



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

**“APLICACIÓN DEL CONTROL DIFUSO UTILIZANDO PLD, EN
UN TURBO MEZCLADOR Y UN EVAPORADOR ELÉCTRICO
PARA EL LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES,
ESCUELA INGENIERIA QUIMICA ESPOCH”**

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

AUTORES: ALDAZ TOALA JORGE LUIS
INFANTE SALAS JEFFERSON ALBERTO
TUTOR: ING. MARCO ANTONIO VITERI BARRERA

Riobamba – Ecuador
2017

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: “APLICACIÓN DEL CONTROL DIFUSO UTILIZANDO PLD, EN UN TURBO MEZCLADOR Y UN EVAPORADOR ELÉCTRICO PARA EL LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES, ESCUELA INGENIERIA QUIMICA ESPOCH”, de responsabilidad de los señores JORGE LUIS ALDAZ TOALA y JEFFERSON ALBERTO INFANTE SALAS, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

| NOMBRE | FIRMA | FECHA |
|---|--------------|--------------|
| Ing. Washington Luna. E DECANO DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA. | | |
| Ing. Freddy Chávez. V DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES. | | |
| Ing. Marco Viteri. B DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN. | | |
| Ing. Henry Vallejo. V MIEMBRO DEL TRIBUNAL. | | |

Nosotros, Jorge Luis Aldaz Toala y Jefferson Alberto Infante Salas, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales.

Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación.

Jorge Luis Aldaz Toala
171472280-6

Jefferson Alberto Infante Salas
172116088-3

AUTORES

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso por sus bendiciones. A mi madre Teresa Toala quien con bondad amor y entrega me ha brindado su apoyo incondicional para que pueda culminar este sueño anhelado y cada día me enseña el verdadero sentido de la solidaridad y cariño fraterno. A mi esposa Gabriela Proaño quien a lo largo de los años me alentó y apoyó en los momentos más difíciles para seguir adelante. A mi hija Samantha Nicole que con su inocencia y ternura se convirtió en mi pilar fundamental y me ha enseñado que nada es imposible si las cosas se las hacen con esfuerzo y dedicación. A mi hermano Alex por ser una pieza fundamental en este logro. A toda mi familia por el afecto brindado; y a mis amigos / as por enseñarme el verdadero valor de la amistad.

Jorge Luis Aldaz Toala

El presente trabajo de titulación dedico principalmente a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes y experiencias. A mis padres Fanny Sala y Alberto Infante por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado y haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida y ser un ejemplo de vida a seguir. A mis hermanos Lupita, Michelle, Alexander por ser parte importante de mi vida y por llenar mi vida de alegría y amor cuando más lo he necesitado. A mi novia Estefanía Silva por compartir el día a día con amor, paciencia, y cariño por apoyarme y motivarme a seguir adelante a lo largo de mi carrera.

Jefferson Infante Salas

AGRADECIMIENTO

Gratitud eterna a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por darme la oportunidad de obtener una profesión y ser una ayuda para la sociedad.

A mi madre por motivarme a soñar, perseverar, luchar, plantearme desafíos, para llegar triunfante a la meta visualizada.

A mis maestros Marco Viteri y Henry Vallejo, por su invaluable guía, eje importante para la culminación de este trabajo.

A mis docentes que han inculcado en mí un profundo sentido de seriedad, responsabilidad y rigor académico, sin dejar de ser seres humanos de grandes quilates, capaces de ensalzar valores como la honestidad, responsabilidad, respeto, que son prácticas diarias en su vida.

A mi gran amigo Jefferson Infante, con quien a lo largo del camino nos planteamos objetivos que ahora se ven cristalizado, gracias por el apoyo, experiencias y momentos compartidos.

Jorge Luis Aldaz Toala

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería en control y redes industriales, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad. Y en especial para todos los amigos, compañeros y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de nuestras vidas.

A mi familia parte importante de mi vida, como también no serlo en esta una de mis etapas, la de estudiante y ahora la de profesional muchas gracias por estar allí en el momento y tiempo exacto. A Jorge Aldaz por haber sido un excelente compañero de tesis y amigo incondicional, por haber tenido la paciencia necesaria y motivarme a seguir adelante en los momentos difíciles y sobre todo por hacer de su familia, una familia para mí.

De manera muy especial quiero agradecer al director de tesis Ing. Marco Viteri y al Ing. Henry Vallejo, Miembro del Tribunal a los señores asesores de tesis y maestros que por varios años impartieron sus conocimientos y aportaron con sus criterios, consejos y tiempo valioso para la culminación de este trabajo. Para todos ustedes mi respeto y gratitud.

Jefferson Infante Salas

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|-----------------------------|-------|
| ÍNDICE DE TABLAS..... | xi |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xiii |
| ÍNDICE DE ABREVIATURAS..... | xvi |
| ÍNDICE DE ANEXOS..... | xvii |
| RESUMEN..... | xviii |
| ABSTRACT..... | xix |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |

CAPITULO I

| | | |
|-----------------|--|-----------|
| 1. | MARCO TEÓRICO REFERENCIAL..... | 6 |
| 1.1. | Mezclador..... | 6 |
| <i>1.1.1.</i> | <i>Definición.....</i> | <i>6</i> |
| <i>1.1.2.</i> | <i>Tipos de Agitadores.....</i> | <i>6</i> |
| 1.2. | Desinfectantes..... | 7 |
| <i>1.2.1.</i> | <i>Definición.....</i> | <i>7</i> |
| <i>1.2.2.</i> | <i>Propiedades de los Desinfectantes.....</i> | <i>7</i> |
| <i>1.2.3.</i> | <i>Proceso de Elaboración de Desinfectantes Para Piso.....</i> | <i>8</i> |
| <i>1.2.3.1.</i> | <i>Reactivos.....</i> | <i>8</i> |
| <i>1.2.3.2.</i> | <i>Elaboración.....</i> | <i>8</i> |
| 1.3. | Evaporador Eléctrico..... | 9 |
| <i>1.3.1.</i> | <i>Definición.....</i> | <i>9</i> |
| 1.4. | Mermelada de Manzana..... | 9 |
| <i>1.4.1.</i> | <i>Definición.....</i> | <i>9</i> |
| <i>1.4.2.</i> | <i>Formulación de mermelada de manzana.....</i> | <i>9</i> |
| 1.5. | Automatización Industrial..... | 10 |
| <i>1.5.1.</i> | <i>Definición.....</i> | <i>10</i> |
| <i>1.5.2.</i> | <i>Elementos de un Sistema Automático.....</i> | <i>10</i> |
| <i>1.5.2.1.</i> | <i>Acciones.....</i> | <i>11</i> |
| <i>1.5.2.2.</i> | <i>Órganos de Mando/Control.....</i> | <i>11</i> |
| <i>1.5.2.3.</i> | <i>Órganos Sensoriales.....</i> | <i>11</i> |

| | | |
|-----------------|---|-----------|
| 1.6. | Tipos de Control | 11 |
| <i>1.6.1.</i> | <i>Control en lazo abierto</i> | <i>11</i> |
| <i>1.6.2.</i> | <i>Control en lazo cerrado</i> | <i>11</i> |
| 1.7. | Controlador Difuso..... | 12 |
| <i>1.7.1.</i> | <i>Definición.....</i> | <i>12</i> |
| <i>1.7.2.</i> | <i>Lógica Difusa.....</i> | <i>12</i> |
| <i>1.7.3.</i> | <i>Elementos de la Lógica difusa</i> | <i>12</i> |
| <i>1.7.3.1.</i> | <i>Variable Lingüística</i> | <i>12</i> |
| <i>1.7.3.2.</i> | <i>Universo de Discurso</i> | <i>12</i> |
| <i>1.7.3.3.</i> | <i>Término Lingüístico.....</i> | <i>13</i> |
| <i>1.7.3.4.</i> | <i>Función de Membresía</i> | <i>13</i> |
| <i>1.7.4.</i> | <i>Estructura del controlador difuso</i> | <i>13</i> |
| <i>1.7.4.1.</i> | <i>Fuzzificación.....</i> | <i>14</i> |
| <i>1.7.4.2.</i> | <i>Base de conocimiento</i> | <i>14</i> |
| <i>1.7.4.3.</i> | <i>Inferencia.....</i> | <i>14</i> |
| <i>1.7.4.4.</i> | <i>Defuzzificación</i> | <i>14</i> |
| <i>1.7.5.</i> | <i>Conjunto Difusos</i> | <i>14</i> |
| <i>1.7.5.1.</i> | <i>Función triangular</i> | <i>15</i> |
| <i>1.7.5.2.</i> | <i>Función trapezoidal.....</i> | <i>15</i> |
| <i>1.7.6.</i> | <i>Operaciones entre conjuntos difusos.</i> | <i>16</i> |
| <i>1.7.6.1.</i> | <i>Unión.</i> | <i>16</i> |
| <i>1.7.6.2.</i> | <i>Intersección</i> | <i>16</i> |
| <i>1.7.7.</i> | <i>Reglas Lingüísticas.....</i> | <i>17</i> |
| <i>1.7.8.</i> | <i>Método de Mamdani para Crear las Reglas</i> | <i>17</i> |
| <i>1.7.9.</i> | <i>Método del Centroides.....</i> | <i>18</i> |
| 1.8. | Controlador Lógico Programable (PLC) | 19 |
| <i>1.8.1.</i> | <i>Definición.....</i> | <i>19</i> |
| <i>1.8.2.</i> | <i>PLC Siemens S7-1200</i> | <i>19</i> |
| <i>1.8.2.1.</i> | <i>Introducción al PLC S7-1200.....</i> | <i>19</i> |
| <i>1.8.2.2.</i> | <i>Siemens CPU 1214C - 6ES7214-1AG40-0XB0.....</i> | <i>19</i> |
| 1.9. | Módulos de Entradas y Salidas Analógicas..... | 21 |
| <i>1.9.1.</i> | <i>Módulo de Entrada Analógica para Termocupla tipo J</i> | <i>21</i> |
| <i>1.9.2.</i> | <i>Módulo de salidas Analógicas de 0-10 V.....</i> | <i>21</i> |
| 1.10. | Interfaz Hombre – Maquina..... | 22 |
| <i>1.10.1.</i> | <i>Definición.....</i> | <i>22</i> |
| <i>1.10.2.</i> | <i>Pantalla siemens KP300.....</i> | <i>23</i> |
| 1.11. | Variador de frecuencia..... | 24 |

| | | |
|-----------------|--|-----------|
| 1.11.1. | <i>Definición.....</i> | 24 |
| 1.11.2. | <i>Esquema del variador de frecuencia.....</i> | 24 |
| 1.11.2.1 | <i>Rectificador</i> | 24 |
| 1.11.2.2 | <i>Inversor.....</i> | 25 |
| 1.11.3. | <i>Instrucciones de uso del convertidor SINAMIC G110.....</i> | 25 |
| 1.12. | <i>Motor Trifásico</i> | 26 |
| 1.12.1. | <i>Definición.....</i> | 26 |
| 1.12.2. | <i>Curvas características del motor de inducción.....</i> | 27 |
| 1.13. | <i>Sensores</i> | 28 |
| 1.13.1. | <i>Sensor de Temperatura Termocupla.....</i> | 28 |
| 1.13.1.1 | <i>Tipos de termocuplas</i> | 28 |
| 1.13.2. | <i>Sensor de Velocidad Encoder.....</i> | 28 |
| 1.13.2.1 | <i>Tipos de Encoder</i> | 29 |

CAPITULO II

| | | |
|-----------------|---|-----------|
| 2. | <i>MARCO METODOLÓGICO</i> | 30 |
| 2.1. | <i>Introducción.....</i> | 30 |
| 2.1.1. | <i>Descripción de Estudio.....</i> | 30 |
| 2.1.2. | <i>Alcance de la Investigación.....</i> | 30 |
| 2.1.3. | <i>Técnicas de Investigación.....</i> | 30 |
| 2.1.4. | <i>Recolección de Datos.....</i> | 31 |
| 2.2. | <i>Estado en el que se recibe los equipos.....</i> | 31 |
| 2.2.1. | <i>Estructura de los equipos</i> | 31 |
| 2.2.1.1. | <i>Mezclador</i> | 31 |
| 2.2.1.2. | <i>Evaporador Eléctrico</i> | 32 |
| 2.3. | <i>Requerimiento para el nuevo sistema.....</i> | 33 |
| 2.3.1. | <i>Requerimientos para el Mezclador</i> | 34 |
| 2.3.2. | <i>Requerimiento Evaporador Eléctrico</i> | 36 |
| 2.4. | <i>Dimensionamiento del sistema eléctrico</i> | 38 |
| 2.4.1. | <i>Elementos de Protección:.....</i> | 38 |
| 2.4.2. | <i>Conductores Eléctricos:.....</i> | 40 |
| 2.5. | <i>Ensamblaje del tablero de control y fuerza.....</i> | 41 |
| 2.5.1. | <i>Adecuación de Equipo.....</i> | 44 |
| 2.6. | <i>Desarrollo de software.....</i> | 45 |
| 2.6.1. | <i>TIA portal V13.....</i> | 45 |

| | | |
|---------------|--|-----------|
| 2.6.1.1. | Crear nuevo proyecto | 46 |
| 2.6.1.2. | Configuración de la CPU | 47 |
| 2.6.1.3. | Configuración de los Módulos | 48 |
| 2.6.1.4. | Programación del PLC S7-1200 | 49 |
| 2.6.1.5. | Programación del Bloque Control Local | 50 |
| 2.6.1.6. | Programación del Bloque Control Remota | 54 |
| 2.6.2. | Programación del HMI | 55 |
| 2.6.2.1. | Pantalla inicial | 55 |
| 2.6.2.2. | Pantalla de selección..... | 56 |
| 2.6.2.3. | Pantalla Mezclador | 56 |
| 2.6.2.4. | Pantalla Evaporador Eléctrico | 57 |
| 2.6.3. | Programación de variador de frecuencia | 58 |
| 2.6.3.1. | Entradas Digitales del Variador de Frecuencia | 59 |
| 2.6.4. | Comunicación..... | 60 |
| 2.6.4.1. | Ethernet/IP | 60 |
| 2.6.4.2. | Sistema de Distribución Inalámbrico “WDS” | 60 |
| 2.6.4.3. | OPC (OLE for Process Control) | 61 |
| 2.7. | Desarrollo del Controlador Difuso..... | 63 |
| 2.7.1. | Definición de las Variables Lingüísticas de Entrada..... | 63 |
| 2.7.2. | Conjunto Difuso ERROR VELOCIDAD..... | 64 |
| 2.7.2.1. | Universo del Discurso | 64 |
| 2.7.2.2. | Términos Lingüísticos | 64 |
| 2.7.2.3. | Función de Membresía | 64 |
| 2.7.3. | Conjunto Difuso ERROR TEMPERATURA | 65 |
| 2.7.3.1. | Universo del Discurso | 65 |
| 2.7.3.2. | Términos Lingüísticos | 65 |
| 2.7.3.3. | Función de Membresía | 65 |
| 2.7.4. | Conjunto Difuso de la DERIVADA DEL ERROR VELOCIDAD | 66 |
| 2.7.4.1. | Universo del Discurso | 66 |
| 2.7.4.2. | Términos Lingüísticos | 66 |
| 2.7.5. | Conjunto Difuso de la DERIVADA DEL ERROR TEMPERATURA..... | 67 |
| 2.7.5.1. | Universo del Discurso | 67 |
| 2.7.5.2. | Términos Lingüísticos | 67 |
| 2.7.6. | Definición de las Variables de SALIDA | 68 |
| 2.7.6.1. | Universo del Discurso | 68 |
| 2.7.6.2. | Términos Lingüísticos..... | 68 |
| 2.7.6.3. | Función de Membresía | 68 |

| | | |
|-----------|---|----|
| 2.7.7. | <i>Elaboración de las Reglas Difusas</i> | 69 |
| 2.7.8. | <i>Reglas Mamdani Mezclador</i> | 70 |
| 2.7.9. | <i>Reglas Mamdani Evaporador Eléctrico</i> | 70 |
| 2.7.10. | <i>Ejemplo del desarrollo de un controlador Difuso</i> | 71 |
| 2.7.10.1. | <i>Proceso de Fuzzificación:</i> | 71 |
| 2.7.10.2. | <i>Base de Conocimiento</i> | 75 |
| 2.7.10.3. | <i>Proceso de Inferencia</i> | 76 |
| 2.7.10.4. | <i>Proceso de Defuzzificación:</i> | 76 |
| 2.7.11. | <i>Desarrollo del Controlador Difuso en LabVIEW</i> | 78 |
| 2.7.11.1. | <i>Configuración de las Entradas y Salidas del Controlador Difuso</i> | 79 |
| 2.7.11.2. | <i>Configuración de las Reglas del Controlador Difuso</i> | 80 |
| 2.7.11.3. | <i>Test del Controlador Difuso</i> | 81 |
| 2.7.11.4. | <i>Desarrollo de la Interfaz Grafica</i> | 82 |
| 2.7.11.5. | <i>Programación de la Interfaz Grafica</i> | 83 |

CAPITULO III

| | | |
|--------|--|----|
| 3. | MARCO DE RESULTADOS Y ANÁLISIS | 86 |
| 3.1. | Pruebas en el Mezclador | 86 |
| 3.1.1. | <i>Prueba Realizada en Vacío con Set-Point 1200 RPM</i> | 86 |
| 3.1.2 | <i>Prueba realizada con carga y Set-Point en aumento</i> | 88 |
| 3.2 | Pruebas Evaporador Eléctrico | 91 |
| 3.2.1. | <i>Prueba a 90 grados</i> | 91 |

| | | |
|--|---------------------------|----|
| | CONCLUSIONES | 95 |
|--|---------------------------|----|

| | | |
|--|------------------------------|----|
| | RECOMENDACIONES | 96 |
|--|------------------------------|----|

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1-1: Tipos de Agitadores..... | 7 |
| Tabla 2-1: Propiedades de los Desinfectantes..... | 8 |
| Tabla 3-1: Formula Para la Elaboración Del Desinfectante..... | 9 |
| Tabla 4-1: Formulación de Mermelada de Manzana | 10 |
| Tabla 5-1: Características del PLC Siemens S7-1200 | 20 |
| Tabla 6-1: Características del Módulo para Termocupla..... | 21 |
| Tabla 7-1: Características del módulo de salidas analógicas | 22 |
| Tabla 8-1: Características de la Pantalla siemens KP300 | 23 |
| Tabla 9-1: Características del Variador | 26 |
| Tabla 10-1: Parámetros nominales del Motor..... | 27 |
| Tabla 1-2: Características del Tubo Mezclador | 31 |
| Tabla 2-2: Características del Evaporador Eléctrico..... | 32 |
| Tabla 3-2: Conductores eléctricos requeridos..... | 41 |
| Tabla 4-2: Configuración del Contador Rápido HSC1 | 47 |
| Tabla 5-2: Configuración del módulo por ancho de pulso 1..... | 47 |
| Tabla 6-2: Configuración del módulo por ancho de pulso 2..... | 48 |
| Tabla 7-2: Configuración del módulo de salidas analógicas..... | 48 |
| Tabla 8-2: Configuración del módulo para termocupla | 49 |
| Tabla 9-2: Parámetros de normalización | 50 |
| Tabla 10-2: Parámetros de escalado..... | 51 |
| Tabla 11-2: Configuración del variador de frecuencia | 59 |
| Tabla 12-2: Asignación de direcciones IP | 60 |
| Tabla 13-2: Configuración del router como repetidor | 61 |
| Tabla 14-2: Configuración del NI OPC. | 63 |
| Tabla 15-2: Términos lingüísticos de ERROR VELOCIDAD | 64 |
| Tabla 16-2: Términos lingüísticos de ERROR TEMPERATURA..... | 65 |
| Tabla 17-2: Términos lingüísticos de la DERIVADA DEL ERROR VELOCIDAD..... | 66 |
| Tabla 18-2: Términos lingüísticos de la DERIVADA DEL ERROR TEMPERATURA | 67 |
| Tabla 19-2: Términos lingüísticos de la SALIDA | 68 |
| Tabla 20-2: Reglas Mamdani Mezclador..... | 70 |
| Tabla 21-2: Reglas Mamdani Evaporador Eléctrico..... | 70 |
| Tabla 22-2: Base de conocimiento..... | 75 |
| Tabla 23-2: Proceso de defuzzificación..... | 77 |
| Tabla 1-3: Datos de las pruebas del Mezclador Realizadas en Vacío..... | 87 |
| Tabla 2-3: Prueba realizada con carga y Set-Point en aumento..... | 90 |

Tabla 3-3: Datos prueba a 90 grados 93

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1-1: Esquema del Mezclador..... | 6 |
| Figura 2-1: Desinfectantes..... | 7 |
| Figura 3-1: Elementos de un sistema automático..... | 10 |
| Figura 4-1: Controlador Lazo Abierto..... | 11 |
| Figura 5-1: Controlador Lazo Cerrado..... | 12 |
| Figura 6-1: Elementos de la Lógica Difusa..... | 13 |
| Figura 7-1: Estructura del Control Difuso..... | 14 |
| Figura 8-1: Función Triangular..... | 15 |
| Figura 9-1: Función trapezoidal..... | 15 |
| Figura 10-1: Unión entre conjuntos difusos..... | 16 |
| Figura 11-1: Intersección entre conjuntos difusos..... | 16 |
| Figura 12-1: Reglas Lingüísticas..... | 17 |
| Figura 13-1: Conceptualización gráfica del centro de área..... | 18 |
| Figura 14-1: Siemens CPU 1214C- 6ES7214-1AG40-0XB0..... | 20 |
| Figura 15-1: Módulo 1231 Para termocupla..... | 21 |
| Figura 16-1: Módulo de salidas Analógicas..... | 22 |
| Figura 17-1: Pantalla siemens KP300..... | 23 |
| Figura 18-1: Esquema del variador de frecuencia..... | 24 |
| Figura 19-1: Tipos de Rectificadores..... | 24 |
| Figura 20-1: Variador Sinamic G110..... | 25 |
| Figura 21-1: Motor de Inducción..... | 26 |
| Figura 22-1: Curvas características del motor de inducción..... | 27 |
| Figura 23-1: Esquema de la Termocupla tipo J..... | 28 |
| Figura 24-1: Encoder..... | 29 |
| Figura 25-1: Encoder Incremental..... | 29 |
| Figura 26-1: Encoder Absoluto..... | 29 |
| Figura 1-2: Mezclador..... | 32 |
| Figura 2-2: Evaporador Eléctrico..... | 33 |
| Figura 3-2: PLC Siemens S7-1200 DC/DC/DC..... | 33 |
| Figura 4-2: “HMI” KP-300..... | 34 |
| Figura 5-2: Encoder Incremental..... | 34 |
| Figura 6-2: Módulo de Salidas Analógicas de 0-10 V..... | 35 |
| Figura 7-2: Variador de Frecuencia Sinamics G110..... | 35 |
| Figura 8-2: Motor Siemens 1HP..... | 36 |
| Figura 9-2: Termocupla Tipo J de 15 cm de bulbo..... | 36 |

| | |
|--|----|
| Figura 10-2: Módulo Entrada Analógica para Termocupla..... | 37 |
| Figura 11-2: Relé en Estado Sólido | 37 |
| Figura 12-2: Resistencias Eléctricas | 38 |
| Figura 13-2: Disyuntor termomagnético..... | 39 |
| Figura 14-2: Conductores eléctricos | 41 |
| Figura 15-2: Materiales y Tableros de Control..... | 42 |
| Figura 16-2: Montaje de la Sección 1 | 42 |
| Figura 17-2: Montaje de la Sección 2..... | 43 |
| Figura 18-2: Montaje de la Sección 3..... | 43 |
| Figura 19-2: Cableado de los materiales..... | 44 |
| Figura 20-2: Tablero de control | 44 |
| Figura 21-2: Acople del Encoder al Motor..... | 45 |
| Figura 22-2: Acople de la termocupla tipo J..... | 45 |
| Figura 23-2: Entorno de Programación TIA portal V13..... | 46 |
| Figura 24-2: Dispositivos utilizados en el Proyecto | 46 |
| Figura 25-2: Bloques de función “Local y Remota” | 49 |
| Figura 26-2: Lectura del Encoder | 50 |
| Figura 27-2: Normalización y escalada de los valores entregados por el Encoder..... | 51 |
| Figura 28-2: Activación del Variador de Frecuencia..... | 51 |
| Figura 29-2: Programación del Mezclador de Manera Local | 52 |
| Figura 30-2: Normalización y escalada de los valores entregados por la termocupla | 53 |
| Figura 31-2: Programación Local del Evaporador Eléctrico | 53 |
| Figura 32-2: Programación del Mezclador de Manera Remota..... | 54 |
| Figura 33-2: Programación del Evaporador Eléctrico de Manera Remota..... | 55 |
| Figura 34-2: Pantalla inicial..... | 56 |
| Figura 35-2: Pantalla de selección..... | 56 |
| Figura 36-2: Pantalla Mezclador..... | 57 |
| Figura 37-2: Pantalla Evaporador Eléctrico..... | 57 |
| Figura 38-2: Pantalla Grafica de temperatura..... | 58 |
| Figura 39-2: Datos de placa del motor..... | 58 |
| Figura 40-2: Bornera del variador de frecuencia | 60 |
| Figura 41-2: Direccionamiento de los dispositivos | 60 |
| Figura 42-2: Comunicación de los distintos dispositivos | 61 |
| Figura 43-2: Sistema de Distribución Inalámbrico “WDS” | 62 |
| Figura 44-2: Comunicación cliente-servidor | 62 |
| Figura 45-2: Esquema del controlador difuso..... | 63 |
| Figura 46-2: Funciones de Membresía de ERROR VELOCIDAD | 65 |

| | |
|---|----|
| Figura 47-2: Funciones de Membresía de ERROR TEMPERATURA | 66 |
| Figura 48-2: Funciones de membresía de la DERIVADA DEL ERROR VELOCIDAD | 67 |
| Figura 49-2: Funciones de Membresía de la DERIVADA DEL ERROR TEMPERATURA .. | 67 |
| Figura 50-2: Funciones de Membresía de la SALIDA | 69 |
| Figura 51-2: Análisis del Comportamiento de la Respuesta a la Salida del Controlador | 69 |
| Figura 52-2: Valor crisp para la entrada ERROR..... | 71 |
| Figura 53-2: Grado de membresía para los términos lingüísticos “Normal” y “Alto” | 73 |
| Figura 54-2: Valor crisp para la entrada DERIVADA DEL ERROR | 73 |
| Figura 55-2: Grado de membresía para los términos lingüísticos “Normal” y “Sube Lento” ... | 75 |
| Figura 56-2: Proceso de inferencia | 76 |
| Figura 57-2: Proceso de defuzzificación..... | 77 |
| Figura 58-2: Comprobación del resultado en LabVIEW | 78 |
| Figura 59-2: Herramienta Fuzzy System Designer..... | 78 |
| Figura 60-2: Configuración del Conjunto Difuso del Error..... | 79 |
| Figura 61-2: Configuración de las Salidas del Controlador Difuso..... | 80 |
| Figura 62-2: Configuración de las Reglas del Controlador Difuso | 81 |
| Figura 63-2: Test del Controlador Difuso..... | 82 |
| Figura 64-2: Desarrollo de la Interfaz Gráfica..... | 83 |
| Figura 65-2: Cargar Archivo de Reglas | 83 |
| Figura 66-2: Programación Fuzzy de la Temperatura | 84 |
| Figura 67-2: Variable Error y Variación del Error | 84 |
| Figura 68-2: Restricción de Valores | 85 |
| Figura 69-2: Programa Temperatura y Velocidad | 85 |
| Figura 1-3: Pruebas del Mezclador Realizadas en Vacío | 86 |
| Figura 2-3: Grafica de pruebas del Mezclador realizadas con carga | 89 |
| Figura 3-3: Prueba del Evaporador a 90 grados..... | 91 |

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

| | |
|----------------|--|
| ESPOCH: | Escuela Superior Politécnica de Chimborazo |
| PLD: | Dispositivo Lógico Programable |
| PLC: | Controlador Lógico Programable |
| CPU: | Unidad Central de Procesamiento |
| HMI: | Interfaz Hombre-Máquina |
| SCADA: | Supervisión, Control y Adquisición de Datos |
| PWM: | Modulación por Ancho de Pulso |
| RPM: | Revolución por Minuto |
| OPC: | OLE Para control de Procesos |
| WDS: | Sistema de Distribución Inalámbrico |
| CRISP: | Valor Tradicional Lógico, Binario, Decimal, Exacto |
| DC: | Corriente Directa |
| AC: | Corriente Alterna |
| BOP: | Panel Básico de Operaciones |
| SCR: | Rectificador Controlado de Silicio |
| IGBT: | Transistor Bipolar de Puerta Aislada |
| USS: | Interfaz en Serie Universal |
| ADF: | Driver de Frecuencia Ajustable |
| Hz: | Hercio |
| HP: | Caballo de Potencia |
| e: | Error |
| de: | Derivada del Error |
| A: | Amperio |
| V: | Voltio |
| W: | Vatio |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|-----------------|--|
| Anexo A: | Planimetría |
| Anexo B: | Desarrollo del Controlador Difuso en LabVIEW |
| Anexo C: | Información Técnica del PLC SIEMENS S7 – 1200 DC_DC_DC |
| Anexo D: | Información Técnica Módulo para Termocupla AIO TC |
| Anexo E: | Información Técnica del Módulo de salidas Analógicas SM1232 AQ |
| Anexo F: | Información Técnica variador Sinamics G110 |
| Anexo G: | Información Técnica pantalla siemens KP - 300 |
| Anexo H: | Información Técnica sensor termocupla tipo J |
| Anexo I: | Información Técnica sensor Encoder Óptico |

RESUMEN

Se realizó la aplicación de lógica difusa en un Mezclador y un Evaporador Eléctrico para el Laboratorio de Procesos Industriales, Escuela Ingeniería Química ESPOCH, para ello se eligió un Controlador Lógico Programable Siemens S7-1200 DC/DC/DC para el control de ambos equipos. Un variador de frecuencia Sinamics G110, un módulo de salidas analógicas de 0-10 voltios y un Encoder Óptico, con el que se obtuvo las revoluciones a las que se encuentra girando el motor trifásico para realizar el control de velocidad del mismo en el Mezclador. Para el Evaporador Eléctrico se requirió un módulo y una termocupla tipo J, con este sensor se estará monitoreando la temperatura al interior de la marmita, se utilizaron relés en estado sólido ya que son idóneos para conmutar a altas frecuencias y realizar el control de las resistencias eléctricas. La Lógica Difusa se realizó aplicando el algoritmo de Mamdani, se identificaron las variables lingüísticas, que son velocidad para el mezclador y temperatura para el evaporador eléctrico. Además, se estableció el universo de discurso, términos lingüístico y funciones de membresías triangulares y trapezoidales. La programación de la Fuzzificación, Inferencia y Defuzzificación se realizó con la herramienta Fuzzy System Designer del Software LabVIEW, donde se realizó todo el sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos. Además, para una mejor interacción del estudiante con los equipos se procedió a implementar una Interfaz Hombre-Máquina HMI siemens KP-300. Se comprobó mediante pruebas de laboratorio realizadas a los equipos que la trayectoria de las gráficas de velocidad y temperatura responde de manera satisfactoria ante el Set-Point, definiendo un controlador difuso óptimo. Se recomienda instalar los módulos Real-Time y NI-OPC Server, que permite crear servidores de entrada salida permitiendo la comunicación entre el controlador lógico programable (PLC) y LabVIEW.

Palabras Claves: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TECNOLOGÍA DEL CONTROL AUTOMÁTICO>, <CONTROL DIFUSO>, <CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE (PLC)>, <ALGORITMO DE CONTROL MAMDANI>, <SUPERVISION, CONTROL Y ADQUISICION DE DATOS (SCADA)>, <INTERFAZ HOMBRE-MAQUINA (HMI)>

ABSTRACT

The logic diffuse application in a Mixer and an Electric Evaporator for the Laboratory of Industrial Processing, Chemistry Engineering College at Escuela Superior Politecnica de Chimborazo. For this, a Programmable Logic Controller Siemens S7-1200 DC/DC/DC was elected, a frequency Sinamics shifter G110, a module of analogic output of 0 – 10 volts and an optical Encoder, with which the revolutions to the three – phase motor was turning out and obtained to make the speed control of the same in the Mixer. For the Electric Evaporator a module and a thermocouple type J were required, with the sensor the inner temperature of the marmite will be being monitoring. A relay in solid state since they are suitable to commute to high frequencies and to control the electric resistances, were used. The logic diffuse was made by using the algorithm of Mamdani, the linguistic variables were identified, such as the speed for the mixer and the temperature for the electric evaporator. Moreover, the discourse universe was established, the linguistic terms and triangular and trapezoidal memberships. The programming of the “Fuzzification”; Inference and “Defuzzification”, was made by using the Tool Fuzzy System Designer of Software LabVIEW, where all the Supervisions, Control and Acquisition of Data were made. In addition, a better interaction of the student with the equipment was necessary to implement a Man-Machine Interface HMI Siemens KP-300. Through Lab test made to the equipment was proved the trajectory of the speed and temperature graphic, which responds in a satisfactory way with the Set-Point to define an optimal diffuse controller. It is recommended to install the modules Real-Time and NI-OPC Server that allows creating servers of input-output to permit the communication between the Programmable Logic Controller (PLC) and LabVIEW.

KEYWORDS: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <AUTOMATIC CONTROL TECHNOLOGY>, <DIFFUSE CONTROL>, <PROGRAMMABLE LOGIC CONTROL (PLC)>, <ALGORITHM OF CONTROL MAMDANI>, <SUPERVISION, CONTROL AND ACQUISITION OF DATA (SCADA)>, <MAN-MACHINE INTERFACE (HMI)>

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

En muchos procesos industriales la función de control es realizada por un operario (ser humano), este operario es el que decide cuando y como manipular la variable de modo tal que se obtenga una cadena productiva continua y eficiente. (Díaz, 2003, p. 11).

La tendencia mundial actual busca equipos automatizados con estándares de calidad altos y eficiencia productiva. El desarrollo y avance tecnológico ha permitido a los procesos industriales optimizar y mejorar la línea de producción.

En la ciudad de Riobamba se encuentra la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química que cuenta con el Laboratorio de Procesos Industriales en donde los estudiantes y docentes realizan varios procesos de producción, de los cuales se realiza el control en dos equipos; Mezclador y Evaporador Eléctrico.

El sistema de control a implementar en el presente proyecto es una técnica de control moderno "Lógica Difusa"; que ha avanzado en los últimos años con un buen desempeño en varias aplicaciones. En base a la Lógica Difusa se propone implementar un sistema que muestre y controle las variables: temperatura y velocidad con tiempos de establecimiento rápidos. Se controla la variable velocidad del mezclador que consta de un reactor y un motor trifásico, al eje del motor se encuentra acoplado; unas paletas para realizar el mezclado de los reactivos obteniendo desinfectante para pisos, y un Encoder óptico que monitorea la velocidad.

La segunda variable que controla el sistema es la temperatura del evaporador eléctrico que consta de una cámara de calefacción donde se acopla un par de resistencias eléctricas, para realizar el proceso de hervor del agua y transferir calor a la cámara de ebullición, donde se realiza mermelada, al interior de la marmita se encuentra una termocupla tipo J para monitorear la temperatura.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Puede la Lógica Difusa realizar el control de la variable temperatura generada por las resistencias en el evaporador eléctrico y la variable velocidad en el motor trifásico del mezclador, para optimizar los tiempos de respuesta en los equipos?

Sistematización del problema

¿En qué estado se encuentra el funcionamiento del mezclador y evaporador eléctrico?

¿Cómo se puede manipular las variables velocidad y temperatura en los equipos?

¿Qué tipo de componentes electrónicos son necesarios para llevar a cabo el control de los procesos?

¿Qué resultado se obtiene en cuanto a tiempos de respuestas y estabilización de las variables involucradas en los equipos al desarrollar un Controlador Difuso?

JUSTIFICACION

Justificación teórica

La creación de métodos tecnológicos es de suma importancia para obtener productos de calidad, dando así solución a los problemas de control y monitoreo de las variables que intervienen en los procesos. (Basantes, 2013, p. 15).

En el laboratorio de Procesos Industriales se encuentra el mezclador que realiza desinfectante para pisos, el cual para su elaboración consta de etapas que están programadas por tiempos de forma manual al igual que la variación de velocidad en el motor, donde una de las deficiencias encontradas es que no existe ningún tipo de control de la velocidad.

El Evaporador Eléctrico es básicamente una marmita “olla” la cual cuenta con un par de resistencias eléctricas para calentar la pulpa de la fruta sin estar en contacto directo con ella y mediante un agitador mezclar mientras se da el proceso de evaporado. Este equipo no posee un control de temperatura, el cual es importante en el proceso de producción.

Al observar estas falencias en los equipos lo que se busca es realizar la implementación de un nuevo sistema de control moderno que monitoree estos procesos para obtener un control en la calidad del producto final.

Justificación aplicativa

La presente investigación tiene como finalidad desarrollar un Controlador Difuso con la ayuda de la herramienta Fuzzy System Designer del Software LabVIEW, para controlar y monitorear los procesos de producción en el Mezclador y Evaporador Eléctrico.

Se utiliza componentes electrónicos industriales como: el Controlador Lógico Programable que es la parte esencial del sistema donde se procesa la información; un módulo de salidas analógicas de 0-10 V, para el variador de frecuencia que ayuda a controlar la velocidad del motor trifásico y es monitoreado por un Encoder óptico, en el mezclador permitiendo realizar cambios a distintas velocidades en el motor para obtener mezclas homogéneas.

Respecto a la Evaporización, el PLC se encarga de procesar la lectura del módulo para termocupla enviada por el sensor de temperatura, que indica si debe o no seguir la señal de encendido hacia

las resistencias eléctricas, que son encargadas de producir el aumento de temperatura al interior de la cámara de calefacción, además de mantener al motor de corriente alterna activado para el mezclado constante de la fruta en la producción de mermelada.

Para una mejor interacción y fácil utilización de los equipos se procede a realizar una interfaz gráfica que indica el inicio y paro de los procesos independientemente, además visualiza el estado de las variables velocidad y temperatura.

OBJETIVOS

Objetivos Generales:

Implementar un Control Difuso utilizando PLC, en un turbo mezclador y evaporador eléctrico para el laboratorio de procesos industriales de la Escuela de Ingeniería Química ESPOCH.

Objetivos Específicos:

- Evaluar el estado actual del funcionamiento de los equipos.
- Identificar las variables de trabajo a ser controladas.
- Realizar el dimensionamiento y selección de dispositivos eléctricos-electrónicos.
- Describir los requerimientos para establecer las reglas que implementa el Controlador Difuso de Mamdani.
- Implementar el Controlador Difuso dentro del software LabVIEW con la ayuda de la herramienta Fuzzy System Designer.
- Validar el correcto funcionamiento de los equipos mediante pruebas de laboratorio.

DELIMITACIÓN

Se delimita espacialmente para la Escuela de Ingeniería Química, Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH. Ya que son equipos que ayudan al aprendizaje de los estudiantes de la escuela.

ALCANCE:

El presente trabajo trata sobre la aplicación de la Lógica Difusa implementada en el software LabVIEW, la adquisición de datos la realiza el controlador lógico programable PLC Siemens, para efectuar el control de velocidad y temperatura de los equipos mezclador y evaporador eléctrico del laboratorio de procesos industriales, mejorando los tiempos de respuestas, con el fin de obtener productos de calidad en menos tiempo. Ayudando a los estudiantes a realizar sus prácticas.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Mezclador

1.1.1. Definición

Es un sistema de mezcla de alta intensidad a velocidad de mezclado, donde se combina una tensión de corte muy elevada sobre el material a mezclar, con una acción de impacto y aceleración radial muy enérgica. (COMASA, 2014)

El mezclador empleado para el proyecto está elaborado en acero inoxidable el cual consta de un motor y un eje con dos paletas que sirven para realizar la agitación del desinfectante de piso; el concepto anterior permite conocer el funcionamiento del equipo de una manera clara.

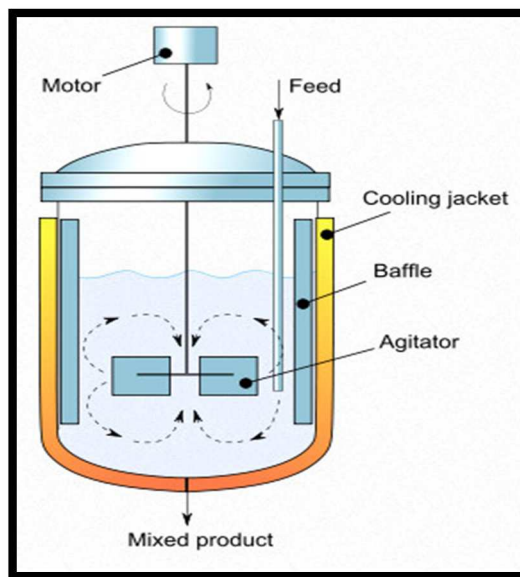



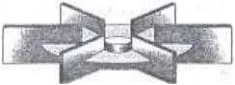
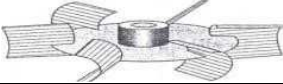

Figura 1-1: Esquema del Mezclador
Fuente: (R.k. Scientific y Engineering Works, 2014)

1.1.2. Tipos de Agitadores

Se dividen en dos clases; los que dan origen a corrientes en dirección tangencial o radial y los que generan corrientes paralelas al eje del agitador. Los primeros se llaman agitadores de flujo axial y los segundos agitadores de flujo radial.

Los tipos principales de agitadores son de hélice, de paletas y de turbina. (Pacheco y Guano, 2012, p. 17)

Tabla 1-1: Tipos de Agitadores

| AGITADORES DE VISCISIDAD MODERADA | |
|---|------------------------------|
|  | Turbina simple de pala plana |
|  | Turbina de disco |
|  | Agitador de pala cóncava |
|  | Turbina de pala Inclinada |

Fuente: (Pacheco y Guano, 2012, p. 17)

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

1.2. Desinfectantes

1.2.1. Definición

Los desinfectantes permiten eliminar las bacterias, virus o microorganismos. El uso de este producto permite limitar o, incluso, hacer desaparecer completamente, los riesgos de contaminación de una enfermedad. (CCM SALUD, 2017)



Figura 2-1: Desinfectantes

Fuente: https://www.productosnano.com/index.php?route=product/product&product_id=281

1.2.2. Propiedades de los Desinfectantes

En la Tabla 2-1 se describe las propiedades del Desinfectante.

Tabla 2-1: Propiedades de los Desinfectantes

| | |
|---|---|
| De total y probado espectro | Capaz de eliminar todos los microorganismos que causan enfermedad. |
| Rápido de Acción | Capaz de actuar en minutos. |
| Limpiar y desinfectar en una sola operación | Contener la infección - no propagarla. |
| Contener la infección - no propagarla. | No tóxico para el usuario. No desprender vapores. Biodegradable. |
| Seguro para materiales y equipos | Compatible con todas las superficies y materiales, usado según las instrucciones |
| Adecuado para múltiples usos | Puede usarse para la limpieza y desinfección de superficies, maquinaria, equipos, manos, desinfección aérea, etc. |

Fuente: Pacheco y Guano, 2012, pp. 3-4)

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

1.2.3. Proceso de Elaboración de Desinfectantes Para Piso

Para la elaboración del desinfectante se utiliza la bibliografía de (Pacheco y Guano, 2012, pp. 3-4); porque se está repotenciando el equipo en base al documento citado.

1.2.3.1. Reactivos

- Nonil Fenol
- Amonio Cuaternario
- Cellosize
- Agua destilada
- Aroma
- Colorante

1.2.3.2. Elaboración

El proceso de elaboración del desinfectante para pisos consiste en la mezcla de algunos químicos como son; el amonio cuaternario en el agua destilada y previa agitación drástica agregar el nonil fenol, hasta lograr una mezcla homogénea.

Luego de una agitación moderada; incorporar el colorante y la esencia. Añadir 1 centímetro cúbico de cellosize y volver a agitar. Dejar en reposo aproximadamente 48 horas para su uso. (Pacheco y Guano, 2012, pp. 3-4).

La fórmula para la realización del desinfectante para pisos más óptima en cuanto a cantidades de reactivos se presenta en la siguiente tabla 3-1:

Tabla 3-1: Formula Para la Elaboración Del Desinfectante

| Reactivo | Cantidad |
|--------------------|-----------------|
| Cellosize | 115 g |
| Amonio Cuaternario | 200 ml |
| Nonil Fenol | 200 ml |
| Esencia | 60 ml |
| Colorante | 1 g |

Fuente: (Pacheco y Guano, 2012, p. 4)

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

1.3. Evaporador Eléctrico

1.3.1. Definición

Se trata de un intercambio de calor, en función de la capacidad requerida, necesita una determinada superficie de intercambio. El evaporador es el elemento que proporciona la temperatura necesaria para la elaboración de los productos. (Villanueva, 2017, p. 1)

1.4. Mermelada de Manzana

1.4.1. Definición

Es el producto de consistencia pastosa obtenido, mediante cocción con azúcares de la pulpa cernida de manzanas (*Pirus malus L*) sanas, que puede contener trozos de la misma en suspensión y envasado en recipientes aptos para su conservación. (Gaguancela y Campos, 2005, pp. 35-41)

1.4.2. Formulación de mermelada de manzana

Existe variedad de formula en cuanto a las proporciones de azúcar de las mermeladas, en general esta relación determina la calidad. A continuación, se detalla la relación de proporciones usadas para la elaboración de 4kg de mermelada de manzana (Gaguancela y Campos, 2005, pp. 35-41)

Tabla 4-1: Formulación de Mermelada de Manzana

| INGREDIENTE | CANTIDAD (g) |
|-------------------|--------------|
| Manzana | 4100 |
| Azúcar | 1820 |
| Agua | 6000 |
| Pectina | 7 |
| Ácido Cítrico | 4 |
| Benzoato de Sodio | 1 |

Fuente: (Gaguancela y Campos, 2005, pp 35-41)

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

1.5. Automatización Industrial

1.5.1. Definición

Es la aplicación de diferentes tecnologías para controlar y monitorear un proceso, máquina, aparato o dispositivo que por lo normal cumple funciones o tareas repetitivas, haciendo que opere automáticamente, reduciendo la intervención humana. (WordPress, 2011)

Lo que se busca con la Automatización de estos equipos en el laboratorio es generar la mayor cantidad de producto, en el menor tiempo posible, con el fin de reducir los costos y garantizar una uniformidad en la calidad y enseñanza en los laboratorios.

1.5.2. Elementos de un Sistema Automático

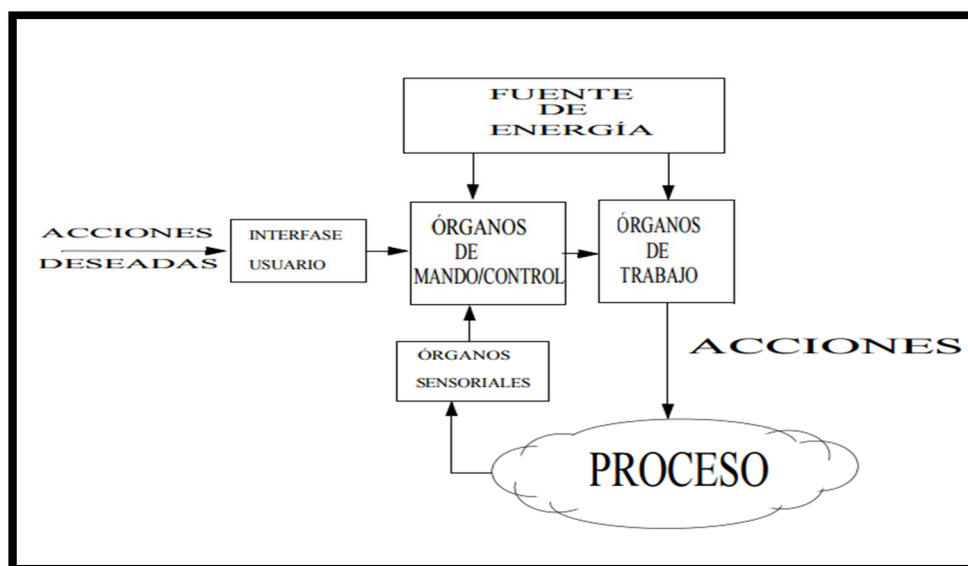


Figura 3-1: Elementos de un sistema automático

Fuente: <http://isbelg.over-blog.com/article-definicion-sencilla-automatizacion-electrica-efectos-86799569.html>

1.5.2.1. Acciones

Actuación sobre el medio o proceso, con frecuencia son operaciones que se pueden repetir indefinidamente. Suelen ser acciones humanas susceptibles de ser sustituidas por acciones mecánica realizadas por los órganos de trabajo. (Espin, 2016)

1.5.2.2. Órganos de Mando/Control

Representa el sistema que decide cuando realizar las acciones, que acciones realizar, y en su caso, el valor que han de tener algunos de los parámetros que definen una acción. (Espin, 2016)

1.5.2.3. Órganos Sensoriales

Sistemas cuya misión consiste en captar o medir determinados valores o magnitudes durante la realización del proceso. Estos órganos proporcionan información a los órganos de mando. (Espin, 2016)

1.6. Tipos de Control

1.6.1. Control en lazo abierto

Sistema en que solo actúa el proceso sobre la señal de entrada y da como resultado una señal de salida independiente a la señal de entrada. Esto significa que no hay retroalimentación hacia el controlador para que éste pueda ajustar la acción de control. (Picuino, 2017), como se observa en la figura 4-1:

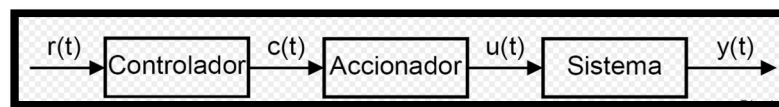


Figura 4-1: Controlador Lazo Abierto

Fuente: <http://www.picuino.com/es/arduprog/control-auto.html>

1.6.2. Control en lazo cerrado

Sistemas en los que la acción de control está en función de la señal de salida. Los sistemas de circuito cerrado usan la retroalimentación desde un resultado final para ajustar la acción de control. (Picuino, 2017) Como se muestra en la figura 5-1.

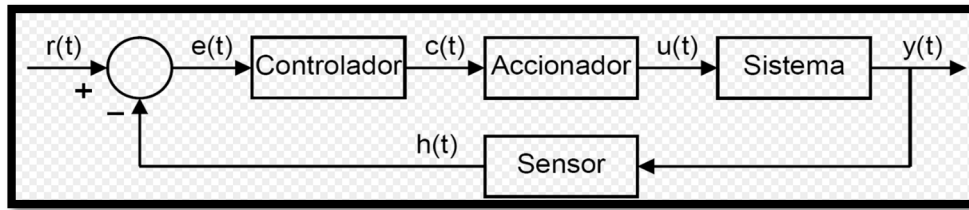


Figura 5-1: Controlador Lazo Cerrado

Fuente: <http://www.picuiino.com/es/arduprog/control-auto.html>

1.7. Controlador Difuso

1.7.1. Definición

El concepto de lógica difusa es concebido a mediados de los años sesenta por Lofti Zadeh, ingeniero eléctrico iraní y profesor de la Universidad de California, en Berkeley, quien publica el primer artículo de lógica difusa llamado “Fuzzy Sets”, dando a conocer por primera vez los conceptos de esta técnica. Más tarde, en 1974 Ebrahim Mamdani aplica los conceptos de lógica difusa en el control de procesos y desarrolla el primer control difuso para la regulación de un motor de vapor. (Guzmán, 2006, p. 88)

1.7.2. Lógica Difusa

La lógica difusa, asigna valores intermedios dentro de un rango 0-1. A demás utiliza la experiencia del operador para generar una lógica de razonamiento para el controlador. No requiere del modelamiento matemático de la planta, puede representar modelos de sistemas lineales y no lineales mediante el uso de variables lingüísticas y una serie de condiciones o reglas. Sus algoritmos hacen uso de instrucciones IF THEN. (Mendiburu, 2003, p. 33)

1.7.3. Elementos de la Lógica difusa

1.7.3.1. Variable Lingüística

Son variables evaluadas en un lenguaje natural y no corresponden a un valor numérico exacto. Por ejemplo. Temperatura, velocidad, posición, tamaño, etc. (Mendiburu, 2003, pp. 23 – 24)

1.7.3.2. Universo de Discurso

Rango de información necesaria para el comportamiento correcto de un sistema. Por ejemplo, temperatura de 5 a 100 °C, velocidad de 10 a 20 m/s, etc. (Mendiburu, 2003, pp. 23 – 24)

1.7.3.3. Término Lingüístico

Son los sub-conjuntos o las partes que puede dividirse una variable lingüística o en que desea dividirse. Por ejemplo, para la variable velocidad se puede tener los términos rápido, normal, lento; etc. (Mendiburu, 2003, pp. 23 – 24)

1.7.3.4. Función de Membresía

Es la agrupación de conjuntos difusos correspondientes a una sola variable lingüística, asociada a su grado de pertenencia o membresía dentro del intervalo 0-1, se simboliza con la letra griega μ . (Mendiburu, 2003, pp. 23 – 24)

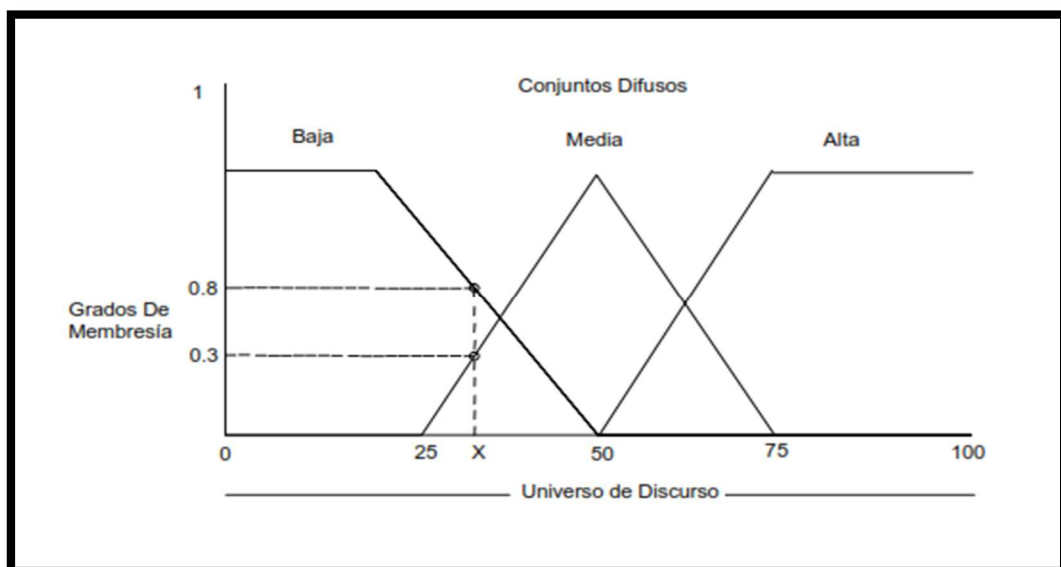


Figura 6-1: Elementos de la Lógica Difusa
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

1.7.4. Estructura del controlador difuso

El control difuso se utiliza en sistemas basados en reglas, el cual se encuentra formado por tres etapas importantes que son; fuzzificación o codificación, base de conocimientos e Inferencia, y defuzzificación o decodificación. (Rodriguez y Daza, 2016, p. 16)

La estructura del control difuso se encuentra en la figura 7-1:

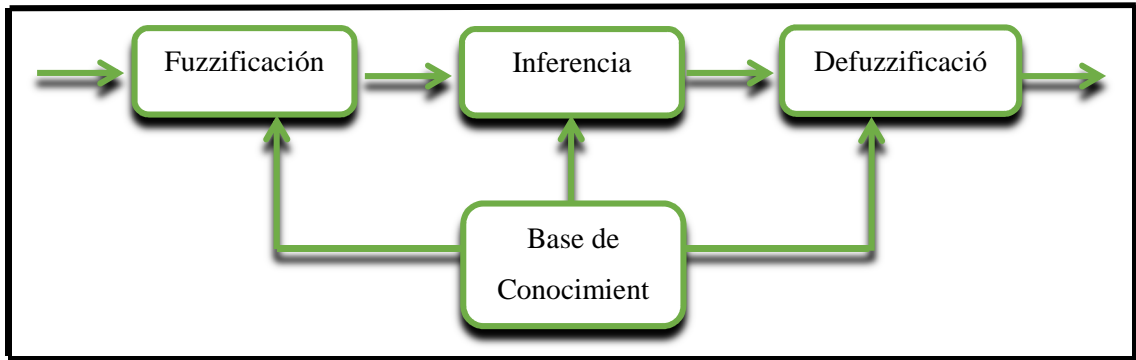


Figura 7-1: Estructura del Control Difuso
 Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

1.7.4.1. *Fuzzificación*

La fuzzificación es el proceso que se realiza para convertir un valor real en una cantidad difusa. (Zaldaña et al., 2013, p. 38)

1.7.4.2. *Base de conocimiento*

Define las reglas lingüísticas de control que realiza la toma de decisiones y decide la forma en que debe actuar el sistema. (Zaldaña et al., 2013, p. 38)

1.7.4.3. *Inferencia*

Relaciona los conjuntos difusos de entrada y salida, para representar las reglas que definen al sistema. Utiliza la información de la base de conocimiento para generar reglas mediante el uso de condiciones. (Cortés y Arenas, 2011, p. 32)

1.7.4.4. *Defuzzificación*

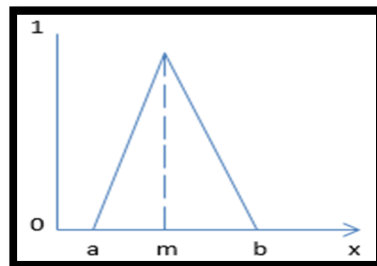
Es el proceso inverso que el de la fuzzificación, es decir, es la acción de convertir un valor difuso en un valor CRISP. (Mendiburu, 2003, p. 24)

1.7.5. *Conjunto Difusos*

Son figuras geométricas que representan una función generada por un término lingüístico. Ellas elaborarán una salida intermedia en el sistema difuso. Pueden ser: triángulos, cuadrados, trapecios, campanas gaussianas, entre otros. (Rodríguez y Daza, 2016, pp. 17-24)

1.7.5.1. Función triangular

La función triangular, es una de las más usadas al momento de delinear un controlador difuso. Esta consta de tres puntos importantes: sus extremos y su centro los que le darán su forma característica. Cabe destacar que esta no necesita ser simétrica. (Rodríguez y Daza, 2016, pp. 17-24)



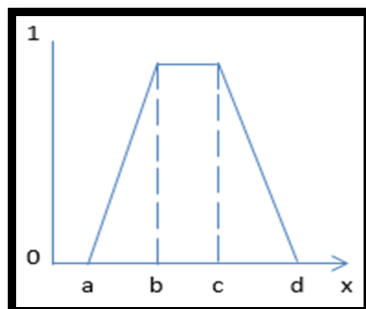
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{si } x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a}, & \text{si } a < x \leq m \\ \frac{b-x}{b-m}, & \text{si } m < x < b \\ 0, & \text{si } x \geq b \end{cases}$$

Figura 8-1: Función Triangular
Realizado por: Aldaz Toala & Infante Salas, 2017

La definición mostrada en la Figura 8-1 demuestra las pautas para el diseño de una función de membresía triangular donde **a** es el punto inicial de la función, **b** es el extremo final de la función y **m** es el punto central donde se alojará el vértice superior de la función. La variable **x** será cualquier valor entre a y b con el que se podrá determinar, con la ayuda de la definición expuesta, el valor de membresía para cada punto. (Rodríguez y Daza, 2016, pp. 17-24)

1.7.5.2. Función trapezoidal

La función trapezoidal, como su nombre lo indica, es un tipo de función de membresía cuya forma característica es un trapecoide. Sus puntos más importantes son: sus extremos y los límites de su base superior. (Rodríguez y Daza, 2016, pp. 17-24)



$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{si } (x < a) \text{ ó } (x < d) \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{si } a \leq x \leq b \\ 1, & \text{si } b < x < c \\ \frac{d-x}{d-c}, & \text{si } c \leq x \leq d \end{cases}$$

Figura 9-1: Función trapezoidal
Realizado por: Aldaz Toala & Infante Salas, 2017

1.7.6. Operaciones entre conjuntos difusos.

Las operaciones siguientes son las consideradas necesarias para lograr determinar con éxito la acción de control realizada por un controlador difuso. (Rodríguez y Daza, 2016, pp. 17-24)

1.7.6.1. Unión.

La operación de unión puede ser expresada matemáticamente según (Ponce, 2010, p. 69 citado en Rodríguez y Daza, 2016, pp. 17-24) como:

$$\mu_{R \cup S}(x, y) = \max(\mu_R(x, y), \mu_S(x, y))$$

Se suele representar por el operador matemático “OR” y al igual que con la operación unión de los conjuntos normales, se elegirá la zona que involucre a todos los elementos entre los conjuntos como se muestra en la Figura 10-1.

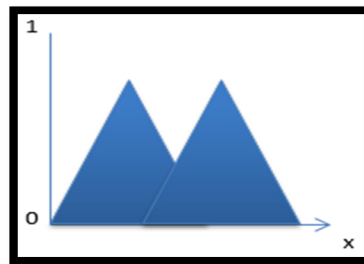


Figura 10-1: Unión entre conjuntos difusos
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

1.7.6.2. Intersección

La intersección entre conjuntos difusos está definida matemáticamente de la siguiente manera:

$$\mu_{R \cap S}(x, y) = \min(\mu_R(x, y), \mu_S(x, y))$$

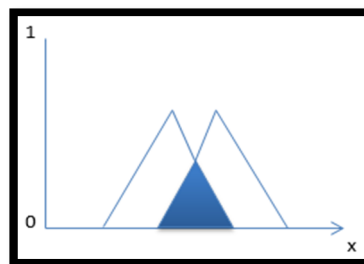


Figura 11-1: Intersección entre conjuntos difusos
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

Como se observa en su representación gráfica en la Figura 11-1 se toma la zona que tengan en común los conjuntos involucrados. (Rodríguez y Daza, 2016, pp. 17-24)

1.7.7. Reglas Lingüísticas

Las reglas lingüísticas son afirmaciones del tipo SI-ENTONCES. Estas combinan uno o más conjuntos borrosos de entrada llamados antecedentes y le asocian un conjunto borroso de salida llamado consecuente. Los conjuntos borrosos del antecedente se asocian por medio de operaciones lógicas borrosas AND, OR, etc.

Como se muestra en la figura 12-1. (Universidad de Piura, 2004, p. 7)

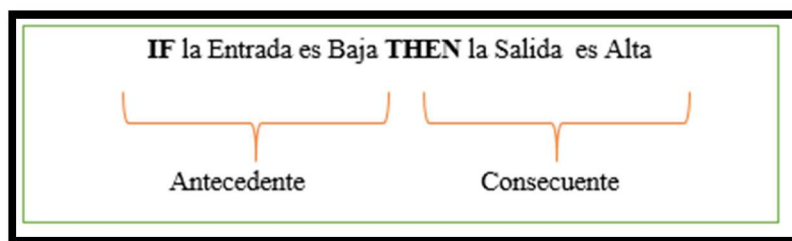


Figura 12-1: Reglas Lingüísticas

Fuente: (Universidad de Piura, 2004, p. 7)

La cantidad de reglas será determinada por el número de términos lingüísticos elevado a las variables de entrada del sistema, multiplicado por el número de salidas, (Rodríguez y Daza, 2016, p. 19), por ejemplo, la planta cuenta con cinco términos lingüísticos, dos entradas y una salida da como resultado un total de 25 reglas lingüísticas como se observa en la ecuación.

$$5 \text{ Términos Lingüísticos} ^ 2 \text{ entradas} * 1 \text{ salida}$$

1.7.8. Método de Mamdani para Crear las Reglas

El método de Mamdani para formar reglas difusas se basa en la asignación de una acción basada en el comportamiento de una o más variables de salida como resultado del cambio en la conducta de las variables de entrada. (Rodríguez y Daza, 2016, p. 26)

Se centra en el conocimiento adquirido a través de experiencias estudiadas con el sistema. La forma matemática de este método se aprecia a continuación:

$$\text{Si } X \text{ es } A1 \text{ y } Y \text{ es } B1, \text{ entonces } Z \text{ es } C1$$

Donde X y Y son variables de entrada, $A1$ y $B1$ son funciones de membresía de cada una respectivamente y $C1$ es la acción de control a ejercer sobre la variable de salida Z . (Rodríguez y Daza, 2016, p. 26)

1.7.9. Método del Centroide

El método centro de área, transforma el conjunto difuso de salida, producto de la inferencia, en números reales que la planta puede procesar. Matemáticamente se define como se muestra a continuación:

Ecuación para calcular el Centro de Área

$$z = \frac{(A1 * d1) + (A2 * d2) + \dots + (An * dn)}{A_t}$$

Dónde:

z = Centro de Área

An = Áreas de los triángulos y Rectángulos

dn = Centro de Gravedad de triángulos y Rectángulos tomando encuentra su distancia desde el origen.

Donde z equivale el centro de gravedad de un grupo de masas formado por cada función de membresía de los conjuntos difusos resultantes en la variable de salida. (Rodríguez y Daza, 2016, p. 30)

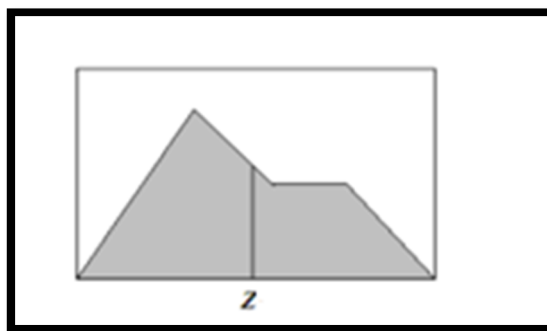


Figura 13-1: Conceptualización gráfica del centro de área.

Fuente: (Rodríguez y Daza, 2016, p. 30)

Para obtener el centro de área, se hace uso de los siguientes pasos:

- Dividir al polígono irregular en triángulos y rectángulos.
- Encontrar el centro de área de los triángulos siendo estos $1/3$ de sus catetos.
- Encontrar el centro de área de los Rectángulos siendo estos es cruce de sus diagonales.
- Se obtiene el centro de gravedad haciendo uso de la fórmula ya descrita.

1.8. Controlador Lógico Programable (PLC)

En base a (Automación Micromecánica s.a.i.c, 2011, pp. 8-10) se ha tomado la siguiente información del Controlado Lógico Programable.

1.8.1. Definición

Según lo define la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos de los Estados Unidos un PLC Programable Logic Controller (Controlador Lógico Programable) es un dispositivo digital electrónico con una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, permitiendo la implementación de funciones específicas como ser: lógicas, secuenciales, temporizadas, de conteo y aritméticas; con el objeto de controlar máquinas y procesos.

1.8.2. PLC Siemens S7-1200

1.8.2.1. Introducción al PLC S7-1200

El controlador lógico programable (PLC) S7-1200 ofrece la flexibilidad y capacidad de controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas tareas de automatización. Gracias a un amplio juego de instrucciones, el S7-1200. (SIEMENS, 2009, p. 11)

1.8.2.2. Siemens CPU 1214C - 6ES7214-1AG40-0XB0

La CPU compacta SIMATIC S7-1200 1214C DC/DC/DC - 6ES7214-1AG40-0XB0 de Siemens dispone de 14 entradas digitales, 10 salidas digitales y 2 entradas analógicas. Dispone de un puerto PROFINET para la comunicación y programación. Gracias a sus 100 kB de memoria para guardado de datos y programa. (Automation 24, 2016)



Figura 14-1: Siemens CPU 1214C- 6ES7214-1AG40-0XB0

Fuente: <http://www.automation24.es/sistemas-de-control/siemens-cpu-1214c-6es7214-1ag40-0xb0-i101-1694-0.htm#top>

Tabla 5-1: Características del PLC Siemens S7-1200

| Tipo | SIMATIC S7-1200 CPU |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| Clase | DC/DC/DC |
| Entradas digitales | 14 (6 Contadores de gran velocidad) |
| Entradas analógicas | 2 (0-10 V) |
| Salidas digitales | 10 (4; 100 kHz tren de impulsos) |
| Guardado de datos | 100 kB |
| Voltaje de entrada/Suministro | 24 V DC |
| Rango admisible | 20,4...28,8 V DC |
| Para señal "0" | 5 V DC a 1 mA |
| Para señal "1" | 15 V DC a 2,5 mA |
| Intensidad de entrada | 1 mA |
| Salida de corriente permanente | 0,5 A |
| Montaje | Carril DIN 35 mm |
| Dimensiones | 110 x 100 x 75 mm |
| Temperatura ambiente mín. | -20 °C |
| Temperatura ambiente máx. | 60 °C |
| Protección | IP20 |
| Reloj de tiempo real | Si |
| Comunicación | PROFINET |
| Software | STEP7 Basic V13 o superior |

Fuente: <http://www.automation24.es/sistemas-de-control/siemens-cpu-1214c-6es7214-1ag40-0xb0-i101-1694-0.htm#top>

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

1.9. Módulos de Entradas y Salidas Analógicas

1.9.1. Módulo de Entrada Analógica para Termocupla tipo J

El módulo 1231 de señales analógicas para termocupla tipo J que se encuentra en la figura 15-1, ayuda con la toma de datos de la temperatura que se encuentra al interior de la marmita del Evaporador Eléctrico.



Figura 15-1: Módulo 1231 Para termocupla

Fuente: <http://docs-asia.electrocomponents.com/webdocs/0f67/0900766b80f676fd.pdf>

Tabla 6-1: Características del Módulo para Termocupla

| | |
|--|------------------------------------|
| Tensión de alimentación | 24 V DC |
| Consumo de corriente | 5mA |
| Potencia Consumida | 0.5 W |
| Número de entradas analógicas | 1; Termocupla |
| Tensión de entrada admisible | ± 35 V |
| Unidad técnica para la medición de la temperatura ajustable | Grados Celsius / grados Fahrenheit |
| Termocupla | Tipo J rango ± 80 V |
| Rango | 1200 °C |

Fuente: <http://docs-asia.electrocomponents.com/webdocs/0f67/0900766b80f676fd.pdf>

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

1.9.2. Módulo de salidas Analógicas de 0-10 V

El módulo de salidas analógicas 1232 se encuentra interconectado al PLC, a través de este módulo se envía la señal hacia la entrada del variador de frecuencia. Que controla la frecuencia entregada al motor.



Figura 16-1: Módulo de salidas Analógicas

Fuente: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7232-4HB32-0XB0>

Tabla 7-1: Características del módulo de salidas analógicas

| | |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| Tensión de alimentación | 24 V DC |
| Consumo de corriente | 45mA |
| Potencia Consumida | 1.5 W |
| Número de salidas analógicas | 2; Tipo corriente o tensión |
| Rangos de salida, tensión | ± 10 V |
| Rangos de salida, intensidad | 0-20 mA |
| Grado de protección | IP20 |

Fuente: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7232-4HB32-0XB0>

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

1.10. Interfaz Hombre – Maquina

1.10.1. Definición

Interfaz hombre-máquina o HMI, es sencillamente la manera en que los humanos interactúan con las máquinas. Un HMI es un panel de control que está diseñado con facilidad, implementado y mantenido / modificar simplemente la creación o modificación en el entorno de desarrollo. (Schneider Electric , 2013)

De acuerdo con el autor la interfaz hombre máquina es una manera simple para que las personas puede controlar una maquina o proceso permitiendo una conexión fácil y sencilla, es la ventana de comunicación que está compuesto por; comandos como luces pilotos, indicadores análogos y digitales, registradores, pulsadores selectores entre otros, que interactúan con un equipo.

1.10.2. Pantalla siemens KP300

El SIMATIC Panel básico KP300 Basic mono PN - 6AV6647-0AH11-3AX0 tiene una pantalla LCD monocromática 3" y puede ser operado a través del teclado. La comunicación con el controlador se realiza a través de la interfaz Profinet. Configuración del panel básico KP300 Basic mono PN - 6AV6647-0AH11-3AX0 es posible a partir del WinCC V11 básico y / o STEP7 BASIC V1.

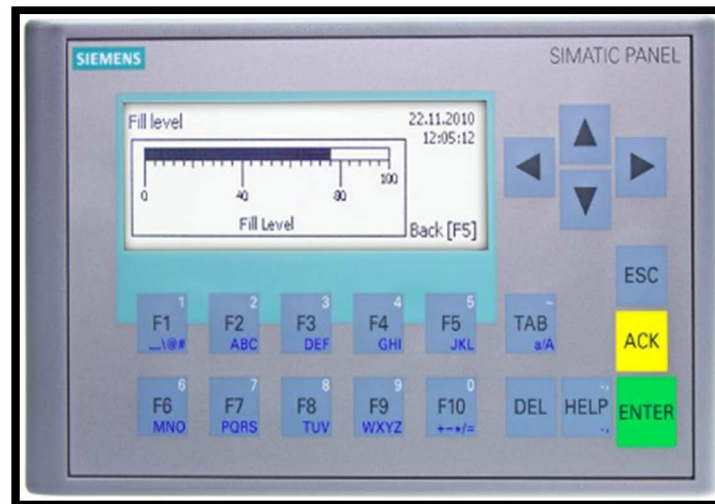


Figura 17-1: Pantalla siemens KP300

Fuente: <https://support.industry.siemens.com/cs/products/6av6647-0ah11-3ax0/simatic-hmi-kp300-basic-mono-pn?pid=132185&mlfb=6AV6647-0AH11-3AX0&mf=ps&lc=en-WW>

Tabla 8-1: Características de la Pantalla siemens KP300

| Diseño | HMI KP300 |
|-----------------------------------|--|
| Tamaño de pantalla | 3" |
| Número de teclas de función | 10 |
| Interfaz | Ethernet |
| Tensión de alimentación | 24 V DC |
| Grado de protección | IP65 |
| Memoria para los datos de usuario | 1 MB |
| Protocolos | PROFINET |
| Software de configuración | A partir de STEP 7 Basic, WinCC Basic (TIA Portal) |

Fuente: <https://support.industry.siemens.com/cs/products/6av6647-0ah11-3ax0/simatic-hmi-kp300-basic-mono-pn?pid=132185&mlfb=6AV6647-0AH11-3AX0&mf=ps&lc=en-WW>

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

1.11. Variador de frecuencia

1.11.1. Definición

Son sistemas utilizados para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna. Un variador de frecuencia son vertientes de un variador de velocidad, ya que llevan un control de frecuencia de alimentación, la cual se suministra por un motor.

1.11.2. Esquema del variador de frecuencia

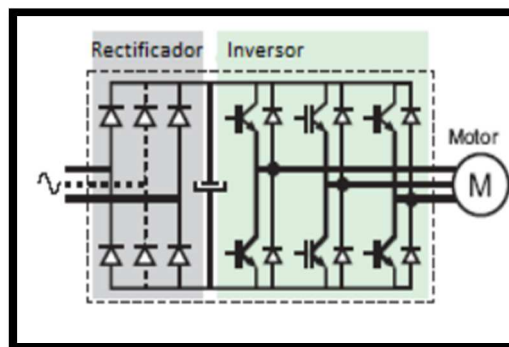


Figura 18-1: Esquema del variador de frecuencia

Fuente: (Piñero y Maza, 2015 pág. 9)

1.11.2.1 Rectificador

Su función es convertir la señal de voltaje de alimentación de CA a CD y controlar el voltaje que llega al inversor. (Piñero y Maza, 2015, p. 9) Los más usados son:

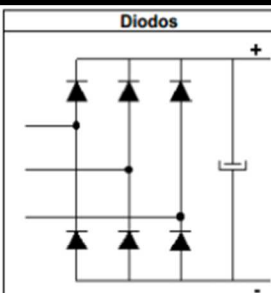
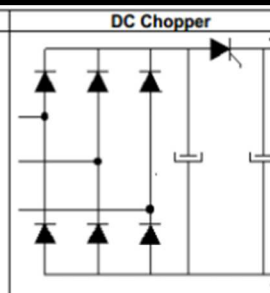
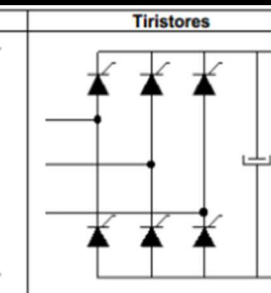
| Diodos | DC Chopper | Tiristores |
|--|---|---|
|  |  |  |
| Control: No Voltaje CD: Constante Rizo CD: Bajo V/Hz: Se ajusta en Inversor Inversor: PWM FPd: Alto para todas las velocidades Armónicas: Alto Regeneración: No | Control: SCR, GTO, Transistor Voltaje CD: Variable Rizo CD: Varía V/Hz: Rectificador-Inversor Inversor: 6 pasos FPd: Se reduce con la velocidad Armónicas: Alto Regeneración: No | Control: SCR Voltaje DC: Variable Rizo CD: Varía V/Hz: Rectificador-Inversor Inversor: 6 pasos, PWM FPd: Se reduce con la velocidad Armónicas: Alto Regeneración: SI |

Figura 19-1: Tipos de Rectificadores

Fuente: (Piñero y Maza, 2015 pág. 9)

1.11.2.2 *Inversor*

Transforma la tensión continua que recoge del bus de continua en otra tensión y frecuencia variables usando pulsos. Vamos a describir los dos inversores más usados. (Piñero y Maza, 2015, p. 10)

1.11.3. *Instrucciones de uso del convertidor SINAMIC G110*

Los variadores SINAMICS G110 son convertidores de frecuencia para regular la velocidad en motores trifásicos. Los diferentes modelos que se suministran la marca SIEMENS cubren un margen de potencia de 120 W a 3,0 Kw en redes monofásicas. Los convertidores están controlados por microprocesador y utilizan tecnología IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) de última generación. Esto los hace fiables y versátiles.

La modulación por ancho de impulsos con frecuencia de pulsación seleccionable permite un funcionamiento silencioso del motor. Extensas funciones de seguridad ofrecen una protección excelente tanto del convertidor como del motor. Los valores de parámetros para el SINAMICS G110 se pueden modificar con el panel básico de operaciones BOP (Basic Operator Panel). (SIEMENS, 2016, p. 7) SINAMICS G110 consta con dos variantes:

- Variante USS Interface
- Variante analógica



Figura 20-1: Variador Sinamic G110

Fuente:<http://www.socetti.cl/variadores%20de%20frecuencia%20siemens%20G110%20220V.html>

Tabla 9-1: Características del Variador

| | |
|--------------------------------|------------------------------------|
| Rangos de Tensión | Entrada monofásica AC 200V. a 240V |
| Frecuencia de Red | 47Hz a 63Hz |
| Frecuencia de Salida | 0Hz a 650Hz |
| Entradas Digitales | 3 Programables |
| Salidas Analógicas | 1 programable (0 a 20 mA) |
| Interface | RS-485 |
| Grado de Protección | IP 20 |
| Temperatura de Servicio | 10° a + 50° C |

Fuente: <http://www.socetti.cl/variadores%20de%20frecuencia%20siemens%20G110%20220V.html>

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

1.12. Motor Trifásico

1.12.1. Definición

Todos los motores de inducción están formados por un rotor y un estator. El rotor puede ser de dos tipos, jaula de ardilla o bobinado, y en el estator se encuentran las bobinas inductoras. Su principio de funcionamiento está basado en la inducción electromagnética. (Piñero y Maza, 2015, p. 02)



Figura 21-1: Motor de Inducción

Fuente: <http://ingenieriaelectricafravedsa.blogspot.com/2014/12/motor-induccion.html>

La relación que sigue la velocidad de sincronismo es:

Velocidad de sincronismo

$$n = \frac{60f}{P}$$

Dónde:

n = velocidad de sincronismo en revoluciones por minuto (rpm)

f = frecuencia del sistema en hertzios (Hz)

P = número de pares de polos del motor

Todos los motores eléctricos tienen una placa con los valores nominales para los que ha sido diseñado, aunque en la realidad estos valores tienen un margen de variación. Esta información es importante para describir el motor y posteriormente elegir un variador de frecuencia adecuado. (Piñero y Maza, 2015, p. 03)

La información típica suele ser la descrita en la tabla 10-1:

Tabla 10-1: Parámetros nominales del Motor.

| DATOS | UNIDADES |
|---------------------------------------|----------------|
| Potencia | kW |
| Tensión de alimentación | V |
| Frecuencia de alimentación | Hz |
| Corriente nominal | A |
| Velocidad de giro | RPM |
| Rendimiento | (adimensional) |
| Factor de potencia ($\cos \varphi$) | (adimensional) |

Fuente: (Piñero y Maza, 2015 p. 3)
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

1.12.2. Curvas características del motor de inducción

El funcionamiento de este tipo de motores necesitamos la relación corriente-par frente a velocidad como lo muestra la figura 22-1:

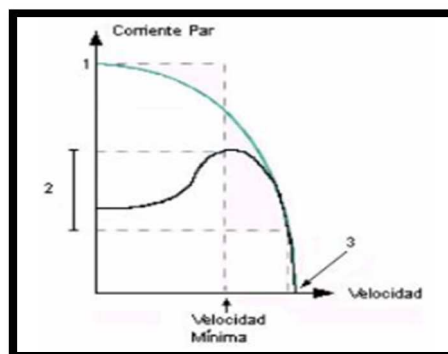


Figura 22-1: Curvas características del motor de inducción
Fuente: (Piñero y Maza, 2015 p. 3)

- 1.- Corriente de arranque
- 2.- Corriente máxima; (Par máximo: 2.5 Par nominal) (Par de arranque: 1.5 Par nominal)
- 3.- Velocidad de sincronismo

1.13. Sensores

1.13.1. Sensor de Temperatura Termocupla

Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo como se muestra en la figura 23-1, al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño, el cual aumenta con la temperatura. (Elbibliote.com, 2015)



Figura 23-1: Esquema de la Termocupla tipo J

Fuente: <http://elbibliote.com/resources/Temas/html/700.php>

1.13.1.1 Tipos de termocuplas

- **Tipo K:** (Cromel (aleación de Ni-Cr) / Alumel (aleación de Ni -Al)): Tienen un rango de temperatura de -200 °C a +1372 °C y una sensibilidad 41 μ V/°C aproximadamente. Posee buena resistencia a la oxidación. (Elbibliote.com, 2015)
- **Tipo E:** (Cromel / Constantán (aleación de Cu-Ni)): No son magnéticos y gracias a su sensibilidad, son ideales para el uso en bajas temperaturas, en el ámbito criogénico. Tienen una sensibilidad de 68 μ V/° C. (Elbibliote.com, 2015)
- **Tipo J:** (Hierro / Constantán): Su rango de utilización es de -270/+1200°C. Debido a sus características se recomienda su uso en atmósferas inertes, reductoras o en vacío, su uso continuado a 800°C no presenta problemas. (Elbibliote.com, 2015)

1.13.2. Sensor de Velocidad Encoder

Un encoder es un sensor que transforma un movimiento angular en una serie de impulsos digitales. Estos impulsos generados pueden ser utilizados para controlar los desplazamientos de tipo angular o de tipo lineal. (Oñate y Pinta, 2013, pág. 45)

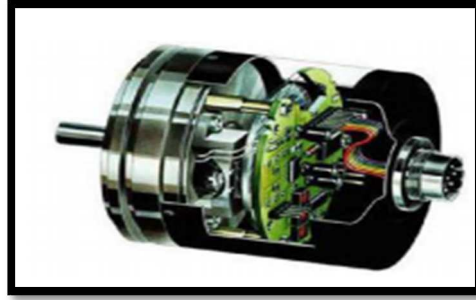


Figura 24-1: Encoder
Fuente: (Oñate y Pinta, 2013, pág. 45)

1.13.2.1 Tipos de Encoder

- **Encoder incremental:** Este tipo de encoder se caracteriza porque determina su posición, contando el número de impulsos que se generan cuando un rayo de luz, es atravesado por marcas opacas en la superficie de un disco unido al eje. (Romero, 2016, p. 01)

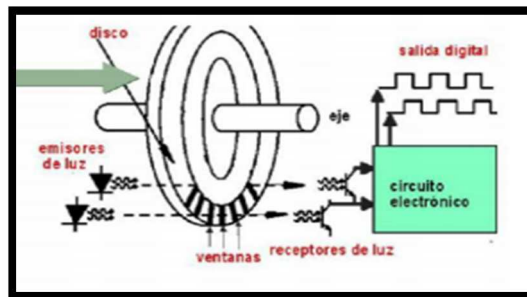


Figura 25-1: Encoder Incremental
Fuente: (Romero, 2016, p. 01)

- **Encoder absoluto:** En el encoder absoluto, el disco contiene varias bandas dispuestas en forma de coronas circulares concéntricas, dispuestas de tal forma que en sentido radial el rotor queda dividido en sectores, con marcas opacas y transparentes codificadas en código Gray. (Romero, 2016, p. 02)

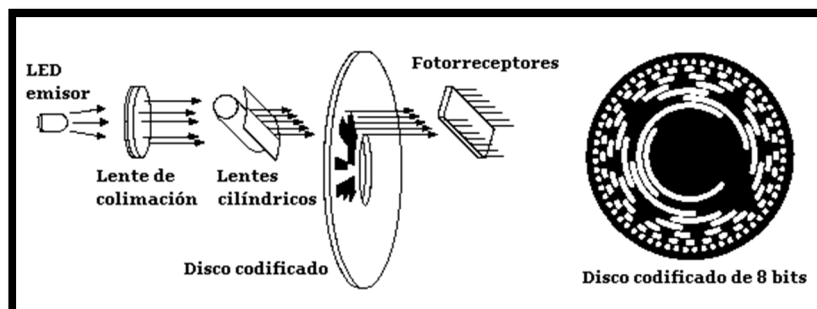


Figura 26-1: Encoder Absoluto
Fuente: (Romero, 2016, p. 02)

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Introducción

2.1.1. *Descripción de Estudio*

En el presente capítulo se estudia las etapas de implementación para el funcionamiento en el Mezclador y Evaporador Eléctrico; la configuración de los módulos a utilizar, el desarrollo de la interfaz Hombre Maquina “HMI”, a más de la Supervisión, Control y Adquisición de Datos “SCADA” desarrollado en el Software LabVIEW donde se implementa el Controlador Difuso.

2.1.2. *Alcance de la Investigación*

El desarrollo del controlador difuso se plantea en base a las variables a controlar que son velocidad y temperatura, en función a estas se establecen las funciones de membresía correspondientes.

2.1.3. *Técnicas de Investigación*

Para el desarrollo del trabajo de titulación, es preciso utilizar de forma combinada las siguientes técnicas de investigación:

Analítico – Sintético: Este método analiza los dos equipos que son el mezclador y evaporador eléctrico para identificar las variables que intervienen en el funcionamiento, conociendo su importancia en los procesos que realizan con la finalidad de relacionar los elementos eléctricos y la calidad de los productos.

Inductivo: Este método permite conocer sobre la Lógica Difusa, para posteriormente ser aplicado en los dos equipos, lo cual concluye que al utilizar este método se obtiene mejor resultado en la calidad de los productos.

Descriptivo: Mediante este método se presenta los pasos con los que se realiza el sistema de control en los equipos.

Experimentación: Se realiza varias pruebas, hasta lograr que el control funcione correctamente.

2.1.4. *Recolección de Datos*

Se realiza mediante un muestreo de la gráfica generada dentro de LabVIEW en el bloque waveform chart a través de la interpolación de los datos los cuales son exportados hacia Excel. Al ser un trabajo de tipo investigativo no es necesario establecer una población ni muestra.

2.2. Estado en el que se recibe los equipos

Los equipos que se encuentran en el laboratorio de procesos industriales de ingeniería química son el Mezclador y Evaporador Eléctrico se hallan totalmente deteriorados; presentan fallos en los tableros de control y falta de un correcto mantenimiento. Por lo que es de suma importancia recurrir al personal encargado del laboratorio quien tiene experiencia en el proceso de operación de estos equipos.

2.2.1. *Estructura de los equipos*

2.2.1.1. *Mezclador*

Este equipo consta de las siguientes características de construcción:

Tabla 1-2: Características del Tubo Mezclador

| Características | Dimensiones |
|----------------------------------|--------------------|
| Altura | 0.59 m |
| Diámetro | 0.53 m |
| Volumen | 130 lts |
| Longitud del Brazo de agitación | 0.59 m |
| Altura de la Paleta de agitación | 0.12 m |
| Motor Trifásico | 1 hp |

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017



Figura 1-2: Mezclador
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

El proceso principal de este equipo es la producción de desinfectantes para pisos, cuenta con un tablero cuya alimentación es a 220 voltios, realizando el control de velocidad del motor trifásico mediante un variador de frecuencia, con un potenciómetro que se encuentra en la parte frontal del mismo de forma manual sin precisión, donde el operador constantemente ajusta la perilla del potenciómetro.

2.2.1.2. *Evaporador Eléctrico*

Este equipo es un evaporador de simple efecto tipo chaqueta, quiere decir que cuenta con una sola cámara de calefacción, realizando transferencia de calor hacia la cámara de ebullición. Tiene las siguientes características de construcción:

Tabla 2-2: Características del Evaporador Eléctrico

| Características | Dimensiones |
|-------------------------------|-----------------------|
| Volumen Cámara de Calefacción | 17 lts |
| Volumen Cámara de Ebullición | 15 lts |
| Válvula de Presión | 7 lb/ in ² |
| Motor Reductor | 63 RPM |
| Resistencias Eléctricas | 110 v |

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017



Figura 2-2: Evaporador Eléctrico
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

La función es realizar mermelada por medio de la evaporización dentro de la cámara de ebullición, el control de temperatura se ejecuta mediante una termocupla y dos resistencias eléctricas alimentadas a 110 voltios, ubicadas en la cámara de calefacción; cuenta con un motorreductor que agita la mezcla.

2.3. Requerimiento para el nuevo sistema

Analizado los problemas de los equipos; se pretende mejorar el sistema anterior realizando un estudio técnico para lograr optimizar recursos y mejorar la interacción con el operador.

Se selecciona un controlador lógico programable “PLC” de la familia Siemens S7-1200 DC/DC/DC, para realizar el control de los dos equipos, debido que los procesos realizados en el laboratorio son semi-industriales; y este tipo de dispositivos son robustos e idóneos.

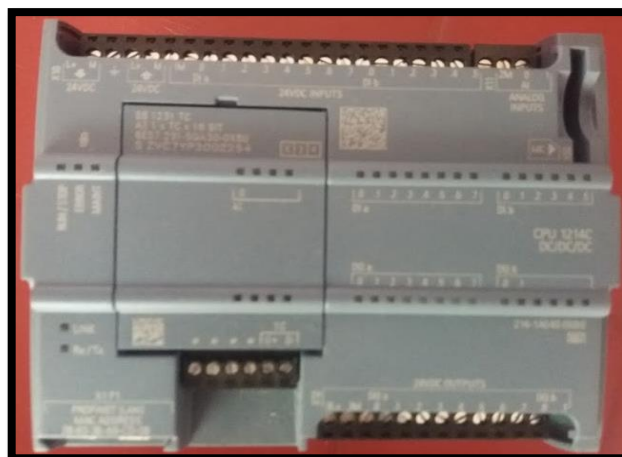


Figura 3-2: PLC Siemens S7-1200 DC/DC/DC
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

Para realizar el control local de los equipos, se implementa una Interfaz Hombre-Máquina “HMI” KP-300 de la familia Siemens que mediante el uso menús se puede acceder de manera individual a los mismos.

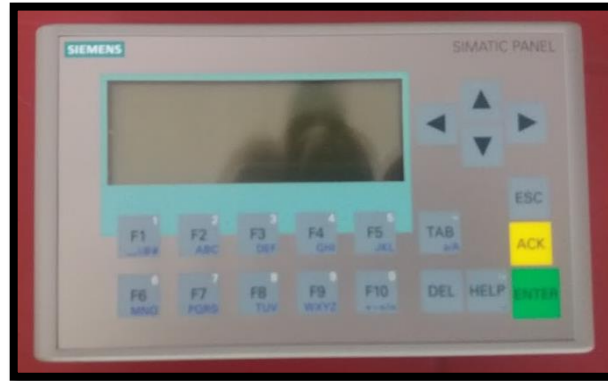


Figura 4-2: “HMI” KP-300
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.3.1. *Requerimientos para el Mezclador*

Se realiza un control de velocidad, seleccionando los siguientes implementos:

➤ **Encoder Incremental**

Se utiliza este tipo de sensor para obtener las revoluciones del motor, ayudando a realizar la acción de control.



Figura 5-2: Encoder Incremental
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

➤ **Módulo de Salidas Analógicas de 0-10 V**

El módulo se utiliza para aprovechar el variador de frecuencia que se encuentra en el antiguo tablero, mediante éste se controla la señal analógica de voltaje que se entrega al variador.



Figura 6-2: Módulo de Salidas Analógicas de 0-10 V
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

➤ **Variador de Frecuencia Sinamics G110**

El dispositivo es parte del antiguo tablero, controla la frecuencia que se entrega al motor; por esta razón se decide volver a utilizarlo.



Figura 7-2: Variador de Frecuencia Sinamics G110
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

➤ **Motor Siemens 1 HP**

El equipo cuenta con un motor trifásico que se utiliza para el nuevo sistema de control, porque se encuentra bien dimensionado para realizar la acción de mezclado.



Figura 8-2: Motor Siemens 1HP
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.3.2. *Requerimiento Evaporador Eléctrico*

En el equipo se realiza un control de temperatura, necesitando los siguientes materiales.

➤ **Termocupla Tipo J de 15 cm de bulbo**

El sensor se encarga de la medición de temperatura al interior de la cámara de ebullición para poder realizar la acción de control sobre las resistencias eléctricas.



Figura 9-2: Termocupla Tipo J de 15 cm de bulbo
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

➤ **Módulo Entrada Analógica para Termocupla**

El módulo ayuda a la lectura de los datos entregados por la termocupla, para posteriormente normalizarlos.



Figura 10-2: Módulo Entrada Analógica para Termocupla
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

➤ Relé en Estado Sólido

Es necesario de dos Relés para realizar la acción de control sobre las resistencias eléctricas, se elige este tipo relés porque se trabaja a altas frecuencias de conmutación.



Figura 11-2: Relé en Estado Sólido
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

➤ Resistencias Eléctricas

El equipo consta de dos resistencias eléctricas ubicadas al interior de la cámara de calefacción, una de ella se encuentra deteriorada por lo que se requiere el uso de una nueva resistencia.



Figura 12-2: Resistencias Eléctricas
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.4. Dimensionamiento del sistema eléctrico

2.4.1. Elementos de Protección:

El elemento de protección a utilizar es un disyuntor termomagnético de 2 polos, el cual en caso de sobre carga interrumpir la energía que se entrega al Mezclador, la única carga es el variador de frecuencia.

La corriente de consumo por parte del variador de frecuencia es de 10 Amperios, dato característico del fabricante del dispositivo.

$$I_c = 7,7... 10 \text{ Amperios}$$

Dónde:

I_c = Corriente consumida por el variador.

Para el Evaporador Eléctrico se usa un disyuntor termomagnético de un polo, las cargas a conectar son las siguientes:

- **Fuente de alimentación:** Alimenta al PLC y sus módulos, la potencia de consumo es de 100 watt.
- **Resistencias Eléctricas:** Consume una potencia de 1500 watts cada una, dando una potencia total de 3000 watts.
- **Motorreductor:** La potencia de consumo por parte del motorreductor es de 370 watts.

La potencia total del sistema es la siguiente:

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3$$

Dónde:

P_T = Potencia Total

P_1, P_2, P_3 = Potencia de los diferentes equipos

$$P_T = 100 + 3000 + 370 = 3470 \text{ watts}$$

Mediante la fórmula de la potencia podemos calcular la corriente total de carga

$$P = V * I$$

Dónde:

P = Potencia

V = Voltaje

I = Corriente

$$I = \frac{P}{V} = \frac{3470}{110} = 31.5 \text{ Amperios.}$$

Con los datos de la corriente de consumo, se usa las tablas de la figura 13-2 para realizar la selección del disyuntor adecuado.

| | | 1 polo protegido | | | | |
|-------|--------|----------------------------------|--------------------|------------------------------|----------------|--|
| Tipo | In (A) | Capacidad de interrupción última | | | | |
| | | IEC60898-1 230/400VAC (A) | 110/127VAC (kA) | IEC60947-2 230VAC (kA) | 415VAC (kA) | |
| iC60N | 1 | 6000 | 50 | 50 | 3 | |
| iC60N | 2 | 6000 | 50 | 50 | 3 | |
| iC60N | 4 | 6000 | 50 | 50 | 3 | |
| iC60N | 6 | 6000 | 20 | 10 | 3 | |
| iC60N | 10 | 6000 | 20 | 10 | 3 | |
| iC60N | 16 | 6000 | 20 | 10 | 3 | |
| iC60N | 20 | 6000 | 20 | 10 | 3 | |
| iC60N | 25 | 6000 | 20 | 10 | 3 | |
| iC60N | 32 | 6000 | 20 | 10 | 3 | |
| iC60N | 40 | 6000 | 20 | 10 | 3 | |
| iC60N | 50 | 6000 | 20 | 10 | 3 | |
| iC60N | 63 | 6000 | 20 | 10 | 3 | |
| C120N | 100 | 10000 | 20 | 10 | 3 | |

| | | 2 polos protegidos | | | |
|-------|--------|----------------------------------|----------------|------------------------------|----------------|
| Tipo | In (A) | Capacidad de interrupción última | | | |
| | | IEC60898-1 400VAC (A) | 230VAC (kA) | IEC60947-2 400VAC (kA) | 440VAC (kA) |
| iC60N | 1 | 6000 | 50 | 50 | 25 |
| iC60N | 2 | 6000 | 50 | 50 | 25 |
| iC60N | 4 | 6000 | 50 | 50 | 25 |
| iC60N | 6 | 6000 | 20 | 10 | 6 |
| iC60N | 10 | 6000 | 20 | 10 | 6 |
| iC60N | 16 | 6000 | 20 | 10 | 6 |
| iC60N | 20 | 6000 | 20 | 10 | 6 |
| iC60N | 25 | 6000 | 20 | 10 | 6 |
| iC60N | 32 | 6000 | 20 | 10 | 6 |
| iC60N | 40 | 6000 | 20 | 10 | 6 |
| iC60N | 50 | 6000 | 20 | 10 | 6 |
| iC60N | 63 | 6000 | 20 | 10 | 6 |
| C120N | 80 | 10000 | 20 | 10 | 6 |
| C120N | 100 | 10000 | 20 | 10 | 6 |
| C120N | 125 | 10000 | 20 | 10 | 6 |

Figura 13-2: Disyuntor termomagnético

Fuente: http://www.schneider-electric.com.pe/documents/local/list_de_precio_2015.pdf

2.4.2. Conductores Eléctricos:

Las cargas especiales del sistema son las siguientes:

- **Resistencias Eléctricas:** Al ser cargas especiales se necesita de un correcto dimensionamiento, se realiza a partir de la potencia consumida que proporciona el fabricante en la placa, siendo esta de 1500 watts para cada resistencia aplicando la fórmula de potencia se tiene.

$$P = V * I$$

Dónde:

P = Potencia

V = Voltaje

I = Corriente

$$I = \frac{P}{V} = \frac{1500}{110} = 13 \text{ Amperios c/u.}$$

Siendo esta la corriente que circulará por el conductor para cada resistencia.

- **Motorreductor:** La potencia de consumo se obtiene a partir de los datos de placa proporcionados por el fabricante de 370 watts. Y mediante la fórmula de potencia descrita se obtiene lo siguiente:

$$P = V * I$$

Dónde:

P = Potencia

V = Voltaje

I = Corriente

$$I = \frac{P}{V} = \frac{370}{110} = 3.36 \text{ Amperios}$$

- **PLC:** El dimensionamiento para el circuito de control del PLC se lo realiza con la corriente de salida que corresponde a 1.6 amperios, especificación del fabricante por lo que se decide utilizar un calibre # 18 AWG.

Mediante la figura 14-2 se realiza la selección del calibre necesario:

| Calibre AWG o kcmil | Área de la sección transversal nominal mm ² | Temperatura nominal del conductor | | | | | |
|----------------------------------|--|-----------------------------------|------------------------------------|---|----------|-------------|--------------------------------|
| | | 60°C | 75°C | 90°C | 60°C | 75°C | 90°C |
| | | TW TWD CCE | THW, RHW THW-LS THWN XHHW | RHH, RHW-2 THHN, THW-2 TTHW-LS, XHHW-2 | UF | RHW XHHW | RHW-2 XHHW XHHW-2 DRS |
| | | Cobre | | | Aluminio | | |
| 14 | 2,08 | 20* | 20* | 25* | - | - | - |
| 12 | 3,31 | 25* | 25* | 30* | - | - | - |
| 10 | 5,26 | 30 | 35* | 40* | - | - | - |
| 8 | 8,37 | 40 | 50 | 55 | - | - | - |
| 6 | 13,3 | 55 | 65 | 75 | 40 | 50 | 60 |
| 4 | 21,2 | 70 | 85 | 95 | 55 | 65 | 75 |
| 2 | 33,6 | 95 | 115 | 130 | 75 | 90 | 100 |
| 1/0 | 53,5 | 125 | 150 | 170 | 100 | 120 | 135 |
| 2/0 | 67,4 | 145 | 175 | 195 | 115 | 135 | 150 |
| 3/0 | 85,0 | 165 | 200 | 225 | 130 | 155 | 175 |
| 4/0 | 107 | 195 | 230 | 260 | 150 | 180 | 205 |
| 250 | 127 | 215 | 255 | 290 | 170 | 205 | 230 |
| 300 | 152 | 240 | 285 | 320 | 190 | 230 | 255 |
| 350 | 177 | 260 | 310 | 350 | 210 | 250 | 280 |
| 400 | 203 | 280 | 335 | 380 | 225 | 270 | 305 |
| 500 | 253 | 320 | 380 | 430 | 260 | 310 | 350 |
| 600 | 304 | 355 | 420 | 475 | 285 | 340 | 385 |
| 750 | 380 | 400 | 475 | 535 | 320 | 385 | 435 |
| 1000 | 507 | 455 | 545 | 615 | 375 | 445 | 500 |

Figura 14-2: Conductores eléctricos

Fuente: <http://www.laticasa.com.mx/SiteCollectionDocuments/seleccion-de-calibre-en-cables-para-construccion.pdf>

Las elecciones son las siguientes:

Para las resistencias con una corriente de 13 A, según la tabla se elige un calibre # 14 AWG, pero por tratarse de una carga especial se decide usar un calibre #10AWG. Al igual que el motorreductor.

Tabla 3-2: Conductores eléctricos requeridos

| Descripción | Calibre |
|---------------|---------|
| Resistencia | 10 AWG |
| Motorreductor | 10 AWG |
| PLC | 18 AWG |

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.5. Ensamblaje del tablero de control y fuerza

Con los materiales necesarios para el control se procede con el dimensionamiento del gabinete dando las siguientes medidas: 60cm de alto, 40cm de ancho y 20cm de profundidad.



Figura 15-2: Materiales y Tableros de Control
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

Se monta el tablero con tres secciones:

- **Sección 1:** Elementos de protección y fuente de alimentación.

Comenzando con la ubicación del riel DIN de 10cm, donde se ubica el disyuntor bipolar de 20A y un disyuntor de un polo a 32A, seguidos de la fuente delta de 100 watt a 24v de salida que alimenta al PLC, módulos y pantalla.



Figura 16-2: Montaje de la Sección 1
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

- **Sección 2 Control y Comunicación:** Ubicación del PLC, módulos y router Tp-Link para la comunicación entre PLC, HMI y SCADA.



Figura 17-2: Montaje de la Sección 2
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

- **Sección 3 Potencia:** En la última sección se ubica al variador de frecuencia, los contactores y relés en estado sólido.



Figura 18-2: Montaje de la Sección 3
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

Con la distribución de los materiales se procede con el cableado como se puede observar en la figura 19-2.

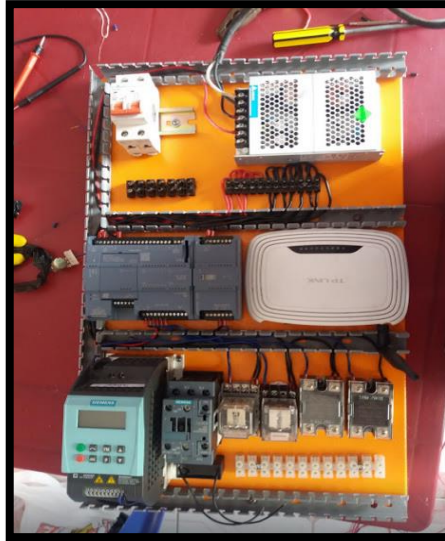


Figura 19-2: Cableado de los materiales
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

En la parte frontal del tablero se realiza la perforación para la ubicación de la pantalla, luces piloto y el pulsador de emergencia.



Figura 20-2: Tablero de control
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.5.1. *Adecuación de Equipo*

Al Mezclador; se añade un encoder en la parte posterior del motor acoplado al eje mediante un matrimonio para realizar el control de velocidad.

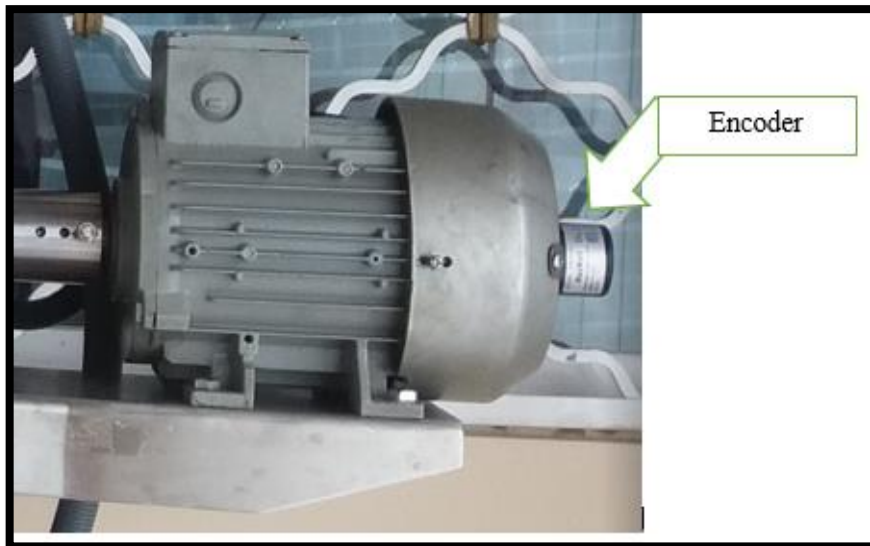


Figura 21-2: Acople del Encoder al Motor
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

Al Evaporador Eléctrico; se añade una termocupla tipo “J” al interior de la cámara de ebullición para realizar el control de temperatura.

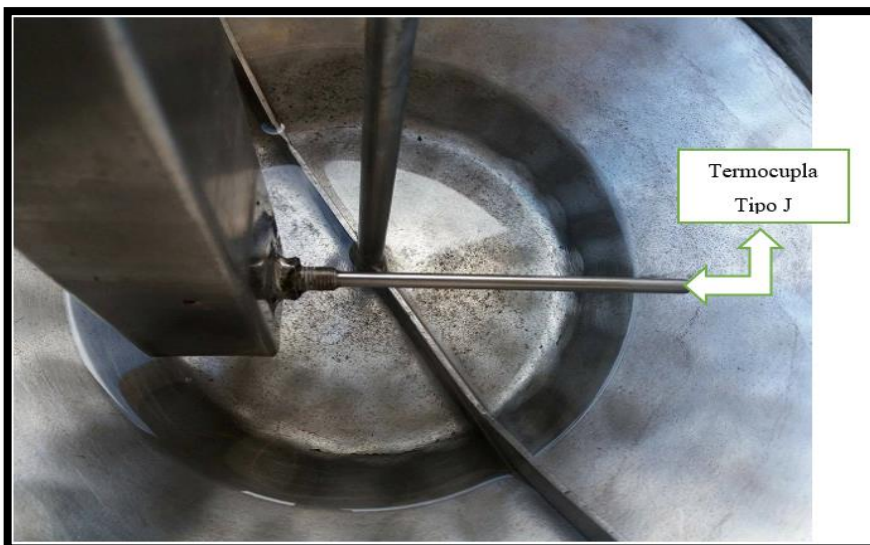


Figura 22-2: Acople de la termocupla tipo J
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.6. Desarrollo de software

2.6.1. TIA portal V13

Este software es el entorno de programación del PLC, ayuda a ejecutar las configuraciones de entradas y salidas para la realización del proyecto.

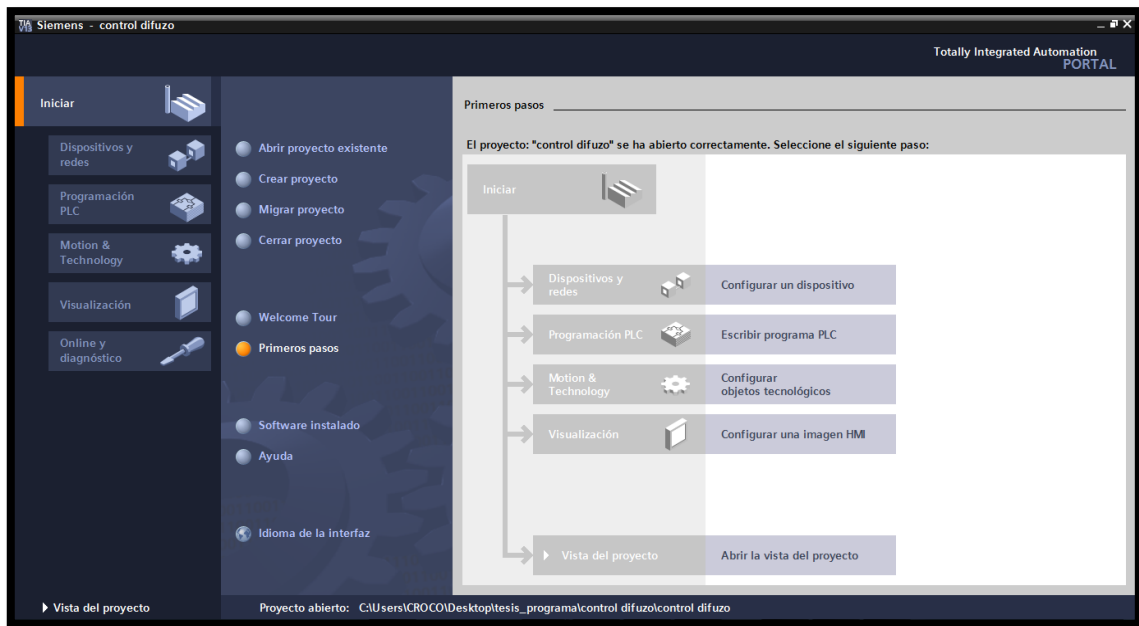


Figura 23-2: Entorno de Programación TIA portal V13
Realizado por: Infaante y Aldaz, 2017

2.6.1.1. Crear nuevo proyecto

Se empieza por la selección de los dispositivos a utilizar; PLC Siemens S7-1200 DC/DC/DC 6ES7 214-1AG40-0XB0, módulo de salidas analógicas de 0 a 10 voltios 6ES7 232-4HB30-0XB0 y el módulo para Termocupla 6ES7 231-5QA30-0XB0.

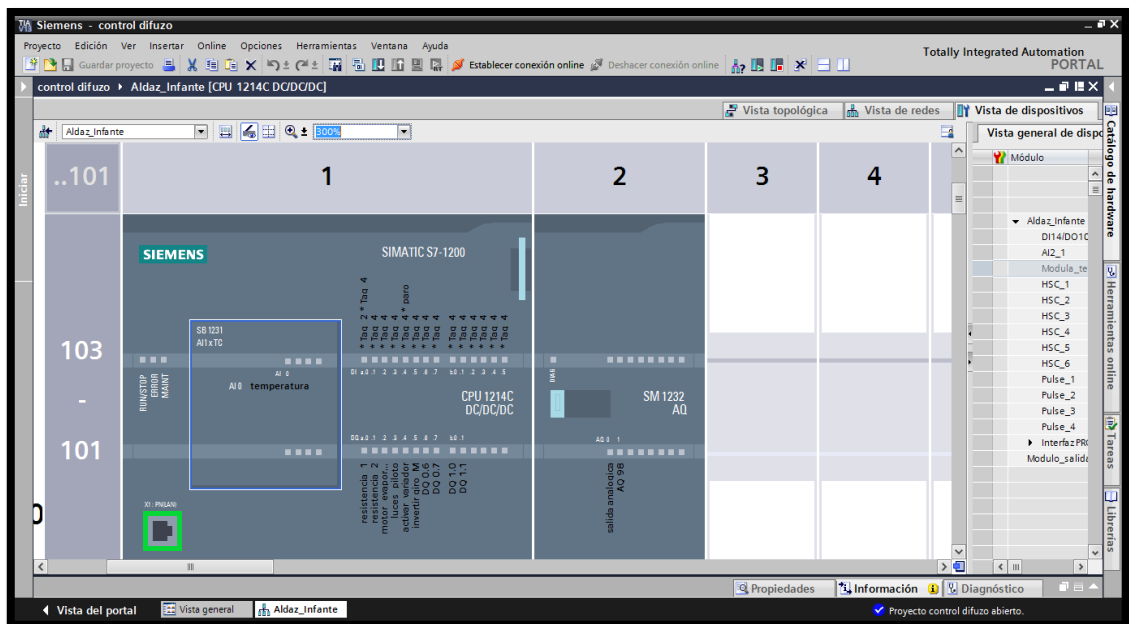


Figura 24-2: Dispositivos utilizados en el Proyecto
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.6.1.2. Configuración de la CPU

Debido al acoplamiento del encoder incremental en el motor del Mezclador. Se configura en la CPU un contador rápido HSC1 como se muestra en la tabla 4-2.

Tabla 4-2: Configuración del Contador Rápido HSC1

| HSC1 | Activado |
|----------------------------------|----------------------|
| Función | |
| Modo de Contaje | Frecuencia |
| Fase de Servicio | Contador A/B |
| Sentido de Contaje Inicial | Incrementar Contador |
| Entrada de Hardware | |
| Generador de Impulsos de Reloj A | %I0.0 |
| Generador de Impulsos de Reloj B | %I0.1 |
| Direcciones de E/S | |
| Dirección Inicial | 1000 |
| ID de Hardware | 257 |

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

Para el Evaporado Eléctrico se realiza un control de modulación por ancho de pulso PWM. Para controlar la potencia que se entrega a las resistencias eléctricas, configurando la CPU de la siguiente manera, como se observa en la tabla 5-2:

Tabla 5-2: Configuración del módulo por ancho de pulso 1

| PTO1/PWM1 | Activado |
|-------------------------------|--------------|
| Parametrización | |
| Tipo de Señal | PWM |
| Base de Tiempo | Milisegundos |
| Formato de Duración del Pulso | Centésimas |
| Tiempo de Ciclo | 2 ms |
| Duración de Impulso Inicial | 0 centésimas |
| Salida de Hardware | |
| Salida de Impulso | %Q0.0 |
| Dirección de Entrada Salida | 1000 |
| ID Hardware | 265 |

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

Se trabaja a una frecuencia de 480 Hz, lo máximo que pueden conmutar los Relés con un tiempo de ciclo de 2 ms.

$$T = \frac{1}{f}$$

Dónde:

T= Periodo

f = Frecuencia

$$T = \frac{1}{480} = 2 \text{ ms}$$

De la misma manera se configura el segundo PWM para controlar la segunda resistencia. Con las siguientes variantes:

Tabla 6-2: Configuración del módulo por ancho de pulso 2

| | |
|-----------------------------|----------|
| PTO2/PWM2 | Activado |
| Salida de Impulso | %Q0.1 |
| Dirección de Entrada Salida | 1002 |
| ID Hardware | 266 |

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.6.1.3. Configuración de los Módulos

- **Módulo de salidas analógicas:** forma parte del Mezclador, es quien manda las órdenes hacia el variador de frecuencia, se configura como se muestra en la Tabla 7-2:

Tabla 7-2: Configuración del módulo de salidas analógicas

| | |
|--------------------------|----------------|
| Salida Analógica | Canal 0 |
| Dirección de Canal | %QW96 |
| Tipo de Salida Analógica | Tensión |
| Rango de Tensión | +/- 10 v |

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

- **Módulo para termocupla:** forma parte del Evaporador Eléctrico, se configura de la siguiente manera:

Tabla 8-2: Configuración del módulo para termocupla

| Entrada Analógica | Canal 0 |
|--------------------------|----------------|
| Dirección de Canal | %IW80 |
| Tipo de Medición | Termopar |
| Termopar | Tipo J |
| Escala de Temperatura | Celsius |

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.6.1.4. Programación del PLC S7-1200

La programación se realiza tomando en cuenta que aparte de controlar los equipos de manera local también se lo puede realizar de manera remota, se creó un bloque de función para cada uno de los controles que son: el bloque de función remota y el bloque de función local como se observa en la figura 25-2.

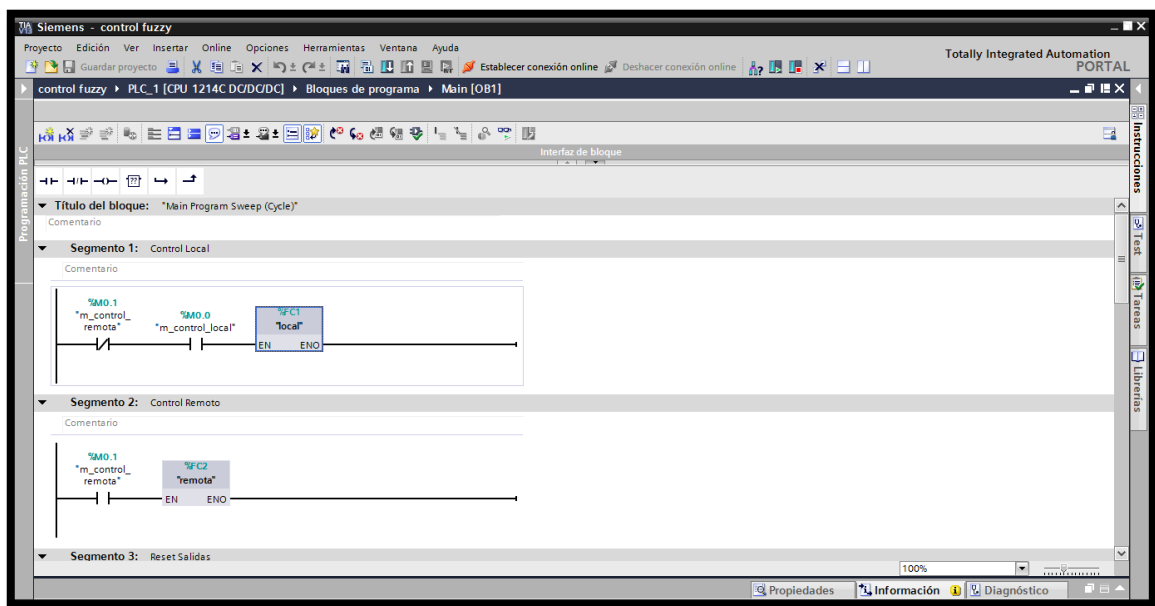


Figura 25-2: Bloques de función “Local y Remota”

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

- **Segmento 1:** Este segmento %FC1 es donde se realiza la programación de la pantalla HMI para el control local que se describe más adelante.
- **Segmento 2:** Únicamente es una interfaz de enlace, puesto que la Lógica de Control Difusa se la realiza en el Software LabVIEW.

Se trabaja en una sola interfaz, ya sea; de manera local o remota. La manera local es implementada por un posible fallo en el computador del laboratorio, o en el caso de borrar accidentalmente el programa, lo que causa que los equipos queden inhabilitados.

2.6.1.5. Programación del Bloque Control Local

➤ Programa %FC1 Mezclador

El requerimiento del personal encargado del laboratorio es ingresar las RPM, y que el motor arranque a la velocidad señalada manteniéndose constante, aun cuando la mezcla empiece a ser viscosa, ya que se necesita que la mezcla sea homogénea. La velocidad requerida es de 0 - 200 RPM.

Con la ayuda de un tacómetro se obtiene las RPM reales a las que gira el motor esto es necesario para poder calibrar el equipo. Mediante la lectura de la señal del encoder, conectada a la entrada %I0.0 del PLC configurado anteriormente, se añade un bloque de conversión donde se ingresa el valor censado en la dirección %ID1000, para multiplicarlo con una constante de 0.1383 y obtener las RPM reales.

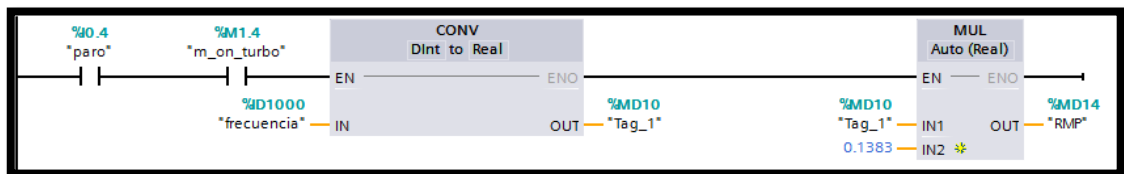


Figura 26-2: Lectura del Encoder

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

Para controlar la frecuencia a la que gira el motor, es necesario entregar un valor de 0 a 10 voltios al variador, mediante el módulo de salidas analógicas, para enviar este valor es necesario normalizar y escalar la señal con los siguientes bloques:

- **Normalización:** se establece los parámetros mínimos y máximos de la velocidad del motor tomados de la placa como se muestra en la tabla 9-2.

Tabla 9-2: Parámetros de normalización

| | |
|--------|----------|
| Minimo | 0 RPM |
| Máximo | 1660 RPM |

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

- **Escalado:** Para entregar un voltaje comprendido entre 0 y 10 voltios a la salida del módulo es necesario escalar de la siguiente manera como se indica en la tabla 10-2.

Tabla 10-2: Parámetros de escalado

| | |
|-------------------|-------|
| Mínimo 0 voltios | 0 |
| Máximo 10 voltios | 27648 |

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

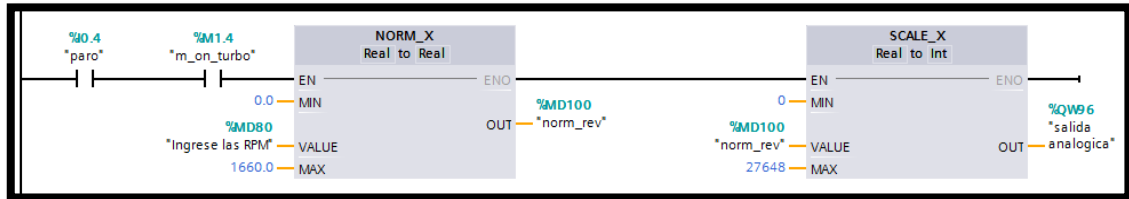


Figura 27-2: Normalización y escalada de los valores entregados por el Encoder

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

Para arrancar el motor e invertir su sentido de giro es necesario enviar un pulso de voltaje hacia las entradas digitales del variador de frecuencia.

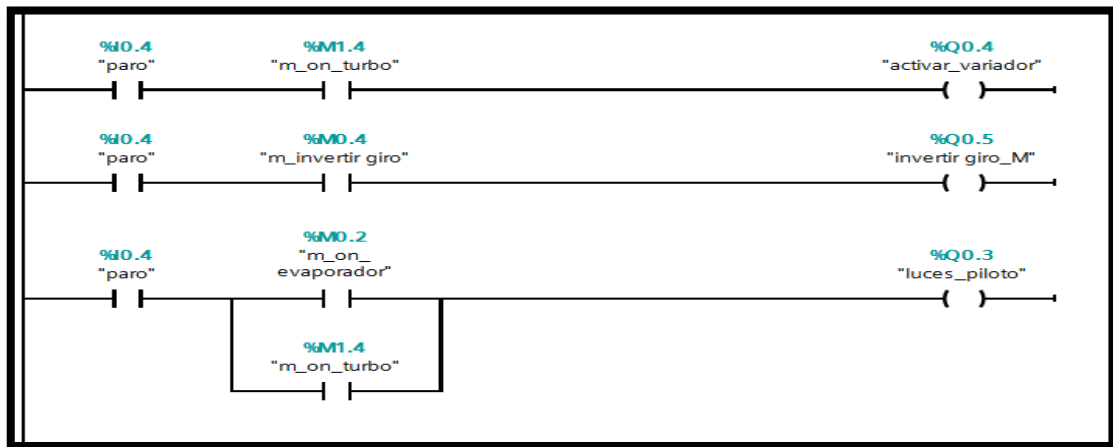


Figura 28-2: Activación del Variador de Frecuencia

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

En la figura 29-2 se muestra la programación completa que controla la pantalla HMI, se ingresa un valor de Set Point que se escribirá en la memoria %MD80, para arrancar el motor al valor seteado por el operario.

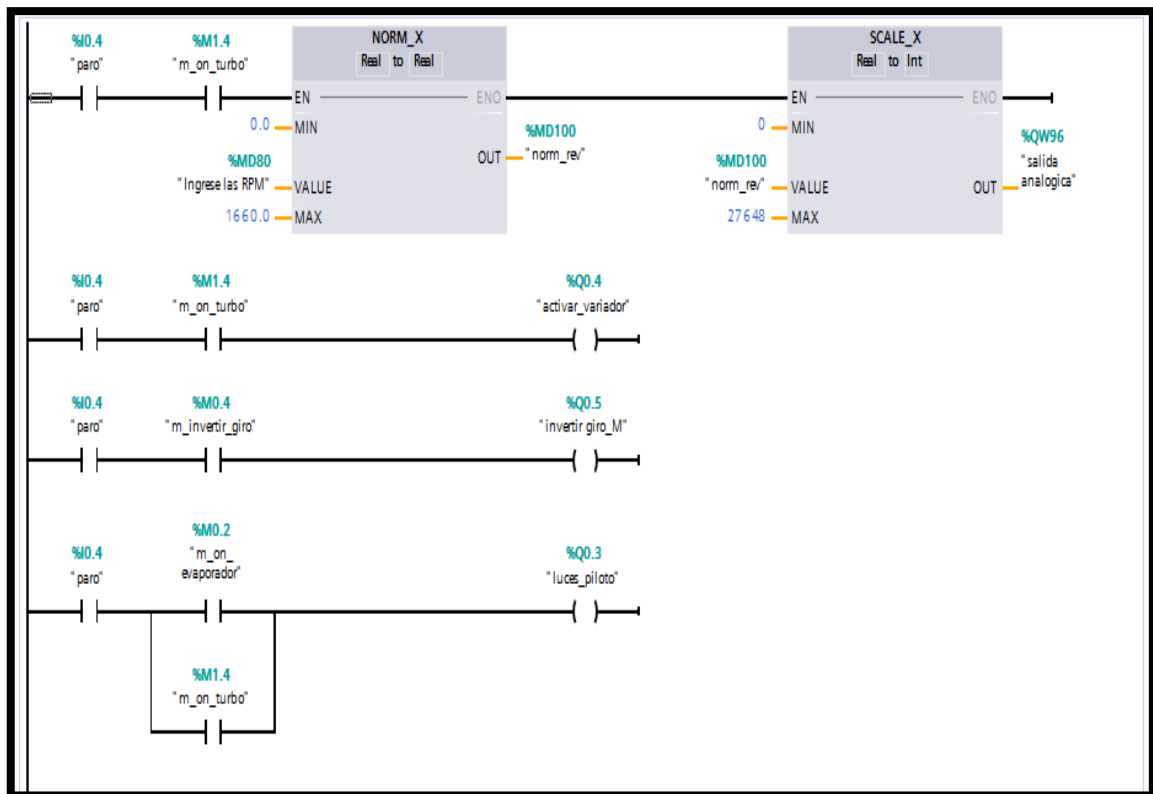


Figura 29-2: Programación del Mezclador de Manera Local
 Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

➤ Programa %FC1 Evaporador Eléctrico

El requerimiento es ingresar un Set Point al igual que el equipo anterior, y pueda alcanzar sin problemas el valor ingresado de temperatura, el valor máximo para realizar la concentración de la mermelada es de 95°C.

Para obtener la lectura real en grados centígrado es necesario normalizar y escalar los valores entregados por la termocupla.

➤ **Normalización:** Para establecer los valores máximos y mínimos en el bloque normalizar se observa los datos arrojados por el sensor, las pruebas son las siguientes; con la termocupla sumergida en agua a temperatura ambiente se obtiene un valor mínimo de 170, con la ayuda de un termómetro digital se tiene una temperatura de 13°C, para obtener el valor máximo de la termocupla se coloca agua hirviendo dando un valor de 830, y el termómetro marca una temperatura de 95°C.

➤ **Escalado:** Los valores máximos y mínimos ingresados son los obtenidos por el termómetro en las pruebas anteriores.



Figura 30-2: Normalización y escalada de los valores entregados por la termocupla
 Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

Con los valores de temperatura se realiza el control del encendido y apagado de las resistencias se añade un bloque, el cual compara la temperatura ingresada con la temperatura escalada del sensor.

Para tener una mezcla homogénea de los ingredientes ingresados en la elaboración de mermelada se mantiene durante todo el proceso de elaboración al motor encendido. Quedando el programa general como se muestra en la figura 31-2.

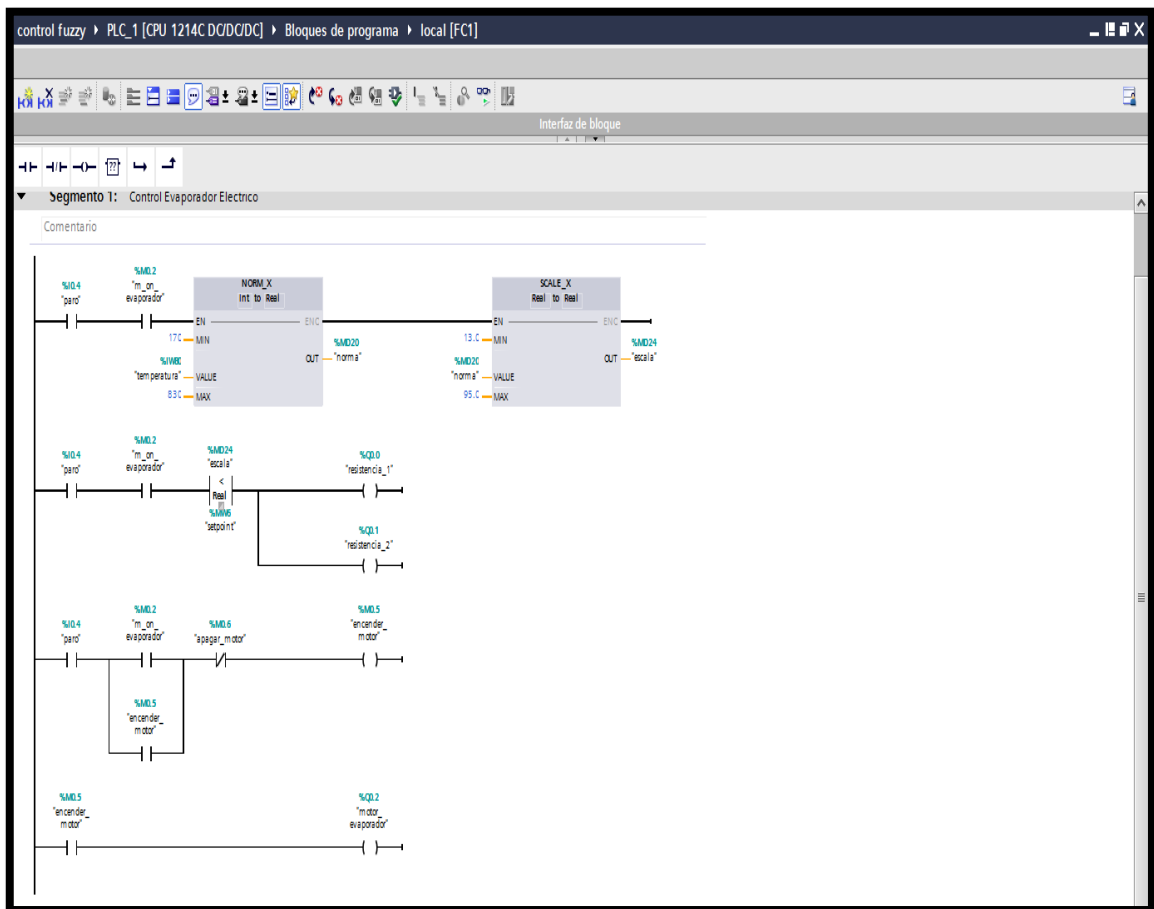


Figura 31-2: Programación Local del Evaporador Eléctrico
 Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.6.1.6. Programación del Bloque Control Remota

➤ Programa Mezclador

Se realiza las mismas funciones que de manera local, con la diferencia que se añade la línea de código para obtener las RMP a las que gira el motor, siendo la memoria %MD14 la que envíe el dato hacia LabVIEW para realizar la acción de control y el valor que devuelve LabVIEW lo realiza en la memoria %MD81 siendo esta la acción sobre la planta.

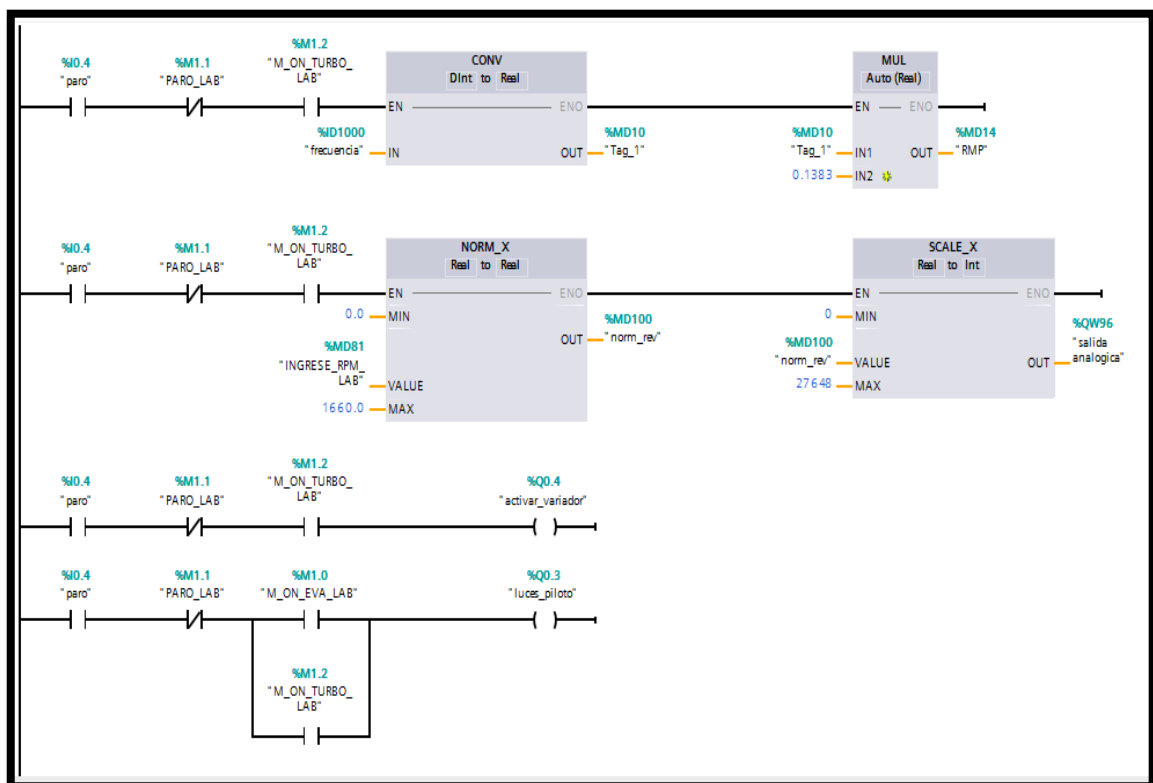


Figura 32-2: Programación del Mezclador de Manera Remota
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

➤ Programa Evaporador Eléctrico

Al igual que el programa de manera local se realiza el mismo procedimiento en la lectura de la temperatura, con la diferencia que se agrega la modulación por ancho de pulso PWM, para realizar el control de potencia que se entrega a las resistencias.

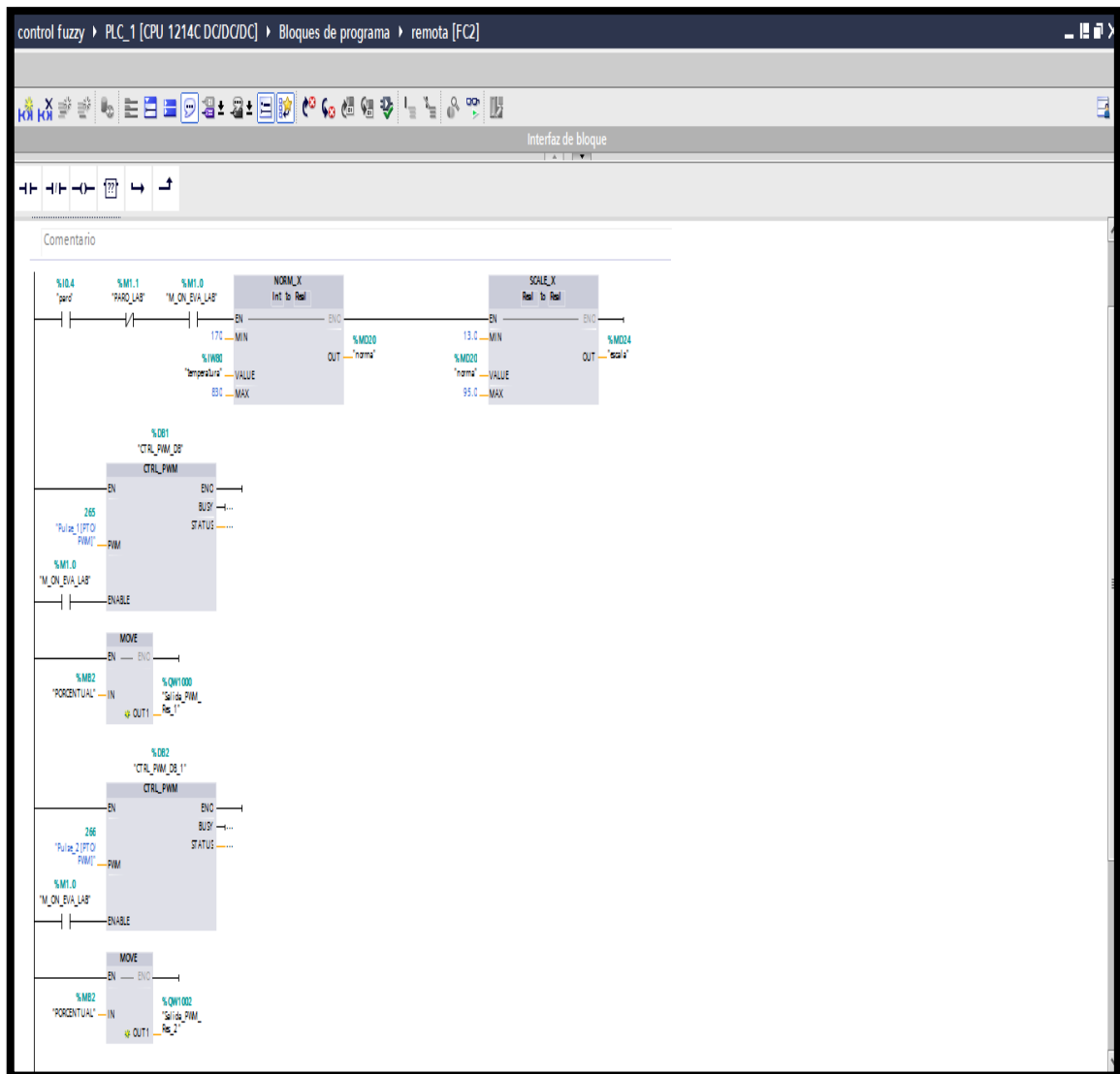


Figura 33-2: Programación del Evaporador Eléctrico de Manera Remota
 Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.6.2. Programación del HMI

La facilidad que ofrece el software TIA Portal V13, a más de programar la CPU también se puede programar la pantalla, ofrece un entorno amigable a la hora de realizar la configuración, cuenta con una amplia gama de elementos que solo se necesita arrastrar y soltar en la pantalla.

2.6.2.1. Pantalla inicial

La imagen inicial describe el trabajo de titulación, los autores del programa y cuenta con un botón “Siguiente” para dirigirse al menú de opciones.



Figura 34-2: Pantalla inicial
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.6.2.2. Pantalla de selección

En esta pantalla se realiza la selección del equipo que se desea controlar como el Mezclador o Evaporador Eléctrico de manera individual o controlar ambos equipos.



Figura 35-2: Pantalla de selección
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.6.2.3. Pantalla Mezclador

Dentro de esta pantalla se realiza el control de velocidad, ingresando las revoluciones por minutos en un rango de 0 - 200 RPM que se requiera para el proceso, una vez ingresada las revoluciones

requeridas con las teclas de navegación se procede a dar enter al botón ON que pone en marcha el proceso, además cuenta con un botón para invertir el sentido de giro del motor.

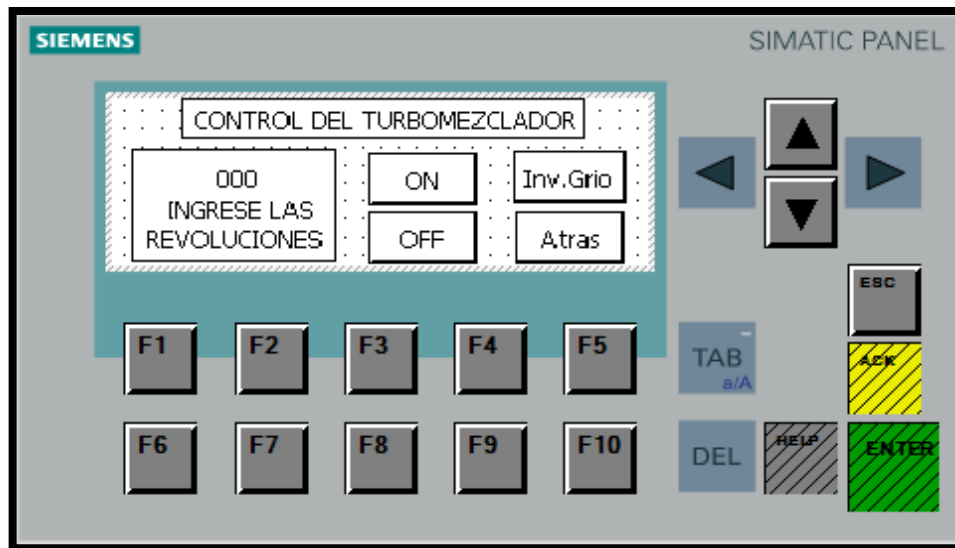


Figura 36-2: Pantalla Mezclador
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.6.2.4. Pantalla Evaporador Eléctrico

En la pantalla que se observa en la figura 37-2 se realiza el control de temperatura, ingresando el valor requerido para el proceso, tiene como máximo 95°C. Una vez seteado el valor requerido con las teclas de navegación se procede a dar sobre el botón ON para iniciar el proceso.



Figura 37-2: Pantalla Evaporador Eléctrico
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

Dentro del botón “Grafica” se observa el valor de la temperatura al interior de la marmita.



Figura 38-2: Pantalla Grafica de temperatura
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.6.3. Programación de variador de frecuencia

Previo a la configuración se requiere los datos de placa del motor, y realizar unas pruebas de la frecuencia mínima y máxima que se puede configurar el variador.

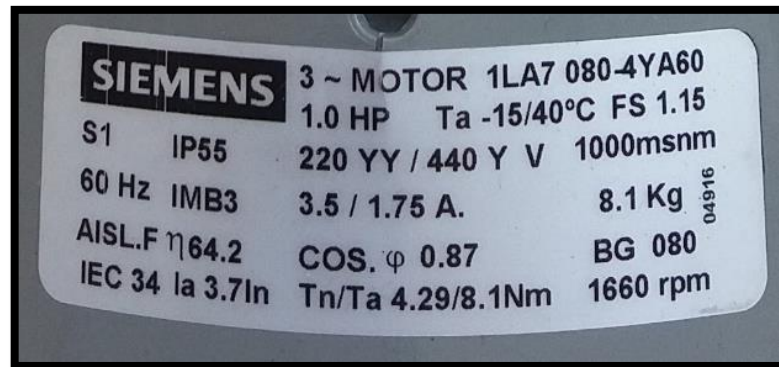


Figura 39-2: Datos de placa del motor
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

La configuración del variador de frecuencia se realiza mediante el panel de operación básico “BOP”, por medio de la variante analógica de 0 a 10 voltios, como se observa en la tabla 11-2.

Tabla 11-2: Configuración del variador de frecuencia

| DETALLE | PARAMETRO | VALORES |
|---|-----------|----------|
| Ajuste modo fabrica | P0010 | 30 |
| Reset | | |
| Puesta en Servicio Rápida | P0010 | 1 |
| Funcionamiento para Europa/Norteamérica. 1 = Potencia en hp; f por defecto 60 Hz | P0100 | 1 |
| Tensión nominal del motor | P0304 | 220 V |
| Corriente nominal del motor | P0305 | 3.5 A |
| Potencia nominal del motor | P0307 | 1 HP |
| Frecuencia nominal del motor | P0310 | 60 Hz |
| Velocidad nominal del motor | P0311 | 1660 RPM |
| Selección de la fuente de comandos (marcha/paro/inversión) 2 = Bornes/entradas digitales. | P0700 | 2 |
| Selección de la consigna de frecuencia 2 = Consigna analógica (sólo variante analógica). | P1000 | 2 |
| Frecuencia mínima del motor Ajusta la frecuencia mínima del motor (0-650Hz) | P1080 | 0 Hz |
| Frecuencia máxima del motor. (Ajusta la frecuencia máxima del motor 0-650Hz) | P1082 | 100 Hz |
| Tiempo de aceleración. Rango de ajuste: 0 s-650 s. | P1120 | 0 s |
| Tiempo de deceleración Rango de ajuste: 0 s-650s | P1121 | 0 s |
| Finalizar puesta en servicio rápida 1= Finaliza la puesta en servicio rápida con cálculo del motor y reajuste de fábrica. | P3900 | 1 |

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.6.3.1. Entradas Digitales del Variador de Frecuencia

La variante analógica se configura; en el “borne 9” para los 10 voltios positivos y el “borne 10” para el negativo que es el voltaje de salida del módulo. Además, se utiliza el “borne 3” para arrancar el variador y el “borne 4” para invertir el sentido de giro del motor.



Figura 40-2: Bornera del variador de frecuencia
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.6.4. Comunicación

2.6.4.1. Ethernet/IP

Para realizar la comunicación entre los distintos dispositivos se asignaron direcciones IP como se muestra en la tabla 12-2:

Tabla 12-2: Asignación de direcciones IP

| Referencia | Dirección IP |
|--------------|-------------------------------|
| PLC | 192.168.100.25/255.255.255.0 |
| Pantalla HMI | 192.168.100.169/255.255.255.0 |

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

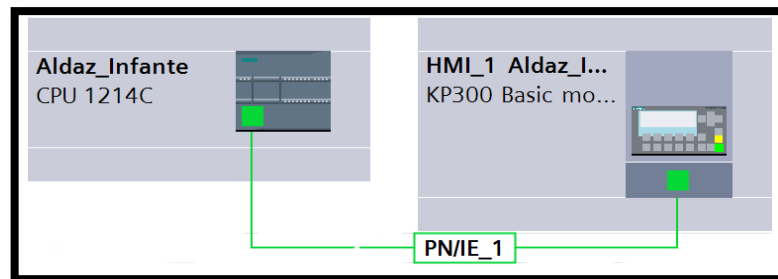


Figura 41-2: Direccionamiento de los dispositivos
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

Debido a los requerimientos del proyecto se implementa un SCADA, donde se realiza la lógica difusa, se añade un Router Tp-Link con la finalidad de comunicar al PLC con la Pantalla, y a su vez comunicarse de manera inalámbrica con el Router del Laboratorio de procesos industriales que se encuentra conectado al computador, donde se monitorea y controla todos los procesos del Laboratorio.

2.6.4.2. Sistema de Distribución Inalámbrico “WDS”

Este sistema de intercomunicación inalámbrica ayuda al router que se encuentra en el tablero de control a conectarse sin la necesidad de cables al router del laboratorio de procesos industriales.

Se configura el router del tablero como repetidor, para ello se da reset y se realiza las siguientes configuraciones.

Tabla 13-2: Configuración del router como repetidor

| Descripción | Configuración |
|---|------------------------|
| Router Tp-Link | Firewall dd-wrt |
| Puerta de Enlace Router Principal (no modificar) | 192.168.100.1 |
| Dirección IP para el Router Repetidor dentro de la Red del Router Principal | 192.168.100.2 |
| WDS | Activar |
| SSID/ Contraseña | FUZZY/01234567789 |

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

Quedando la comunicación de los distintos dispositivos como se muestra en la figura 42-2.

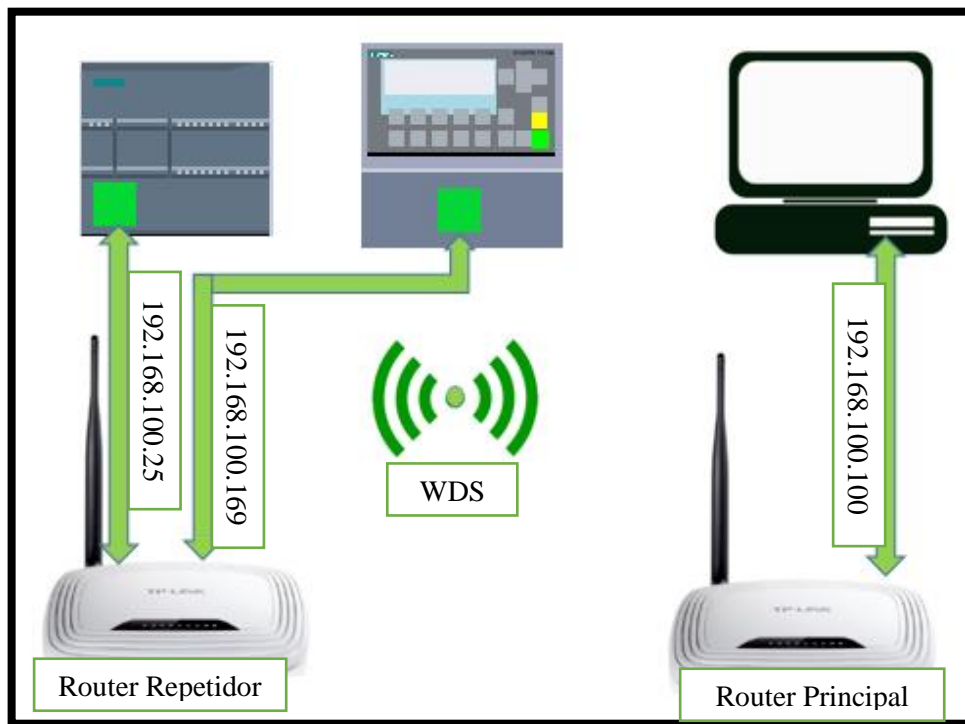


Figura 42-2: Comunicación de los distintos dispositivos

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.6.4.3. OPC (OLE for Process Control)

El servidor OPC es una aplicación de software de estándar industrial basado en la tecnología OLE de Microsoft. Que provee un intercambio de datos de forma estandarizada y simple. La tecnología

OLE (Object Linking and Embedding) es un sistema que permite compartir información entre aplicaciones. (Zúñiga, 2013, p. 42)

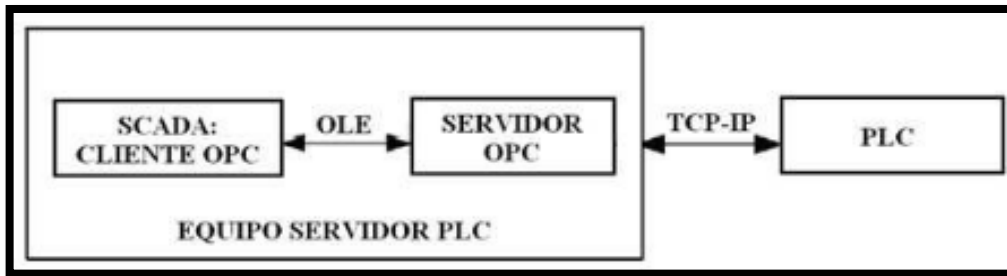


Figura 43-2: Sistema de Distribución Inalámbrico “WDS”
 Fuente: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/2187>

Esta arquitectura establece una comunicación cliente-servidor en el desarrollo de sistema SCADA dentro del LabVIEW se utiliza el OPC/ Server del software en cuestión. Donde el PLC Siemens S7-1200 hace de servidor OPC (esclavo) y la interfaz del LabVIEW de cliente OPC (maestro).

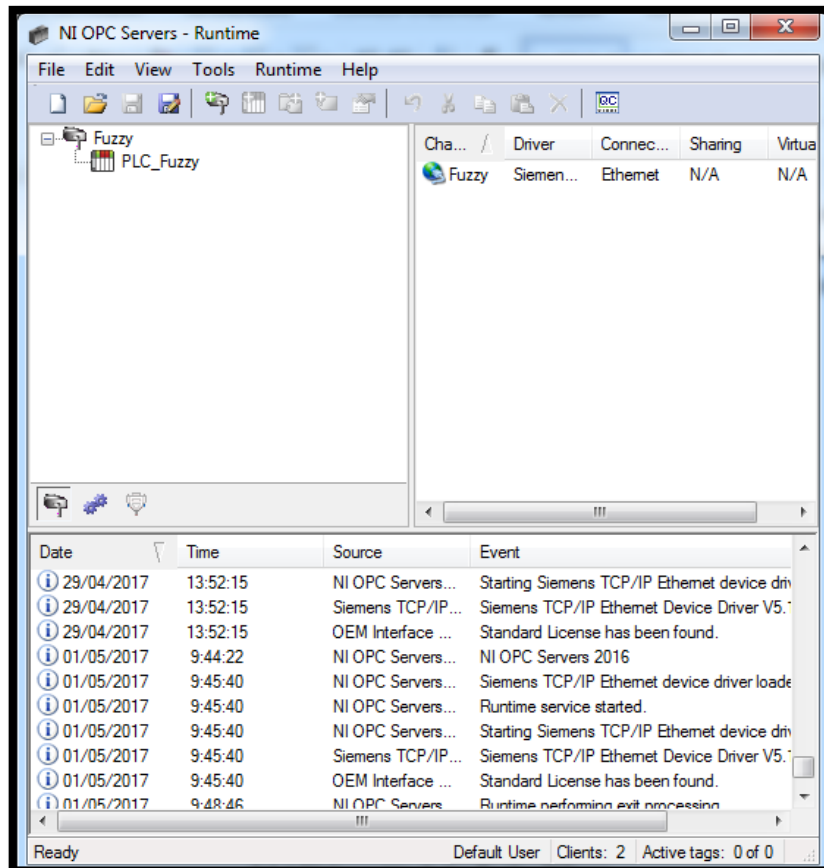


Figura 44-2: Comunicación cliente-servidor
 Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

Los parámetros a configurar dentro del NI OPC Server son los mostrados en la tabla 14-2.

Tabla 14-2: Configuración del NI OPC.

| Descripción | Configuración |
|-------------------------|-------------------------|
| Canal | |
| Crear nuevo canal | Fuzzy |
| Dispositivo | Siemens TCP/IP Ethernet |
| Adaptador de Red del PC | 192.168.100.100 |
| Dispositivo | |
| Nombre del dispositivo | PLC_Fuzzy |
| Modelo del dispositivo | S7-1200 |
| IP del PLC | 192.168.100.25 |

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.7. Desarrollo del Controlador Difuso

Para tener una acción de control sobre la planta es necesaria una señal de entrada y una señal del comportamiento del sistema mediante sensores, teniendo el controlador a implantar, conociendo el proceso se realiza una representación esquemática como se aprecian en la figura 45-2.

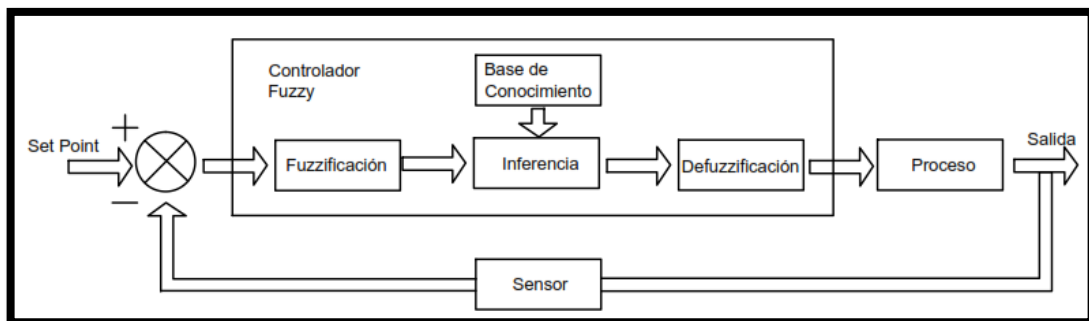


Figura 45-2: Esquema del controlador difuso.

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.7.1. Definición de las Variables Lingüísticas de Entrada

Para definir una entrada para el controlador difuso se parte de un valor ingresado denominado “Set Point” y la señal de referencia entregada por el sensor, mediante un punto suma se puede obtener la diferencia que existe entre el valor ingresado y el valor de la retroalimentación, siendo así; la señal de entrada mayor que el valor entregado por el sensor, se tiene una diferencia positiva y en caso que el valor entregado por el sensor sea mayor al valor ingresado se tiene una diferencia negativa. Obteniendo la entrada al sistema, siendo esta el **ERROR** que existe entre el valor de consigna y el valor censado.

Para saber el cambio o la velocidad con que se produce este error se elige una segunda entrada la **DERIVADA del ERROR**. Ambos conjuntos difusos estarán definidos de manera independiente en el desarrollo del controlador para el Mezclador como para el Evaporador Eléctrico.

2.7.2. Conjunto Difuso **ERROR VELOCIDAD**

2.7.2.1. Universo del Discurso

Una vez definida las entradas del controlador se establece un dominio lo que en lógica difusa se denomina universo del discurso, estableciendo un límite para el conjunto **ERROR VELOCIDAD** se define tomando en cuenta la máxima velocidad que entrega el motor por medio del encoder, asignando un valor de +/- 1660.

2.7.2.2. Términos Lingüísticos

Establecidos los rangos de trabajo, se realiza la asignación de los términos lingüísticos del conjunto **ERROR VELOCIDAD**, para realizar un controlador más fino se elige un total de cinco términos lingüístico mostrados en la tabla 15-2.

Tabla 15-2: Términos lingüísticos de **ERROR VELOCIDAD**

| Descripción | Muy Bajo | Bajo | Normal | Alto | Muy Alto |
|-------------|----------|------|--------|------|----------|
| Abreviatura | M_B | B | N | A | M_A |

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.7.2.3. Función de Membresía

Las funciones de membresía asignadas para sus extremos son del tipo trapezoides y dentro del universo del discurso se elige triangulares ya que estas son recomendadas por no ser susceptibles al ruido que puede entregar el sensor.

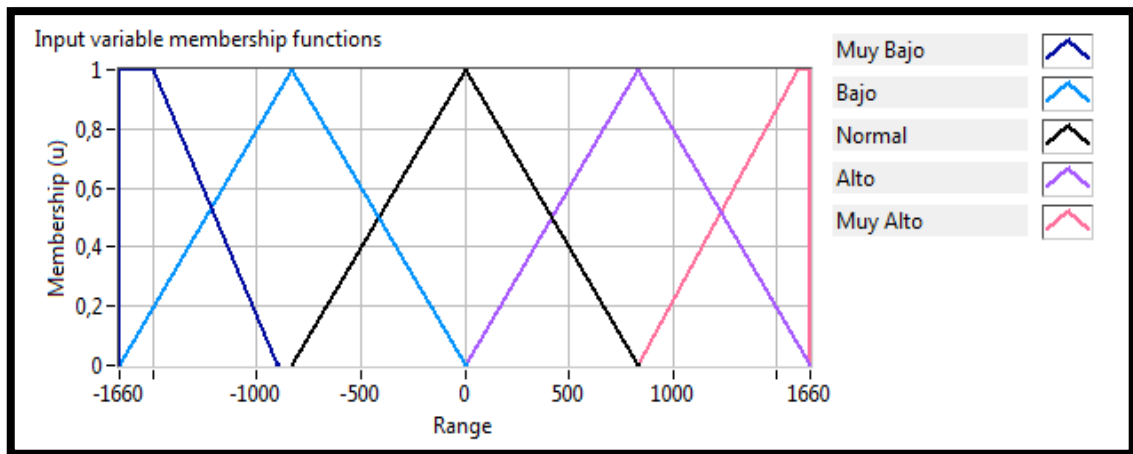


Figura 46-2: Funciones de Membresía de ERROR VELOCIDAD
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.7.3. Conjunto Difuso ERROR TEMPERATURA

2.7.3.1. Universo del Discurso

Al igual que el anterior para definir el rango que toma el universo del discurso del **ERROR TEMPERATURA** se basa en la temperatura máxima que es 100°C , por lo tanto, el rango queda establecido en ± 100 .

2.7.3.2. Términos Lingüísticos

Se designa cinco términos lingüísticos que son los mostrados en la tabla 16-2.

Tabla 16-2: Términos lingüísticos de ERROR TEMPERATURA

| Descripción | Muy Bajo | Bajo | Normal | Alto | Muy Alto |
|-------------|----------|------|--------|------|----------|
| Abreviatura | M_B | B | N | A | M_A |

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.7.3.3. Función de Membresía

Las funciones de membresía asignadas son trapezoidales en sus extremos y triangulares dentro del dominio.

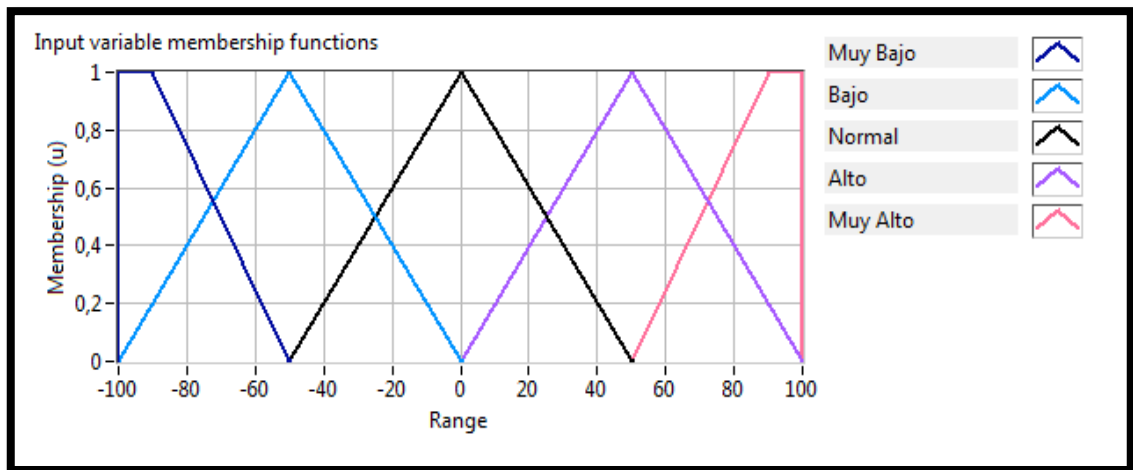


Figura 47-2: Funciones de Membresía de ERROR TEMPERATURA
 Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.7.4. Conjunto Difuso de la DERIVADA DEL ERROR VELOCIDAD

2.7.4.1. Universo del Discurso

Para establecer los valores límites del dominio del universo del discurso se lo realiza tomando el error velocidad +/- 1660 y dividirlo para el tiempo de muestreo que se establece en LabVIEW que es de 100 ms obteniendo de esta operación un dominio de +/- 16.6, pero se decide dejar en los límites +/-20 la velocidad de variación del error.

2.7.4.2. Términos Lingüísticos

Al igual que en el conjunto difuso del error velocidad también se asignan cinco términos lingüísticos a la derivada del error mostrados en la tabla 17-2.

Tabla 17-2: Términos lingüísticos de la DERIVADA DEL ERROR VELOCIDAD

| Descripción | Bajo Rápido | Baja Lento | Normal | Sube Lento | Sube Rápido |
|-------------|-------------|------------|--------|------------|-------------|
| Abreviatura | B_R | B_L | N | S_L | S_R |

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

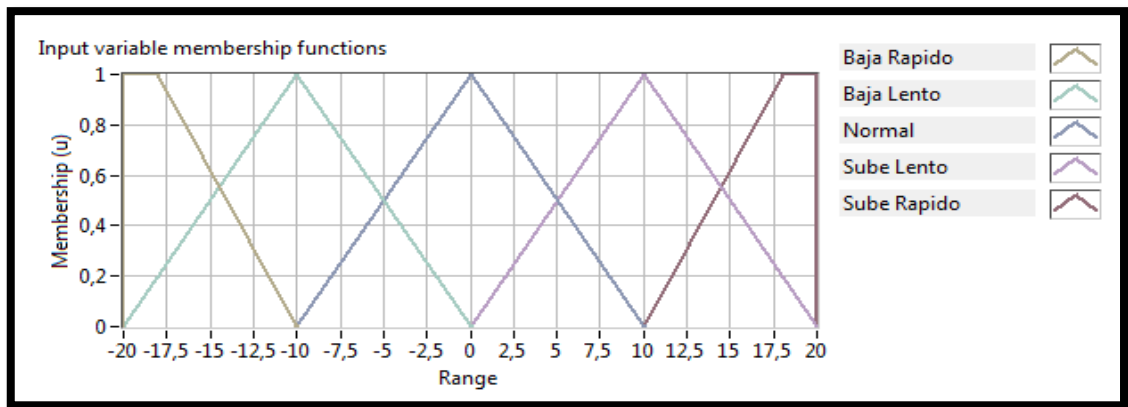


Figura 48-2: Funciones de membresía de la DERIVADA DEL ERROR VELOCIDAD
 Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.7.5. Conjunto Difuso de la DERIVADA DEL ERROR TEMPERATURA

2.7.5.1. Universo del Discurso

Para establecer el rango se parte del máximo y mínimo error que pueda existir +/-100 y dividido para el tiempo de muestro que es de 100 ms dando como resultado un universo del discurso de +/-1.

2.7.5.2. Términos Lingüísticos

Los términos lingüísticos asignados son cinco, expresados dentro de la tabla 18-2.

Tabla 18-2: Términos lingüísticos de la DERIVADA DEL ERROR TEMPERATURA

| Descripción | Bajo Rápido | Baja Lento | Normal | Sube Lento | Sube Rápido |
|-------------|-------------|------------|--------|------------|-------------|
| Abreviatura | B_R | B_L | N | S_L | S_R |

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

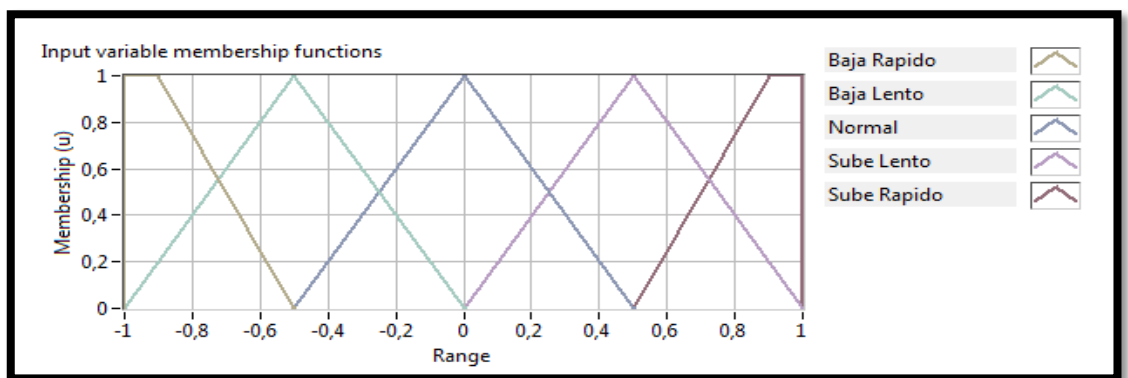


Figura 49-2: Funciones de Membresía de la DERIVADA DEL ERROR TEMPERATURA
 Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.7.6. Definición de las Variables de SALIDA

Para el caso del Mezclador la variable que se manipula es el voltaje de 0-10v entregado por el módulo de salidas analógicas que se conecta al variador de frecuencia.

En el Evaporador Eléctrico la variable que se manipula es el voltaje de salida del PLC que entrega hacia los relés mediante modulación por ancho de pulso “PWM” en una escala de (0-100%).

2.7.6.1. Universo del Discurso

Para lograr establecer el dominio se realiza diversas pruebas hasta lograr estabilizar el sistema, el mejor resultado fue en un rango de +/- 10, ya que al aumentar este valor el sistema tiene un sobre impulso, y en el caso de ser menor el sistema reacciona mucho más lento; el resultado es el mismo en ambos equipos.

2.7.6.2. Términos Lingüísticos.

Dentro del conjunto salida se implementan siete términos lingüísticos con la finalidad de afinar la acción de control en el Mezclador y Evaporador Eléctrico como se indica en la tabla 19-2.

Tabla 19-2: Términos lingüísticos de la SALIDA

| | | | | | | |
|------------------|-------------|-------|----------|-------|--------------|------------------|
| Bajar Muy Rápido | Baja Rápido | Bajar | Mantener | Subir | Subir Rápido | Subir Muy Rápido |
| B_M_R | B_R | B | M | S | S_R | S_M_R |

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.7.6.3. Función de Membresía

Se utiliza el mismo concepto de las entradas en la definición de las funciones de membresía a la salida, trapezoidales y triangulares.

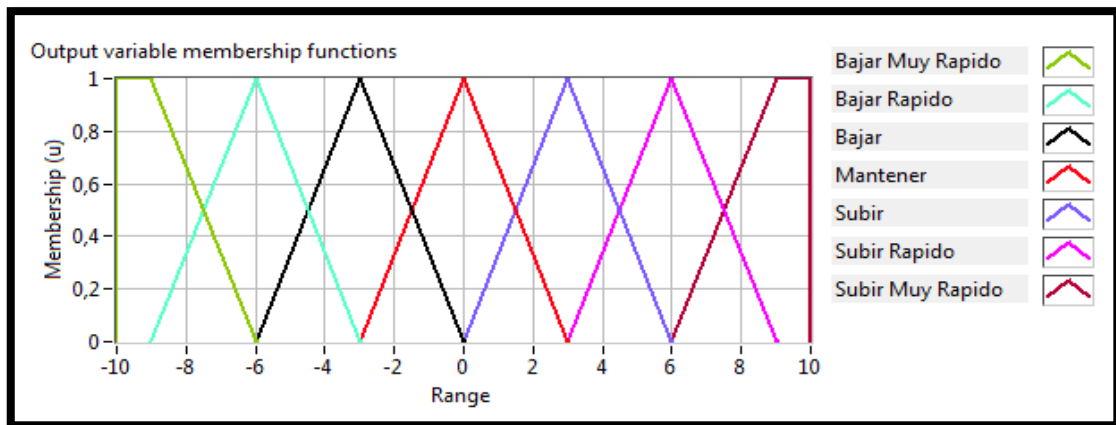


Figura 50-2: Funciones de Membresía de la SALIDA
 Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.7.7. *Elaboración de las Reglas Difusas*

La elaboración de las reglas se las realiza mediante el algoritmo de Mamdani donde los estados de las entradas proporcionan las condiciones en la variable de salida.

- e+: cuando el valor del Set-Point es mayor que el valor retroalimentado.
- e-: cuando el valor del Set-Point es menor que el valor retroalimentado.
- de+: cuando el error actual es mayor que el anterior, se tiene una pendiente negativa.
- de-: cuando el error actual es menor que el anterior, se tiene una pendiente positiva.

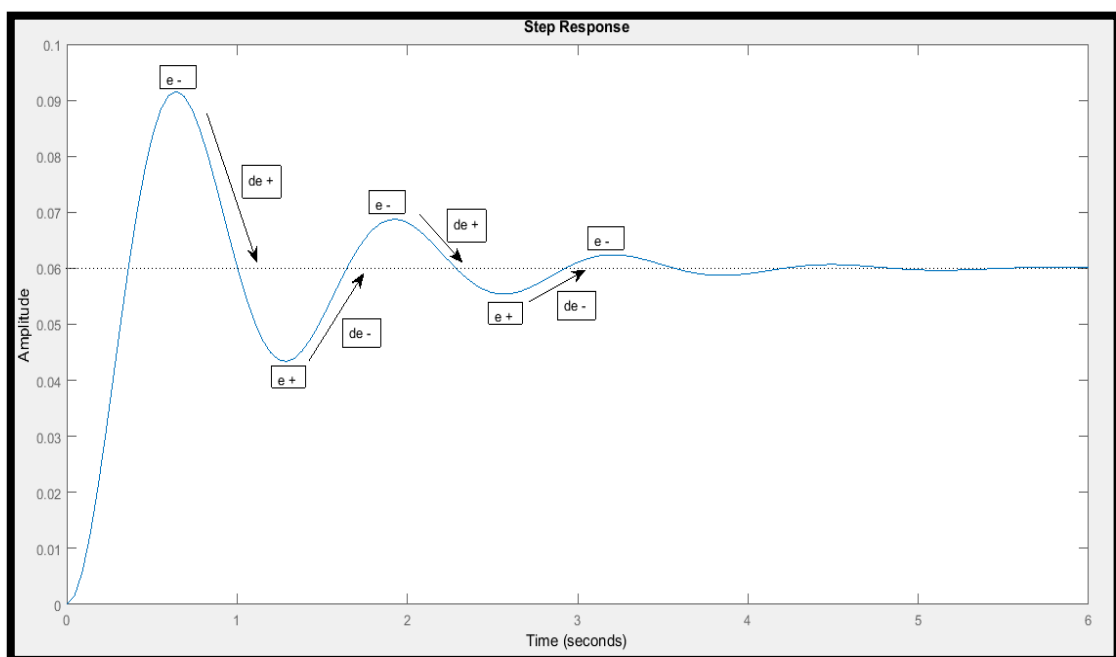


Figura 51-2: Análisis del Comportamiento de la Respuesta a la Salida del Controlador
 Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

IF “Error temperatura” **IS** “Muy Bajo” **AND** “Velocidad de Variación” **IS** “Bajo Rápido” **THEN** “Salida” **IS** “Bajar Muy Rápido”.

Para establecer el total de las reglas a utilizar se hace referencia de la siguiente ecuación.

Términos Lingüísticos ^ Entradas * Salida

$$5^2 * 1 = 25 \text{ Reglas Lingüísticas}$$

2.7.8. Reglas Mamdani Mezclador

Tabla 20-2: Reglas Mamdani Mezclador.

| Reglas Control | Derivada del Error de la velocidad | | | | | |
|-----------------|------------------------------------|-------|-------|-----|-------|-------|
| | | B_R | B_L | N | S_L | S_R |
| Error Velocidad | M_B | B_M_R | B_M_R | B_R | B | M |
| | B | B_M_R | B_R | B | M | S |
| | N | B_R | B | M | S | S_R |
| | A | B | M | S | S_R | S_M_R |
| | M_A | M | S | S_R | S_M_R | S_M_R |

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.7.9. Reglas Mamdani Evaporador Eléctrico

Tabla 21-2: Reglas Mamdani Evaporador Eléctrico.

| Reglas Control | Derivada del Error de la Temperatura | | | | | |
|-------------------|--------------------------------------|-------|-------|-----|-------|-------|
| | | B_R | B_L | N | S_L | S_R |
| Error Temperatura | M_B | B_M_R | B_M_R | B_R | B | M |
| | B | B_M_R | B_R | B | M | S |
| | N | B_R | B | M | S | S_R |
| | A | B | M | S | S_R | S_M_R |
| | M_A | M | S | S_R | S_M_R | S_M_R |

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.7.10. Ejemplo del desarrollo de un controlador Difuso

2.7.10.1. Proceso de Fuzzificación:

El proceso de fuzzificación es llevado a cabo cuando se tiene un valor crisp a la entrada, por ejemplo: en la temperatura, el error marca un valor de 47°C y la velocidad de variación es de 0.45 siendo estos los valores crisp, y para llevarlos a valores difusos se realiza lo siguiente:

- Mediante la fórmula de la pendiente, y la fórmula punto pendiente se asigna un grado de membresía a los términos lingüísticos “Normal” y “Alto” para la entrada **ERROR**.

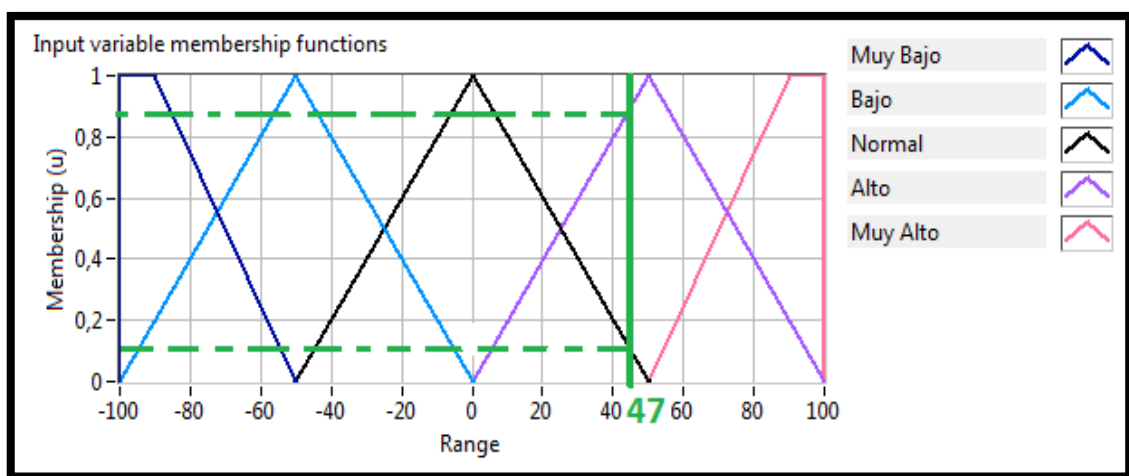


Figura 52-2: Valor crisp para la entrada ERROR

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

Para hallar el grado de membresía en el término lingüístico “Normal”.

Fórmula de la pendiente:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

Dónde:

m = Pendiente.

(x_1, y_1) = Coordenadas del punto.

$$p_1 = (0,1); p_2 = (50,0)$$

$$m = \frac{0 - 1}{50 - 0} = \frac{-1}{50} = -0.02$$

Fórmula punto pendiente:

$$y = m(x - x_1) + y_1$$

Dónde:

y = Grado de membresía.

m = Pendiente.

x = Valor crisp.

(x_1, y_1) = Coordenadas del punto.

$$y = -0.02(47 - 0) + 1 = \mathbf{0.06 \text{ valor de membresía}}$$

Para hallar el grado de membresía en el término lingüístico “Alto”.

Fórmula de la pendiente:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

Dónde:

m = Pendiente.

(x_1, y_1) = Coordenadas del punto.

$$p_1 = (0,0); p_2 = (50,1)$$

$$m = \frac{1 - 0}{50 - 0} = \frac{1}{50} = \mathbf{0.02}$$

Fórmula punto pendiente:

$$y = m(x - x_1) + y_1$$

Dónde:

y = Grado de membresía.

m = Pendiente.

x = Valor crisp.

(x_1, y_1) = Coordenadas del punto.

$$y = 0.02 (47 - 0) + 0 = \mathbf{0.94 \text{ valor de membresía}}$$

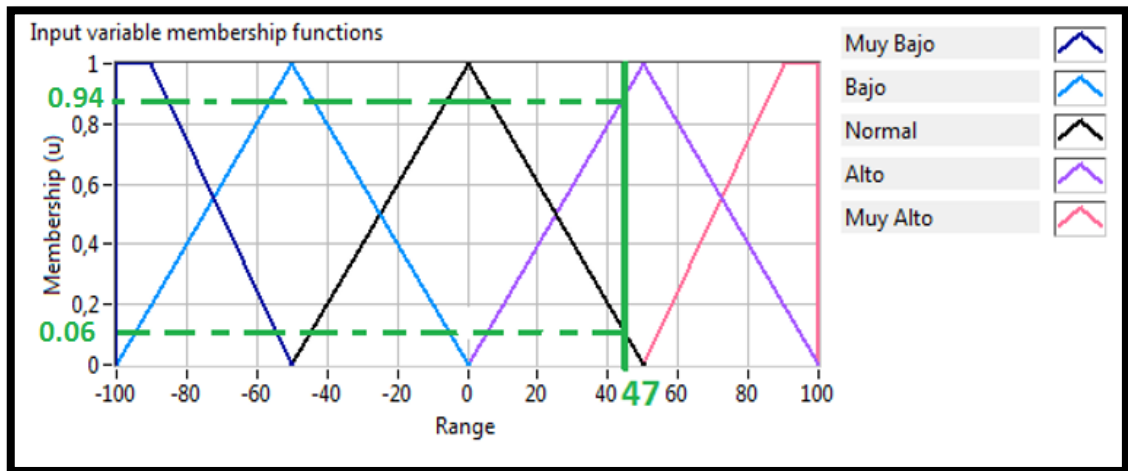


Figura 53-2: Grado de membresía para los términos lingüísticos “Normal” y “Alto”.
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

- Mediante la fórmula de la pendiente, y la fórmula punto pendiente se asigna un grado de membresía a los términos lingüísticos “Normal” y “Sube Lento” para la entrada **DERIVADA DEL ERROR**.

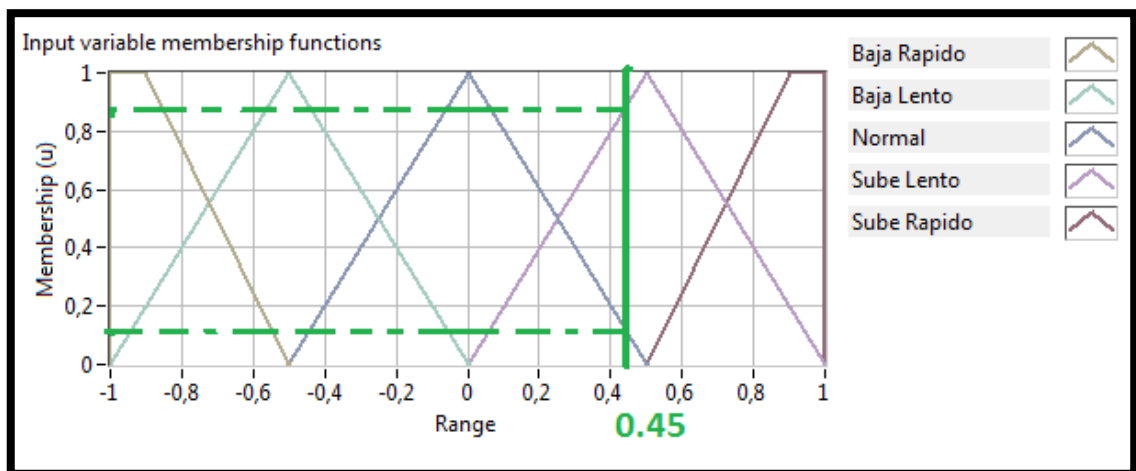


Figura 54-2: Valor crisp para la entrada DERIVADA DEL ERROR
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

Para hallar el grado de membresía en el término lingüístico “Normal”.

Fórmula de la pendiente:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

Dónde:

m = Pendiente.

(x_1, y_1) = Coordenadas del punto.

$$p_1 = (0,1); p_2 = (0.5,0)$$

$$m = \frac{0 - 1}{0.5 - 0} = \frac{-1}{0.5} = -2$$

Fórmula punto pendiente:

$$y = m(x - x_1) + y_1$$

Dónde:

y = Grado de membresía.

m = Pendiente.

x = Valor crisp.

(x_1, y_1) = Coordenadas del punto.

$$y = -2(0.45 - 0) + 1 = \mathbf{0.1 \text{ valor de membresía}}$$

Para hallar el grado de membresía en el término lingüístico “Sube Lento”.

Fórmula de la pendiente:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

Dónde:

m = Pendiente.

(x_1, y_1) = Coordenadas del punto.

$$p_1 = (0,0); p_2 = (0.5,1)$$

$$m = \frac{1 - 0}{0.5 - 0} = \frac{1}{0.5} = \mathbf{2}$$

Fórmula punto pendiente:

$$y = m(x - x_1) + y_1$$

Dónde:

y = Grado de membresía.

m = Pendiente.

x = Valor crisp.

(x_1, y_1) = Coordenadas del punto.

$$y = 2(0.45 - 0) + 0 = \mathbf{0.90 \text{ valor de membresía}}$$

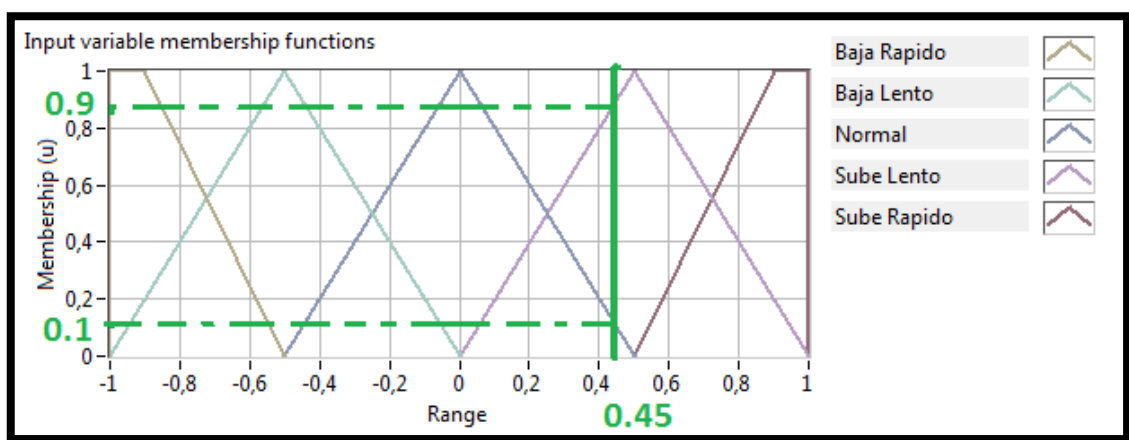


Figura 55-2: Grado de membresía para los términos lingüísticos “Normal” y “Sube Lento”
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.7.10.2. Base de Conocimiento

La base de conocimiento no es más que la asignación de las reglas, el comportamiento a la salida en función de las entradas, por lo tanto, se tiene:

Tabla 22-2: Base de conocimiento.

| Reglas Control | Derivada del Error de la Temperatura | | | | | |
|-------------------|--------------------------------------|-------|-------|-----|-------|-------|
| | | B_R | B_L | N | S_L | S_R |
| Error Temperatura | M_B | B_M_R | B_M_R | B_R | B | M |
| | B | B_M_R | B_R | B | M | S |
| | N | B_R | B | M | S | S_R |
| | A | B | M | S | S_R | S_M_R |
| | M_A | M | S | S_R | S_M_R | S_M_R |

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.7.10.3. Proceso de Inferencia

En la inferencia se realiza la toma de decisión en base al controlador de Mamdani con las instrucciones IF y THEN, y el operador AND que es la intersección entre los conjuntos difusos, que elige al mínimo de dos funciones de pertenencia.

La intersección entre conjuntos difusos estará definida matemáticamente de la siguiente manera:

$$\mu_{R \cap S}(x, y) = \min(\mu_R(x, y), \mu_S(x, y))$$

$$\mu_{R \cap S}(x, y) = \min(0.06, 0.1) = 0.06 \text{ Mantener}$$

$$\mu_{R \cap S}(x, y) = \min(0.06, 0.9) = 0.06 \text{ Subir}$$

$$\mu_{R \cap S}(x, y) = \min(0.94, 0.1) = 0.1 \text{ Subir}$$

$$\mu_{R \cap S}(x, y) = \min(0.94, 0.9) = 0.9 \text{ Subir Rápido}$$

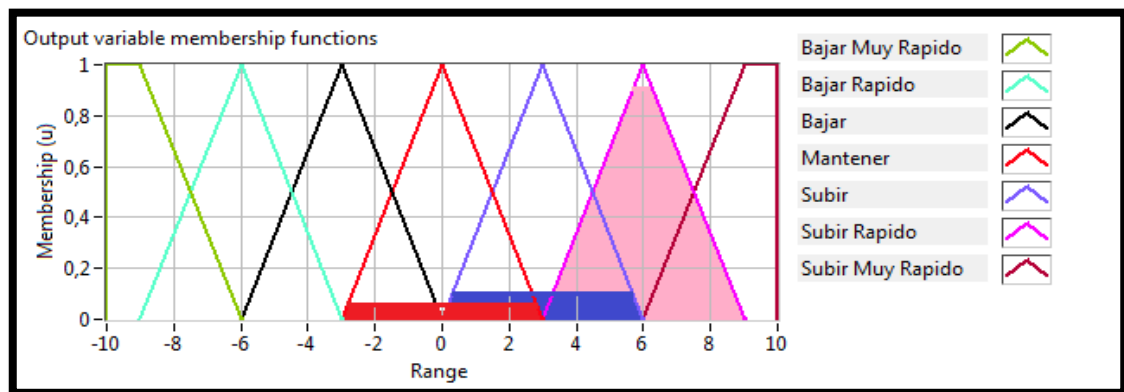


Figura 56-2: Proceso de inferencia

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.7.10.4. Proceso de Defuzzificación:

El método para encontrar el valor crisp en la defuzzificación se realiza mediante el centro de áreas, para mayor facilidad se recomienda al polígono irregular descomponer en triángulos y rectángulos, de manera independiente encontrar su centro, siendo; del triángulo 1/3 de sus catetos y para el rectángulo es el cruce de sus diagonales.

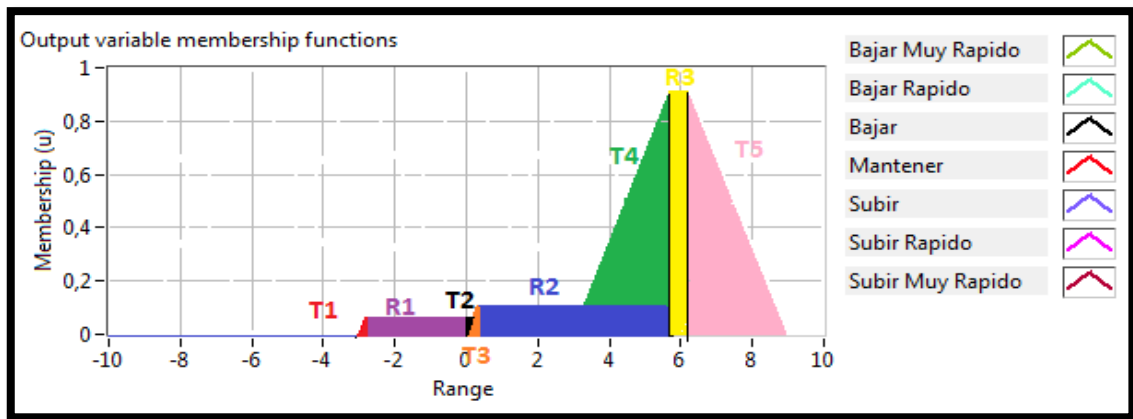


Figura 57-2: Proceso de defuzzificación
 Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

Tabla 23-2: Proceso de defuzzificación.

| Descripción T= Triángulo R= Rectángulo | Centro de Área T=(1/3)*b R= b/2 | Distancias al eje X (dn) | Area (An) T= (b*h)/2 R= b*h | Área *Distancias |
|--|---------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| T1 | -0.1 | -2.8 | 0.081 | -0.2268 |
| T2 | -0.13 | -0.13 | 0.006 | -0.0008 |
| T3 | 0.27 | 0.27 | 0.02 | 0.0054 |
| T4 | 1.47 | 4.77 | 0.88 | 4.20 |
| T5 | 0.83 | 7.33 | 1.23 | 9.5 |
| R1 | -1.25 | -1.45 | 0.15 | -0.22 |
| R2 | 1.45 | 1.83 | 0.29 | 0.53 |
| R3 | 0.5 | 6 | 0.9 | 5.4 |
| | | | 3.56 | 19.0548 |

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

$$z = \frac{(A1 * d1) + (A2 * d2) + \dots + (An * dn)}{A_t}$$

$$z = \frac{(0.081 * -2.8) + (0.006 * -0.13) + \dots + (0.9 * 6)}{3.56} = \frac{19.0548}{3.56}$$

$$= 5.35 \text{ valor Crisp de salida}$$

Mediante LabVIEW se comprueba el resultado, que obtiene un pequeño porcentaje de variación, debido al redondeo de los decimales.

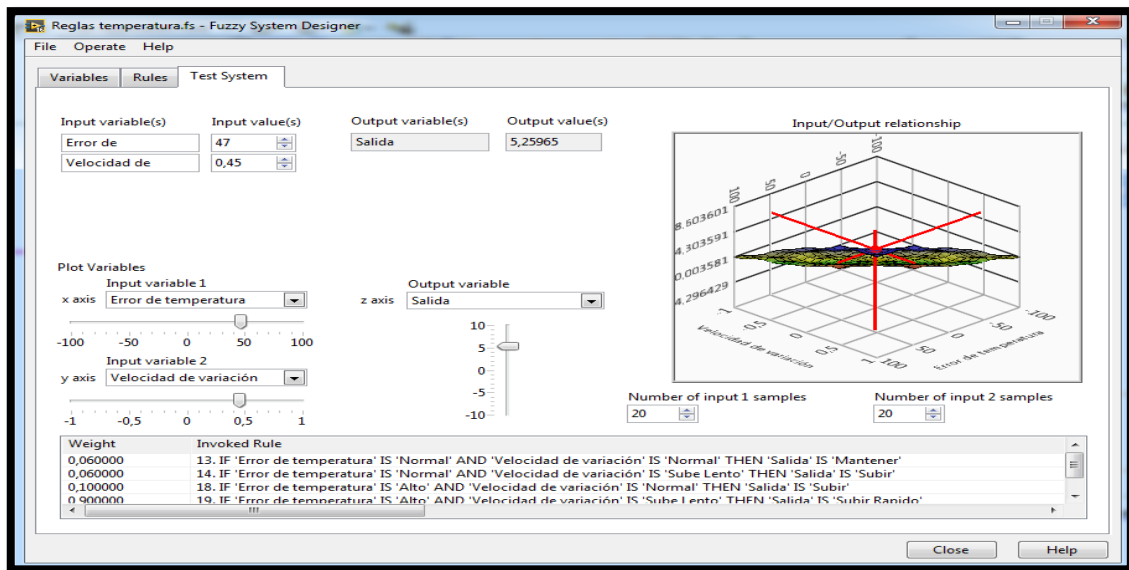


Figura 58-2: Comprobación del resultado en LabVIEW
 Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.7.11. Desarrollo del Controlador Difuso en LabVIEW

Para el desarrollo del controlador, los conjuntos difusos y las reglas se realiza dentro del software LabVIEW con la herramienta Fuzzy System Designer.

Para utilizar esta herramienta es necesario dirigirse dentro del diagrama de bloques del sistema a la pestaña Tools, seguido de Control and Simulation y por último elegir Fuzzy System Designer como se muestra en la figura 59-2.

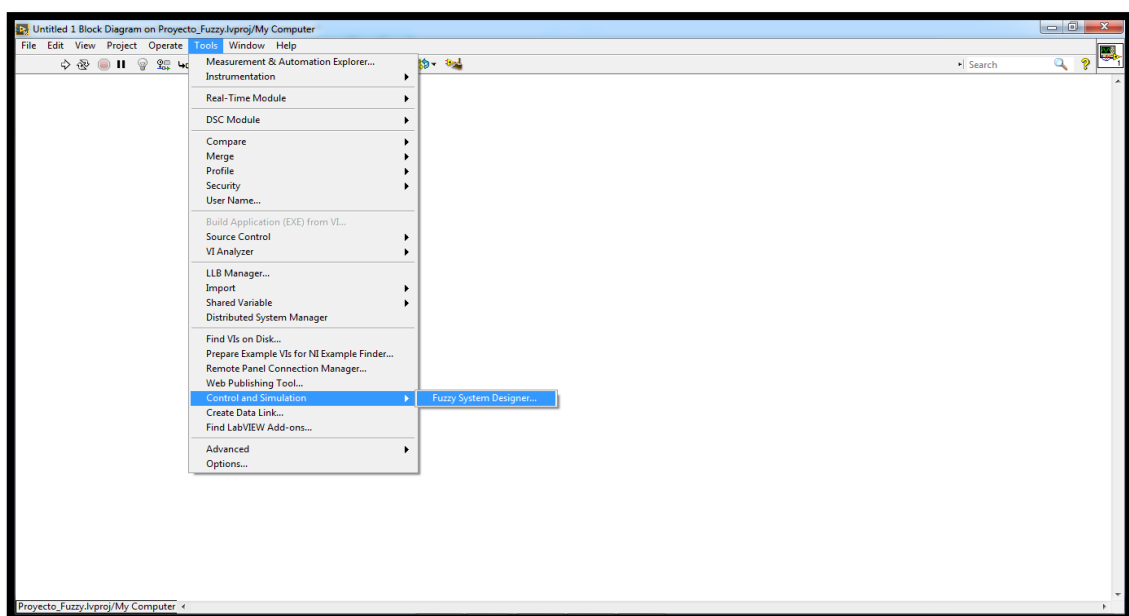


Figura 59-2: Herramienta Fuzzy System Designer.
 Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.7.11.1. Configuración de las Entradas y Salidas del Controlador Difuso

➤ Configuración del Conjunto Difuso del Error

Este conjunto difuso es una de las entradas del controlador, se empieza por elegir un nombre en el caso del Mezclador se elige el nombre “error velocidad” y para el Evaporador “error temperatura”, seguido de los límites definidos en el apartado anterior y se finaliza con las funciones de membresía ya descritas para cada uno de los conjuntos.

➤ Configuración del Conjunto Difuso de la Derivada del Error

Esta es la segunda entrada que recibe el controlador, los parámetros a configurar son los mismos del error.

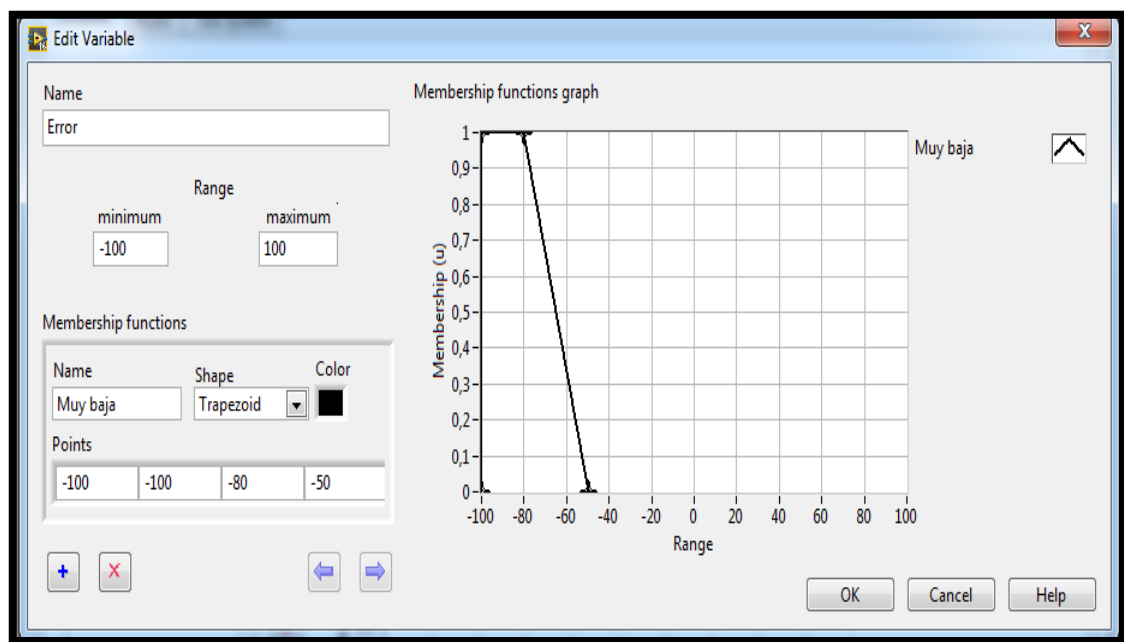


Figura 60-2: Configuración del Conjunto Difuso del Error

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

➤ Configuración de las Salidas del Controlador Difuso

La configuración de las salidas es igual que las entradas, con la diferencia que se elige un total de siete funciones de membresía.

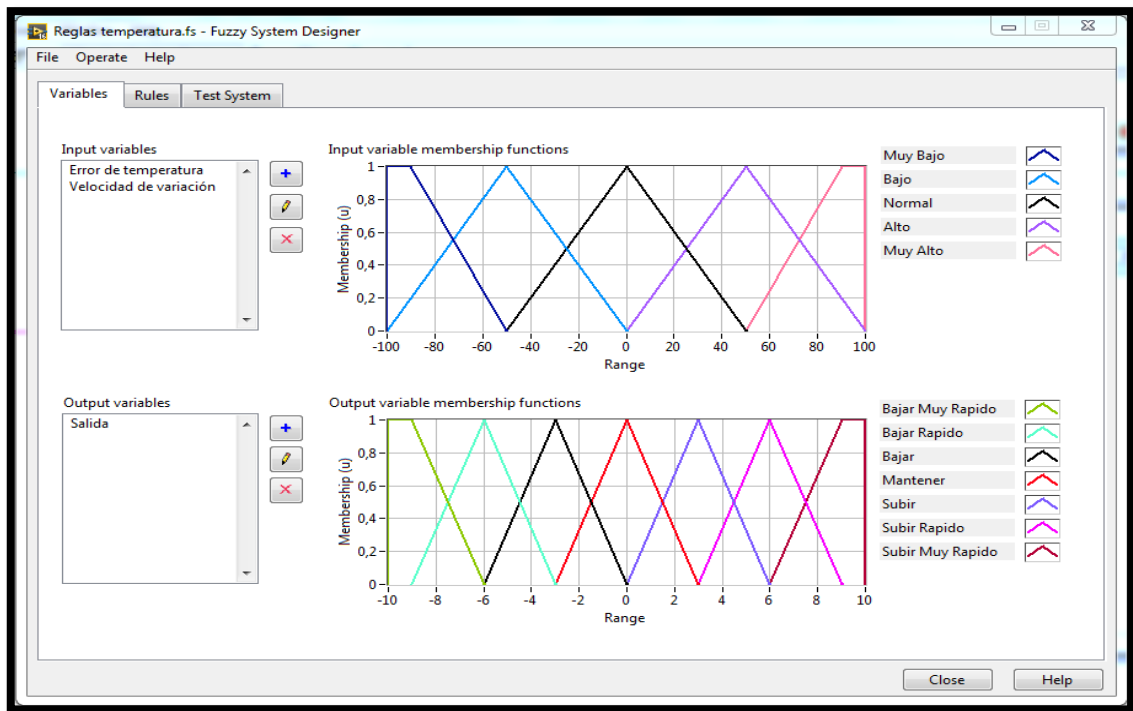


Figura 61-2: Configuración de las Salidas del Controlador Difuso
 Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.7.11.2. Configuración de las Reglas del Controlador Difuso

La asignación de reglas se la realiza en la pestaña Rules, en función de las entradas Error y Derivada del Error unidas por un conector AND y eligiendo los términos lingüísticos estas representan el comportamiento en la salida del controlador, se elabora un total de 25 reglas para el Mezclador y 25 reglas para el Evaporador Eléctrico.

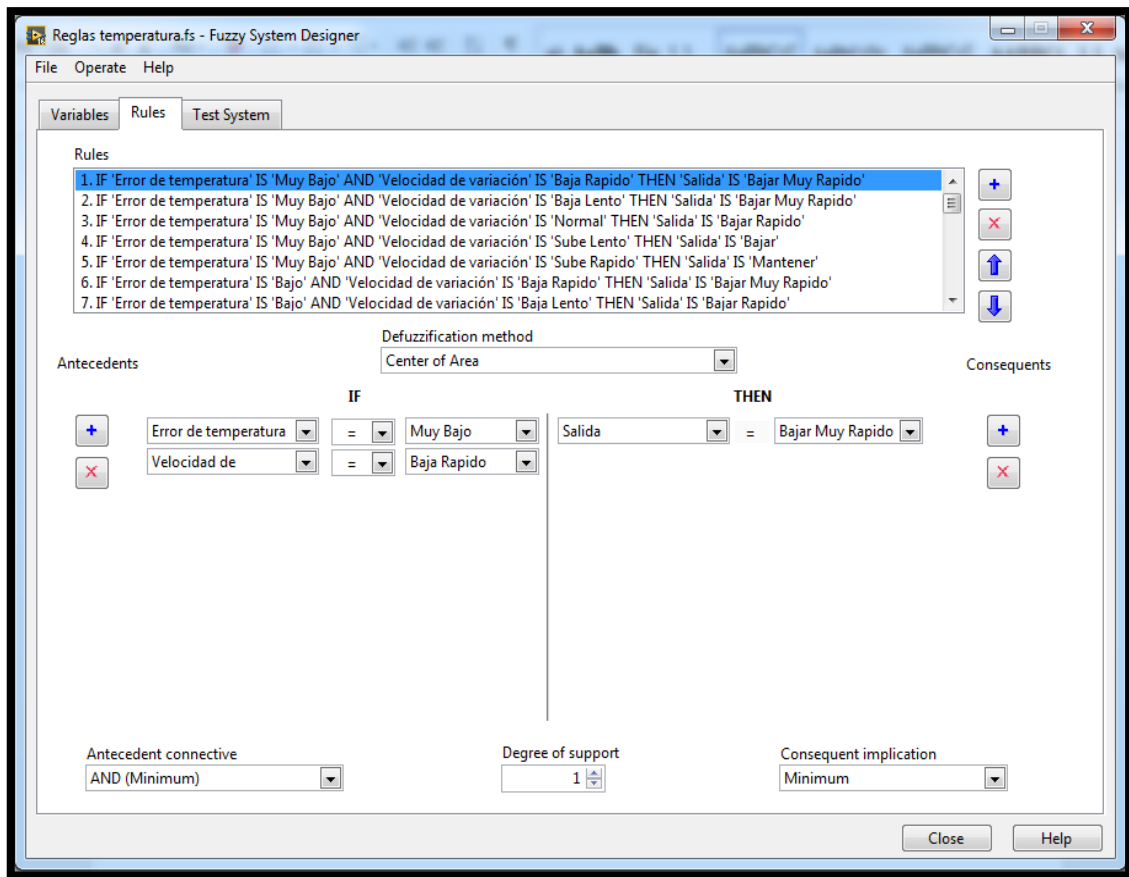


Figura 62-2: Configuración de las Reglas del Controlador Difuso
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.7.11.3. Test del Controlador Difuso

Ya establecidas la base de conocimiento del controlador difuso se puede realizar un test del comportamiento de la variable salida, únicamente dirigiéndose a la pestaña Test System.

La prueba se realiza, en el caso de que el error de temperatura es cero y la velocidad de variación del error sea también cero, el sistema debe estar estabilizado, y como se puede observar en la figura 63-2, la salida del controlador tiene un valor de cero lo que indica que el sistema se encuentra estable.

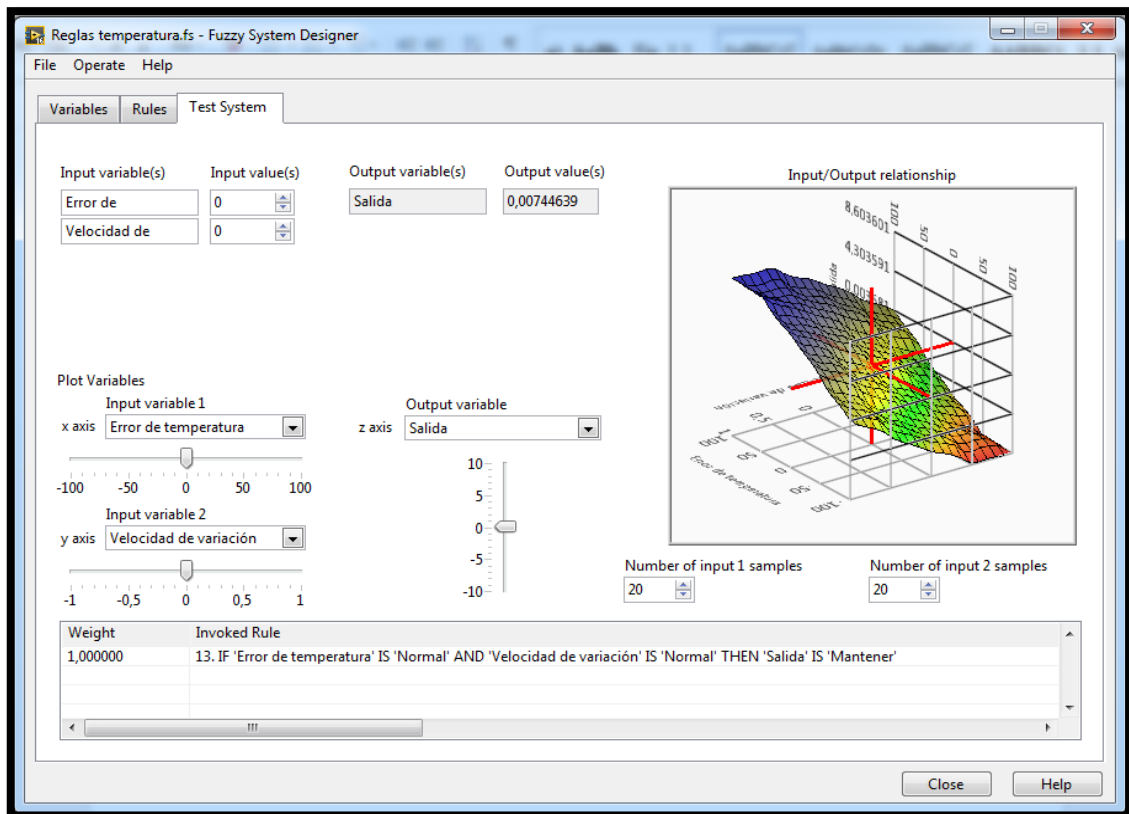


Figura 63-2: Test del Controlador Difuso
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

Una vez realizadas las pruebas se comprueba que el controlador responde de manera eficiente a las posibles entradas que pueda tener, se procede a guardar los archivos para realizar el diseño del controlador adquiriendo las señales desde el PLC.

2.7.11.4. Desarrollo de la Interfaz Grafica

La interfaz cuenta con seis pestañas; la primera es la portada donde se describe a los autores del proyecto y el tema de trabajo de titulación el usuario debe como primera instancia dar clic al botón conexión para poder entablar la comunicación con los equipos. La segunda pestaña Evaporador Eléctrico, donde se puede controlar a este equipo ingresando la temperatura deseada, además se observa la animación del equipo que da referencia si se encuentra funcionando. La tercera pestaña se observa en tiempo real el comportamiento de la planta. La cuarta pestaña contiene al Mezclador donde también se puede setear los valores deseados de las revoluciones, observar el comportamiento de la planta dirigiéndose hacia la quinta pestaña. Por último, se encuentra la pestaña Instrucciones, da referencia de como es el procedimiento para la utilización del SCADA.

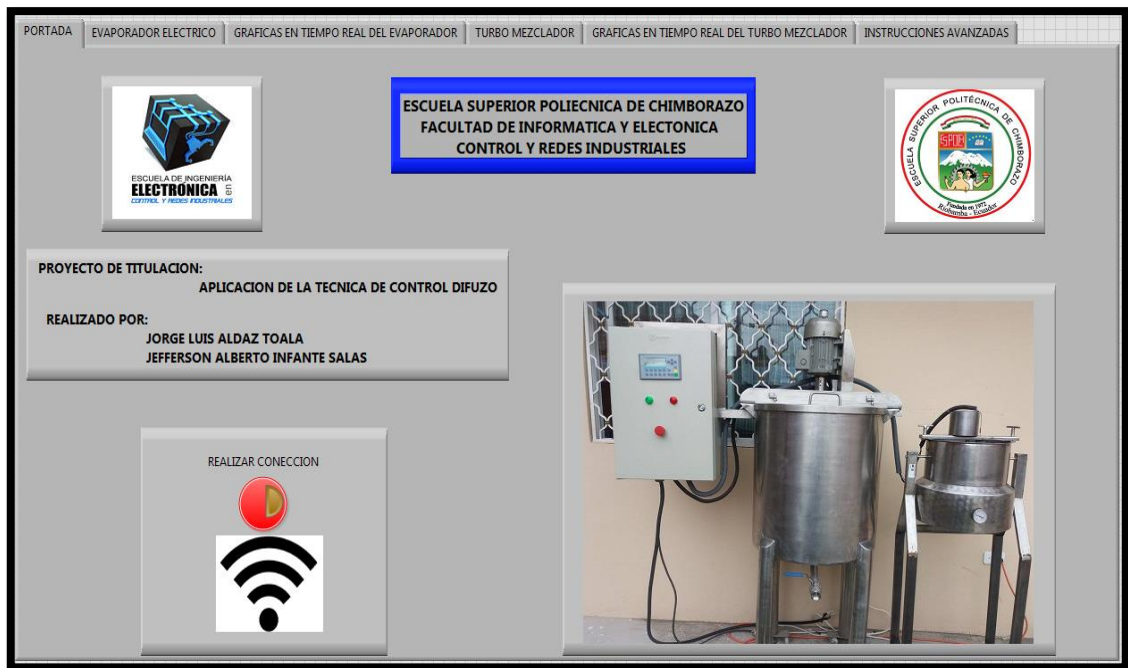


Figura 64-2: Desarrollo de la Interfaz Gráfica
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

2.7.11.5. Programación de la Interfaz Grafica

En primera instancia se asignan los bloques **Strip Patch**, **Build Patch** para dar la dirección del archivo donde se encuentran contenidas las reglas de la Velocidad y Temperatura. Seguido del bloque **FL Load Fuzzy System** que carga el archivo borroso ya sea de las reglas de temperatura o velocidad que anteriormente se guardó con la extensión. Fs.

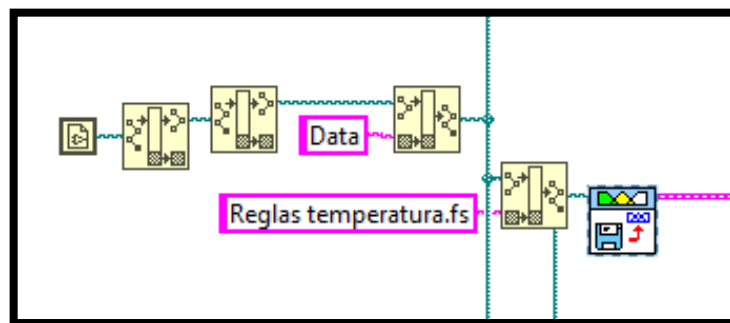


Figura 65-2: Cargar Archivo de Reglas
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

Una vez que se tiene cargada la información completa del sistema difuso se añade un **Timed Loop**, por separado para realizar el control de cada equipo. Ya que este bloque ejecuta cuadros secuencialmente cada iteración del bucle en un período especificado. Dentro del bloque se procede con la lectura del Set Point y el valor entregado por el sensor, que puede ser del encoder óptico para el caso del mezclador o la termocupla para el evaporador eléctrico.

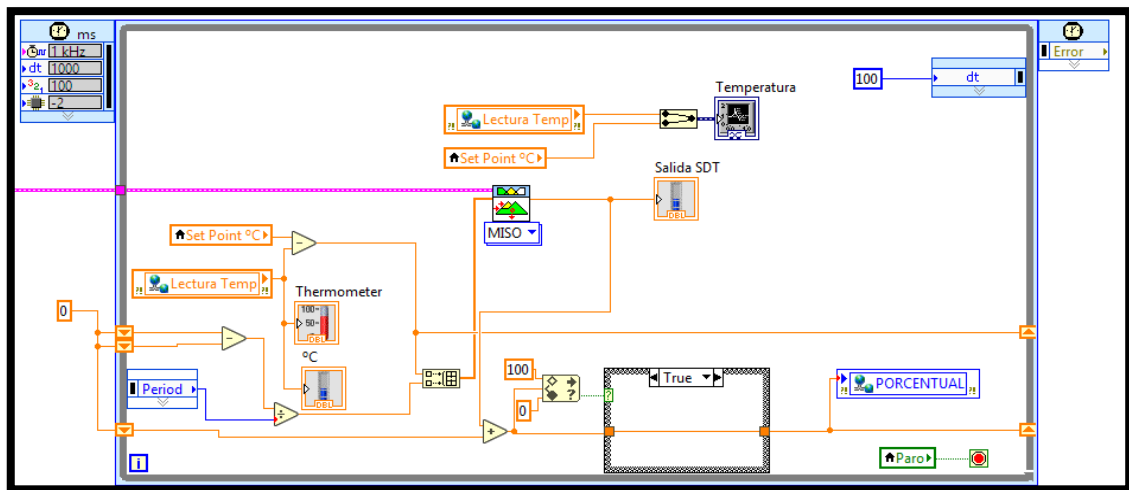


Figura 66-2: Programación Fuzzy de la Temperatura
 Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

El valor del error que es la diferencia entre el Set-Point y el valor entregado por el sensor, se agregó la derivada del error, estas se encuentran unida mediante un **Build Array**, siendo la salida que entra al bloque **FL fuzzy Controller (MISO)**, junto al archivo de reglas, por esta razón se escogió un sistema MISO ya que es de múltiples entradas y una salida.

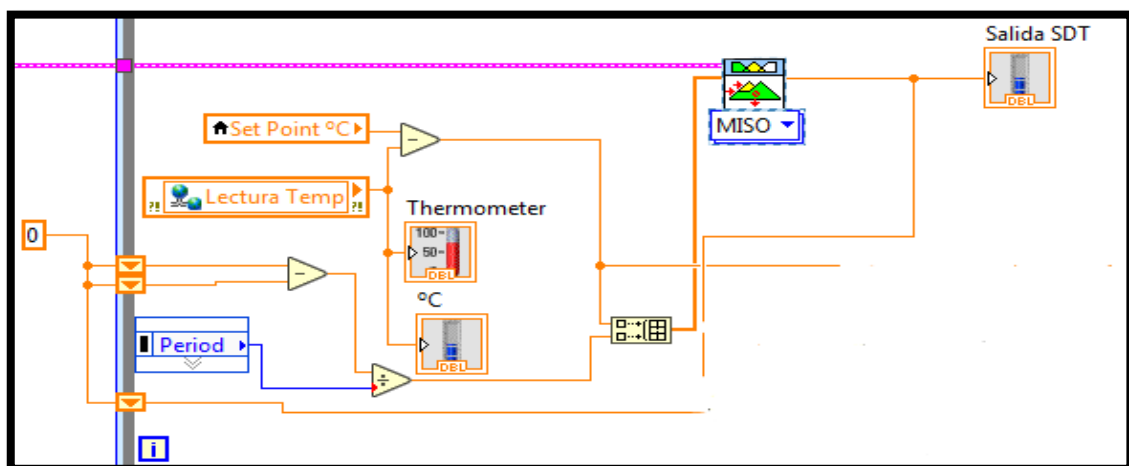


Figura 67-2: Variable Error y Variación del Error
 Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

En el control de temperatura, el programa que se encuentra en el PLC es de modulación por ancho de pulso PWM, espera recibir valores en (0-100%); se añade un bloque para limitar estos valores y evitar salirse del rango, ya que se pierde el control sobre la planta. Utilizando una estructura **Case**, de ser verdadero quiere decir que pasa el valor comprendido entre 0 y 100. En el caso de ser falso se activa la instrucción **Select** que al ser un valor negativo únicamente pasara el valor de cero y con un valor mayor a 100 únicamente pasara el valor de 100. Se realiza el mismo procedimiento en el control de velocidad en el Mezclador.

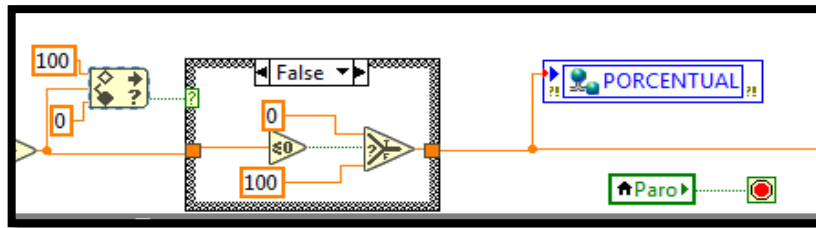


Figura 68-2: Restricción de Valores
 Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

Siendo este valor de salida que se escribe en la memoria “Porcentual” en el caso de la temperatura, realizando el control de la potencia entregada a las resistencias eléctricas. Para el caso de velocidad la memoria donde se escribe el valor defuzzificado es “RPM” entrega un valor entre 0 y 1660 que es la velocidad máxima a la que puede girar el motor.

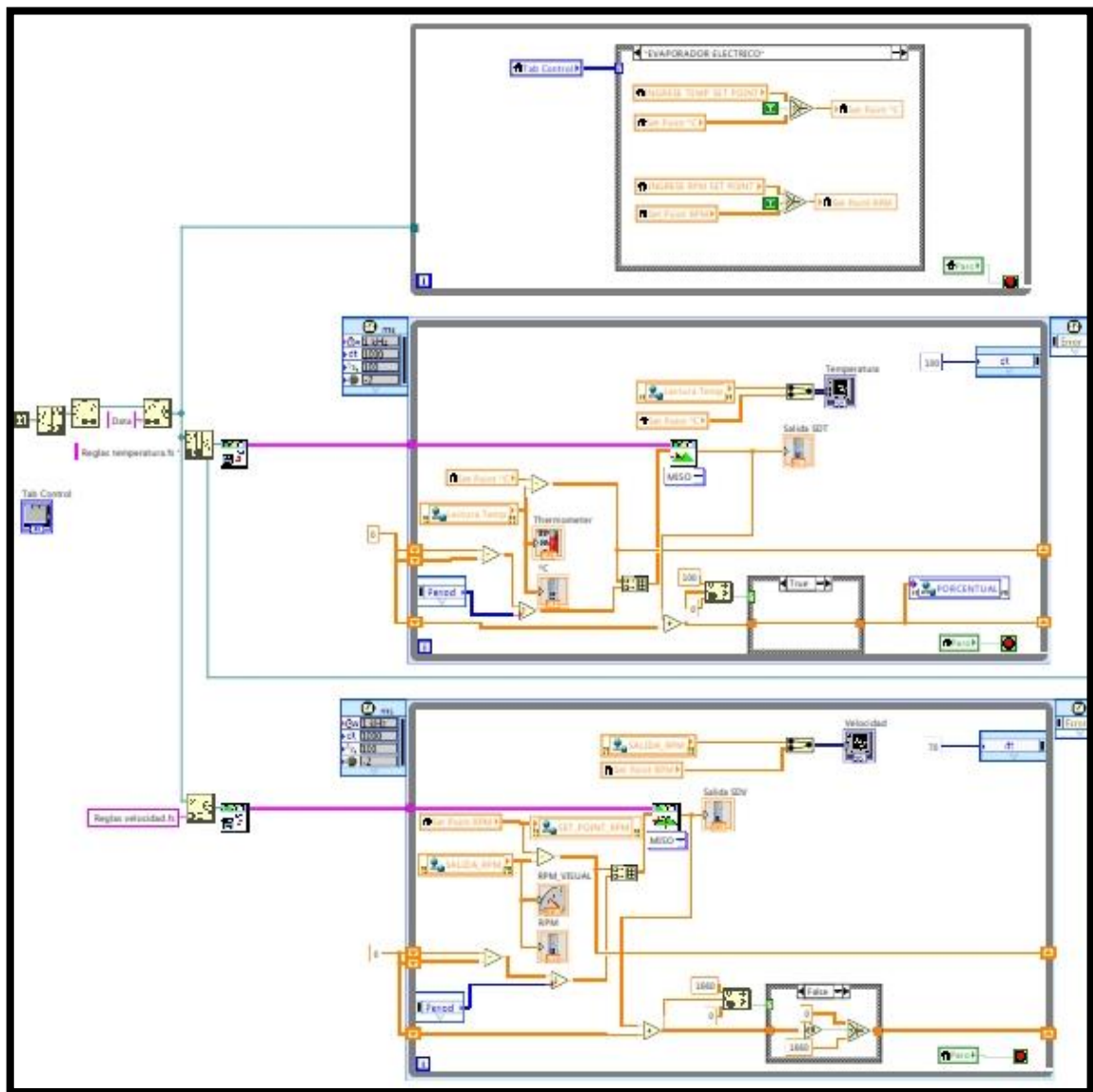


Figura 69-2: Programa Temperatura y Velocidad
 Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

CAPITULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el presente capítulo se detallan las pruebas realizadas a ambos equipos en diferentes condiciones, y la manera cómo reacciona el controlador difuso. Los datos fueron recogidos cuando el sistema se encontraba en estado estacionario con un total de 200 datos que se exportaron desde el waveform charts a Excel.

3.1. Pruebas en el Mezclador

3.1.1. Prueba Realizada en Vacío con Set-Point 1200 RPM

Esta prueba se realizó llevando al motor a un valor de 1200 revoluciones, para analizar el tiempo que tarda en alcanzar el valor de Setpoint.

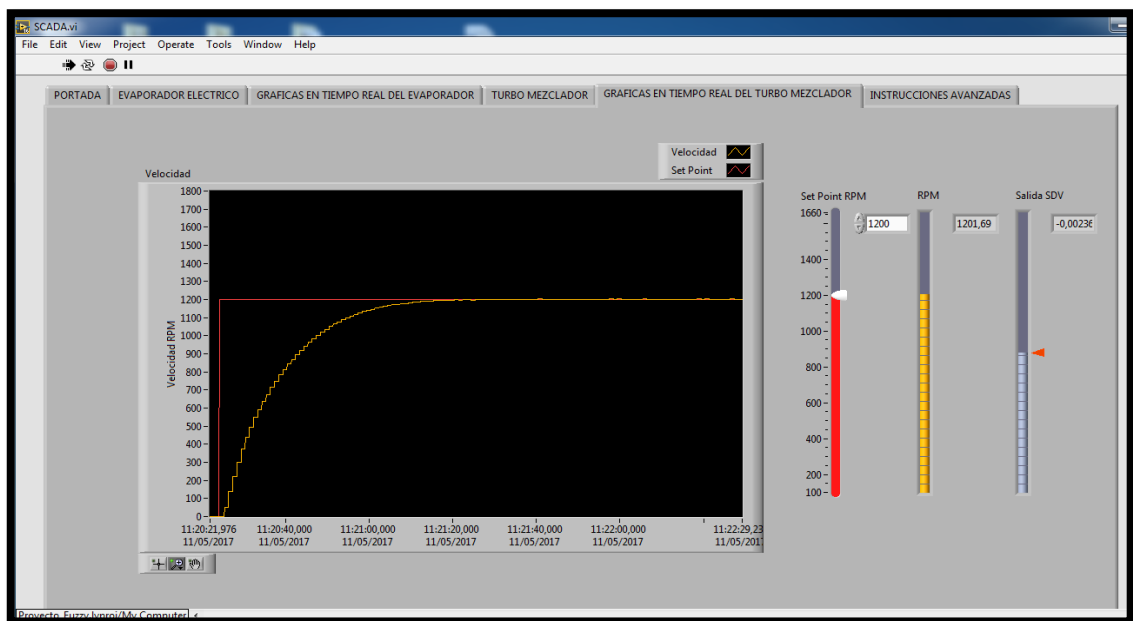


Figura 1-3: Pruebas del Mezclador Realizadas en Vacío
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

- Setpoint 1200 rpm.
- Tiempo en estabilizarse 60 segundos
- Se procede a calcular la media aritmética de la toma de datos, siendo esta el promedio de los datos analizados.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N (f_i * X_j)}{N}$$

Dónde:

\bar{X} = Media Aritmética.

X_j = Valor Medido.

f_i = frecuencias

N = Numero de datos.

$$\bar{X} = \frac{33544 + 50358 + 66000 + 51643 + 38464}{200} = \frac{240009}{200} = \mathbf{1200.045}$$

- Se realizó la dispersión de los datos, siendo esta la diferencia que existe entre el valor medido y la media aritmética:

$$D_i = |X_j - \bar{X}|$$

Dónde:

D_i = Desviación Respecto a la Media.

\bar{X} = Media Aritmética.

X_j = Valor Medido.

$$D_i = 1201 - 1200.045 = \mathbf{0.955}$$

Se realiza el mismo procedimiento para el resto de datos.

Tabla 1-3: Datos de las pruebas del Mezclador Realizadas en Vacío

| Frecuencias de los valores Medidos (f_i) | Valor Medido (X_j) | Frecuencia* valor medido ($f_i * X_j$) | Media Aritmética (\bar{X}) | Desviación Respecto a la Media. (D_i) |
|--|------------------------|--|--------------------------------|---|
| 28 | 1198 | 33544 | 1200.045 | 2.045 |
| 42 | 1199 | 50358 | 1200.045 | 1.045 |
| 55 | 1200 | 66000 | 1200.045 | 0.045 |
| 43 | 1201 | 51643 | 1200.045 | 0.955 |
| 32 | 1202 | 38464 | 1200.045 | 1.955 |
| 200 | | 240009 | | 6.045 |

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

Con los resultados obtenidos podemos calcular la Imprecisión absoluta como relativa.

➤ **Imprecisión Absoluta:**

$$E_a = \frac{\sum_{i=1}^n |X_j - \bar{X}|}{N}$$

Dónde:

E_a = Imprecisión Absoluta.

N = Número de datos.

$$E_a = \frac{6.045}{200} = \pm 0.030 \text{ RPM}$$

➤ **Imprecisión Relativa:**

$$E_r = \frac{E_a}{\bar{X}} * 100\%$$

Dónde:

E_r = Imprecisión Relativa.

E_a = Imprecisión Absoluta.

\bar{X} = Media Aritmética.

$$E_r = \frac{0.030}{1200.045} * 100\% = 0.0025 \%$$

Tomando en cuenta el error en régimen permanente o error en estado estacionario corresponde de 2% al 5%. El error es aceptable para este controlador difuso en el valor de Set-Point.

3.1.2 *Prueba realizada con carga y Set-Point en aumento*

Debido a que no se necesita el máximo de las revoluciones del motor se estableció un rango de 0 a 200 rpm ya que dado el caso en que fuera más se tendrían agitaciones bruscas por lo que se derramaría el producto. La cantidad máxima de producto a realizar es de 40 litros.

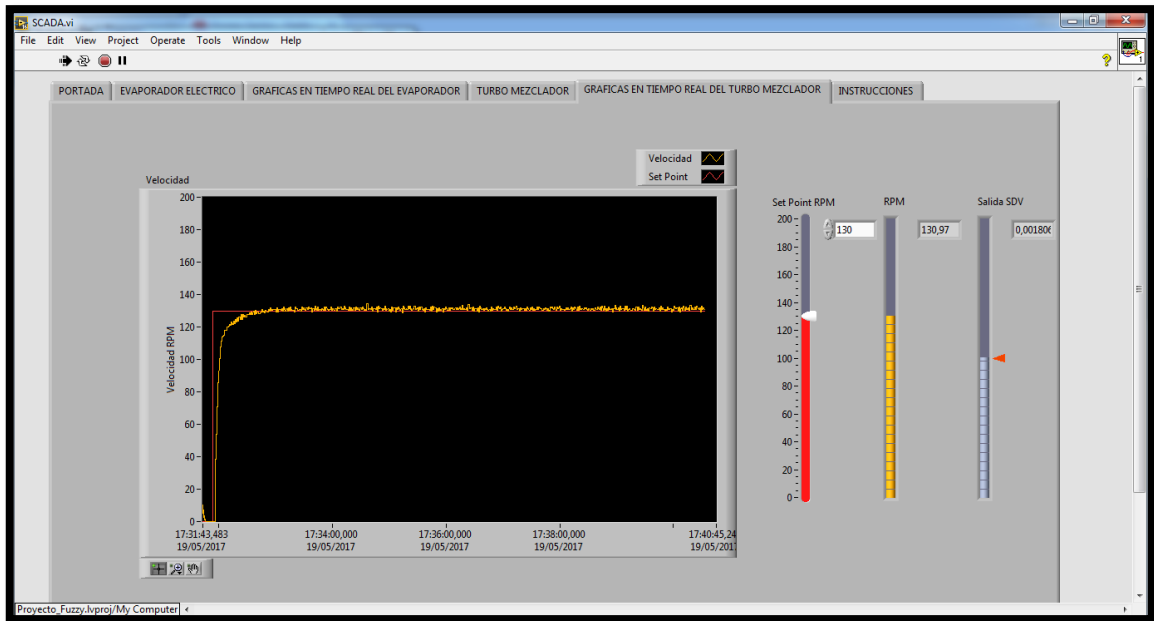


Figura 2-3: Grafica de pruebas del Mezclador realizadas con carga
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

- Setpoint 130 rpm.
- Tiempo en estabilizarse 90 segundos
- Se procede a calcular la media aritmética de la toma de datos, siendo esta el promedio total de datos analizados.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N (f_i * X_j)}{N}$$

Dónde:

\bar{X} = Media Aritmética.

X_j = Valor Medido.

f_i = Frecuencias

N = Numero de datos.

$$\bar{X} = \frac{1288 + 909.30 + 1440.67 + 4997.00 + 5688.90 + 5569.20 + 6507.20}{200} = \frac{26400.27}{200}$$

$$= \mathbf{132.0014}$$

- Se realizó la dispersión de los datos, siendo esta la diferencia que existe entre la media aritmética y el valor medido:

$$D_i = |X_j - \bar{X}|$$

Dónde:

D_i = Desviación Respecto a la Media.

\bar{X} = Media Aritmética.

X_j = Valor Medido.

$$D_i = 132.8 - 132.0014 = \mathbf{0.8}$$

Se realiza el mismo procedimiento para el resto de datos.

Tabla 2-3: Prueba realizada con carga y Set-Point en aumento

| Frecuencias de los valores Medidos (f_i) | Valor Medido (X_j) | Frecuencia* valor medido ($f_i * X_j$) | Media Aritmética (\bar{X}) | Desviación Respecto a la Media. (D_i) |
|--|------------------------|--|--------------------------------|---|
| 10 | 128.8 | 1288 | 132.0014 | 3.20 |
| 7 | 129.9 | 909.30 | 132.0014 | 2.10 |
| 11 | 130.97 | 1440.67 | 132.0014 | 1.03 |
| 38 | 131.5 | 4997.00 | 132.0014 | 0.5 |
| 43 | 132.3 | 5688.90 | 132.0014 | 0.3 |
| 42 | 132.6 | 5569.20 | 132.0014 | 0.6 |
| 49 | 132.8 | 6507.20 | 132.0014 | 0.8 |
| 200 | | 26400.27 | | 8.53 |

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

Con los resultados obtenidos podemos calcular la Imprecisión absoluta como relativa

➤ Imprecisión Absoluta:

$$E_a = \frac{\sum_{i=1}^n |X_j - \bar{X}|}{N}$$

Dónde:

E_a = Imprecisión Absoluta.

N = Numero de datos.

$$E_a = \frac{8.53}{200} = \pm \mathbf{0.043 RPM}$$

➤ Imprecisión Relativa:

$$E_r = \frac{E_a}{\bar{X}} * 100\%$$

Dónde:

E_r = Imprecisión Relativa.

E_a = Imprecisión Absoluta.

\bar{X} = Media Aritmética.

$$E_r = \frac{0.043}{132.0014} * 100\% = \mathbf{0.03\%}$$

Tomando en cuenta el error en régimen permanente o dentro del estado estacionario corresponde de 2% al 5%. El error es aceptable para este controlador difuso cuando el valor de Set-Point se encuentra en incremento.

3.2 Pruebas Evaporador Eléctrico

3.2.1. Prueba a 90 grados

Por la dinámica del sistema de temperatura y sumando que el calor debe transferirse hacia la cámara de ebullición, el tiempo que tarda en alcanzar el valor máximo fue de 2700 segundos (45 minutos), partiendo desde 21 grados centígrados.

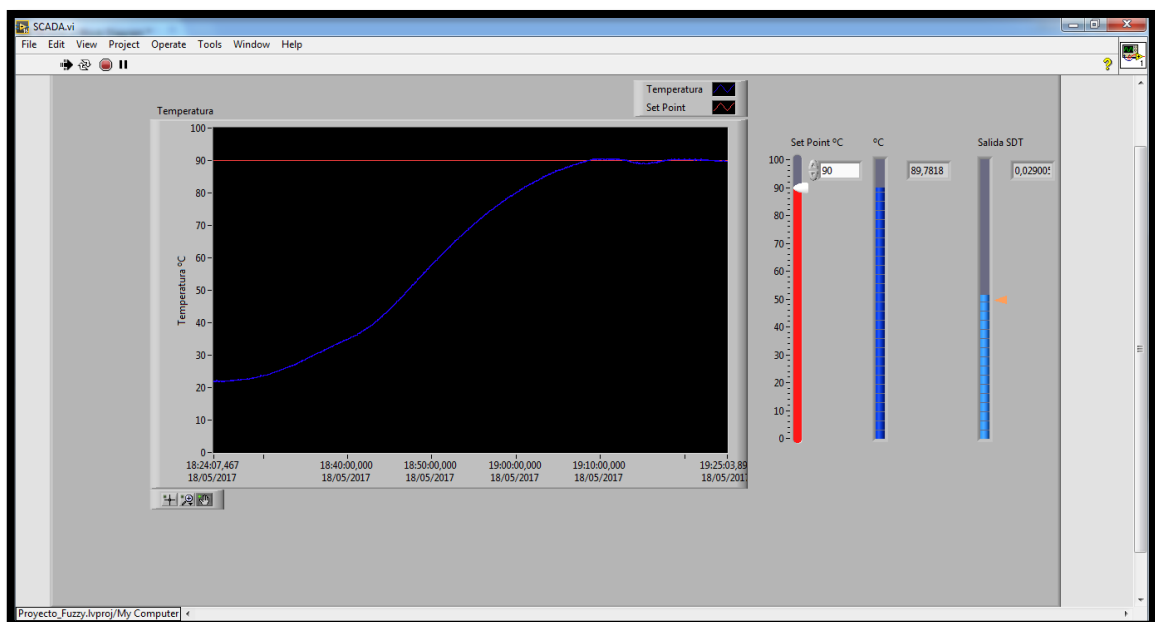


Figura 3-3: Prueba del Evaporador a 90 grados.
Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

- Se procede a calcular la media aritmética de la toma de datos, siendo esta el promedio total de datos analizados.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N (\mathbf{fi} * X_j)}{N}$$

Dónde:

\bar{X} = Media Aritmética.

X_j = Valor Medido.

\mathbf{fi} = Frecuencias.

N = Numero de datos.

$$\bar{X} = \frac{3412.4 + 2880 + 3792.6 + 2986.5 + 2724 + 2275}{200} = \frac{18070.5}{200} = \mathbf{90.35}$$

- Se realizó la dispersión de los datos, siendo esta la diferencia que existe entre la media aritmética y el valor medido:

$$D_i = |X_j - \bar{X}|$$

Dónde:

D_i = Desviación Respecto a la Media.

\bar{X} = Media Aritmética.

X_j = Valor Medido.

$$D_i = 90.3 - 90.35 = \mathbf{0.05}$$

Se realiza el mismo procedimiento para el resto de datos.

Tabla 3-3: Datos prueba a 90 grados

| Frecuencias de los valores Medidos (f_i) | Valor Medido (X_j) | Frecuencia* valor medido (f_i*X_j) | Media Aritmética (X̄) | Desviación Respecto a la Media. (D_i) |
|---|-------------------------------------|---|------------------------------|--|
| 38 | 89.8 | 3412.4 | 90.35 | 0.55 |
| 32 | 90 | 2880 | 90.35 | 0.35 |
| 42 | 90.3 | 3792.6 | 90.35 | 0.05 |
| 33 | 90.5 | 2986.5 | 90.35 | 0.15 |
| 30 | 90.8 | 2724 | 90.35 | 0.45 |
| 25 | 91 | 2275 | 90.35 | 0.65 |
| 200 | | 18070.5 | | 2.2 |

Realizado por: Infante y Aldaz, 2017

Con los resultados obtenidos podemos calcular la Imprecisión absoluta como relativa.

➤ Imprecisión Absoluta:

$$E_a = \frac{\sum_{i=1}^n |X_j - \bar{X}|}{N}$$

Dónde:

E_a = Imprecisión Absoluta.

N = Numero de datos.

$$E_a = \frac{2.2}{200} = \pm 0.011 \text{ } ^\circ\text{C}$$

➤ Imprecisión Relativa:

$$E_r = \frac{E_a}{\bar{X}} * 100\%$$

Dónde:

E_r = Imprecisión Relativa.

E_a = Imprecisión Absoluta.

\bar{X} = Media Aritmética.

$$E_r = \frac{0.011}{90.35} * 100\% = 0.012\%$$

Tomando en cuenta el error en régimen permanente o dentro del estado estacionario corresponde de 2% al 5%. El error es aceptable para este controlador difuso.

CONCLUSIONES

- Se identifica dos variables a controlar que son la Temperatura en el Evaporador Eléctrico y Velocidad en el Mezclador, siendo lo fundamental para la aplicación del Controlador Difuso.
- El desarrollo del controlador difuso de Mamdani es de fácil diseño y de bajo costo computacional porque se basa en afirmaciones “Si - Entonces”; además una ventaja importante dentro de la lógica difusa es que la base de conocimiento, simula la experiencia del operador de los procesos de control.
- La implementación del controlador lógico difuso se la realiza dentro de la plataforma LabVIEW, ya que contiene herramientas que permite simplificar el código de programación, mediante la asignación o creación de las reglas que gobierna al controlador difuso, permitiendo realizar la etapa de control del Mezclador y Evaporador Eléctrico.
- Las variables velocidad y temperatura del controlador difuso responde de manera satisfactoria ante un impulso escalón o Set – Point, comprobado en la trayectoria de las gráficas mediante pruebas realizadas a los equipos.
- El controlador difuso responde de manera estable y el error se encuentra dentro del régimen permanente correspondiente del 5% al 2%. Al realizar el análisis de errores al Mezclador y Evaporador Eléctrico.

RECOMENDACIONES

- Se puede ampliar el tema sobre el controlador difuso ya que las funciones de membresía se pueden modificar para controlar otras variables por que el programa lo permite.
- Para realizar la Supervisión, Control y Adquisición de Datos, desde el Software LabVIEW, previamente se debe instalar los módulos Real-Time y NI-OPC Server, que permite crear servidores de entrada salida permitiendo la comunicación entre el PLC y LabVIEW.
- Al realizar el control de manera remota, se debe verificar que el computador se encuentre conectado a la red PROINDUSTRIALES, para evitar errores en la ejecución del programa y no poder realizar el control de los equipos.
- Seguir las normas de higiene como son el uso de los siguientes implementos (mandil, mascarilla, cofia, gafas y guantes) para operar el evaporador eléctrico debido a que se trabaja con materia prima para producir alimentos.
- Limitar el control de velocidad de agitación un máximo de 200 revoluciones en el Mezclador, ya que si se intenta llevar al máximo de su velocidad se tendrán agitaciones bruscas teniendo como consecuencia que el producto se derrame.

BIBLIOGRAFÍA

ANTSAKLIS, P y PASSINO, K. *An Introduction to Intelligent and Autonomous Control.*: Kluwer Academic Publisher, 1999. Vol. 10. ISSN: 0-7923-9267-1.

Automatización eléctrica. [blog] 16 de Agosto de 2011. [Consulta: 06 de Abril de 2017.] Disponible en: <http://isbelg.over-blog.com/article-definicion-sencilla-automatizacion-electrica-efectos-86799569.html>.

Automatización industrial. [En línea] 2011. [Consulta: 04 de Abril de 2017.] Disponible en: <https://automatizacionindustrial.wordpress.com/2011/02/09/queeslaautomatizacionindustrial/>.

BASANTES, David. Diseño y simulación de un control automatico para la optimización del envasado de yogurt en la planta de lacteos MARCOS.. [En línea] . (tesis de pregrado) . Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica. Escuela de Ingeniería en Electronica en control y redes industriales. Riobamba; Ecuador. 2013. p.15. [Consulta: 21 de Marzo de 2017.] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3261/1/108T0074.pdf>

CÁRATE, Ángel & VILLACÍS, Ángel. Diseño y construcción de un módulo con variador de frecuencia para el control de velocidad de motores asincrónicos jaula de ardilla trifásicos para el laboratorio de control industrial. [En línea] (tesis de pregrado) Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Mantenimiento, Riobamba, Ecuador. 2011. [Consulta: 31 de Marzo de 2017.] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1149/1/25T00151.pdf>

COBO, Raúl. *El ABC de la automatización* . [En línea] 29 de Septiembre de 2009. [Consulta: 13 de Junio de 2016.] Disponible en: <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/hmi.pdf>.

Control automatico. [En línea] Marzo de 2017. [Consulta: 30 de Abril de 2017.] Disponible en: <http://www.picuino.com/es/arduprog/control-auto.html>.

Controlador lógico programable (PLC). [En línea] 2011. [Consulta: 18 de Marzo de 2017.] Disponible en: <http://www.microautomacion.com/capacitacion/Manual061ControladorLgicoProgramablePLC.pdf>.

CORDOVA, Anthony. *Automatización Industrial.* [En línea] 21 de Julio de 2016. [Consulta: 30 de Abril de 2017.] Disponible en: <http://anthonyjasonindustrial.blogspot.com/2016/07/automatizacion-industrial.html>.

CORTÉS, Adán & ARENAS, Oscar. *Sistema de control de temperatura para incubadora avícola con control difuso y la plataforma labview.* [En línea] 2011. [Consulta: 11 de Abril de 2017.] Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/118766832/Sistema-de-Control-de-Temperatura-Para-Una-Incubadora-4>.

Desinfectante. [En línea] Abril de 2017. [Consulta: 30 de Abril de 2017.] Disponible en: <http://salud.ccm.net/faq/12714-desinfectante-definicion>.

Desinfectante. [En línea] 2015. [Consulta: 30 de Abril de 2017.] Disponible en: https://www.productosnano.com/index.php?route=product/product&product_id=281.

- GAGUANCELA, Cesar & LANDY, Felix.** *Diseño y Construcción de un evaporador semiautomático de simple efecto para la elaboración de mermelada de manzana.* (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química. Riobamba, Ecuador. 2005. Pp 35-41.
- GUZMÁN, Castaño.** “La lógica difusa en ingeniería: Principios, aplicaciones y futuro”. *Ciencia y Tecnología* s.l. vol. 24, n°02. ISSN: 0378-0524 (2006), (México). p. 88.
- HMI. [En línea] 2013. [Consulta: 13 de Junio de 2016.] Disponible en: <http://www.indusoft.com/blog/2013/05/31/cual-es-la-diferencia-entre-scada-y-hmi/>.
- Ingeniería Eléctrica.* [blog] 12 de Diciembre de 2014. [Consulta: 21 de Marzo de 2017.] Disponible en: <http://ingenieriaelectricafravedsa.blogspot.com/2014/12/motor-induccion.html>.
- Lista de precios.* [En línea] 2015. [Consulta: 20 de Abril de 2017.] Disponible en: http://www.schneider-electric.com.pe/documents/local/list_de_preco_2015.pdf.
- MAYORGA, Abril, et al.** *Los procesos de producción y la productividad en la industria de calzado ecuatoriana: Caso empresa Mabelyz.* [En línea] 2014. [Consulta: 04 de Abril de 2017.] Disponible en: <http://portal.uasb.edu.ec/UserFiles/385/File/Los%20procesos%20de%20produccion%20y%20la%20productividad%20en%20la%20industria%20de%20calzado.pdf>.
- MENDIBURU, Henry.** *Automatización Medioambiental.* [En línea]. Lima – Perú: Indecopi, 2003. [Consulta: 10 de Abril de 2017.] Disponible en: <http://www.liceus.com/cgi-bin/ac/pu/AutomatizacionMedioambiental.pdf>.
- MODELO SINAMICS G110 220V.* [En línea] 2017. [Consulta: 31 de Marzo de 2017.] Disponible en: <http://www.socetti.cl/variadores%20de%20frecuencia%20siemens%20G110%20220V.html>.
- Módulo de termocupla ES7231-5QA30-0XB0.* [En línea] 2016. [Consulta: 21 de Marzo de 2017.] Disponible en: <http://docs-asia.electrocomponents.com/webdocs/0f67/0900766b80f676fd.pdf>.
- OÑATE, Carlos & PINTA, Oscar.** Diseño e implementación de un módulo para el proceso de clasificación de piezas controlado mediante un PLC Siemens S7-1200. [En línea] (tesis de pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Informática y Electrónica, Escuela de Ingeniería en Electrónica. Riobamba, Ecuador. 2013. Pp. 45 Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/2898/1/108T0061.pdf>.
- PACHECO, Jairo & GUANO, Jorge.** Diseño y construcción de un equipo turbo mezclador automático para la obtención de desinfectantes. [En línea]. (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química. Riobamba, Ecuador. 2013. Pp. 3-17. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/2522>
- PIÑERO, Manuel & MAZA, Jesús.** Control de un motor de inducción usando un variador de frecuencia [En línea] . (tesis de pregrado). Universidad de Sevilla. Sevilla, España. 2015. Pp 02-11. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/90201/fichero/proyecto.pdf>

¿Qué es un variador de frecuencia? [En línea] .2011. [Consulta: 29 de Marzo de 2017.] Disponible en: <https://www.quiminet.com/articulos/que-es-un-variador-de-frecuencia-y-como-es-que-funciona-60877.htm>.

RODRIGUEZ, Ricardo & DAZA, Paúl. Estudio y diseño de un controlador difuso implementado en un módulo basado en microcontroladores. [En línea]. (tesis de pregrado). Universidad Católica Santiago de Guayaquil, Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo. Escuela de Ingeniería en Electrónica y Automatismo. Guayaquil, Ecuador. 2016. Pp. 16-24 Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/5341>

ROMERO BARCOJO, Alfonso. *Control y robótica. Sección: Sensores. Enconders.* [En línea] 2016. [Consulta: 17 de Abril de 2017.] Disponible en: <http://cmapublic2.ihmc.us/rid=1H2F1807L-JPOSG2-J1J/encoder.pdf>.

ROSADO, Alfredo. *Introducción al HMI.* [En línea] .2009. [Consulta: 13 de Junio de 2016.] Disponible: <http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf>.

R.K. Scientific & ENGINEERING, Works. Chemical reaction engineering lab instrument. [En línea] 2014. [Consulta: 28 de Abril de 2017.] Disponible: <https://www.indiamart.com/rkscientific/chemical-reaction-engineering-lab-instrument.html>.

Selección del calibre de un conductor eléctrico. [En línea] 2005. [Consulta: 25 de Abril de 2017.] Disponible en: <http://www.latincasa.com.mx/SiteCollectionDocuments/seleccion-de-calibre-en-cables-para-construccion.pdf>.

SIEMENS CPU 1214C - 6ES7214-1AG40-0XB0. [En línea] 2016. [Consulta: 18 de Marzo de 2017.] Disponible en: <http://www.automation24.es/sistemas-de-control/siemens-cpu-1214c-6es7214-1ag40-0xb0-i101-1694-0.htm#top>.

SIMATIC BASIC PANEL SIEMENS KP300 BASIC MONO PN - 6AV6647-0AH11-3AX0. [En línea] 2016. [Consulta: 26 de Marzo de 2017.] Disponible en: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6AV6647-0AH11-3AX0>

SIMATIC S7-1200, MODULO DE SALIDAS ANALÓGICAS. [En línea] 2016. [Consulta: 25 de Marzo de 2017.] Disponible en: <http://masvoltaje.com/simatic-s7-1200/1233-simatic-s7-1200-modulo-de-salidas-analogicas-sm-1232-4-ao-6940408100770.html>.

SIMATIC S7-1200,SALIDA ANALOG. [En línea] 2016. [Consulta: 25 de Marzo de 2017.] Disponible en: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7232-4HB32-0XB0>.

S7 CONTROLADOR PROGRAMABLE S7-1200. MANUAL DE SISTEMAS. [En línea] .2009. [Consulta: 18 de Marzo de 2017.] Disponible en: <https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200-MANUAL%20DEL%20SISTEMA.PDF>.

SINAMICS G110. [En línea] 2016. [Consulta: 31 de Marzo de 2017.] Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/9275/Manual_SINAMICS_G110.pdf?sequence=10&isAllowed=y.

Termocuplas. [En línea] 2015. [Consulta: 01 de Abril de 2017.] Disponible en: <http://elbibliote.com/resources/Temas/html/700.php>.

TORELLA, Elena. *Evaporadores*. [En línea]. 2011. [Consulta: 11 de Junio de 2016.] Disponible en: <http://www.tuairescondicionadoweb.com/el-evaporador-tipos-y-caracteristicas/>.

Turbo mezclador . [En línea] 18 de Noviembre de 2014. [Consulta: 30 de Abril de 2017.] Disponible en: <http://www.comasa-sa.com/producto/mezclador-granulador-de-alto-rendimiento-food/>.

UNIVERSIDAD DE PIURA. *Lógica difusa y sistemas de control*. [En línea] 2004. [Consulta: 12 de Abril de 2017.] Disponible en: http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_185_184_133_1746.pdf.

VILLANUEVA, Alejandro. *El evaporador*. [En línea] 2017. [Consulta: 30 de Abril de 2017.] Disponible en: http://www.academia.edu/10572247/El_evaporador.

ZALDAÑA, Edgar, et al. Diseño y construcción del sistema de control para un intercambiador de calor tubular. . [En línea] . (Tesis de pregrado). Instituto Politécnico Nacional, D.F Mexico, Mexico. 2013. Pp. 38. Disponible en <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/12973/tesis%20TERMINADA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

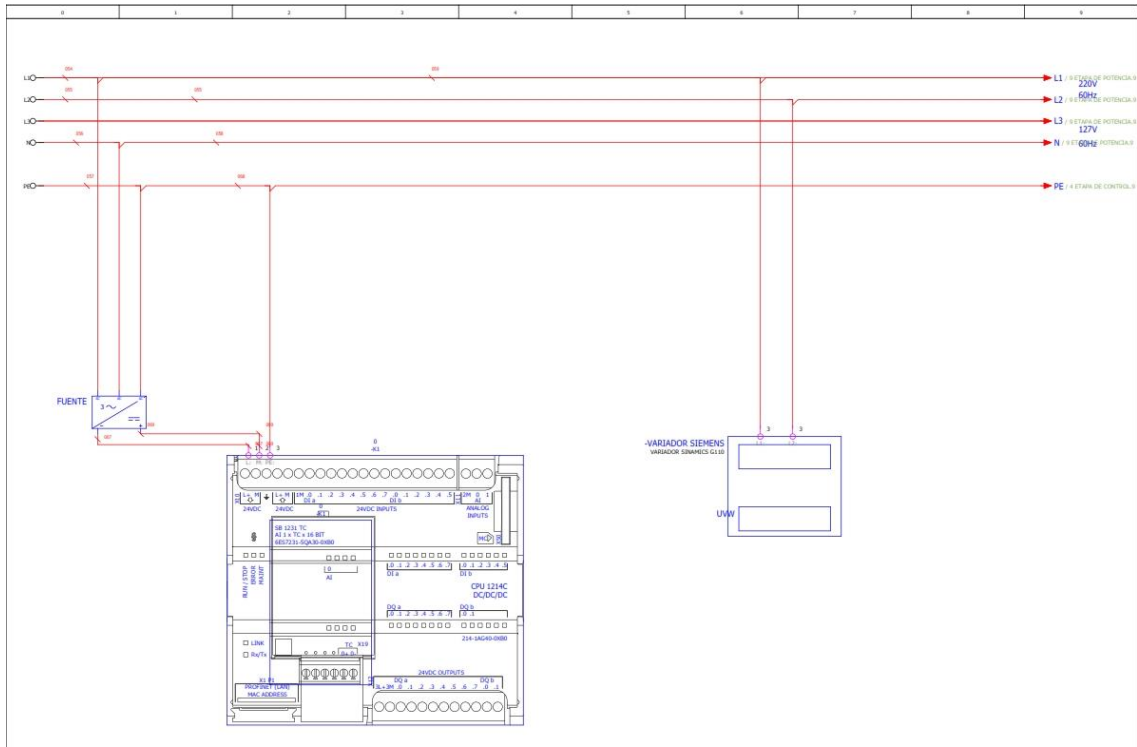
ZÚÑIGA, Juan. Diseño y construcción de un sistema de SCADA de control remoto para la maquina de conteo y empaquetado de hojas refiles educativas para la imprenta UNIGRAF. [En línea] (Tesis de pregrado) Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador. 2013. Pp 42. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/2187>.

ANEXOS

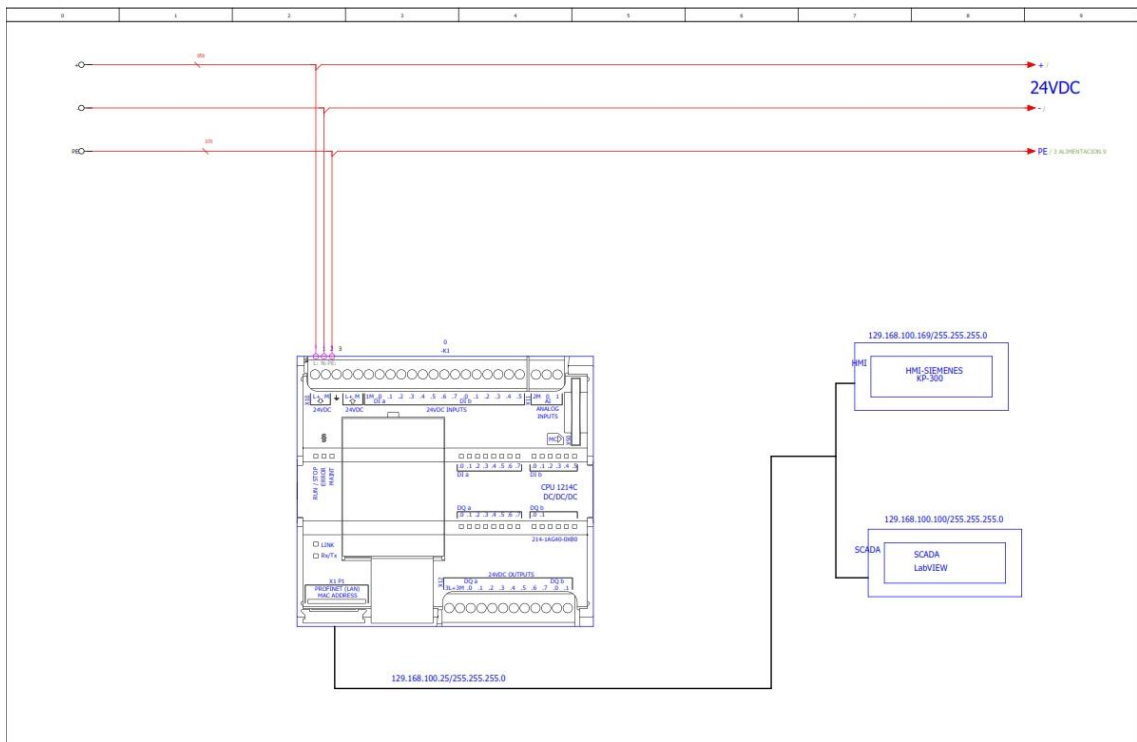
Anexo A: Planimetría

| | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|
|   | | ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO ELECTRONICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES ESTACION DE SEPARACION | |  | |
| | | Dir: PANAMERICANA SUR KM 1 1/2 Tel. 0997222015 | | FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA | |
| INSTITUCION DESCRIPCION DE PROYECTO NUMERO DE DISEÑO | | ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO TABLERO DE CONTROL: TURBO MEZCLADOR-EVAPORADOR ELECTRICO 001 | | | |
| DISEÑADORES | | JORGE LUIS ALDAZ TOALA JEFFERSON ALBERTO INFANTE SALAS | | | |
| NOMBRE DEL PROYECTO TIPO LUGAR DE INSTALACION RESPONSABLE DE PROYECTO | | TABLERO DE CONTROL: TURBO MEZCLADOR EVAPORADOR ELECTRICO CONTROL INDUSTRIAL LAB. DE PROCESOS ING. QUIMICA ESPOCH ING MARCO VITERI | | | |
| Creado | | 19-05-2017 | | | |
| 2 Índice | | | | | |
| | | Fecha: 19/05/2017 Dise: 2003 Proyecto: TABLERO DE CONTROL: TURBO-EVAPORADOR | | Aldaz-Infante ESPOCH | |
| Cambios: Fecha Nombre Original | | Sustituido por: Sustituido por: | | Hoja: 1 de 002 Página: 1 / 2 | |

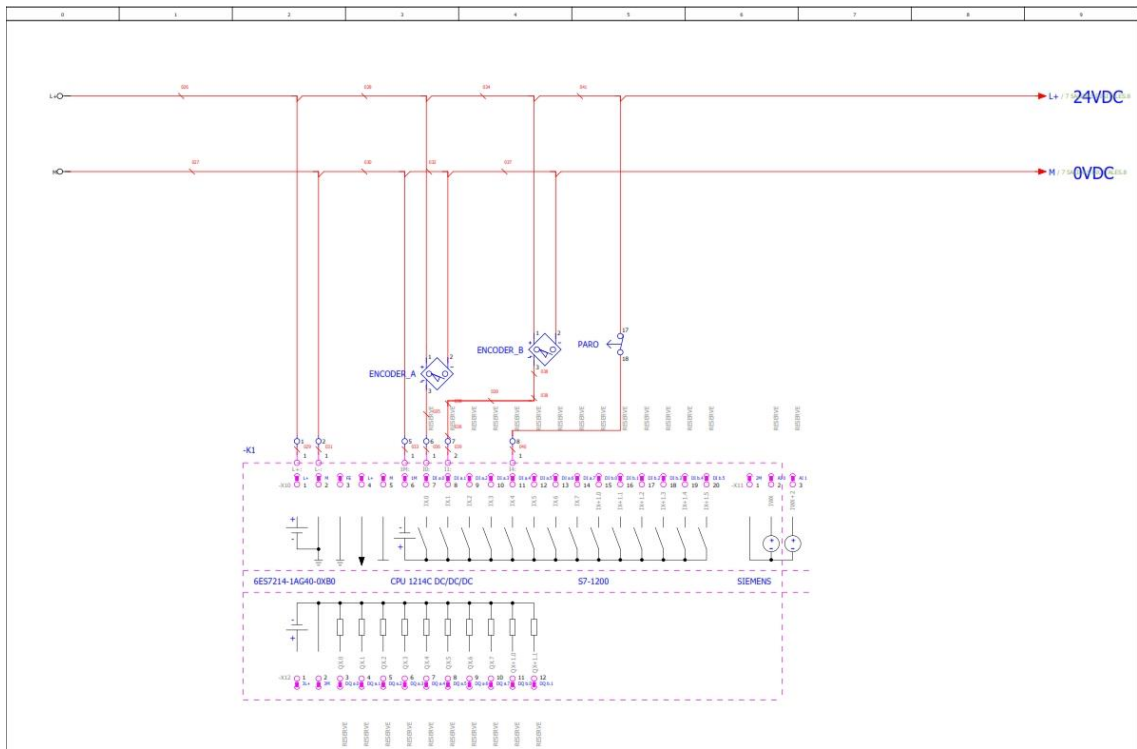
| | | | | | |
|---|--|---|--|--|--|
|   | | MODULACION INTEGRADA POR COMPUTADOR S.A | |  | |
| | | Dir: PANAMERICANA SUR KM 1 1/2 Tel. 0987731191 | | FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA | |
| INDICE | | <ol style="list-style-type: none"> 1.- LAYOUT 2.- INDICE 3.- ALIMENTACION 4.- ETAPA DE CONTROL 5.- ENTRADAS DIGITALES 6.- ENTRADAS ANALOGICAS 7.- SALIDAS DIGITALES 8.- SALIDAS ANALOGICAS 9.- ETAPA DE POTENCIA | | | |
| | |  | | | |
| 3 ALIMENTACION | | | | | |
| | | Fecha: 19/05/2017 Dise: 2003 Proyecto: TABLERO DE CONTROL: TURBO-EVAPORADOR | | Aldaz-Infante ESPOCH | |
| Cambios: Fecha Nombre Original | | Sustituido por: Sustituido por: | | Hoja: 2 de 002 Página: 2 / 2 | |



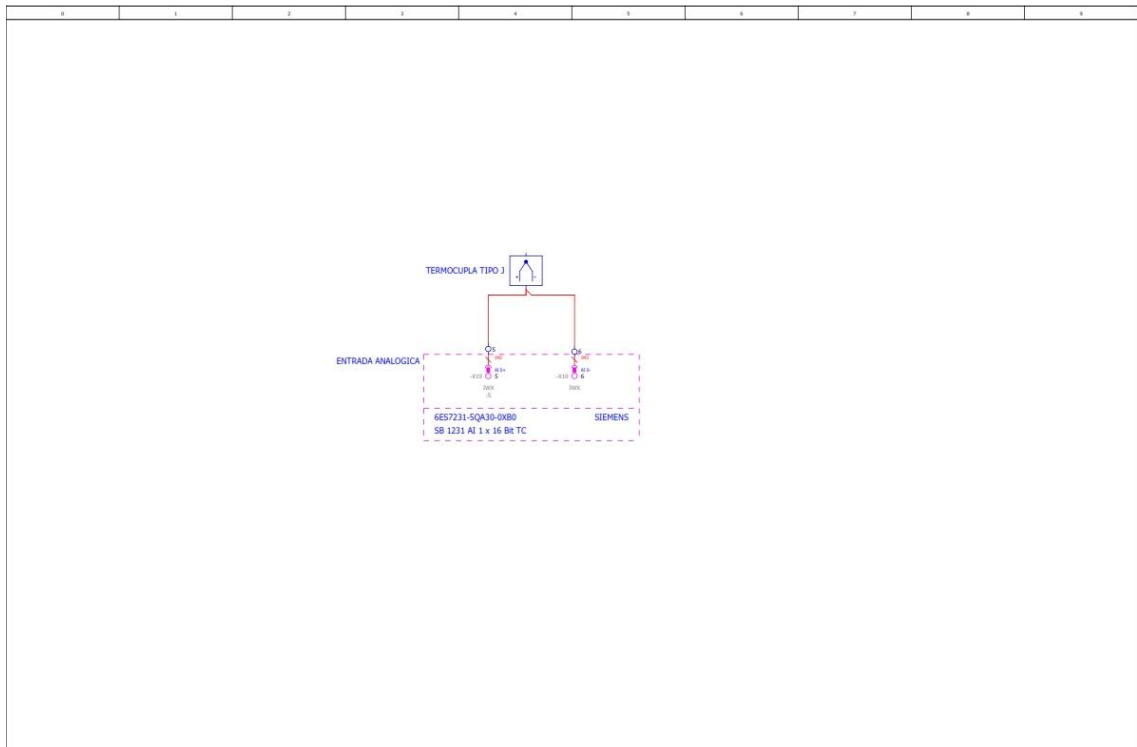
| | | | | | | | | | |
|----------|---------|---------------|----------|----------------|--------------------------------------|----------------|--|--------------------|---------------|
| 2 Índice | | Aldaz-Infante | | | | ESPOCH | | 4 ETAPA DE CONTROL | |
| Fecha | 06/2017 | Revisión | JMS | Problema | TABLERO DE CONTROL: TURBO-EVAPORADOR | Substituto por | | 001 | REEMPLAZACION |
| Cambio | Fecha | Nombre | Original | Substituto por | Substituto por | | | | Folios: 3 / 9 |



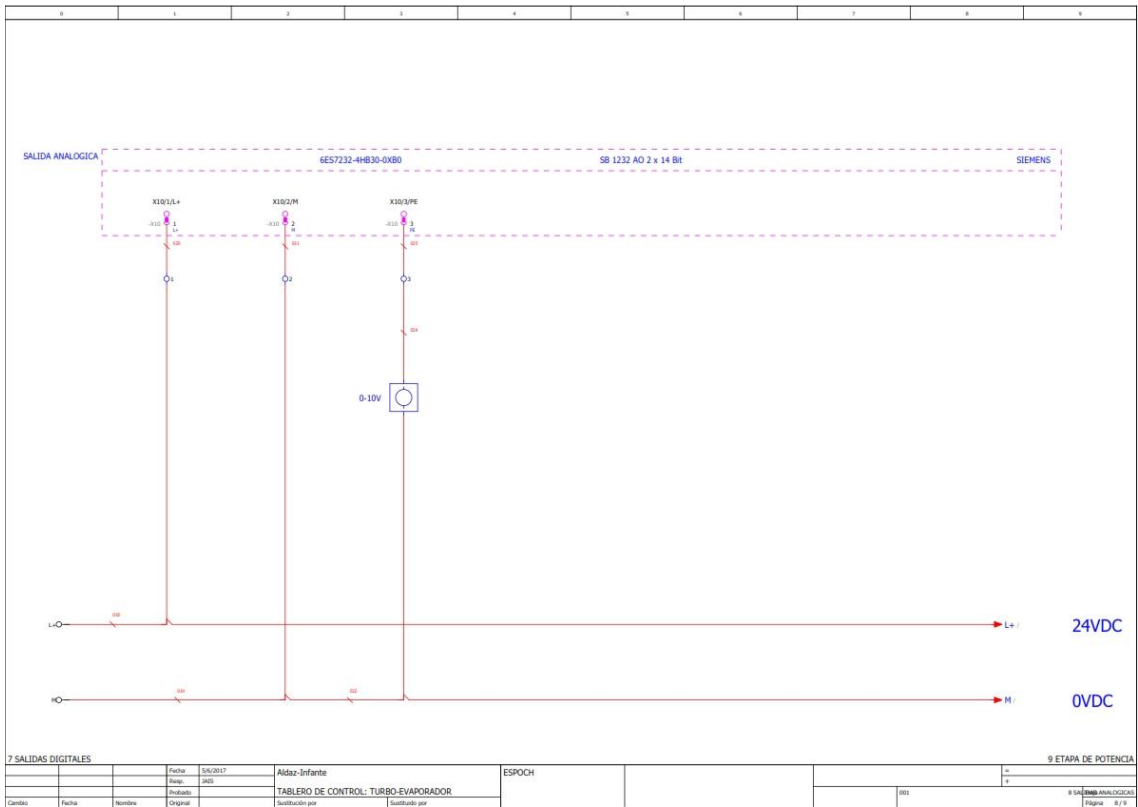
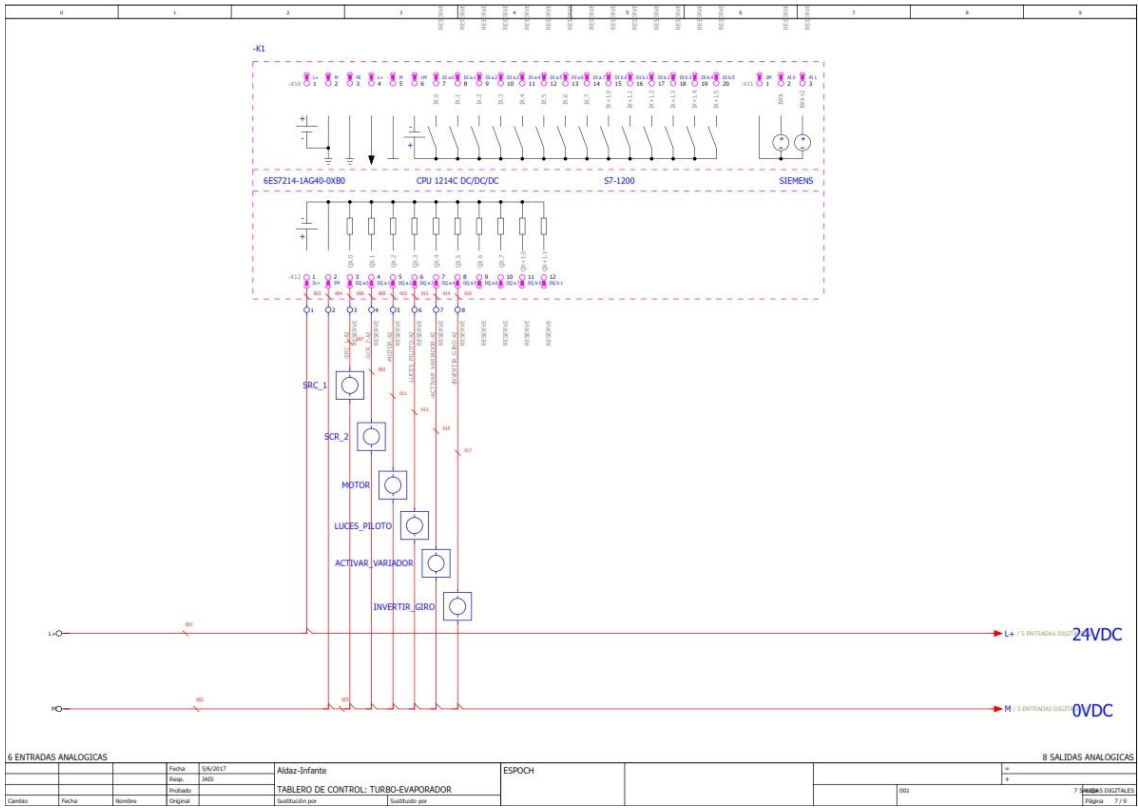
| | | | | | | | | | |
|----------------|---------|---------------|----------|----------------|--------------------------------------|----------------|--|----------------------|---------------|
| 3 ALIMENTACION | | Aldaz-Infante | | | | ESPOCH | | 5 ENTRADAS DIGITALES | |
| Fecha | 06/2017 | Revisión | JMS | Problema | TABLERO DE CONTROL: TURBO-EVAPORADOR | Substituto por | | 001 | REEMPLAZACION |
| Cambio | Fecha | Nombre | Original | Substituto por | Substituto por | | | | Folios: 4 / 9 |

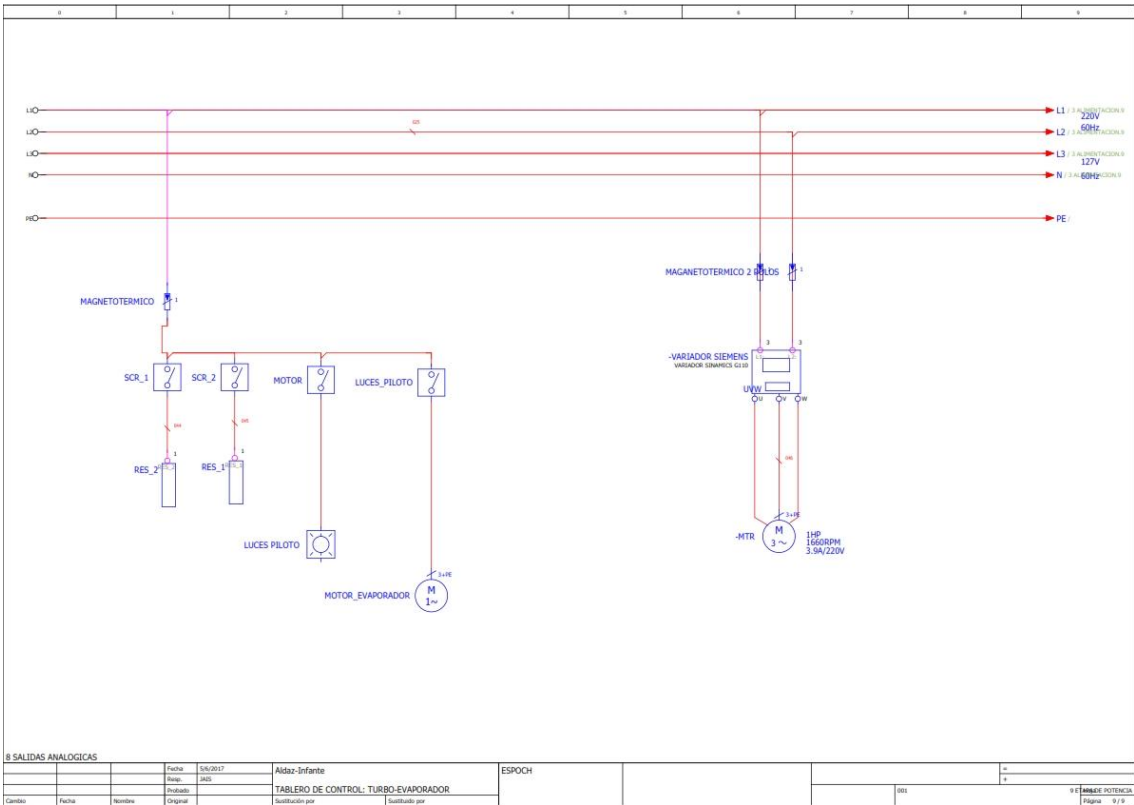


| | | | | | | | | | | | |
|--------------------|----------|--------------------------------------|----------|----------------|----------------|-----------------------|-----------------------|--|--|--|--|
| 4 ETAPA DE CONTROL | | | | | | 6 ENTRADAS ANALOGICAS | | | | | |
| Fecha | 5/6/2017 | Aldaz-Infante | ESPOCH | | | | | | | | |
| Revis. | JMS | TABLERO DE CONTROL: TURBO-EVAPORADOR | | | | | | | | | |
| Cambio | Fecha | Nombre | Original | Sustituido por | Sustituido por | 001 | 6 ENTRADAS ANALOGICAS | | | | |
| | | | | | | | Página 5 / 9 | | | | |

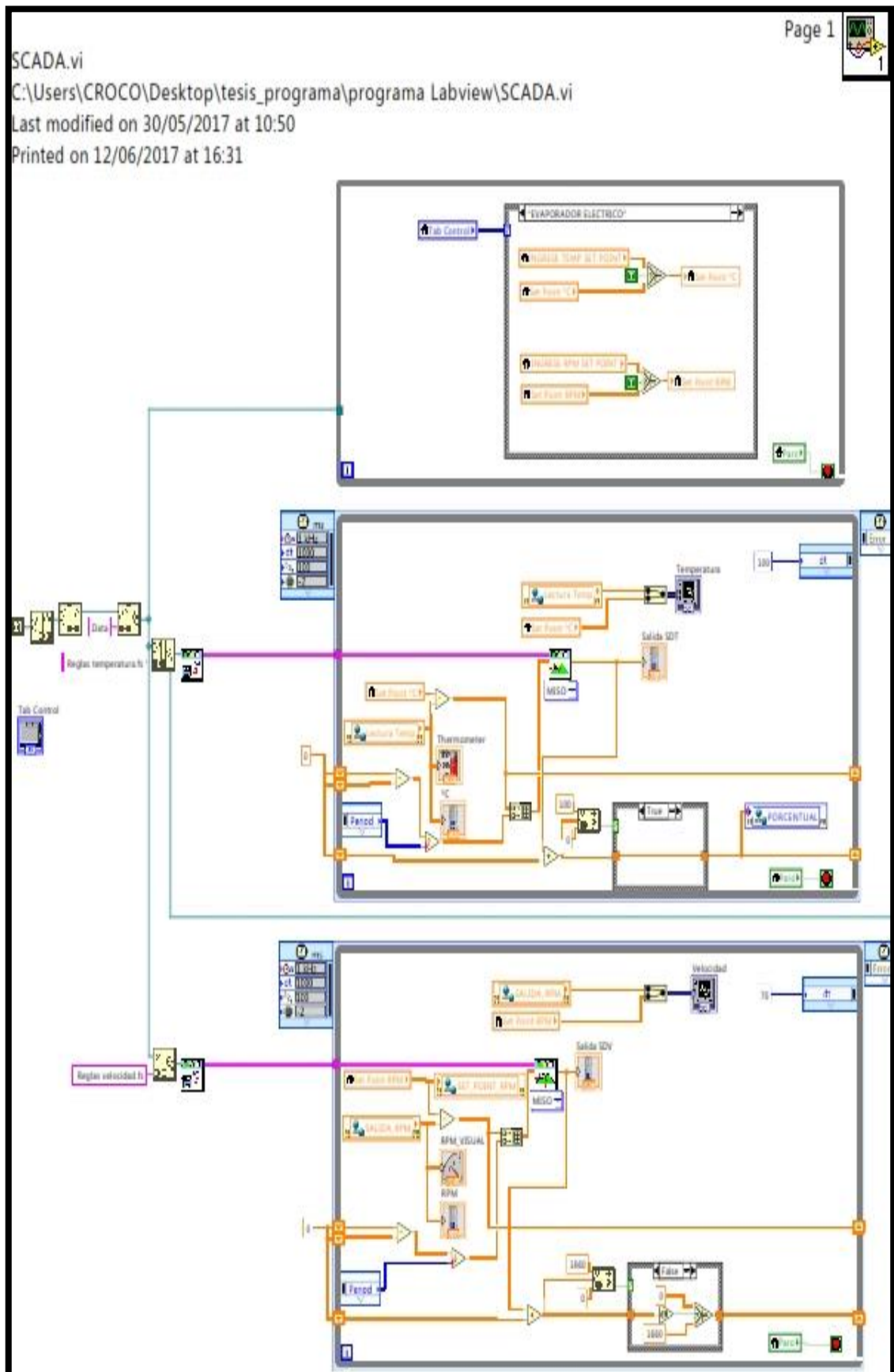


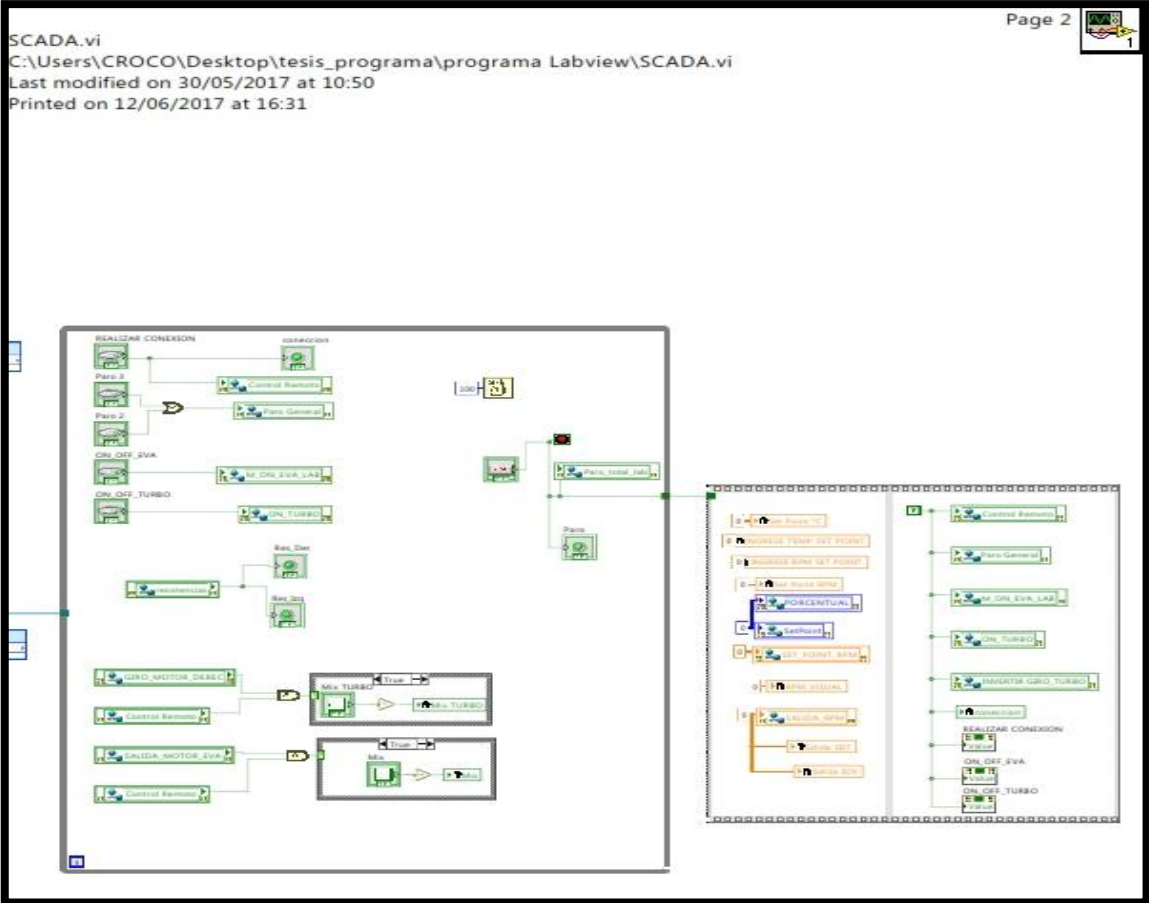
| | | | | | | | | | | | |
|----------------------|----------|--------------------------------------|----------|----------------|----------------|---------------------|-----------------------|--|--|--|--|
| 5 ENTRADAS DIGITALES | | | | | | 7 SALIDAS DIGITALES | | | | | |
| Fecha | 5/6/2017 | Aldaz-Infante | ESPOCH | | | | | | | | |
| Revis. | JMS | TABLERO DE CONTROL: TURBO-EVAPORADOR | | | | | | | | | |
| Cambio | Fecha | Nombre | Original | Sustituido por | Sustituido por | 001 | 6 ENTRADAS ANALOGICAS | | | | |
| | | | | | | | Página 6 / 9 | | | | |





Anexo B: Desarrollo del Controlador Difuso en LabVIEW





Anexo C: Información Técnica del PLC SIEMENS S7 – 1200 DC_DC_DC

SIEMENS

Hoja de datos

6ES7214-1AG40-0XB0



SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, CPU COMPACTA, DC/DC/DC, E/S INTEGRADAS: 14 DI 24V DC; 10 DO 24 V DC; 2 AI 0 - 10V DC, ALIMENTACION: DC 20,4 - 28,8 V DC, MEMORIA DE PROGRAMA/DATOS 100KB

| Información general | |
|--|---|
| Versión de firmware | V4.1 |
| Ingeniería con | <ul style="list-style-type: none"> Paquete de programación |
| | STEP 7 V13 SP1 o superior |
| Tensión de alimentación | |
| Valor nominal (DC) | Si |
| <ul style="list-style-type: none"> 24 V DC | |
| Rango admisible, límite inferior (DC) | 20,4 V |
| Rango admisible, límite superior (DC) | 28,8 V |
| Tensión de carga L+ | |
| <ul style="list-style-type: none"> Valor nominal (DC) Rango admisible, límite inferior (DC) Rango admisible, límite superior (DC) | 24 V 20,4 V 28,8 V |
| Intensidad de entrada | |
| Consumo (valor nominal) | 500 mA; Solo CPU |
| Consumo máx. | 1 500 mA; CPU con todos los módulos de ampliación |
| Intensidad de cierre, máx. | 12 A; con 28,8 V |
| Alimentación de sensores | |
| Alimentación de sensores 24 V | |
| <ul style="list-style-type: none"> 24 V | L+ menos 4 V DC mín. |
| Intensidad de salida | |
| Para bus de fondo (5 V DC), máx. | 1 600 mA; máx. 5 V DC para SM y CM |
| Pérdidas | |

6ES7214-1AG40-0XB0

Sujeto a cambios

| Pérdidas, tip. | 12 W |
|--|---|
| Memoria | |
| Memoria de trabajo | |
| <ul style="list-style-type: none"> integrado Ampliable | 100 kbyte No |
| Memoria de carga | |
| <ul style="list-style-type: none"> integrado enchufable (SIMATIC Memory Card), máx. | 4 Mbyte con SIMATIC Memory Card |
| Respaldo | |
| <ul style="list-style-type: none"> existente sin pila | Si; Libre de mantenimiento Si |
| Tiempos de ejecución de la CPU | |
| para operaciones a bits, tip. | 0,085 µs; /instrucción |
| para operaciones a palabras, tip. | 1,7 µs; /instrucción |
| para aritmética de coma flotante, tip. | 2,3 µs; /instrucción |
| CPU-bloques | |
| Nº de bloques (total) | DBs, FCs, FBs, contadores y temporizadores. El número máximo de bloques direccionables es de 1 a 65535. No hay ninguna restricción, uso de toda la memoria de trabajo |
| OB | |
| <ul style="list-style-type: none"> Cantidad, máx. | Limitada únicamente por la memoria de trabajo para código |
| Áreas de datos y su remanencia | |
| Área de datos remanentes total (incl. temporizadores, contadores, marcas), máx. | 10 kbyte |
| Marcas | |
| <ul style="list-style-type: none"> Cantidad, máx. | 8 kbyte; Tamaño del área de marcas |
| Datos locales | |
| <ul style="list-style-type: none"> por cada prioridad, máx. | 16 kbyte |
| Imagen del proceso | |
| <ul style="list-style-type: none"> Entradas, configurables Salidas, configurables | 1 kbyte 1 kbyte |
| Configuración del hardware | |
| Nº de módulos por sistema, máx. | 3 Communication Module, 1 Signal Board, 8 Signal Module |
| Hora | |
| Reloj | |
| <ul style="list-style-type: none"> Reloj por hardware (reloj tiempo real) Desviación diaria, máx. Duración del respaldo | Si 60 s/mes @ 25 °C 480 h; típicamente |
| Entradas digitales | |
| Nº de entradas digitales | 14; integrado |

6ES7214-1AG40-0XB0

Sujeto a cambios

Anexo D: Información Técnica Módulo para Termocupla AIO TC

SIEMENS

Product data sheet

6ES7231-5QA30-0XB0



SIMATIC S7-1200, ANALOG SB 1231 T,
1 X AI THERMOCOUPLE, TYPE J OR K

| | |
|---|------------------------------------|
| Supply voltage | |
| 24 V DC | Yes |
| Input current | |
| Current consumption, typ. | 5 mA |
| from backplane bus 5 V DC, typ. | 20 mA |
| Power losses | |
| Power loss, typ. | 0,5 W |
| Analog inputs | |
| Number of analog inputs | 1 ; Thermocouples |
| permissible input frequency for current input (destruction limit), max. | ± 35 V |
| Technical unit for temperature measurement adjustable | Degrees Celsius/degrees Fahrenheit |
| Input ranges | |
| Thermocouple | Yes ; J, K; voltage range ±80 mV |
| Resistance thermometer | No |
| Resistance | Yes |
| Input ranges (rated values), voltages | |
| -80 mV to +80 mV | Yes |
| Input resistance (-80 mV to +80 mV) | >= 1 MOhm |

6ES7231-5QA30-0XB0

subject to modifications

| | |
|---|--|
| Input ranges (rated values), thermoelements | |
| Type J | Yes |
| Input resistance (type J) | 1200 °C |
| Type K | Yes |
| Input resistance (Type K) | 1372 °C |
| Thermocouple (TC) | |
| permissible input voltage for voltage input (destruction limit), max. | ±35 V |
| Temperature compensation | |
| Parameterizable | No |
| Analog outputs | |
| Number of analog outputs | 0 |
| Analog value creation | |
| Measurement principle | integrating |
| Integrations and conversion time/resolution per channel | |
| Resolution with overrange (bit including sign), max. | 15 bit ; + sign |
| Integration time, parameterizable | No |
| Interference voltage suppression for interference frequency f1 in Hz | 85 dB at 10 / 50 / 60 / 400 Hz |
| Analog value generation (in isochronous mode) | |
| Smoothing of measured values | |
| Parameterizable | Yes |
| Errors/accuracies | |
| Temperature error (relative to input range), (+/-) | 25 °C ±0,1 % to 55 °C ±0,2 % total measurement range |
| Repeat accuracy in steady state at 25 °C (relative to output area), (+/-) | 0,5 % |
| Interference voltage suppression for f = n x (f1 +/- 1 %), f1 = interference frequency | |
| Common mode interference, min. | 120 dB |
| Interrupts/diagnostics/status information | |
| Alarms | |
| Alarms | Yes |
| Diagnostic alarm | Yes |
| Diagnostic messages | |
| Diagnostic functions | Yes ; Can be read out |
| Wire break | Yes |
| Diagnostics indication LED | |
| for status of the inputs | Yes |
| for maintenance | Yes |
| Degree and class of protection | |

6ES7231-5QA30-0XB0

subject to modifications

Anexo E: Información Técnica del Módulo de salidas Analógicas SM1232 AQ

SIEMENS

Product data sheet

6ES7232-4HB30-0XB0



SIMATIC S7-1200, ANALOG OUTPUT,
SM 1232, 2 AO, +/-10V,
14 BIT RESOLUTION, OR 0-20 MA,
13 BIT RESOLUTION,

| | |
|---------------------------------|------------------------|
| Supply voltage | |
| 24 V DC | Yes |
| Input current | |
| Current consumption, typ. | 45 mA |
| from backplane bus 5 V DC, typ. | 80 mA |
| Power losses | |
| Power loss, typ. | 1.5 W |
| Analog inputs | |
| Number of analog inputs | 0 |
| Thermocouple (TC) | |
| Temperature compensation | |
| Parameterizable | No |
| Analog outputs | |
| Number of analog outputs | 2 ; Current or voltage |
| Output ranges, voltage | |
| -10 to +10 V | Yes |
| Output ranges, current | |
| 0 to 20 mA | Yes |

6ES7232-4HB30-0XB0

subject to modifications

| | |
|--|---|
| Load impedance (in rated range of output) | |
| with voltage outputs, min. | 1000 Ω |
| with current outputs, max. | 600 Ω |
| Analog value creation | |
| Measurement principle | Differential |
| Integrations and conversion time/ resolution per channel | |
| Resolution (incl. overrange) | Voltage: 14 bits; Current : 13 bits |
| Integration time, parameterizable | Yes |
| Interference voltage suppression for interference frequency f1 in Hz | 40 dB, DC to 60 V for interference frequency 50 / 60 Hz |
| Errors/accuracies | |
| Temperature error (relative to output area) | 25 °C ±0,3% to 55 °C ±0,6% total measurement range |
| Basic error limit (operational limit at 25 °C) | |
| Voltage, relative to output area | +/- 0,3 % |
| Current, relative to output area | +/- 0,3 % |
| Interference voltage suppression for $f = n \times (f1 \pm 1\%)$, f1 = interference frequency | |
| common mode voltage, max. | 12 V |
| Interrupts/diagnostics/status information | |
| Alarms | |
| Alarms | Yes |
| Diagnostic alarm | Yes |
| Diagnostic messages | |
| Diagnostic functions | Yes |
| Monitoring the supply voltage | Yes |
| Wire break | Yes |
| Short circuit | Yes |
| Diagnostics indication LED | |
| For status of the outputs | Yes |
| for maintenance | Yes |
| Degree and class of protection | |
| IP20 | Yes |
| Standards, approvals, certificates | |
| CE mark | Yes |
| C-TICK | Yes |
| FM approval | Yes |
| Climatic and mechanical conditions for storage and transport | |
| Climatic conditions for storage and transport | |
| Free fall | |

6ES7232-4HB30-0XB0

subject to modifications

Anexo F: Información Técnica variador Sinamics G110

© Siemens AG 2008

SINAMICS G110

El comienzo perfecto

Cuanto mayor sea la flexibilidad de uso de un convertidor mucho mejor resultará. Y si además su montaje y conexión tienen una simplicidad tan convincente, y su manejo es tan fácil como en el convertidor SINAMICS G110, ofrecerá las mejores condiciones de partida para una amplia gama de aplicaciones dentro de los accionamientos de velocidad variable.

Campos de aplicación típicos

Utilización versátil, p. ej.:

- Para bombas y ventiladores
- En sistemas transportadores
- En accionamientos de puertas de fábricas y garajes
- Para máquinas de fitness
- Para las más diversas aplicaciones en la industria e instalaciones simples

Ventajas de los convertidores de frecuencia Siemens

- Adaptación óptima de las velocidades de producción gracias al ajuste continuo de la velocidad
- Ahorro energético, p. ej., en bombas y ventiladores en la zona de carga parcial
- Descarga de la red, pues no hay corrientes de arranque como en los accionamientos de velocidad fija
- Mejora de la calidad, ya que los convertidores de frecuencia compensan los golpes fuertes y las cargas de pico
- Cumplimiento de las directivas de CEM gracias a los filtros antiparasitarios integrados u opcionales



SINAMICS G110 es parte de la familia de accionamientos SINAMICS para soluciones innovadoras y con garantía de futuro

- Amplia gama de potencias de 0,12 kW a 120 MW
- Ejecución tanto para baja tensión como para media tensión
- Funcionalidad homogénea gracias a la plataforma común de hardware y software
- Una ingeniería común a todos los accionamientos
 - SIZER para la configuración
 - STARTER para la parametrización y puesta en marcha
- Alto grado de flexibilidad y capacidad de combinación

SINAMICS ofrece un accionamiento adecuado para cada tarea y todos se pueden configurar, parametrizar, poner en marcha y manejar de manera unificada.



Características destacadas

Mecánica

- Sencilla conexión de los cables, bornes de control sin tornillos
- Equipos compactos en tres tamaños constructivos
- LED para información de estado
- Variante con disipador plano: ideal para espacios de montaje reducidos
- Robusto diseño CEM, con la misma posición de las conexiones que los contactores

Electrónica

- Listo para el servicio tras el desembalaje
- Posibilidad de copiar rápidamente parámetros usando el panel opcional (BOP)
- Mando mediante 2 ó 3 hilos para control universal vía las entradas digitales

Comunicación

- Variante con interfaz RS485
- Fácil integración en sistemas de automatización con SIMATIC S7-200

© Siemens AG 2008

SINAMICS G110

Datos técnicos

| Tamaño constructivo | A | | A con disipador plano | B | C |
|--|--|------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|
| Potencia | 0,12 ... 0,37 kW | 0,55 ... 0,75 kW | 0,12 ... 0,75 kW | 1,1 ... 1,5 kW | 2,2 ... 3 kW |
| Intensidad asignada de entrada (a 230 V) | 2,3 ... 6,2 A | 7,7 ... 10 A | 2,3 ... 10 A | 14,7 ... 19,7 A | 27,2 ... 35,6 A |
| Intensidad asignada de salida (a 40 °C) | 0,9 ... 2,3 A | 3,2 ... 3,9 A | 0,9 ... 3,9 A | 6 ... 7,8 A | 11 ... 13,6 A |
| Datos mecánicos | | | | | |
| Grado de protección | IP20 | | | | |
| Temperatura de servicio | -10 ... +40 °C, hasta +50 °C con derating | | | | |
| Ancho × Alto × Profundidad (mm) | 90 × 150 × 116 | 90 × 150 × 131 | 90 × 150 × 101 | 140 × 160 × 142 | 184 × 181 × 152 |
| Datos eléctricos | | | | | |
| Tensión de red | 1 AC 200 ... 240 V ±10 % | | | | |
| Frecuencia de red | 47 ... 63 Hz | | | | |
| Capacidad de sobrecarga | Corriente de sobrecarga 1,5 × corriente asignada a la salida (es decir, 150 % sobrecarga) durante 60 s, a continuación 0,85 × corriente asignada de salida durante 240 s, tiempo de ciclo 300 s | | | | |
| Frecuencia de salida | 0 ... 650 Hz | | | | |
| Frecuencia de pulsación | 8 kHz (estándar), 2 ... 16 kHz (en escalones de 2 kHz) | | | | |
| Rango de frecuencias inhbibles | 1, parametrizable | | | | |
| Rendimiento del convertidor | En equipos < 0,75 kW: 90 ... 94 %, en equipos ≥ 0,75 kW: 95 % | | | | |
| Filtro CEM | Variante con filtro CEM integrado de clase A/B | | | | |
| Entradas digitales | Hasta 4 | | | | |
| Salidas digitales | 1 salida por optoacoplador con aislamiento galvánico (24 V DC, 50 mA, óhm., tipo NPN) | | | | |
| Entrada analógica | Variante con una entrada analógica (también utilizable como entrada digital) | | | | |
| Interfaces de comunicación | Variante con interfaz serie RS485 para funcionar con protocolo USS | | | | |
| Funciones | | | | | |
| Métodos de control/regulación | <ul style="list-style-type: none"> • Característica <i>U/f</i> lineal (con elevación de tensión parametrizable) • Característica <i>U/f</i> cuadrática • Característica multipunto (característica <i>U/f</i> parametrizable) | | | | |
| Funciones operativas | <ul style="list-style-type: none"> • Modo manual a impulsos • Rearranque automático tras un paro provocado por un corte de red • Conexión suave del convertidor al motor girando (rearranque al vuelo) | | | | |
| Frecuencias fijas | 3, parametrizables | | | | |
| Funciones de freno | Frenado por inyección de corriente continua, frenado combinado | | | | |
| Funciones de protección | Subtensión, sobretensión, defecto a tierra, cortocircuito, vuelco del motor, protección térmica de motor I ² t, sobretensión en convertidor, sobretensión en motor | | | | |
| Motores aptos para conectar | Motores asíncronos de baja tensión | | | | |
| Longitud max. del cable al motor | 25 m (apantallado), 50 m (no apantallado) | | | | |
| Normas | | | | | |
| Conformidad con normas | UL, cUL, CE, c-tick, | | | | |
| Marcado CE | Según Directiva de baja tensión 73/23/CEE | | | | |
| Accesorios | | | | | |
| | Basic Operator Panel, juego de conexión PC-convertidor, adaptador para el montaje en perfil DIN, bobina de red | | | | |

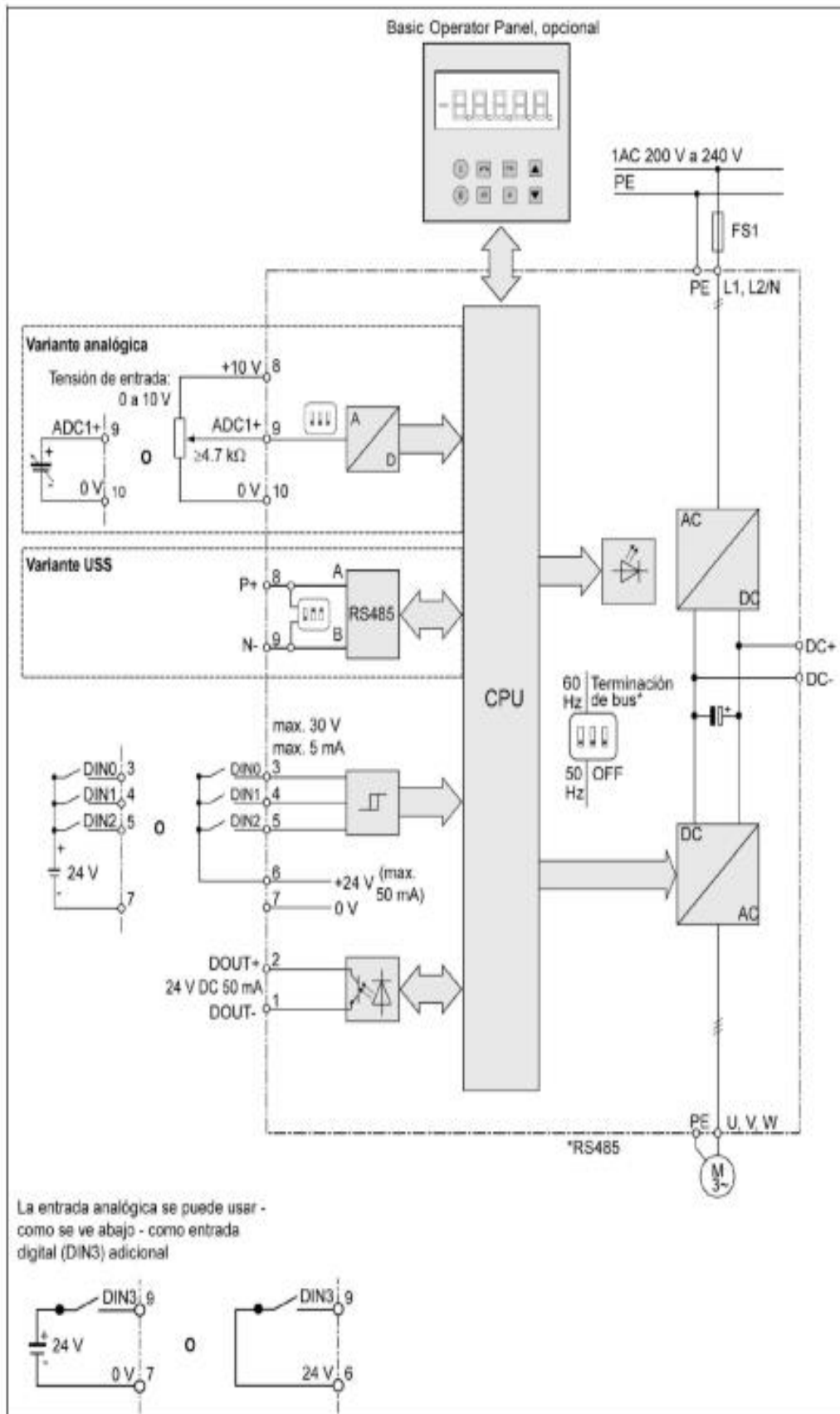
Siemens AG
Industry Sector
Drive Technologies

Sujeto a cambios sin previo aviso
Referencia: 6ZB5471-0AK04-0BA1
Dispo 18404
BR 0808 2,0 VOG 6 ES / 822299
Printed in Germany
© Siemens AG 2008

Este folleto contiene descripciones o prestaciones que en el caso de aplicación concreta pueden no coincidir exactamente con lo descrito, o bien haber sido modificadas como consecuencia de un ulterior desarrollo del producto. Por ello, la presencia de las prestaciones deseadas sólo será vinculante si se ha estipulado expresamente al concluir el contrato.

Reservadas las posibilidades de suministro y modificaciones técnicas. Todas las designaciones de productos pueden ser marcas o nombres de productos de Siemens AG o subcontratistas suyos, cuyo uso por parte de terceros puede violar los derechos de sus titulares.

www.siemens.com/sinamics-g110



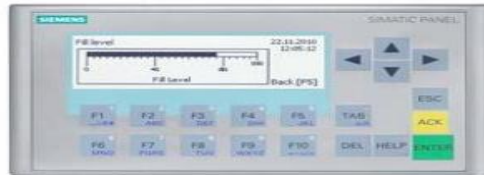
Anexo G: Información Técnica pantalla siemens KP – 300

SIEMENS

hoja de datos del producto

6AV6647-0AH11-3AX0

SIMATIC HMI KP300 BASIC MONO PN,
BASIC PANEL, OPERACION TECLA,
DISPLAY 3" FSTN LCD, NEGRO BLANCO,
INTERFAZ PROFINET,
CONFIGURABLE DESDE WINCC BASIC V11.0,
STEP7 BASIC V11,
CONTIENE SW OPEN SOURCE ENTREGADO
GRATUITAMENTE. VER CD ADJUNTO



| Display | |
|---|---|
| Tipo de display | FSTN |
| Diagonal de pantalla | 3,6 in |
| Achura del display | 87 mm |
| Altura del display | 31 mm |
| Nº de colores | 4 ; Sólo retroiluminación (blanco, rojo, verde, amarillo) |
| Resolución (píxeles) | |
| Resolución de imagen horizontal | 240 |
| Resolución de imagen vertical | 80 |
| Retroiluminación | |
| MTBF de la retroiluminación (con 25 °C) | 50000 h |
| Retroiluminación variable | No |
| Elementos de mando | |
| Teclado | |
| Nº de teclas de función | 10 |
| Teclas con LED | No |
| Teclas del sistema | Sí |
| Teclado numérico/alfanumérico | |
| Teclado numérico | Sí ; Teclado |

6AV6647-0AH11-3AX0

subject to modifications

| Teclado alfanumérico | Sí ; Teclado |
|---|-------------------|
| Manejo táctil | |
| Como pantalla táctil | No |
| Diseño/montaje | |
| Montaje vertical (formato retrato) posible | No |
| Montaje horizontal (formato apaisado) posible | Sí |
| Tensión de alimentación | |
| Tipo de tensión de la alimentación | DC |
| Valor nominal (DC) | 24 V |
| Rango admisible, límite inferior (DC) | 19,2 V |
| Rango admisible, límite superior (DC) | 28,8 V |
| Intensidad de entrada | |
| Consumo (valor nominal) | 0,1 A |
| Intensidad transitoria de cierre A*s | 0,5 A*s |
| Potencia | |
| Consumo, típ. | 3 W |
| Procesador | |
| Tipo de procesador | |
| X86 | No |
| ARM | Sí ; RISC 32 bits |
| Memoria | |
| Flash | Sí |
| RAM | Sí |
| Memoria de usuario | 1 Mbyte |
| Tipo de salida | |
| Acústica | |
| Zumbador | No |
| Altavoz | No |
| Hora | |
| Reloj | |
| Reloj por hardware (reloj tiempo real) | No |
| Reloj por software | Sí |
| Respaldo | No |
| Sincronizable | Sí |
| Interfaces | |
| Nº de interfaces RS 485 | 0 |
| Nº de interfaces USB | 0 |
| Número de slot para tarjetas SD | 0 |

6AV6647-0AH11-3AX0

subject to modifications

Anexo H: Información Técnica sensor termocupla tipo J

Tablas de Características principales de las termocuplas industriales más utilizadas:

| Termocuplas metálicas | | | | |
|-----------------------|------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------------|
| Tipo ANS/ISA | Combinación de metales | Sensibilidad | Composición química | Rangos de temperatura |
| J | Hierro/constantan | 5,6 mV/ 100 ° C | Fe 44 Ni:55 Cu | -40 a + 750 |
| K | Cromel/ Alumel | 3,6 mV/ 100 ° C | 90 Ni:9 Cr 94 Ni:Al:Mn:Fe | -40 a +1200 |
| T | Cobre/constantan | 4,5 mV/ 100 ° C | Cu 44 Ni:55 Cu | -50 a + 400 |
| E | Cromel/constantan | 7,9 mV/ 100 ° C | 90 Ni:9 Cr 44 Ni:55 Cu | -40 a +900 |

El valor que en la tabla figura como "sensibilidad" es un parámetro importantísimo ya que nos dice cuantos milivoltios se pueden obtener por cada grado centígrado (en la tabla lo especifican cada 100°C). Esto presupone que podemos pensar al comportamiento de la termocupla como una línea recta dentro de su rango de operación o trabajo (ver curvas en la página siguiente).

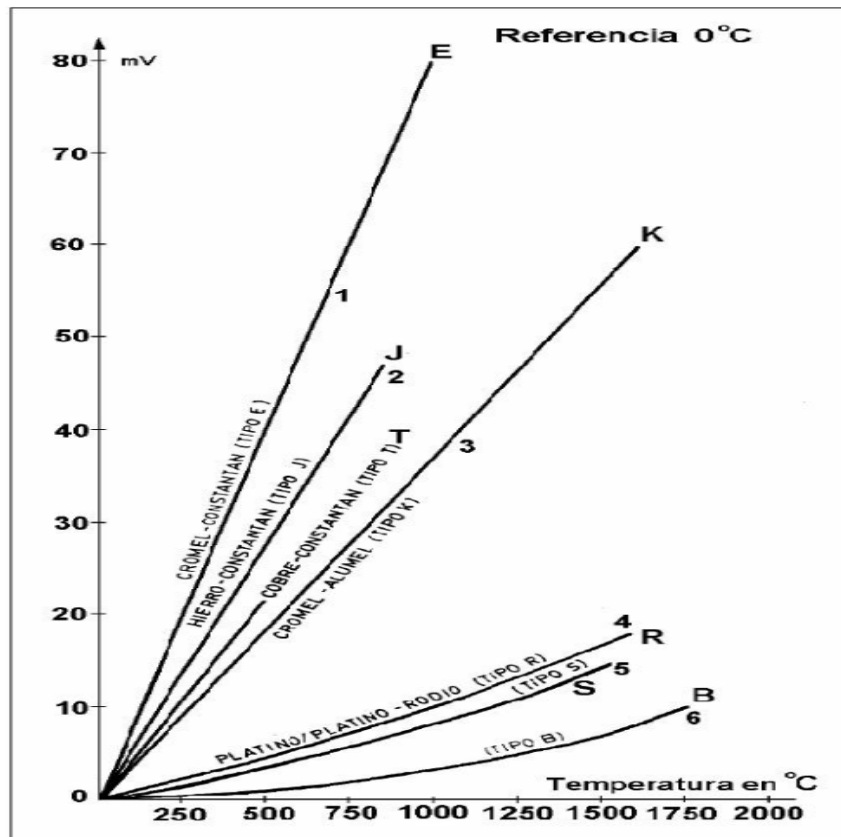
Hay mucha disparidad en la información de los rangos publicados ya que se puede tratar de:

1. El rango límite de temperaturas: aquellas que garantizan que no altera la integridad de la termocupla.
2. El rango de comportamiento lineal: franja de trabajo en donde el parámetro sensibilidad tiene sentido.
3. El rango de operación: es la franja de temperaturas para una aplicación particular.

| Termocuplas de metales preciosos | | | | |
|----------------------------------|-----------------------------|--------------|-----------------------|-------------------------|
| Tipo ANS/ISA | Combinación de metales | Sensibilidad | Composición química | Rangos de temperatura |
| R | Platino-rodio/platino | Ver gráfico | 87Pt:13Rh Pt | Disponible hasta 1480°C |
| S | Platino-rodio/platino | Ver gráfico | 90Pt:10Rh Pt | Disponible hasta 1400°C |
| B | Platino-rodio/Platino-rodio | Ver gráfico | 70Pt:30Rh 94Pt:6Rh | Disponible hasta 1700°C |

En la tabla inferior se utiliza básicamente platino y rodio y se destaca la elevada temperatura de trabajo y que es la gran diferencia con la primera tabla. No obstante las curvas de tensión/temperatura tienen mucho más pronunciado el factor cuadrático ($v=aT+bT^2$) y por lo tanto requieren dispositivos más sofisticados para traducir los valores y lograr una medición exacta.

En el gráfico de la página siguiente se ven claramente estas diferencias.



Anexo I: Información Técnica sensor Encoder Óptico

Incremental 38-mm-Dia. Rotary Encoder

MCT38A/MCT38B/MCT38C

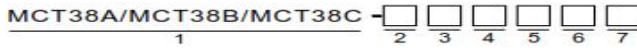
2 or 4 phase type

General purpose Encoder with External Diameter of 38mm

- Incremental model 2 or 4 phase type
- External diameter of 38mm
- Resolution available for 300/360/400/600.
- Various output type
- Solid shaft with Dia at 6 mm



Ordering Information



Section 1: Basic model name

- MCT38A:** 38mm Rotary Encoder(Mounting type A)
- MCT38B:** 38mm Rotary Encoder(IP64)(Mounting type B)
- MCT38C:** 38mm Rotary Encoder(Mounting type C)

Refer to drawings for the difference between MCT38A/MCT38B/MCT38C

Section 2: Shaft Size

- 6:** Solid shaft with Dia at 6 mm

Section 3: Resolution

- 300:** 300 ppr
- 360:** 360 ppr
- 400:** 400 ppr
- 600:** 600 ppr

For 2 or 4 phase type, the option for resolution is limited to listed as above 300/360/400/600 PPR, other pulse is not available

Section 4: Output phase

- 2:** A B
- 4:** A \bar{A} B \bar{B}

Section 5: Output type

- C:** Complementary(also known as Totem Pole)
- N:** NPN Open collector
- P:** PNP Open collector
- V:** Voltage output
- L:** Line driver(Power source 5VDC ONLY,Phase 4)
- T:** Push-Pull(With inverted signal,Phase 4)

Section 6: Power Supply

- 8:** 8-30 VDC(+/- 5%)
- 5:** 5 VDC(+/- 5%)

Section 7: Cable outgoing type

- G:** Side entry cable
- E:** Rear entry cable

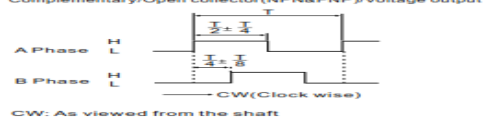
▲ Standard cable length is 2M

Ratings and Specifications

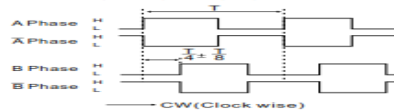
- Power supply: 8-30 VDC
- Resolution: 300/360/400/600 ppr
- Current consumption: 100mA(Load disconnected)
- Load current: 50mA maximum per channel
- Output type: NPN/PNP open collector/Complementary/Voltage/Line Driver/Push-Pull(HTL with reverse signal)
- Frequency: 100K HZ Frequency=RPM*Resolution/60
- Maximum permissible speed: 4000 rpm
- Shaft loading radial: 10N
- Shaft loading thrust: 20N
- Weight: Approx 0.2KG
- Protection level: IP50
- Temperature: operation(-10°C~+70°C), storage(-30°C~+85°C)
- Vibration resistance: 50m/s, 10-65 HZ, 1 mm double amplitude for 2 hours each in X, Y, and Z directions
- Shock resistance: 980m/s, 6m/s 2 times each in X, Y, and Z directions
- Starting torque: 1 x 10⁻³ N.m Maximum

Output circuits and wave forms

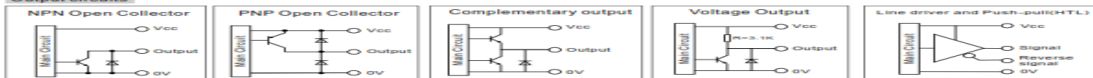
Wave forms: Complementary/Open collector(NPN&PNP)/Voltage output



Line Driver(RS422)/Push-pull(HTL with reverse signal)

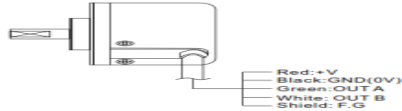


Output circuits

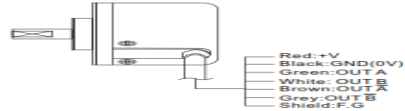


Wiring Details

Complementary/Open collector(NPN/PNP)/Voltage output



Line Driver/Push-pull(HTL with reverse signal)



Mounting and Dimensions

