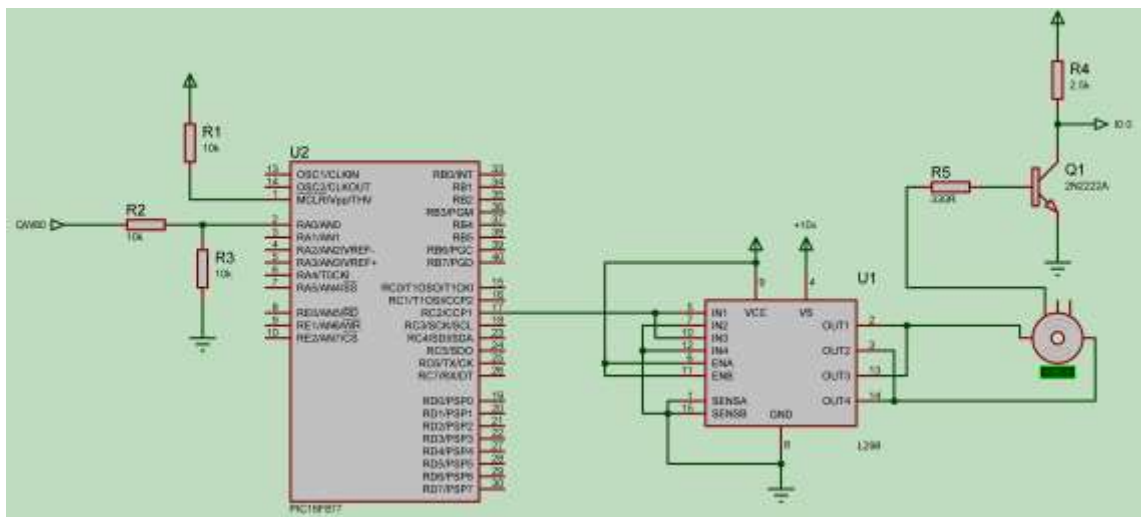


Figura 40 Circuito para conexión con El PLC.

Fuente Elaboración propia

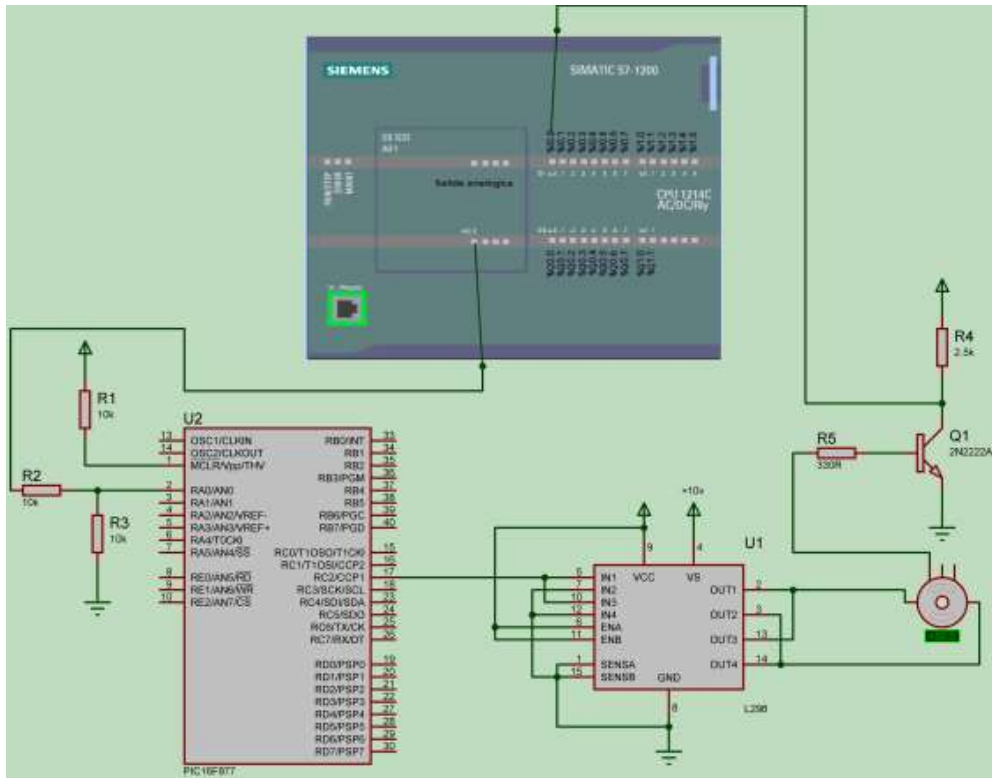


Figura 41 Circuito completo PLC y Interface con motor DC.
Fuente Elaboración propia

3.6. Prueba de operación del controlador

3.6.1. Sintonía del controlador difuso con Error mínimo 15 y salida mínima 0,005.



Figura 42 Respuesta del controlador Difuso.
Fuente Elaboración propia



Figura 43 Configuración del controlador Difuso.
Fuente Elaboración propia

3.6.2. Sintonía del controlador difuso con Error mínimo 15 y salida mínima 0,01.



Figura 44 Respuesta del controlador Difuso.
Fuente Elaboración propia



Figura 45 Configuración del controlador Difuso.
Fuente Elaboración propia

3.6.3. Sintonía del controlador difuso con Error mínimo 15 y salida mínima 0,05.

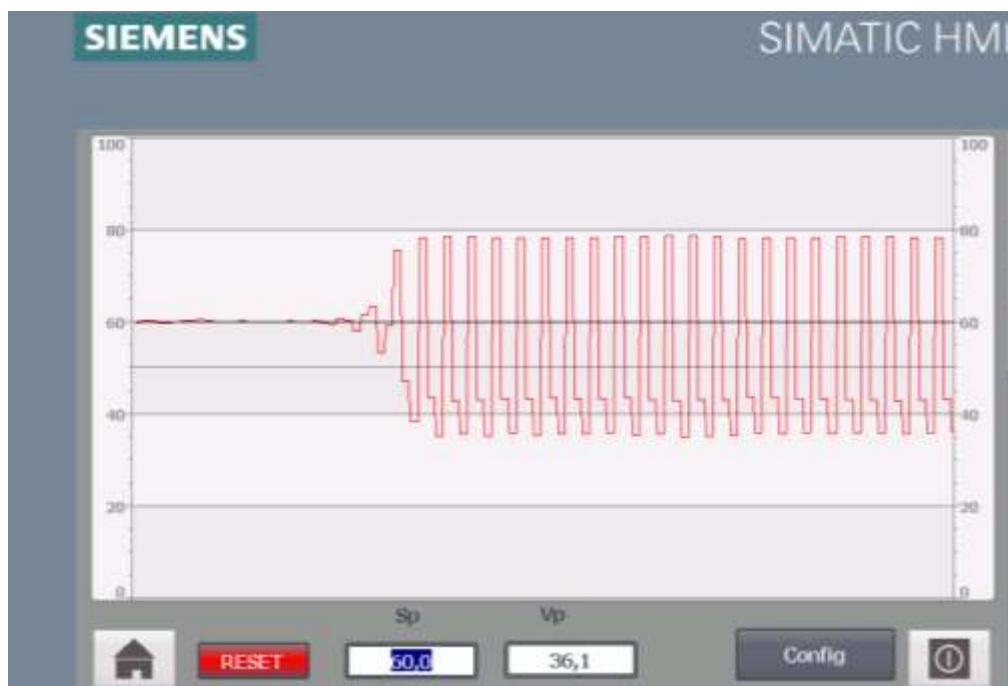


Figura 46 Respuesta del controlador Difuso.
Fuente Elaboración propia



Figura 47 Configuración del controlador Difuso..
Fuente Elaboración propia

3.6.4. Sintonía del controlador difuso con Error mínimo 20 y salida mínima 0,05



Figura 48 Respuesta del controlador Difuso.
Fuente Elaboración propia



Figura 49 Configuración del controlador Difuso.
Fuente Elaboración propia

3.6.5. Sintonía del controlador difuso con Error mínimo 15 y salida mínima 0,001



Figura 21 Respuesta del controlador Difuso.
Fuente Elaboración propia



Figura 50 Configuración del controlador Difuso..
Fuente Elaboración propia

3.6.6. Sintonía del controlador difuso con Error mínimo 20 y salida mínima 0,001



Figura 51 Respuesta del controlador Difuso.
Fuente Elaboración propia



Figura 52 Configuración del controlador Difuso..
Fuente Elaboración propia

IV. ANALISIS DE DATOS

En la siguiente tabla se muestra el tiempo de establecimiento que logra el controlador difuso para los diferentes valores de Error mínimo y salida mínima.

Es importante recordar que un controlador difuso se sintoniza cuando las zonas de error y salidas las indica un experto en este tipo de proceso, pero en este trabajo se optó por ensayo y error.

Error mínimo (RPM)	Salida mínima (V)	Tiempo de establecimiento (s)
15	0.001	50
15	0.005	5
15	0.01	15
15	0.05	Inestable
20	0.05	Inestable
20	0.001	78

Tabla 3 Valores de tiempo de establecimiento

4.1. Para la combinación de $Error_{minimo} = 15$ y $Salida_{Maxima} = 0.001$,

El sistema se estabiliza pero su tiempo de establecimiento es de 50 segundos y coloca al sistema un polo dominante en $s = -0.1$



Figura 53 Tiempo de establecimiento 50 segundos.

Fuente Elaboración propia

4.2. Para la combinación de $Error_{minimo} = 15$ y $Salida_{Maxima} = 0.005$,

El sistema se estabiliza pero su tiempo de establecimiento es de 5 segundos y coloca al sistema un polo dominante en $s = -1$



Figura 54 Tiempo de establecimiento 5 segundos.
Fuente Elaboración propia

4.3. Para la combinación de $Error_{minimo} = 15$ y $Salida_{Maxima} = 0.01$,

El sistema se estabiliza pero su tiempo de establecimiento es de 15 segundos y coloca al sistema un polo dominante en $s = -\frac{1}{3}$ pero tiene parte imaginaria que hace que la salida es Sub Amortiguada, $e^{-\frac{t}{3}}\text{Sin}(\omega_0 t)$



*Figura 55 Tiempo de establecimiento 15 segundos.
Fuente Elaboración propia*

4.4. Para la combinación de $Error_{minimo} = 15$ y $Salida_{Maxima} = 0.05$,

El sistema se vuelve inestable.

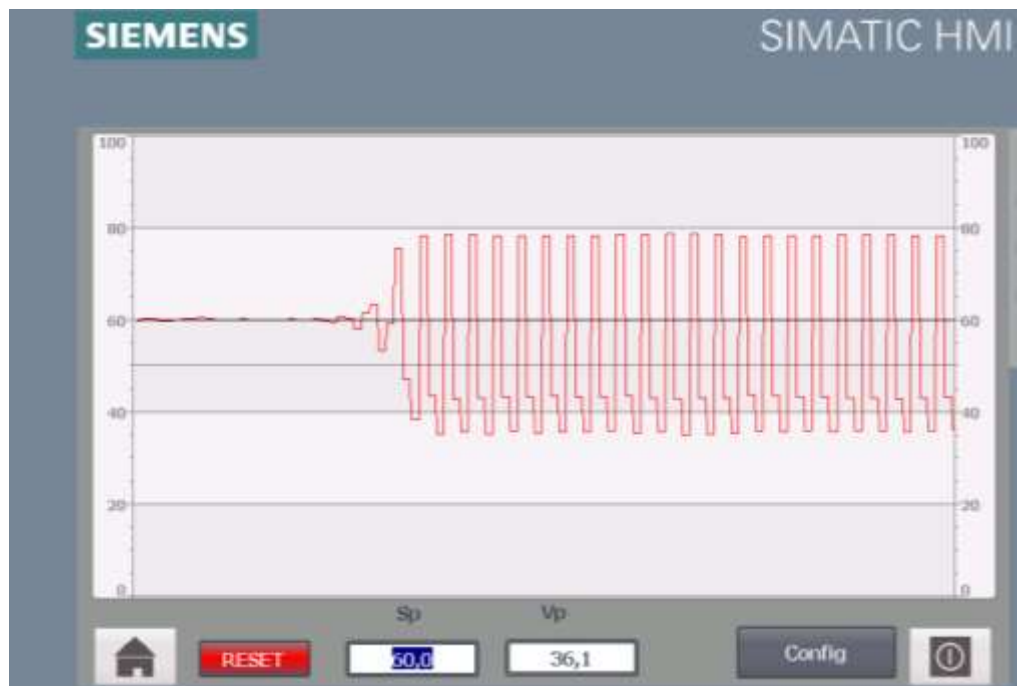


Figura 56 Sistema inestable.

Fuente Elaboración propia

4.5. Para la combinación de $Error_{minimo} = 20$ y $Salida_{Maxima} = 0.05$,

El sistema se vuelve inestable.

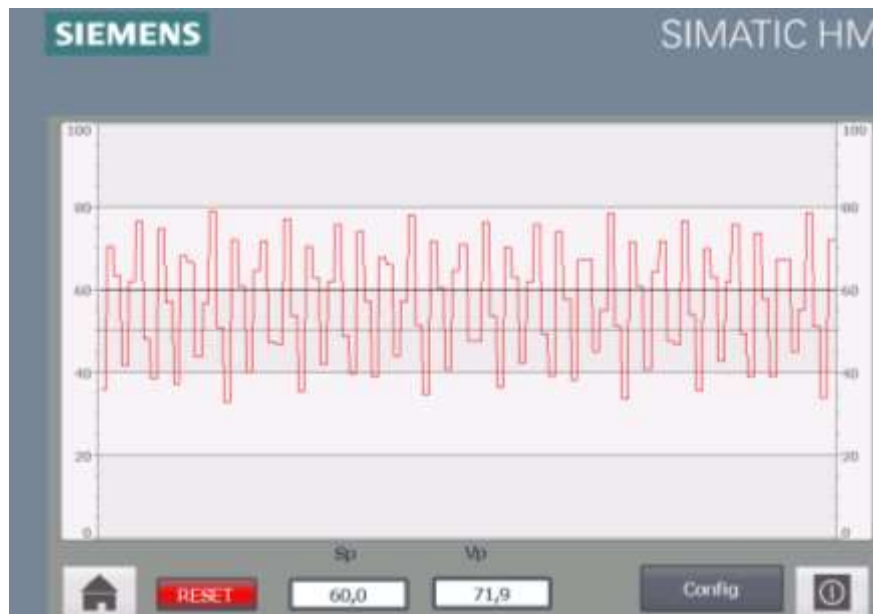


Figura 57 Sistema inestable.

Fuente Elaboración propia

4.6. Para la combinación de $Error_{minimo} = 20$ y $Salida_{Maxima} = 0.001$,

El sistema se estabiliza con un tiempo de establecimiento es de 78 segundos y coloca al sistema un polo dominante en $s = -0.064$



Figura 58 Tiempo de establecimiento 78 segundos.
Fuente Elaboración propia

4.7. Método del Centroide Reformulado

La reformulación del método del Centroide mediante la contracción de las áreas de salida permiten una sintonía Fácil y sencilla como se evidencia en la tabla anterior.

4.8. Algoritmo del controlador difuso.

El desarrollo del Algoritmo del controlador difuso está basado en condicionales de los valores de pertenencia a las variables lingüísticas, y de su relación con la salida mediante el método del Centroide.

4.9. Implementación del controlador Difuso en PLC.

La implementación del controlador difuso en un PLC se realizó en dos tipos de lenguaje, el programa principal que consiste en la normalización

de la entrada y salida está hecho en lenguaje Ladder y el controlador difuso esta realizado en un bloque de interrupción Cíclica con tiempo de muestreo de 10mS y está desarrollado en lenguaje SCL (Structured Control Language).

4.10. Pruebas de operación del controlador difuso.

Para poder realizar la prueba del controlador difuso fue necesario desarrollar una interface entre el PLC y el motor, esto se logró usando un u PIC 16F877 y un puente H L298.

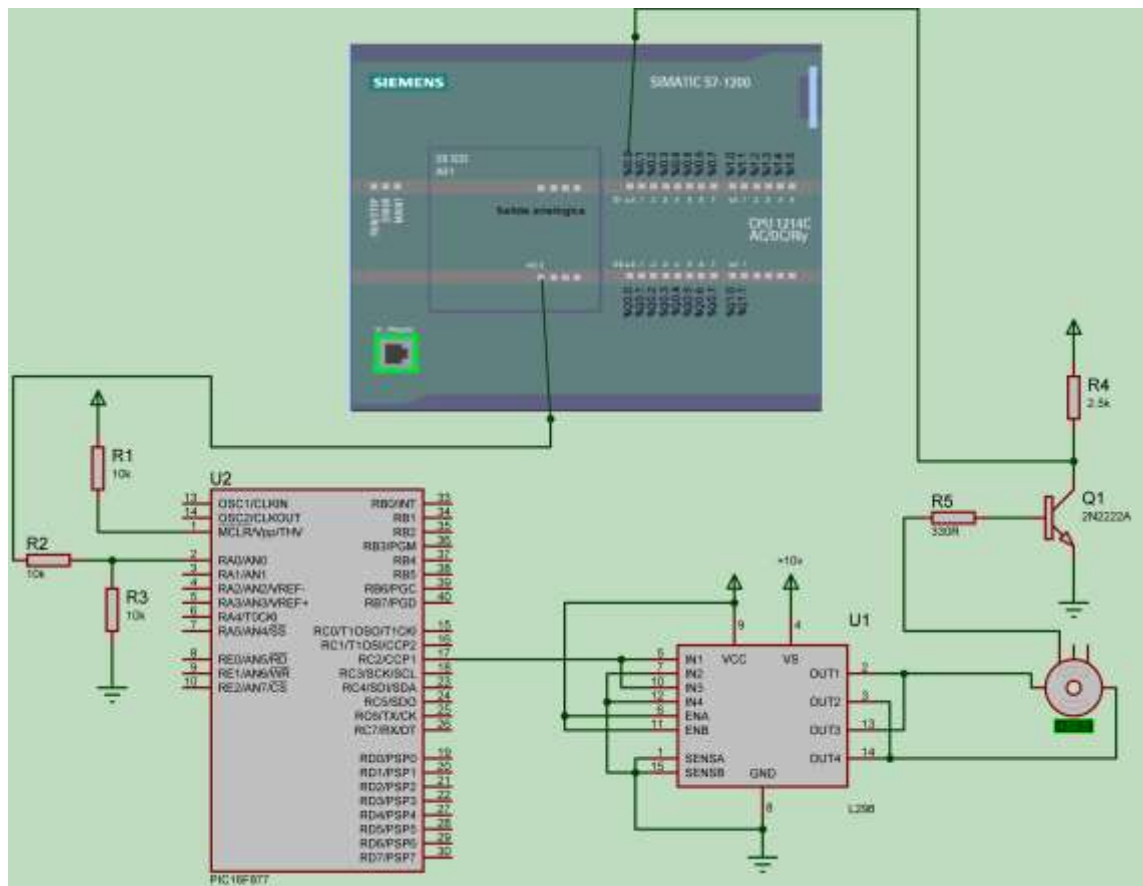


Figura 59 Controlador difuso conectado a un Motor DC .

Fuente Elaboración propia

V. CONCLUSIONES

- Se reformulo el método del Centroide usando la técnica de composición de áreas esto se muestra en el capítulo 3.3.1 hasta 3.3.4 , donde se muestra el cálculo del Centroide para áreas triangulares y trapezoidales.
- Se desarrolló el algoritmo de para la implementación de un controlador difuso de múltiples zonas, realizándose una generalización del mismo para “n” Zonas esto se evidencia en el capítulo 3.5.1
- La implementación del controlador difuso se realizó en un PLC con CPU 1214AC/DC/RLY y para ello se usó un bloque principal con lenguaje Ladder y otro bloque de interrupción cíclica programado con lenguaje SCL, esto se evidencia en el capítulo 3.5.2
- Las pruebas de operación del controlador Difuso se realizaron en el control de velocidad de un motor DC con encoder, obteniendo buenos resultados para error mínimo de 15 y salida mínima 0.005. esto se evidencia en el capítulo 3.6

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso del controlador difuso para solucionar sistemas de primer orden, ya que estos son muy comunes en la industria.
- Realizar el estudio del mismo para sistemas con múltiples entradas y múltiples salidas.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Marín. A, López. J,Navas.A. (2016). Sintonización de un controlador PID implementado en un PLC haciendo uso de inteligencia de enjambres, Universidad Autónoma de occidente, Cali, Colombia.

Karl, J. (2009). Control PID Avanzado. Editorial Pearson Educación S.A.

Ogata, K. (2003). Ingeniería de Control Moderna.4th ed. Prentice-Hall.

Kuo. B,(1996). Sistemas de control Automático 7ma ed. Prentice-Hall

Cristina, A. (2008). Estructuración de sistemas de control de eventos discretos en un plc aplicado a procesos híbridos. Instituto tecnológico y de estudios superiores de monterrey. Recuperado 20 de diciembre de 2019

Vargas, J. (2016). Diseño e implementación de un algoritmo de controlador PID para plataformas basadas en microcontroladores PIC. Universidad Privada Antenor Orrego – Trujillo – Perú, Recuperado 20 de diciembre de 2019.