

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS FÍSICAS Y FORMALES

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



**“AUTOMATIZACIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA DE
LA PLANTA DE BALANCEADOS EN LOS
PROCESOS DE MOLIENDA, MEZCLADO Y
PELETIZADO DE LA EMPRESA DE ALIMENTOS
PROCESADOS S.A. E IMPLEMENTACIÓN DEL
PROTOTIPO DEL MÓDULO DE
ACONDICIONAMIENTO PARA EL PROCESO DE
PELETIZADO”**

Tesis Presentada por los Bachilleres:

**CERRÓN SALCEDO, Juan Diego Ernesto
MORENO ARÉVALO, Edmundo Oswaldo**

Para optar el Título Profesional
de Ingeniero Electrónico

Arequipa - Perú

2014

INDICE GENERAL

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	5
1.1. Planteamiento del Problema	5
1.2. Descripción del problema	6
1.3. Alcances	6
1.4. Hipótesis	6
1.4.1. Principal	6
1.4.2. Secundaria	7
1.5. Objetivos	7
1.5.1. Principal	7
1.5.2. Secundaria	7
1.6. Variables de control	8
1.6.1. Variables independientes	8
1.6.2. Variables dependientes	8
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	9
2.1. Alimento Balanceado	9
2.2. Requerimientos de los Alimentos Balanceados	10
2.3. Etapas del Proceso de Alimento Balanceado	10
2.4. Recepción y Abastecimiento de Materias Primas	10
2.4.1. Parámetros de Control	10
2.5. Formulación	12

2.5.1.	Parámetros de Control	12
2.6.	Molienda	13
2.6.1.	Parámetros de Control	13
2.7.	Mezclado	14
2.7.1.	Parámetros de Control	14
2.8.	Peletizado	16
2.8.1.	Parámetros de Control	16
2.9.	Control de Procesos	17
2.9.1.	Concepto General	17
2.9.2.	Definición de elementos de un lazo de control.	18
2.10.	Estrategias de control y tipos de sistemas de control	20
2.10.1.	Control de dos posiciones	21
2.10.2.	Control proporcional-integrativo (PI) (2)	21
2.10.3.	Controlador proporcional –integral - derivativo (PID)	22
2.10.4.	Control de sistemas multivariables	22
2.10.5.	Control cascada	23
2.10.6.	Sistemas lineales	25
2.10.7.	Sistemas no lineales	25
2.10.8.	Saturación	26
2.10.9.	Régimen transitorio	26
2.10.10.	Sistemas de primer orden	26
2.11.	Definición de instrumentación	28

2.11.1. Clasificación de los instrumentos	31
2.12. Controladores Lógicos Programables	37
2.12.1. Clasificación PLC según fabricantes: Allen Bradley	38
2.12.2. Características De Los Módulos En Plc's	41
2.13. Método De Sintonización	42
CAPÍTULO III. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO	47
3.1. Análisis de insumo y productos	48
3.2. Análisis del proceso	49
3.3. Análisis del sistema	50
3.4. Elección de la estrategia de control	51
3.5. Diseño de la etapa de control e instrumentación	54
3.5.1. Control de temperatura	54
3.5.2. Control indirecto de presión del caldero a través de la temperatura	56
3.5.3. Control de velocidad del motor alimentador con PWM	58
3.5.4. Tarjeta de potencia para las salidas de PLC	60
3.5.5. Control de posición de válvula de vapor	63
3.6. Diseño mecánico	69
3.6.1. Cálculo del dimensionamiento de la tolva dosificadora	69
3.6.2. Cálculo del flujo del tornillo alimentador	71
3.6.1. Cálculo del flujo y del tiempo de retención del acondicionador	77
3.7. Diseño eléctrico e instrumentación	82
CAPITULO IV. AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE BALANCEADOS	84
4.1. Mezclado.	85

4.1.1.	Diseño de la estrategia de control del procesos de mezclado	85
4.1.2.	Relación de entradas y salidas	87
4.1.1.	Diagrama de flujo	90
4.1.2.	Layout del proceso de mezclado.	91
4.1.3.	Diagrama P&ID del proceso de mezclado	92
4.2.	Molienda	107
4.2.1.	Diseño de la estrategia de control del procesos de molienda	107
4.2.2.	Relación de entradas y salidas	109
4.2.3.	Diagrama de Flujo General	112
4.2.4.	Layout del Proceso de Molienda	113
4.2.5.	Diagrama P&ID del Proceso de Molienda	114
4.2.6.	Programa Ladder	115
4.2.7.	Diseño del sistema SCADA proceso de Abastecimiento, mezclado y molienda	130
CAPÍTULO V MODELADO DEL SISTEMA Y RESULTADOS		133
5.1.	Modelamiento del sistema de prensado	133
5.1.1.	Linealidad del sistema torque Vs. Velocidad (5)	134
5.1.2.	Modelamiento teórico. (6)	137
5.1.3.	Modelamiento de la función de transferencia ideal	140
5.2.	Configuración del enlace entre computador y controlador.	145
5.2.1.	Comunicación entre el PLC y el PC	145
5.2.2.	Software de comunicación RSLinx	147

5.2.3. Configuración del software RSLogix 500.	152
5.3. Obtención de la función de transferencia experimental para el lazo interno de corriente	156
5.4. Programa Ladder para la generación de la función tipo escalón para el lazo interno de corriente.	160
5.5. Sintonización del lazo de control de corriente utilizando regla de sintonización de Ziegler y Nichols basada en la respuesta escalón de la planta (primer método).	166
5.5.1. Para un sistema de Primer Orden	166
5.5.2. Parámetros de Sintonización	166
5.6. Obtención de la función de transferencia experimental para el lazo externo de temperatura	169
5.6.1. Programa ladder para la generación de una función tipo rampa	169
5.6.2. Programa ladder para la generación de una función tipo escalón para el lazo externo de Temperatura	173
5.7. Sintonización del lazo de control de temperatura utilizando regla de sintonización de Ziegler y Nichols basada en la respuesta escalón de la planta (primer método).	182
5.7.1. Para un sistema de Primer Orden	182
5.7.2. Parámetros de Sintonización	182
5.8. Programación para un control en Cascada del Controlador Micrologix 1100	184
5.8.1. Procedimiento para la puesta en marcha después de la parada de emergencia	186
5.8.2. Rangos de Trabajo de Temperatura	188
5.8.3. Rangos de Trabajo de Corriente	189
5.8.4. Programa de Control Cascada	190

5.9. Desarrollo del sistema de control y supervisión SCADA utilizando Software FactoryTalk View Studio	203
5.9.1. Configuración de la comunicación OPC entre el PLC y software FactoryTalk View Studio	203
5.9.2. Creación de Tag para HMI	211
5.9.3. Creación de Displays para HMI	214
5.9.4. Creación de tags derivados	225
5.9.5. Configuración de grafico de tendencia	235
5.9.6. Configuración de base de datos en SQL Server 2005.	238
5.9.7. Configuración de alarmas	257
5.9.8. Configuración del arranque del proyecto	266
CAPÍTULO VI. COSTOS DEL PROYECTO	271
6.1. Costo del diseño y fabricación mecánico	272
6.2. Costo de tarjeta de control, convertidores y sensores	273
6.3. Costos de cableado eléctrico	274
6.4. Costos de elementos de control	274
6.5. Costos de ingeniería	275
6.6. Costos del proyecto	275
CONCLUSIONES	276
RECOMENDACIONES	278
BIBLIOGRAFIA	279
ANEXOS	281

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

Figura 2.1: Layout del proceso de recepción.	11
Figura 2.2: Layout del proceso de mezclado.	13
Figura 2.3: Layout del proceso de molienda.	14
Figura 2.4: Layout del proceso de mezclado.	15
Figura 2.5: Layout del proceso de peletizado.	17
Figura 2.6: Control de procesos (a) muestra el control manual para un proceso de intercambiador de calor (b) Control automático para un proceso de intercambiador de calor.	18
Figura 2.7: Diagrama de bloques de un control de proceso.	18
Figura 2.8: Lazo simple de realimentación.	19
Figura 2.9: Control de dos posiciones.	21
Figura 2.10: Sistema con controlador PI.	22
Figura 2.11: Sistema con controlador PID.	22
Figura 2.12: Diagrama control en cascada.	24
Figura 2.13: Tiempo muerto.	28
Figura 2.14: Circuito termopar.	33
Figura 2.15: Método usando dos electrodos con dedos interdigitados sobre un sustrato aislante para medir la humedad.	34
Figura 2.16: Válvula simple (izquierda) y válvula de doble asiento (derecha).	35
Figura 2.17: Válvula tipo aguja.	36
Figura 2.18: Controlador Lógico Programable.	37
Figura 2.19: Sistema PLC.	38

Figura 2.20: Arquitectura de un PLC.	38
Figura 2.21: PLC Micrologix 1100.	40
Figura 2.22: Control PID de una planta.	43
Figura 2.23: Curva de Respuesta Escalón Unitario que muestra un sobrepaso de 25%.	44
Figura 2.24: Respuesta escalón unitario de la planta.	44
Figura 2.25: Curva de respuesta con forma de S.	45
CAPITULO III. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO	
Figura 3. 1: Diagrama P&ID del procesos de mezclado	51
Figura 3. 2: Diagrama P&ID del proceso de peletizado.	52
Figura 3. 3: Diagrama esquemático de conversión de temperatura de 0 a 500°C en 0 a 10 Vdc, para la entrada análoga del PLC.	54
Figura 3. 4: Diagrama de placa de la conversión de temperatura de 0 a 500°C en 0 a 10 Vdc, para la entrada análoga del PLC.	55
Figura 3. 5: Diagrama Esquemático de conversión de Temperatura de 0 a 500°C en 0 a 10 Vdc, para la entrada análoga del PLC.	56
Figura 3. 6: Diagrama de placa de conversión de temperatura de 0 a 500°C en 0 a 10 Vdc, para la entrada análoga del PLC.	57
Figura 3. 7: Diagrama esquemático de control de velocidad con PWM con entradas de control de 0 a 10 Vdc, de la salida análoga del PLC.	58
Figura 3. 8: Diagrama de placa del control de velocidad de motor DC con entradas de control de 0 a 10 Vdc, de la salida análoga del PLC.	59
Figura 3. 9: Etapa de Potencia con transistores y Mosfet salida de 24 Vdc.	60
Figura 3. 10: Etapa de potencia con transistores y Mosfet salida a relay.	61
Figura 3. 11: Etapa de potencia con transistores y Mosfet salida a relay (placa).	62

Figura 3. 12: Diagrama de flujo del control proporcional de la válvula tipo aguja de vapor.	63
Figura 3. 13: Diagrama del control proporcional de la válvula tipo aguja de vapor.	64
Figura 3. 14: Diagrama esquemático del control proporcional de la válvula de vapor.	67
Figura 3. 15: Diagrama de placa del control proporcional de la válvula de vapor.	68
Figura 3. 16: Flujo de material por sobrecarga del alimentador.	74
Figura 3. 17: Flujo de material por RPM del acondicionador.	78
Figura 3. 18: Flujo de Material por RPM de la prensa de harina.	81
CAPITULO IV. MODELADO DEL SISTEMA Y RESULTADOS	
Figura 4. 1: Proceso de Mezclado.	85
Figura 4. 2: Diagrama control del proceso de mezclado.	86
Figura 4. 3: Diagrama de flujo del proceso de formulación.	90
Figura 4. 4: Layout del proceso de formulación.	91
Figura 4. 5: Diagrama P&ID del proceso de Mezclado.	92
Figura 4. 6: Proceso de molienda.	107
Figura 4. 7: Diagrama de control del proceso de molienda.	108
Figura 4. 8: Diagrama de Flujo del proceso de molienda.	112
Figura 4. 9: Layout del proceso de molienda.	113
Figura 4. 10: Diagrama P&ID del proceso de molienda.	114
Figura 4. 11: Display del proceso de abastecimiento en software RSView32.	130
Figura 4. 12: Display del proceso de mezclado en software RSView32.	131
Figura 4. 13: Display del proceso de molienda en software RSView32.	132

CAPITULO V. AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE BALANCEADOS

Figura 5. 1: Relación lineal torque vs velocidad.	136
Figura 5. 2: Sistema Par-inercia	138
Figura 5. 3: Sistema par-resorte torsional.	139
Figura 5. 4: Sistema ideal motor-carga.	140
Figura 5. 5: Diagrama de cuerpo libre sistema motor-carga.	141
Figura 5. 6: Diagrama de estado del sistema motor-carga.	143
Figura 5. 7: Función de transferencia ideal.	144
Figura 5. 8: Identificación de la dirección MAC del PLC Micrologix 1100.	146
Figura 5. 9 Asignamos la dirección IP al PLC Micrologix 1100.	146
Figura 5. 10: Validación de la dirección IP al PLC Micrologix 1100.	147
Figura 5. 11: Ventana Principal de RSLinx.	148
Figura 5. 12: Ventana Configure Drivers Antes De Establecer Comunicación Con El Controlador.	149
Figura 5. 13: Ventana para ingresar el nombre del Driver.	149
Figura 5. 14: Ventana Configure Drivers Después De Establecer Comunicación Con El Controlador.	150
Figura 5. 15: Ventana RSWho.	151
Figura 5. 16: Ventana RSLogix 500, panel de Configuración de controladores.	152
Figura 5. 17: Ventana RSLogix 500, I/O Configuration.	153
Figura 5. 18: Ventana RSLogix 500, Read I/O Configuration from Online Processor.	153
Figura 5. 19: Ventana RSLogix 500, enlace de comunicación entre la PC y el PLC.	154
Figura 5. 20: Ventana RSLogix 500 Read I/O Configuration From Online Processor.	154

Figura 5. 21: Ventana RSLogix 500, Read I/O Configuration. Con las tarjetas de entradas y salidas leídas correctamente de manera automática en el orden de conexión física.	155
Figura 5. 22: Programa ladder de generación rampa línea 0, temporizador de 300 segundos para una señal rampa.	156
Figura 5. 23: Programa ladder de generación rampa línea 1, habilitación de tornillo alimentador.	156
Figura 5. 24: Programa ladder de generación rampa línea 2, stop de la rampa.	156
Figura 5. 25: Programa ladder de generación rampa línea 3, escalamiento de la señal rampa.	157
Figura 5. 26: Programa ladder de generación rampa línea 4, escalamiento de la señal rampa en porcentaje.	157
Figura 5. 27: Programa ladder de generación rampa línea 5 y 6, escalamiento de la señal de corriente del tornillo alimentador.	158
Figura 5. 28: Gráfica de la rampa generada y la respuesta del sistema para el lazo interno de corriente.	159
Figura 5. 29: Gráfica de la rampa generada y la respuesta del sistema para el lazo interno de corriente.	159
Figura 5. 30: Programa ladder para la generación de una señal tipo escalón línea 0, Tiempo de Estabilización .	160
Figura 5. 31: Programa ladder para la generación de una señal tipo escalón línea 1, valor del nivel mínimo de la señal escalón.	160
Figura 5. 32: Programa ladder para la generación de una señal tipo escalón línea 2, valor del nivel alto de la señal escalón.	160

Figura 5. 33: Programa ladder para la generación de una señal tipo escalón línea 3, valor del nivel alto de la señal escalón.	161
Figura 5. 34: Programa ladder para la generación de una señal tipo escalón línea 4.escalamiento del convertidor analógico de 0 a 1500 mA.	161
Figura 5. 35: Programa ladder para la generación de una señal tipo escalón línea 5 y 6, escalamiento de la señal PWM.	162
Figura 5. 36: Resuesta del sistema de lazo interno de corriente frente a una señal tipo escalón.	162
Figura 5. 37: Respuesta del sistema frente a una función escalón, con parámetros para hallar el retardo θ del primer método de sintonización de Ziegler and Nichols.	163
Figura 5. 38: Respuesta del sistema frente a una función escalón, con parámetros para hallar la constante de tiempo τ del primer método de sintonización de Ziegler and Nichols.	164
Figura 5. 39: Validación en Simulink de la Función de Transferencia hallado experimental.	165
Figura 5. 40: Validación en Simulink de la función de transferencia hallado experimental resultado del SCOPE.	165
Figura 5. 41: Sistema de lazo cerrado, del bloque de control de temperatura.	166
Figura 5. 42: Calculo del tiempo de retardo L y la constante de tiempo T para el lazo de interno de corriente empleando el primer método de sintonización de Ziegler-Nichols.	167
Figura 5. 43: Programa ladder de generación rampa línea 0, timer inicio de rampa.	169
Figura 5. 44: Programa ladder de generación rampa línea 1, convertidor de tiempo a voltaje.	169

Figura 5. 45: Programa Ladder de Generación Rampa línea 2 escalamiento de 0 a 100% de apertura.	170
Figura 5. 46: Programa ladder de generación rampa línea 3 escalamientos de temperatura de 0 a 500 ° C.	170
Figura 5. 47: Programa ladder de generación rampa línea 4, escalamiento de temperatura de caldero de 0 a 500°C.	171
Figura 5. 48: Gráfica de la rampa generada y la respuesta del sistema.	172
Figura 5. 49: Gráfica de la rampa generada y la respuesta del sistema.	172
Figura 5. 50: Programa ladder línea 1, tiempo de estabilización de temperatura.	173
Figura 5. 51: Programa ladder línea, valor de estabilización del 10% de apertura de la válvula (equivalente a 1 Voltio → 3121).	173
Figura 5. 52: Programa ladder línea 2, valor del escalón al 24% de apertura de la válvula.	173
Figura 5. 53: Programa ladder línea 3, stop del escalón.	174
Figura 5. 54: Programa Ladder línea 4, escalamiento de temperatura del acondicionador.	174
Figura 5. 55: Programa ladder línea 5, escalamiento de temperatura del caldero.	175
Figura 5. 56: Programa Ladder línea 6, Escalamiento de Apertura de la Válvula de Vapor.	175
Figura 5. 57: Respuesta del sistema frente a una función escalón, con parámetros para hallar la ganancia Kc del primer método de sintonización de Ziegler and Nichols.	176
Figura 5. 58: Sistema de segundo orden y sus distinto comportamiento donde, a)es un sistema sobreamortiguado, en sistemas lentos, b)es un sistema subamortiguado, para	

sistemas rápidos con oscilaciones, y c) es un sistema con amortiguamiento crítico, en sistemas más rápidos que los sobreamortiguados. 177

Figura 5. 59: Respuesta del sistema frente a una función escalón, con parámetros para hallar la ganancia K_c del primer método de sintonización de Ziegler and Nichols. 178

Figura 5. 60: Respuesta del sistema frente a una función escalón, con parámetros para hallar el retardo θ del primer método de sintonización de Ziegler and Nichols. 179

Figura 5. 61: Respuesta del sistema frente a una función escalón, con parámetros para hallar la constante de tiempo τ del primer método de sintonización de Ziegler and Nichols. 180

Figura 5. 62: Validación en Simulink de la Función de Transferencia hallado experimental. 181

Figura 5. 63: Validación en Simulink de la función de transferencia hallado experimental resultado del SCOPE. 181

Figura 5. 64: Sistema de lazo cerrado, del bloque de control de temperatura. 182

Figura 5. 65: Cálculo del tiempo de retardo L y la constante de tiempo T para el lazo de temperatura empleando el primer método de sintonización de Ziegler-Nichols. 183

Figura 5. 66: Control del sistema con parámetros de ensayo y error en el sistema. 184

Figura 5. 67: Programa ladder de escalamiento para lazo de temperatura. 188

Figura 5. 68: Gráfica de trabajo de temperatura. 188

Figura 5. 69: Programa ladder de escalamiento para lazo corriente. 189

Figura 5. 70: Gráfica de trabajo de rango de trabajo del lazo de corriente. 190

Figura 5. 71: Línea 0000, programa multivariable cascada. 190

Figura 5. 72: Línea 0001, programa multivariable cascada. 191

Figura 5. 73: Línea 0002, programa multivariable cascada. 191

Figura 5. 74: Línea 0003, programa multivariable cascada.	191
Figura 5. 75: Línea 0004, programa multivariable cascada.	192
Figura 5. 76: Línea 0004, programa multivariable cascada.	192
Figura 5. 77: Línea 0006, programa multivariable cascada	192
Figura 5. 78: Línea 0007, programa multivariable cascada.	193
Figura 5. 79: Línea 0008, programa multivariable cascada.	193
Figura 5. 80: Línea 0009, programa multivariable cascada.	193
Figura 5. 81: Línea 0010, programa multivariable cascada.	194
Figura 5. 82: Línea 0011, programa multivariable cascada.	194
Figura 5. 83: Línea 0012, programa multivariable cascada.	194
Figura 5. 84: línea 0013, programa multivariable cascada.	194
Figura 5. 85: línea 0013, programa multivariable cascada.	195
Figura 5. 86: Línea 0015, Programa Multivariable CASCADA	195
Figura 5. 87: Línea 0016, programa multivariable cascada.	195
Figura 5. 88: Línea 0017, programa multivariable cascada.	196
Figura 5. 89: Línea 0018, programa multivariable cascada.	196
Figura 5. 90: Línea 0019, programa multivariable cascada.	196
Figura 5. 91: Línea 0020 y 0021, programa multivariable cascada	197
Figura 5. 92: Línea 00221, programa multivariable cascada.	197
Figura 5. 93: Línea 0023 programa multivariable cascada.	197
Figura 5. 94: Línea 0024, Programa Multivariable CASCADA	198
Figura 5. 95: Línea 0025, programa multivariable cascada.	198
Figura 5. 96: Línea 0026, programa multivariable cascada.	198
Figura 5. 97: Línea 0027, programa multivariable cascada.	199

Figura 5. 98: Línea 0028, programa multivariable cascada.	199
Figura 5. 99: Línea 0029, programa multivariable cascada.	199
Figura 5. 100: Línea 0030, programa multivariable cascada.	200
Figura 5. 101: Línea 0031, programa multivariable cascada.	200
Figura 5. 102: Línea 0032, programa multivariable cascada.	201
Figura 5. 103: Línea 0033, programa multivariable cascada.	201
Figura 5. 104: Línea 0034, programa multivariable cascada.	201
Figura 5. 105: Línea 0035 y 0036, programa multivariable cascada.	202
Figura 5. 106: Configuración para conexión OPC entre PLC y software FactoryTalk View Studio.	203
Figura 5. 107: Selección de nombre para el enlace OPC.	204
Figura 5. 108: Confirmación del canal de comunicación OPC.	204
Figura 5. 109: Ventana de configuración del enlace OPC.	205
Figura 5. 110: Inicio software FactoryTalk View Studio.	205
Figura 5. 111: Selección del tipo de aplicación a configurar.	206
Figura 5. 112: Ventana para creación de un Nuevo Proyecto.	206
Figura 5. 113: Ventana de selección de displays predeterminados a usar en el proyecto.	207
Figura 5. 114: Ventana de entorno principal software FactoryTalk View Studio.	207
Figura 5. 115: Ventana de configuración comunicación OPC.	208
Figura 5. 116: Ventana de propiedades del servidor OPC.	208
Figura 5. 117: Ventana de selección de servidor OPC.	209
Figura 5. 118: Ventana de configuración final de servidor OPC.	209
Figura 5. 119: Barra Explorer con la creación del nuevo enlace OPC.	210

Figura 5. 120: Ventana Explorer para configurar tags de HMI.	211
Figura 5. 121: Ventana de creación de un nuevo Tag para HMI.	211
Figura 5. 122: Selección de variable de PLC para un Tag .	212
Figura 5. 123: Tags creados para el diseño de HMI.(primera parte).	213
Figura 5. 124: Tags creados para el diseño de HMI.(segunda parte).	213
Figura 5. 125: Creación de un nuevo Display en el proyecto.	214
Figura 5. 126: Display creado.	214
Figura 5. 127: Barra de herramientas de Display.	215
Figura 5. 128: Ingreso a galería de figuras predeterminadas.	215
Figura 5. 129: Galería de figuras predeterminadas (Symbol Factory).	216
Figura 5. 130: Display para menú principal para la Planta de Alimento Procesado	216
Figura 5. 131: Cuadro de texto Menú Principal.	217
Figura 5. 132: Ingreso a propiedades del botón “Peletizado”.	217
Figura 5. 133: Ventana de configuración de propiedades del botón “Peletizado”.	218
Figura 5. 134: Paso acción a ser ejecutada por el botón “Peletizado”.	218
Figura 5. 135: Paso 2 Selección de ventana a mostrar por el botón “Peletizado”.	219
Figura 5. 136: Pestaña de configuración “Action” del botón “Peletizado”.	219
Figura 5. 137: Pestaña de configuración “Up Appearance” del botón “Peletizado”.	220
Figura 5. 138: Interfaz principal para el proceso de Peletizado.	221
Figura 5. 139: Figura 5.115. Botón “MENU PRINCIPAL” de interfaz de proceso de Peletizado.	222
Figura 5. 140: Pestaña se configuración “Action” para botón de “MENU PRINCIPAL”	222

Figura 5. 141: Pestaña se configuración “Action” para botón de “MENU PRINCIPAL”	223
Figura 5. 142: Botones de navegación para interfaz de proceso de Peletizado.	223
Figura 5. 143: Pestaña se configuración “Action” para botón de “CONTROL”	224
Figura 5. 144: Pestaña se configuración “Up Appearance” para botón de “CONTROL”	224
Figura 5. 145: Creación de un nuevo Tag Derivado en el proyecto.	225
Figura 5. 146: Ventana de configuración de Tag Derivado.	226
Figura 5. 147: Selección de Tag Derivado.	226
Figura 5. 148: Expresión para escalar el sensor de temperatura en un Tag Derivado.	227
Figura 5. 149: Ventana de configuración final de Tag Derivado.	227
Figura 5. 150: Cuadro de Tags Derivados generados	228
Figura 5. 151: Ventana de configuración para el botón “Activar tagderivados”	228
Figura 5. 152: Ventana de configuración para el botón “Desactivar tagderivados”	229
Figura 5. 153: Ingreso a ventana propiedades de un display numérico.	229
Figura 5. 154: Selección de tag para el display numérico.	230
Figura 5. 155: Interfaz de “Control” para el proceso de Peletizado.	231
Figura 5. 156: Ingreso a la animación tipo touch para botón Start.	232
Figura 5. 157: Configuración de animación tipo touch para botón Start.	232
Figura 5. 158: Configuración de animación tipo touch para botón Stop.	233
Figura 5. 159: Ingreso a la animación tipo color para un circulo.	233
Figura 5. 160: Ingreso a la animación tipo Color para un círculo.	234
Figura 5. 161: Display numérico e ingreso numérico para el parámetro “Kp” de lazo principal (temperatura).	234

Figura 5. 162: Ingreso a propiedades del campo “ingreso numérico”	234
Figura 5. 163: Ventana de propiedades del campo “ingreso numérico”.	235
Figura 5. 164: Interfaz de “Trend” para el proceso de Peletizado.	236
Figura 5. 165: Librería Trend.	237
Figura 5. 166: Configuración de propiedades del Trend.	237
Figura 5. 167: Conexión al Servidor SQL Server 2005.	238
Figura 5. 168: Pantalla principal del servidor.	238
Figura 5. 169: Creación de una nueva base de datos.	239
Figura 5. 170: Asignación del nombre de la base de datos.	239
Figura 5. 171: Nueva base de datos creada.	240
Figura 5. 172: Ventana de administración de fuente de datos ODBC.	240
Figura 5. 173: Selección de tipo de fuente de datos ODBC.	241
Figura 5. 174: Creación de una nueva fuente de datos para SQL Server (paso 1).	241
Figura 5. 175: Creación de una nueva fuente de datos para SQL Server (paso 2).	242
Figura 5. 176: Creación de una nueva fuente de datos para SQL Server (paso 3).	242
Figura 5. 177: Creación de una nueva fuente de datos para SQL Server (paso 4).	243
Figura 5. 178: Resumen de configuración de nueva fuente de datos para SQL Server	243
Figura 5. 179: Resultados de prueba de fuente de datos.	244
Figura 5. 180: Nuevo enlace DNS creado de nombre “DSNDBTESIS”.	244
Figura 5. 181: Creación de una nueva base de datos	245
Figura 5. 182: Pestaña “Setup” de ventana de configuración para base de datos.	245
Figura 5. 183: Selección de fuente de base de datos	246
Figura 5. 184: Selección de fuente de datos ODBC	246
Figura 5. 185: Ventana de confirmación de creación de tablas para base de datos	247

Figura 5. 186: Pestaña “Paths” de ventana de configuración para base de datos.	247
Figura 5. 187: Pestaña “Log Triggers” de ventana de configuración para base de datos.	248
Figura 5. 188: Pestaña “Tags in Model” de ventana de configuración para base de datos.	249
Figura 5. 189: Ventana de configuración de boton para activar el almacenamiento en la base de datos.	250
Figura 5. 190: Comando a ejecutar por el botón de activación de base de datos.	250
Figura 5. 191: Selección de la base de datos que se activara.	251
Figura 5. 192: Ventana de configuración de botón para desactivar almacenamiento en la base de datos.	251
Figura 5. 193: Botones de activación y desactivación de la base de datos	252
Figura 5. 194: Procedimiento para abrir una tabla de la base de datos.	252
Figura 5. 195: Tabla “dbo.FloatTable” de la base de datos “DBTESIS”	253
Figura 5. 196: Tabla “dbo.FloatTable” de la base de datos “DBTESIS”	253
Figura 5. 197: Importación de datos a Microsoft Excel desde la base de datos SQL Server 2005.	254
Figura 5. 198: Conexión con el servidor de la base de datos	255
Figura 5. 199: Selección de base de datos y tabla	255
Figura 5. 200: Guardar archivo de conexión de datos y finalizar	256
Figura 5. 201: Visualización de datos de la base de datos.	256
Figura 5. 202: Creación de un nuevo servidor de alarmas y eventos	257
Figura 5. 203: Ventana general para creación de alarmas.	257
Figura 5. 204: Ingreso para configuración de alarmas.	258

Figura 5. 205: Configuración de alarma con severidad 1.	259
Figura 5. 206: Configuración de alarma con severidad 2.	259
Figura 5. 207: Configuración de alarma con severidad 3.	260
Figura 5. 208: Ingreso a ventana de configuración de alarmas y eventos	260
Figura 5. 209: Ventana de configuración de alarmas y eventos.	261
Figura 5. 210: Creación de una nueva alarma tipo analógica	261
Figura 5. 211: Ventana de configuración principal para la alarma de temperatura.	262
Figura 5. 212: Ventana de configuración mensajes para la alarma de temperatura.	262
Figura 5. 213: Alarmas configuradas para el proyecto.	263
Figura 5. 214: Ingreso a librería predeterminada de alarmas y eventos.	263
Figura 5. 215: Interfaz “Alarmas” para el proceso de Peletizado..	264
Figura 5. 216: Interfaz “Alarmas” para el proceso de Peletizado..	265
Figura 5. 217: Selección de archivo de configuración de un Cliente SE.	266
Figura 5. 218: Pantalla de configuración de un Cliente SE.	266
Figura 5. 219: Definición del nombre para el Cliente SE.	267
Figura 5. 220: Selección del tipo de aplicación para el Cliente SE.	267
Figura 5. 221: Selección del proyecto a ser ejecutado por el Cliente SE.	268
Figura 5. 222: Selección de la pantalla inicial para el proyecto a ser ejecutado por el Cliente SE.	269
Figura 5. 223: Finalización de configuración Cliente SE.	269
Figura 5. 224:.. Pantalla inicial Cliente SE.	270

INDICE DE TABLAS

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

Tabla 2. 1: Rango de operación para termopares.	34
Tabla 2.2: Regla de sintonización de Ziegler – Nichols basada en la respuesta escalón de la planta (primer método)	46

CAPITULO III. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO

Tabla 3. 1: Análisis de insumos y/o productos que intervienen en el proceso.	48
Tabla 3. 2: Análisis del proceso.	49
Tabla 3. 3: Análisis del sistema.	50
Tabla 3. 4: Datos experimentales para un control de relación en el procesos de peletizado	53
Tabla 3. 5: Coeficientes de relleno para cuatro tipos de carga.	71
Tabla 3. 6: Coeficiente de disminución por inclinación.	72
Tabla 3. 7: Datos del tornillo alimentador.	72
Tabla 3. 8: Datos experimentales del tornillo alimentador para el cálculo de flujo (Prueba 1).	73
Tabla 3. 9: Datos experimentales del tornillo alimentador para el cálculo de flujo (Prueba 2).	73
Tabla 3. 10: Datos experimentales del tornillo alimentador para el cálculo de flujo (Prueba 3).	74
Tabla 3. 10: Flujo de Tornillos alimentador cálculos del promedio, la varianza y la desviación estándar de los datos experimentales.	75
Tabla 3. 11: Datos de eje de diámetro mayor.	77
Tabla 3. 12: Datos de eje de diámetro menor.	77

Tabla 3. 14: Datos experimentales del acondicionador para el cálculo de flujo (Prueba 1)	78
Tabla 3. 15: Datos experimentales del acondicionador para el cálculo de flujo (Prueba 2)	79
Tabla 3. 16: Datos experimentales del acondicionador para el cálculo de flujo (Prueba 3)	79
Tabla 3. 17 Datos experimentales de la prensa de harina para el cálculo de flujo	81
CAPITULO IV. AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE BALANCEADOS	
Tabla 4. 1: Entradas y salidas del proceso de mezclado.	89
Tabla 4. 2: Entradas y salidas del proceso de mezclado.	89
Tabla 4. 3: Relación de entradas y salidas del proceso de molienda.	111
Tabla 4. 4: Entradas y salidas del proceso de molienda.	111
CAPITULO V. MODELADO DEL SISTEMA Y RESULTADOS	
Tabla 5. 1: Datos de placa de motor trifásico.	134
Tabla 5. 2: Tabla de valores medidos de torque y velocidad con variación de la carga de 60 a 100%.	136
Tabla 5. 3: Unidades de inercia, par de torsión y desplazamiento angular.	138
Tabla 5. 4: Unidades del par torsional.	139
Tabla 5. 5: Regla de sintonización de Ziegler y Nichols basada en la respuesta escalón de la planta (primer método).	166
Tabla 5. 6: Valores de sintonización PID.	168
Tabla 5. 7: Regla de sintonización de Ziegler y Nichols basada en la respuesta escalón de la planta (primer método).	182
Tabla 5. 8: Valores de sintonización PID.	184

Tabla 5. 9: Tabla de especificación de equipos.	185
---	-----

CAPITULO VI. COSTO DEL PROYECTO

Tabla 6. 1: Costos del Diseño Mecánico.	272
---	-----

Tabla 6. 2 Costos de tarjeta de control, convertidores y sensores.	273
--	-----

Tabla 6. 3: Costos del cableado eléctrico.	274
--	-----

Tabla 6. 4: Costos de elementos de control.	274
---	-----

Tabla 6. 5: Costos de ingeniería.	275
-----------------------------------	-----

Tabla 6. 6: Costos del proyecto.	275
----------------------------------	-----



RESUMEN

El desarrollo de la presente Tesis, ha permitido la automatización de los procesos de Molienda, Mezclado y Peletizado de la empresa Alimentos Procesados S.A, además de la implementación del prototipo de Peletizado. Esta implementación permitirá conocer la lógica que sigue el proceso y el desarrollo de un control multivariable tipo cascada que serán supervisados en tiempo real por un sistema SCADA.

En la presente investigación, se ha tenido en cuenta el diseño de la automatización de los procesos de Molienda, Mezclado y Peletizado. Dentro del proceso de Molienda, se controló la secuencia de descarga de tolvas, el flujo de alimentación, y la sobrecarga del molino. En el proceso de Mezclado se controló el flujo de alimentación a la tolva báscula, el peso del producto y el tiempo de mezclado. Mientras que en el proceso de Peletizado se controló el flujo de alimentación, la temperatura del producto, y la sobrecarga en la prensa.

Para la realización del proyecto fue necesario el conocer lenguajes de programación tanto de microcontroladores como de controladores lógicos programables (PLC). Igualmente se desarrolló el diseño del sistema SCADA utilizando la última versión del software FactoryTalk View Studio, mientras que, en la parte de instrumentación se realizó el acondicionamiento de señales de los sensores de temperatura y corriente. Finalmente, con el uso de distintos métodos validos se logró realizar el modelamiento matemático de la planta prototipo del proceso de Peletizado.

Consideramos que para nuestro medio, el aporte técnico de la presente investigación es significativo debido a que en el desarrollo del mismo se han analizado y utilizado una diversidad de equipos de instrumentación y control de procesos.

ABSTRACT

The development of this thesis has enabled the automation of the Milling, Mixing and Pelletizing processes of the Company Alimentos Procesados S.A. in addition, of the implementation of the Pelletizing prototype. This implementation will reveal the logic that follows the process and the development of a multivariable control cascade type to be monitored in real time by a SCADA system.

In the present research, it has taken into account the automation design process of Milling, Mixing and Pelletizing. Within the process of milling, the sequence hopper discharge, feed flow, and the mill overload was controlled. In the Mixing process, the feed flow to the scale hopper, the weight of the product and the mixing time was monitored. While in the pelleting process it was controlled the feed stream process, the temperature of the product, and the overhead on the press.

To carry out the project it was required the use of programming languages for both microcontrollers as well as programmable logic controllers (PLC). Also the design of the SCADA system was developed using the latest version of FactoryTalk View Studio software, while in the part of instrumentation it was performed the signal conditioning of the temperature and current sensors. Finally, using different valid methods it was managed to perform the mathematical modeling of the prototype plant of the Pelletizing process.

We believe that for our surrounding, the technical contribution of the present research is significant because in its development it has been analyzed and used a variety of instrumentation equipment and process control.

INTRODUCCIÓN

La automatización y control de procesos industriales, hoy en día es una necesidad y se ha convertido en una ventaja competitiva para las empresas que cuenta con ella. Para ello es necesario conocer la dinámica de producción, reconocer los tipos de entradas y salidas que requiera el sistema, saber elegir el tipo de control, saber instalar, operar y programar la lógica que se utilizan en las diferentes etapas y así podamos asegurar la máxima eficiencia en el manejo de los recursos de la empresa.

En la presente tesis, diseñaremos la lógica para automatizar los procesos de: molienda, mezclado y peletizado de la empresa de Alimentos Procesados S.A. Para lograr este objetivo se realizó un estudio de investigación, que consiste en conocer la dinámica de cada proceso.

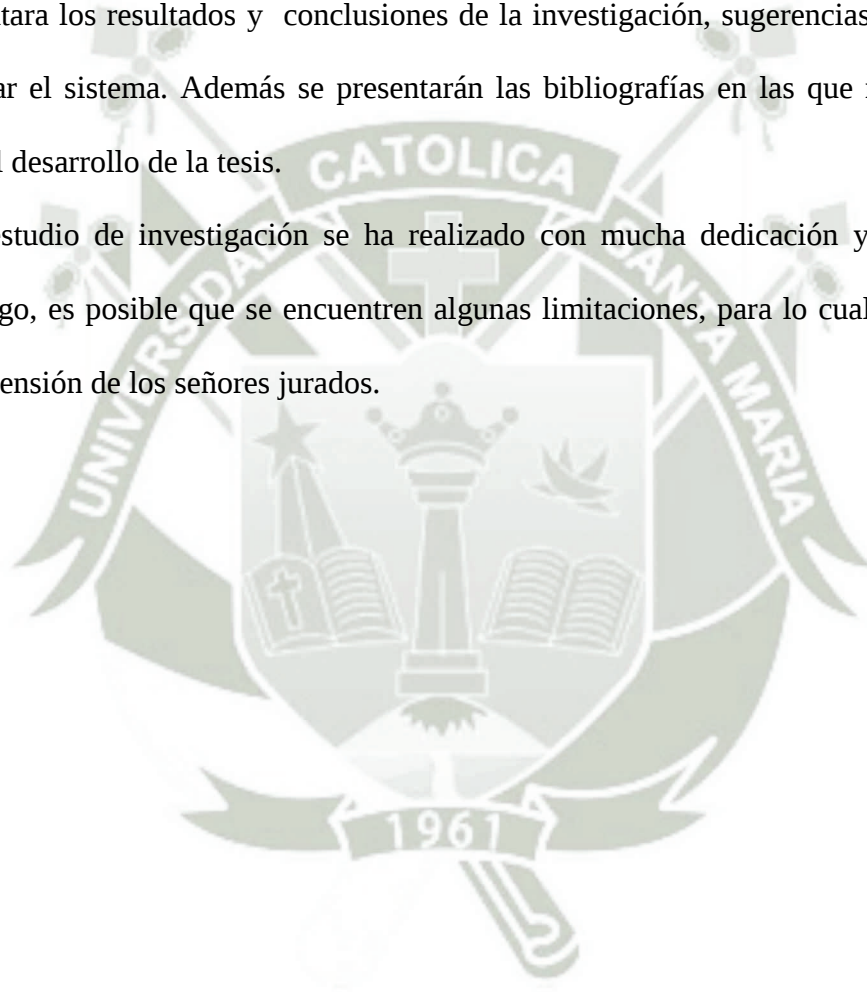
Además se diseñará e implementará un módulo prototipo de acondicionamiento de harina a escala del proceso de peletizado, que permitirá conocer, analizar y aplicar una estrategia de control que se adecúe mejor al sistema.

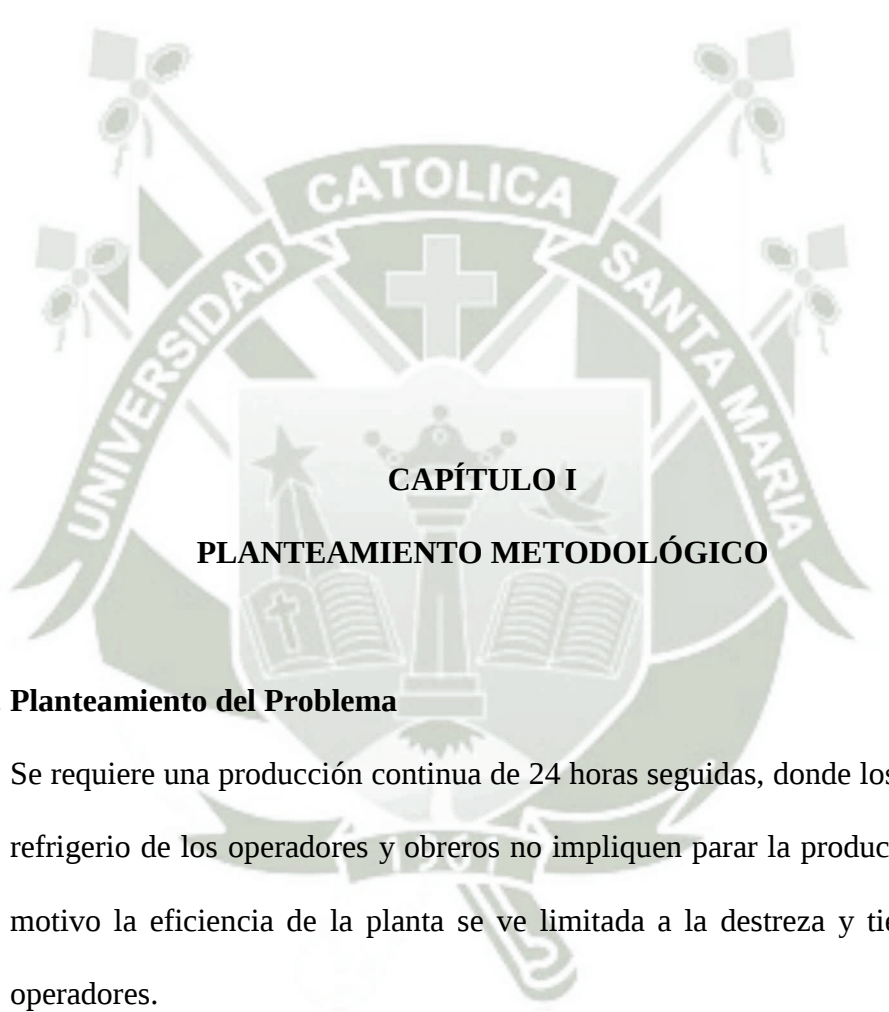
Para el diseño mecánico, eléctrico y de control, es necesario tener conocimientos en mecánica de molinería, control de potencia, estrategias de control, instrumentación y manejo de un sistema SCADA.

La presente tesis, se divide en 5 capítulos, cuyo contenido es el siguiente: el capítulo I está referido al planteamiento metodológico, en la cual describimos el problema, el alcance, las hipótesis y los objetivos de la tesis para lograr una solución. El capítulo II desarrolla el marco teórico de los principales conceptos de alimento balanceado y de teoría de control que serán tomados en cuenta para el desarrollo de los siguientes capítulos. El capítulo III se diseña e implementa el prototipo, para lo cual se analiza previamente los insumos y los productos que se usarán en la experiencia así como

también se lleva a cabo un análisis del proceso y del sistema, los cuales son muy importantes para el diseño electromecánico y determinar los principales parámetros de control. El capítulo IV se diseña la automatización de la planta de balanceados en los procesos de molienda, mezclado y peletizado, en el cual se describe la lógica en diagramas de flujo, se realiza una lista de entradas y salidas del sistema y se diseña la lógica de programación ladder para cada proceso. Finalmente el capítulo V se presentara los resultados y conclusiones de la investigación, sugerencias que permitan mejorar el sistema. Además se presentarán las bibliografías en las que nos apoyamos para el desarrollo de la tesis.

Este estudio de investigación se ha realizado con mucha dedicación y esfuerzo, sin embargo, es posible que se encuentren algunas limitaciones, para lo cual esperamos la comprensión de los señores jurados.





CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. Planteamiento del Problema

Se requiere una producción continua de 24 horas seguidas, donde los horarios de refrigerio de los operadores y obreros no impliquen parar la producción. Por tal motivo la eficiencia de la planta se ve limitada a la destreza y tiempo de los operadores.

Además observamos que el error humano está presente durante todo el proceso de producción, lo que conlleva a tener tiempos muertos y pérdidas económicas. A la vez existe un riesgo de no cumplir con los estándares de calidad. Además el

reproceso de los productos se refleja en un mayor gasto de recursos humanos y energéticos.

1.2. Descripción del problema

Debido a que la planta no cuenta con un proceso automático, se requiere de mano de obra con experiencia o capacitada para un proceso específico, que representa un mayor gasto en la producción. El factor humano causa que los equipos estén funcionando a límites no recomendados por el fabricante lo que genera una disminución considerable del tiempo de vida de los equipos y un consumo inadecuado de energía. El proceso de peletizado, es el más importante de la planta y el control de sus parámetros no es exacto, es por ello que la calidad varía y en algunos casos puede causar reproceso en la producción. Otro problema se presenta cuando los procesos de monitoreo no están centralizados, y se vuelve complicado tener una vista general de la planta, con el cual no se puede analizar y corregir los tiempos muertos ni hacer más eficientes los procesos de producción.

1.3. Alcances

Automatizar la planta de balanceados e implementar un prototipo y sistema SCADA que registre los principales parámetros del proceso de molienda, mezclado y peletizado de la empresa de Alimentos Procesados S.A.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Principal

Es posible diseñar la automatización de los procesos de molienda, mezclado y peletizado de la planta de alimentos balanceados.

1.4.2. Secundaria

- Es posible analizar, diseñar e implementar un módulo prototipo para el proceso de peletizado.
- Es posible analizar y diseñar la lógica de control del sistema de los procesos de molienda, mezclado y peletizado.
- Es posible desarrollar la estrategia de control en cascada para el módulo prototipo.
- Es posible desarrollar el sistema SCADA para el módulo prototipo empleando el software FactoryTalk View Studio.
- Es posible desarrollar prácticas del software empleado con la finalidad de mejorar la enseñanza práctica en el área de automatización y control.

1.5. Objetivos

1.5.1. Principal

Diseñar la automatización de los procesos de molienda, mezclado y peletizado de la planta de balanceados.

1.5.2. Secundaria

- Analizar, diseñar e implementar un módulo prototipo para el proceso de peletizado.
- Analizar y diseñar la lógica de control del sistema de los procesos de molienda, mezclado y peletizado.
- Desarrollar la estrategia de control en cascada para el módulo prototipo.

- Desarrollar el sistema SCADA para el módulo prototipo empleando el software FactoryTalk View Studio.
- Desarrollar prácticas del software empleado con la finalidad de mejorar la enseñanza práctica en el área de automatización y control.

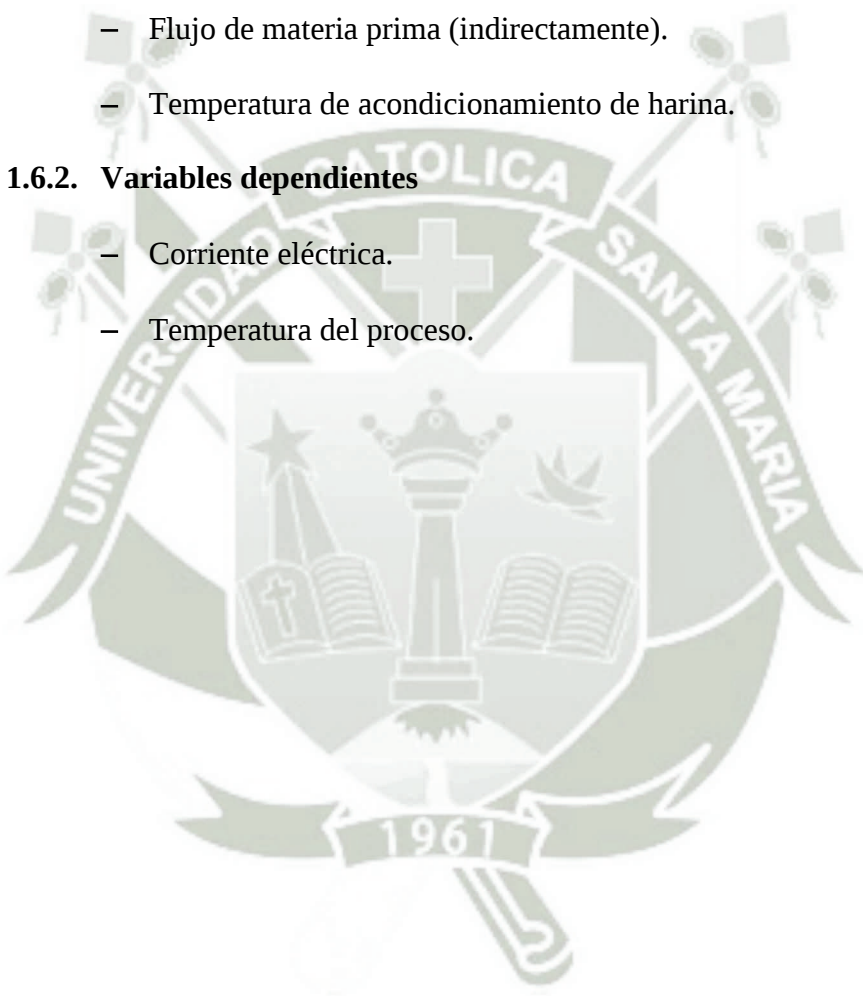
1.6. Variables de control

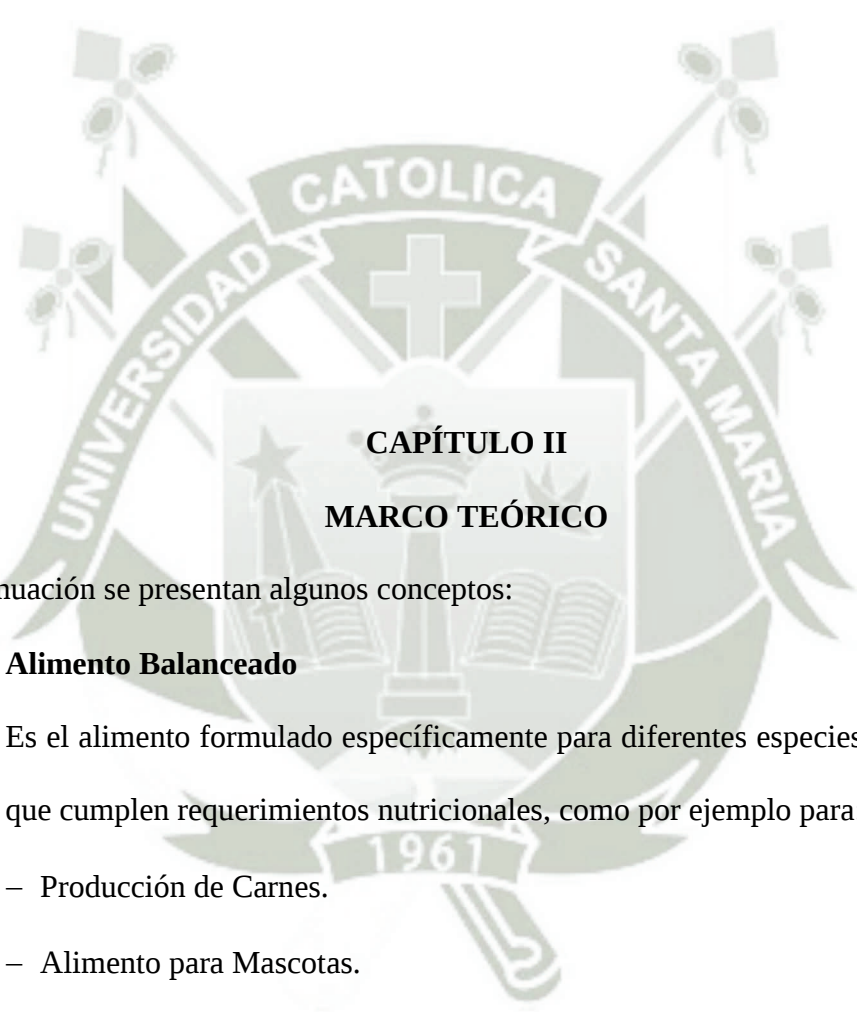
1.6.1. Variables independientes

- Flujo de materia prima (indirectamente).
- Temperatura de acondicionamiento de harina.

1.6.2. Variables dependientes

- Corriente eléctrica.
- Temperatura del proceso.





CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

A continuación se presentan algunos conceptos:

2.1. Alimento Balanceado

Es el alimento formulado específicamente para diferentes especies de animales, que cumplen requerimientos nutricionales, como por ejemplo para:

- Producción de Carnes.
- Alimento para Mascotas.
- Otros sectores (producción de huevos, ganadería de leche y animales reproductores).

2.2. Requerimientos de los Alimentos Balanceados

En la producción es muy importantes conocer tres conceptos nutricionales:

- **Atractabilidad**, el alimento deberá ser atractivo para los sentidos del animal.
- **Paleatividad**, el alimento deberá ser agradable y no provocar malestar al momento de consumirlo.
- **Digestibilidad**, el organismo del animal deberá absorber la máxima cantidad de nutrientes.

2.3. Etapas del Proceso de Alimento Balanceado

- Molienda.
- Mezclado.
- Peletizado.

2.4. Recepción y Abastecimiento de Materias Primas

Este proceso se abastecerá de materia prima a una batería de tolvas según sea la calidad del producto final (vacunos, conejos, etc.). El cual pasará por un proceso de pre-limpieza.

2.4.1. Parámetros de Control

- **Secuencia de llenado:** se establecerá una secuencia de llenado por cada calidad.
- **Contador de llenado:** se establecerá el número de veces de llenado de cada tolva.
- **Origen de Alimentación:** El abastecimiento provendrá de varias fuentes.

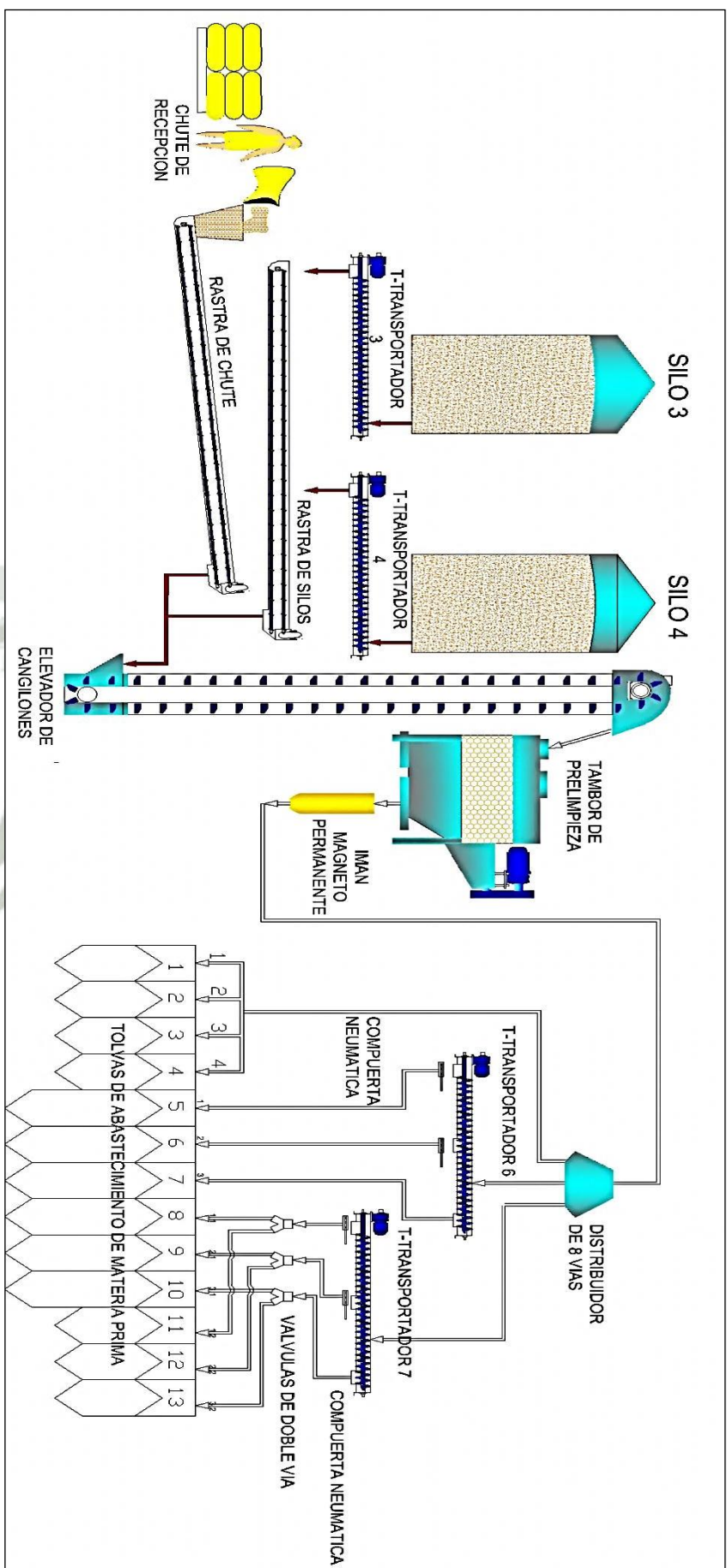


Figura 2.1: Layout del proceso de recepción.
Fuente: Elaboración propia.

2.5. Formulación

En este proceso se tendrá en cuenta la dosificación de cada materia prima considerando el peso según la fórmula para cada calidad de producto final ¹(batch), que será pesado en una tolva báscula y posteriormente será mezclado en un tiempo determinado para alcanzar la homogenización en el producto.

2.5.1. Parámetros de Control

- **Peso de Materia Prima:** Según sea la fórmula del producto final, se establecerá un peso de extracción de materia prima de cada tolva.
- **Tiempo de Mezclado:** según sea la materia prima que exista en la formula se establecerá un tiempo de homogenización.
- **Registro:** Aquí se registra el peso de la materia prima sin ser transformada.

¹Batch: Unidad de dosificación por lote, por ejemplo si la variable es peso se dosificara en Gramos, Kilogramos o Toneladas. Fuente: Propia

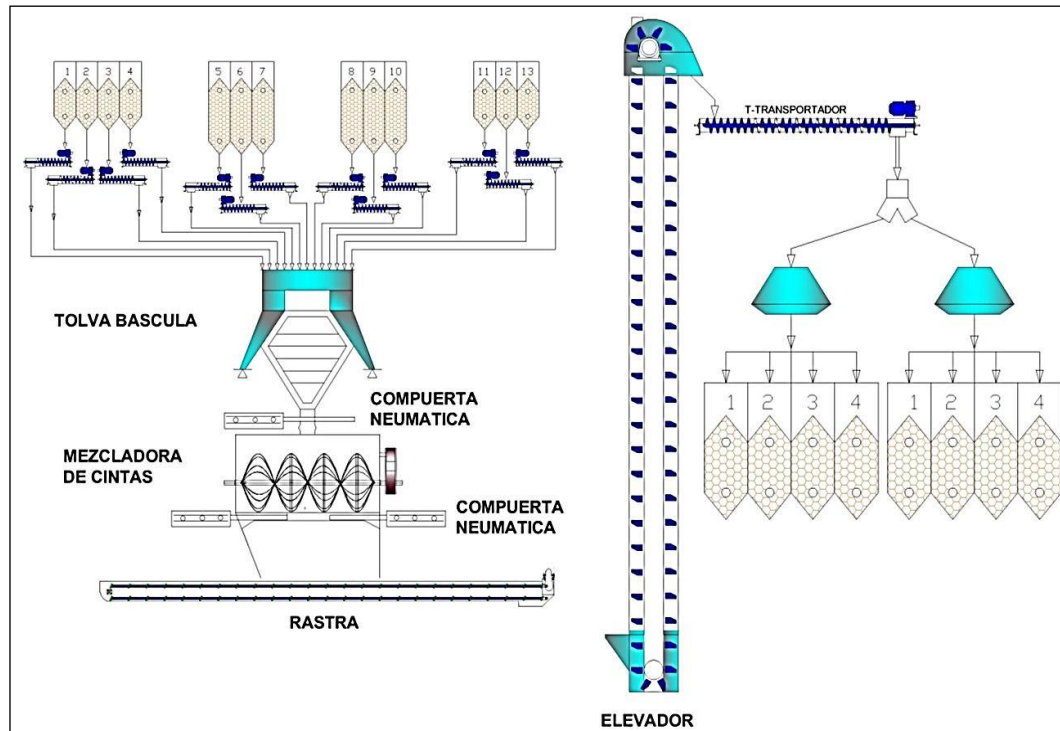


Figura 2.2: Layout del proceso de mezclado.

Fuente: Elaboración Propia

2.6. Molienda

Después del proceso de mezclado es importante moler el producto hasta llegar a una granulometría que dependerá de cual sea el producto final. Existirá en este proceso una merma que afectará a la capacidad de la planta el cual se tendrá que compensar con un porcentaje experimental, adicional a la materia prima inicial.

2.6.1. Parámetros de Control

- **Consumo de Energía del Molino:** Según sea la formulación se tendrá que controlar la potencia del molino, es decir mantener estable y constante la corriente del molino.
- **Flujo de Alimentación al Molino:** teniendo en cuenta el consumo de energía del molino, se tendrá que variar el flujo de alimentación.

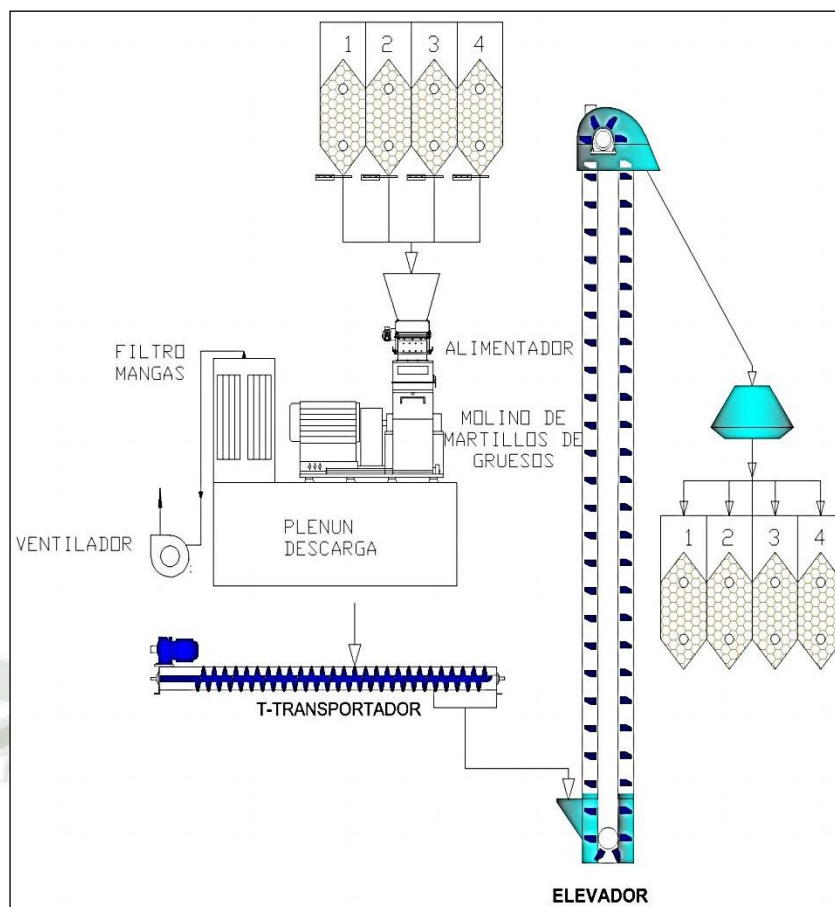


Figura 2.3: Layout del proceso de molienda.
Fuente: Elaboración propia

2.7. Mezclado

El producto proveniente de molienda se almacenara en tolvas, para luego ser pesado en una tolva báscula y mezclado en un tiempo determinado por la homogenización del producto. En este proceso se evidenciara la merma que sufre materia prima en la etapa de molienda al ser transformada.

2.7.1. Parámetros de Control

- **Peso de producto:** se pesara batch a batch el producto formulado y molido.

- **Tiempo de Mezclado:** se establecerá un tiempo de mezclado experimental.
- **Registro de Merma:** Se registrara el peso y determinara la merma que el producto ha sufrido en la etapa de molienda.

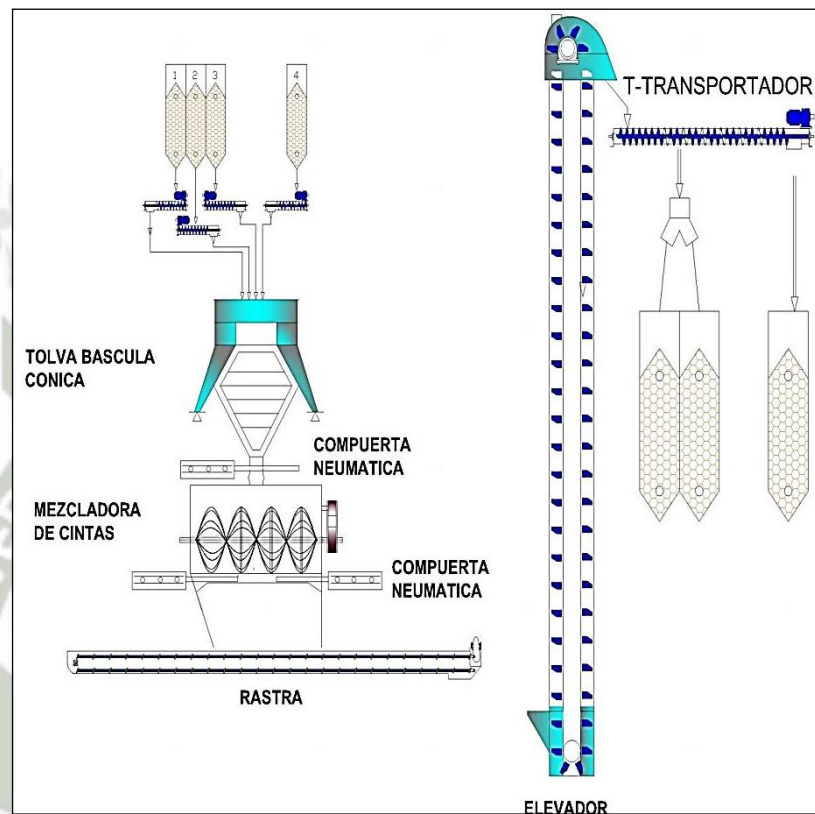


Figura 2.4: Layout del proceso de mezclado.
Fuente: Elaboración propia.

2.8. Peletizado

En este proceso de almacenará en tolvas el producto molido y mezclado, para luego ser transformado en ²pelets. Para los cuales intervienen equipos de acondicionamiento de harina, prensado, enfriado y de clasificación.

2.8.1. Parámetros de Control

- Flujo de Alimentación del Acondicionador.
- Presión de entrada y Salida del Vapor Saturado
- Temperatura en el producto
- Sobrecarga de la Prensa
- Tiempo de enfriado.

² **Pellet** o **pelet** es una denominación genérica, utilizada para referirse a pequeñas porciones de material aglomerado o comprimido.

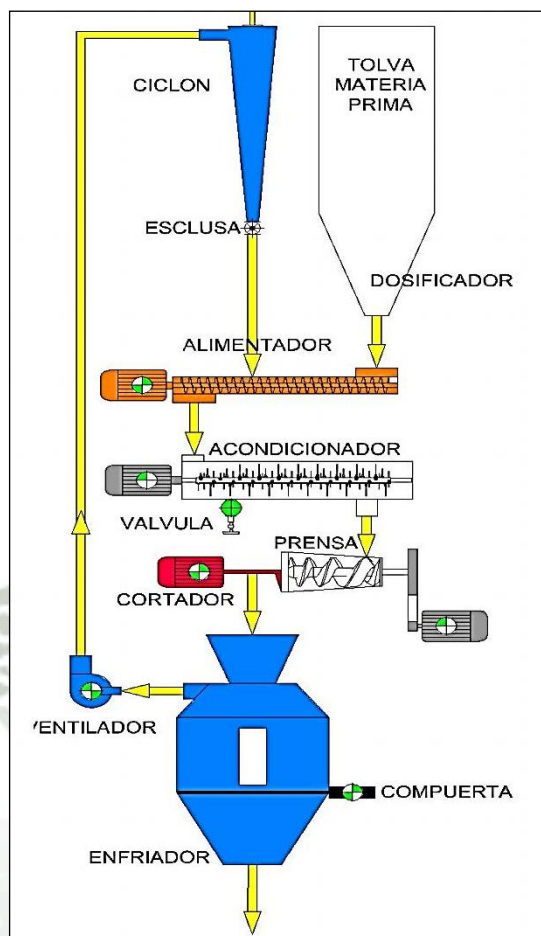


Figura 2.5: Layout del proceso de peletizado.
Fuente: Elaboración propia.

2.9. Control de Procesos

2.9.1. Concepto General

Nos referimos a control de procesos, cuando tenemos un control automático de una variable de salida, mediante el sensado del parámetro de salida del proceso y comparándola con el set point, generando la señal de error que alimenta al controlador (1).

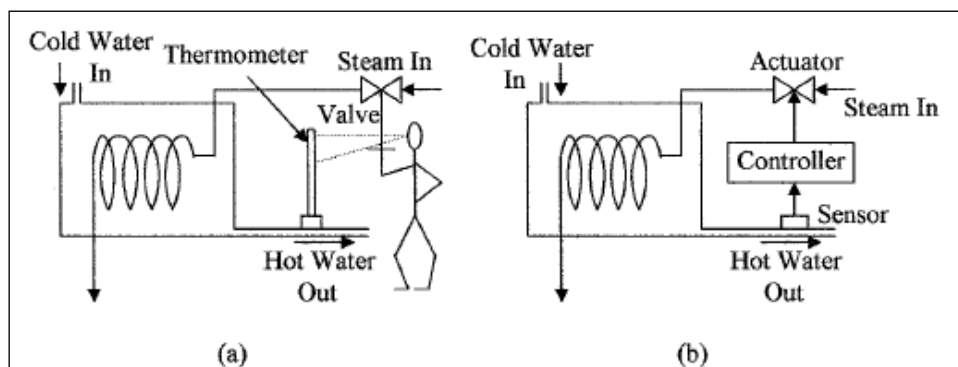


Figura 2.6: Control de procesos (a) muestra el control manual para un proceso de intercambiador de calor (b) Control automático para un proceso de intercambiador de calor.

Fuente: Dunn, William C. Fundamentals of Industrial Instrumentation and Process Control.

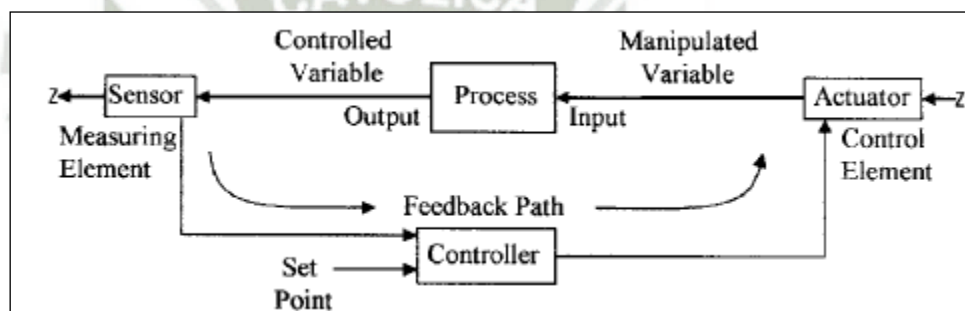


Figura 2.7: Diagrama de bloques de un control de proceso.

Fuente: Dunn, William C. Fundamentals of Industrial Instrumentation and Process Control.

2.9.2. Definición de elementos de un lazo de control.

- **Lazo de realimentación:** La salida del proceso es monitorizado continuamente. El error entre el Set Point y la Variable controlada es determinado, y una señal de corrección es enviada nuevamente a la entrada del proceso.
- **Variable Controlada:** Es la variable de salida monitorizada del proceso.

- **Variable Manipulada:** Es la variable de entrada o parámetro del proceso que es modificada por la señal de control desde el controlador mediante un actuador.
- **Set Point:** Es el valor deseado del parámetro de salida.
- **Señal de error:** Es la diferencia entre el Set Point y la Variable Controlada.
- **Sensor:** Dispositivo que puede detectar variables físicas como temperatura, presión, entre otros, y tiene la capacidad de entregar una salida medible, que varía en relación a la amplitud de la variable física.
- **Transductor:** Son dispositivos que pueden cambiar una forma de energía en otra.
- **Actuador:** Son dispositivos que se utilizan para controlar una variable de entrada en respuesta a una señal desde un controlador. (1)

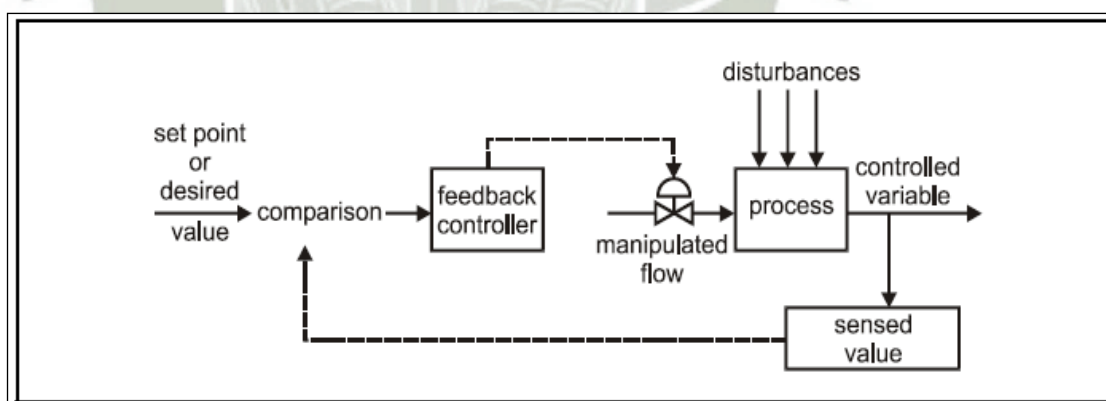


Figura 2.8: Lazo simple de realimentación.
Fuente. Murtil, Paul W. Fundamentals.

2.10. Estrategias de control y tipos de sistemas de control

El control automático de procesos es parte del progreso industrial desarrollado durante lo que ahora se conoce como la segunda revolución industrial. El uso intensivo de la ciencia de control automático es producto de una evolución que es consecuencia del uso difundido de las técnicas de medición y control. Su estudio intensivo ha contribuido al reconocimiento universal de sus ventajas.

El control automático de procesos se usa fundamentalmente porque reduce el costo de los procesos industriales, lo que compensa con creces la inversión en equipo de control. Además hay muchas ganancias intangibles, como por ejemplo la eliminación de mano de obra pasiva, la cual provoca una demanda equivalente de trabajo especializado. La eliminación de errores es otra contribución positiva del uso del control automático y una mejora en la calidad del producto final.

El principio del control automático o sea el empleo de una realimentación o medición para accionar un mecanismo de control, es muy simple. El mismo principio del control automático se usa en diversos campos, como control de procesos químicos y del petróleo, control de hornos en la fabricación del acero, control de máquinas, herramientas y en el control y trayectoria de un proyectil.

El uso de las computadoras analógicas y digitales ha posibilitado la aplicación de ideas de control automático a sistemas físicos que hace apenas pocos años eran imposibles de analizar o controlar.

2.10.1. Control de dos posiciones

Comúnmente llamado control Todo-Nada, también Abierto-Cerrado, *On-Off*, etc. Como su nombre indica, en el control de dos posiciones el elemento final de control sólo ocupa una de las dos posiciones posibles.

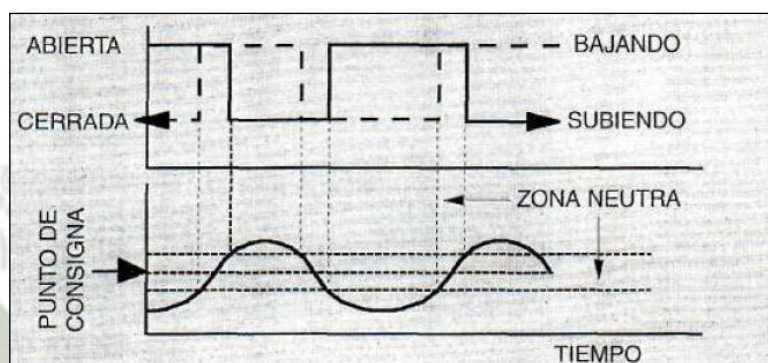


Figura 2 9: Control de dos posiciones.
Fuente: J. Acedo, Control Moderno.

2.10.2. Control proporcional-integrativo (PI) (2)

Si la función de transferencia del proceso no contiene un integrador ($1/s$), ello implicará que exista un error de régimen eSS en la respuesta a escalón del sistema. Este corrimiento puede ser iluminado si se incluye la acción integrativa. Al aplicar esta acción, se puede dar el caso de que la señal de control $u(t)$ tenga un valor diferente de cero cuando el error $e(t)$ es cero.

Para la obtención de este tipo de acción se añade a la parte proporcional el resultado de integrar la señal de error habiendo afectado a ésta por una cierta constante a la que se denomina constante de integración.

A continuación se muestra un diagrama de bloques del sistema de control en lazo cerrado con un controlador PI.

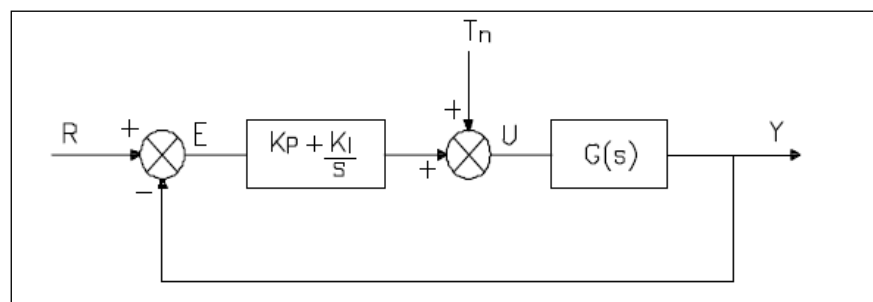


Figura 2 10: Sistema con controlador PI.

Fuente: Tesis: “Diseño e implementación de un sistema de control de flujo usando PLC con conexión SCADA” UCSM.

2.10.3. Controlador proporcional –integral - derivativo (PID)

Este controlador incorpora las ventajas que proporcionan cada una de las tres acciones individuales conocidas en control de procesos (Proporcional, Proporcional Integrativo y Proporcional Derivativo). A continuación se muestra el diagrama de bloques del sistema con este tipo de controlador.

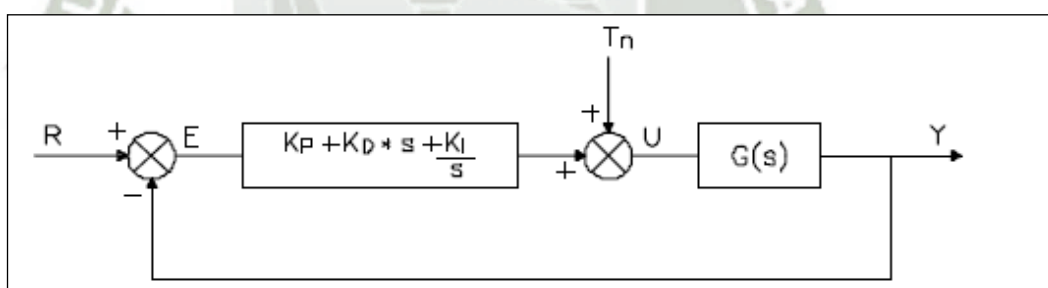


Figura 2 11: Sistema con controlador PID.

Fuente: Tesis: “Diseño e implementación de un sistema de control de flujo usando PLC con conexión SCADA” UCSM.

2.10.4. Control de sistemas multivariables

El control multivariable consiste en mantener dos o más set point en un valor deseado. Las estructuras de control que se han analizado en esta sección se caracterizan por tener una salida (comando de control). El controlador tiene varias variables de entrada (salida de la planta, señal

de control, error con respecto al modelo de referencia y modelo de referencia), utilizándose además valores retrasados de estas variables y el posible retardo en la señal de control. Por lo anterior se puede considerar estos controladores como de múltiples entradas-una salida. Cuando a la planta hay que aplicar más de una variable de control, entonces el controlador a diseñar será de múltiples entradas-múltiples salidas. A este tipo de controlador se le denomina *control multivariable*. El control multivariable basado en el modelo inverso y en el modelo directo pueden considerarse estrategias de modelado de múltiples entradas-múltiples salidas. Deben seleccionarse las variables de entrada-salida, aplicar los pasos para obtener el modelo que veremos posteriormente.

2.10.5. Control cascada

El control en cascada es una estructura alternativa al control en avance para rechazar perturbaciones parcialmente medibles. La idea básica es realimentar variables intermedias entre el punto donde entra la perturbación y la salida.

Esta estructura tiene dos lazos:

- Un lazo primario con un controlador primario $K_1(s)$, y
- Un lazo secundario con un controlador secundario $K_2(s)$.

El control secundario se diseña para atenuar el efecto de la perturbación antes de que alcance a afectar significativamente la salida $y(t)$.

El control en cascada se utiliza principalmente para:

- Eliminar el efecto de perturbaciones en la variable manipulada.

- Mejorar las características dinámicas de lazos de control en procesos que son secuenciados o compuestos por sub-procesos.

En ambos casos es necesario tener acceso a por lo menos dos variables controladas.

Como características generales para sistemas de control en cascada pueden indicarse las siguientes:

- El modo de control para el lazo interno debe ser el más simple compatible con las necesidades del proceso (generalmente proporcional).
- El lazo de control interno (esclavo) se ajusta para lograr una respuesta enérgica en la variable manipulada, por ejemplo para el control proporcional se deberá utilizar una elevada ganancia.
- Los retardos de medición del lazo interior provocan una suerte de acción derivativa para el lazo principal. Por esta consecuencia, los retardos de medición mencionados no son necesariamente nocivos en este sistema, siempre que los mismos no adquieran valores muy grandes.

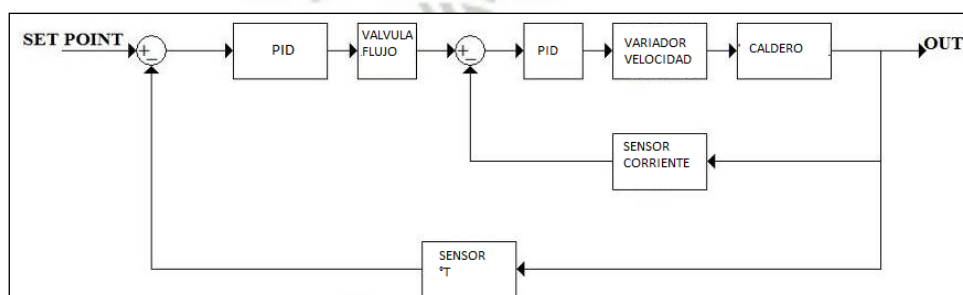


Figura 2.12: Diagrama control en cascada.
Fuente: Elaboración propia.

2.10.6. Sistemas lineales

En general las variables de control pueden tomarse como lineales alrededor de la zona de operación. Realmente no existen sistemas lineales perfectos, por lo que cuando se han considerado como tal equivale a decir que se han establecido una serie de condicionantes que hacen que puedan representarse de esta manera. Entre los condicionantes están:

- No tener en cuenta los efectos de fenómenos discontinuos, tales como pérdidas de carga variables.
- Simplificar funciones continuas al primer término de su desarrollo en serie, despreciando los siguientes.
- Admitir que la respuesta del sistema a varias entradas es la suma de las respuestas a cada una de ellas, es decir, admitir el principio de superposición.

2.10.7. Sistemas no lineales

De acuerdo al principio de superposición lineal, la respuesta característica de un sistema lineal es una recta. Sin entrar a analizar las diferentes no linealidades accidentales que presentan los componentes del lazo de control, se pueden resumir de la forma siguiente:

- Histéresis. Suele ocurrir en válvulas automáticas debido a rozamientos del vástago.
- Esto hace que su posición sea diferente al aumentar o disminuir la señal de salida del controlador, creando una banda muerta. Esta no

linealidad ha sido tratada en el capítulo correspondiente a válvulas automáticas.

- Umbral. Corresponde a la fuerza mínima que ha de vencer un sistema para empezar a actuar. Asociado a la propia inercia del sistema.
- Curva característica. Corresponde a la respuesta de una variable controlada frente a una variación en la variable manipulada.

2.10.8. Saturación

Valor límite de una variable. Por ejemplo cuando a partir de un cierto valor de salida de un controlador la válvula no tiene efecto sobre la variable. (3)

2.10.9. Régimen transitorio

Cuando un sistema se encuentra en estado estacionario y se le impone otra entrada a un nuevo valor permanente, el sistema emplea cierto tiempo en alcanzar el nuevo estado estacionario. En esta situación el sistema se encuentra en régimen transitorio.

2.10.10. Sistemas de primer orden

Un sistema de primer orden es aquel cuya salida viene dada al resolver una ecuación diferencial de primer orden. Genéricamente el sistema viene definido por la ecuación:

$$\tau \frac{dy}{dt} + y = Kf(t) \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Dónde:

τ = Constante de tiempo del sistema.

K = Ganancia en estado estacionario.

– Constante de tiempo

La salida es función del tiempo, de forma que:

$$S_{(t)} = S_{(0)} + \Delta E \times K \times \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Dónde:

$$K = \text{Ganancia en estado estacionario} = \Delta S / \Delta E \quad \text{Ecuación 2.3}$$

τ = Constante de tiempo del sistema

Al tratarse de un escalón unitario, se puede suponer que en el tiempo $t - 1$ el valor de entrada es cero y en el tiempo $t = 0$ se incrementa en la unidad. Tomando como ganancia la unidad, la ecuación anterior se convierte en otra genérica de la forma:

$$S_{(t)} = 1 - e^{-t/\tau} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Haciendo $t = x$ se tiene exactamente el valor de salida al cabo de cada constante de tiempo. Por tanto, para un incremento unitario positivo, al cabo de una constante de tiempo se tiene:

$$S_{(t)} = 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} = 0,6321 \quad \text{Ecuación 2.5}$$

– Tiempo muerto

Cuando se produce un cambio en la entrada existe un intervalo de tiempo durante el cual no se observa ningún efecto en la salida. Este intervalo de tiempo se conoce como tiempo muerto o retardo puro.

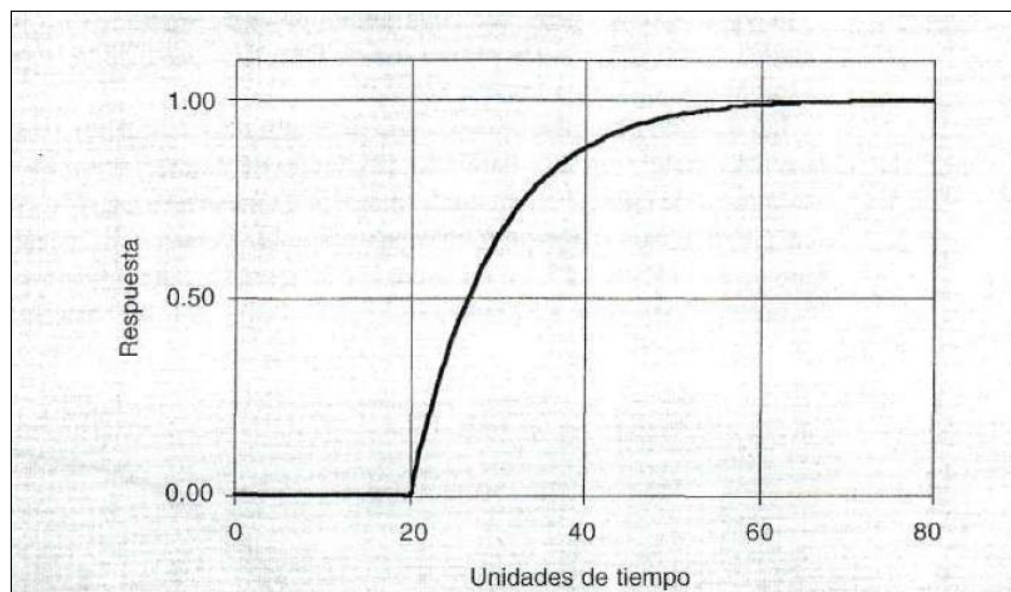


Figura 2.13: Tiempo muerto.

Fuente: Sánchez, J. Acedo. Control Avanzado de Procesos.

2.11. Definición de instrumentación

Grupo de elementos que sirven para medir, controlar o registrar variables de un proceso con el fin de optimizar los recursos utilizados en éste.

En otras palabras, la instrumentación es la ventana a la realidad de lo que está sucediendo en determinado proceso, lo cual servirá para determinar si el mismo va encaminado hacia donde deseamos, y de no ser así, podremos usar la instrumentación para actuar sobre algunos parámetros del sistema y proceder de forma correctiva.

La instrumentación es lo que ha permitido el gran avance tecnológico de la ciencia actual en casos tales como: los viajes espaciales, la automatización de los procesos industriales y muchos otros de los aspectos de nuestro mundo moderno; ya que la automatización es solo posible a través de elementos que puedan sensor lo que sucede en el ambiente, para luego tomar una acción de

control pre-programada que actué sobre el sistema para obtener el resultado previsto.

De acuerdo con las normas SAMA (Scientific Apparatus Makers Association), PMC20, las características de mayor importancia, para los instrumentos son:

– **Campo De Medida O Rango (Range)**

Conjunto de valores dentro de los límites superior e inferior de medida, en los cuales el instrumento es capaz de trabajar en forma confiable. Por ejemplo, un termómetro de mercurio con rango de 0 a 50 grados Celsius

– **Alcance (Span)**

Diferencia entre el valor superior e inferior del campo de medida. Para el caso del termómetro del ejemplo anterior, el SPAN será de 50 grados Celsius.

– **Error**

Diferencia que existiría entre el valor que el instrumento indique que tenga la variable de proceso y el valor que realmente tenga esta variable en ese momento.

– **Precisión**

Tolerancia mínima de medida que permitirá indicar, registrar o controlar el instrumento. En otras palabras, es la mínima división de escala de un instrumento indicador. Generalmente esta se expresa en porcentaje (%) del SPAN.

– **Zona Muerta (Dead Band)**

Máximo campo de variación de la variable en el proceso real, para el cual el instrumento no registra ninguna variación en su indicación, registro o control.

– **Sensibilidad**

Relación entre la variación de la lectura del instrumento y el cambio en el proceso que causa este efecto.

– **Repetitividad**

Capacidad de un instrumento de repetir el valor de una medición, de un mismo valor de la variable real en una única dirección de medición.

– **Histéresis**

Similar a la repetibilidad, pero en este caso el proceso de medición se efectuara en ambas direcciones.

– **Campo de medida con supresión de cero**

Rango de un instrumento cuyo valor mínimo se encuentra por encima del cero real de la variable.

– **Campo de medida con elevación de cero**

Rango de un instrumento cuyo valor mínimo se encuentra por debajo de cero de las variables

2.11.1. Clasificación de los instrumentos

Existen dos formas de clasificar los instrumentos las cuales son:

- De acuerdo a su función en el proceso.
- De acuerdo a la variable de proceso que miden.

Este modo de clasificarlos no es necesariamente el único, pero se considera bastante completo.

De acuerdo a su función estos serán:

- **Instrumentos indicadores:** son aquellos que como su nombre bien dice, indican directamente el valor de la variable de proceso. Ejemplos: manómetros, termómetros, etc.
- **Instrumentos ciegos:** son los que cumplen una función reguladora en el proceso, pero no muestran nada directamente. Ejemplos termostatos, presostatos, etc.
- **Instrumentos registradores:** en algunos casos podrá ser necesario un registro histórico de la variable que se estudia en un determinado proceso. en este caso, se usaran instrumentos de este tipo.
- **Elementos primarios:** algunos elementos entran en contacto directo con el fluido o variable de proceso que se desea medir, con el fin de recibir algún efecto de este (absorben energía del proceso), y por este medio pueden evaluar la variable en cuestión. (placa orificio)
- **Transmisores:** estos elementos reciben la variable de proceso a través del elemento primario, y la transmiten a algún lugar remoto.

Estos transmiten las variables de proceso en forma de señales proporcionales a esas variables.

- **Transductores:** son instrumentos fuera de línea (no en contacto con el proceso), que son capaces de realizar operaciones lógicas y/o matemáticas con señales de uno o más transmisores.
- **Convertidores:** en ciertos casos, la señal de un transmisor para ser compatible con lo esperado por el receptor de esa señal, en ese caso se utilizara un elemento convertidor para lograr la ante mencionada compatibilidad de señal
- **Receptores:** son los instrumentos que generalmente son instalados en el panel de control, como interfase entre el proceso y el hombre. Estos reciben la señal de los transmisores o de un convertidor.
- **Controladores:** este es uno de los elementos más importante, ya que el instrumento será el encargado de enviar al controlador (PLC) lo que está sucediendo en el proceso, de tal manera que el controlador (PLC) pueda comparar con lo que realmente se desea que suceda en él, para posteriormente, diferenciar y enviar una señal al proceso que tienda a corregir las desviaciones.
- **Elemento final de control:** será este elemento quien reciba la señal del controlador y quien estando en contacto directo con el proceso en línea, ejerza un cambio en este, de tal forma que se cambien los parámetros hacia el valor deseado. Ejemplo: válvulas de control, compuertas, etc.

- **De acuerdo a la variable de proceso que miden:** esta clasificación, como su nombre lo indica, se referirá a la variable de proceso que tratemos de medir. En la actualidad, se pueden medir, casi sin excepción, todas las variables de proceso existentes, sin embargo, algunas se medirán de forma directa y otras indirectamente.
- **Los termopares:** se forman cuando dos metales diferentes se unen entre sí para formar una unión. Un circuito eléctrico se completa al unir los otros extremos de los metales diferentes entre sí para formar una segunda unión. Una corriente fluirá en el circuito si las dos uniones se encuentran a diferentes temperaturas. (1)

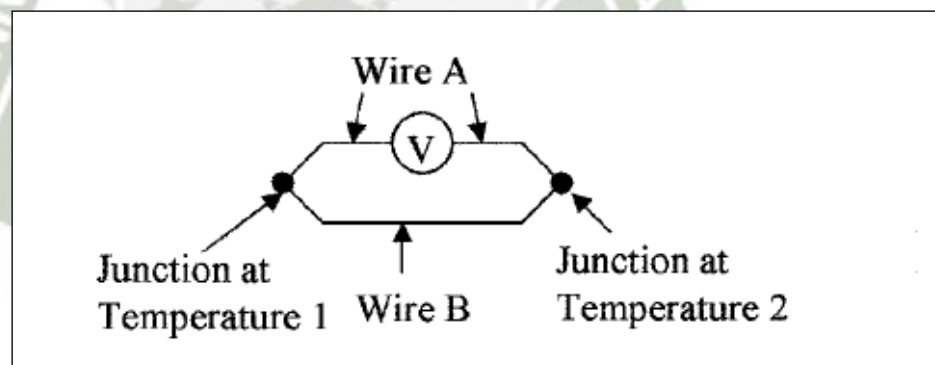


Figura 2 14: Circuito termopar.

Fuente: Dunn, William C. Fundamentals of Industrial Instrumentation and Process Control.

Type	Approx. range (°C)
Copper–Constantan (T)	–140 to 400
Chromel–Constantan (E)	–180 to 1000
Iron–Constantan (J)	30 to 900
Chromel–Alumel (K)	30 to 1400
Nicrosil–Nisil (N)	30 to 1400
Platinum (rhodium 10%)–Platinum (S)	30 to 1700
Platinum (rhodium 13%)–Platinum (R)	30 to 1700

Tabla 2. 1: Rango de operación para termopares.

Fuente: Dunn, William C. Fundamentals of Industrial Instrumentation and Process Control.

- **Sensores de humedad resistivos:** consta de dos electrodos con dedos interdigitados sobre un sustrato aislante. Los electrodos están recubiertos con un material higroscópico (uno que absorbe agua, tal como cloruro de litio). El material higroscópico proporciona una trayectoria conductora entre los electrodos; el coeficiente de resistencia de la trayectoria es inversamente proporcional a la humedad.

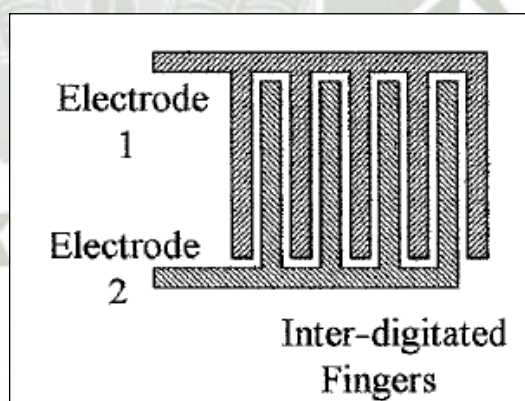


Figura 2.15: Método usando dos electrodos con dedos interdigitados sobre un sustrato aislante para medir la humedad.

Fuente: Dunn, William C. Fundamentals of Industrial Instrumentation and Process Control.

- **Válvulas de control:** Para la mayoría de los sistemas de control de procesos, el elemento final de control es una válvula. Estas válvulas están normalmente accionadas por motores que son comúnmente llamados actuadores. Los actuadores se clasifican sobre la base de su fuente de alimentación, y las válvulas se clasifican sobre la base de su construcción y las características de flujo.
- **Válvulas de globo:** sin tener en cuenta el actuador, el conjunto de una válvula de globo está compuesto, fundamentalmente, por:
 - Cuerpo de la válvula, incluyendo tapa inferior y demás elementos externos.
 - Elementos internos (obturador y asiento).
 - Conjunto de empaquetadura.

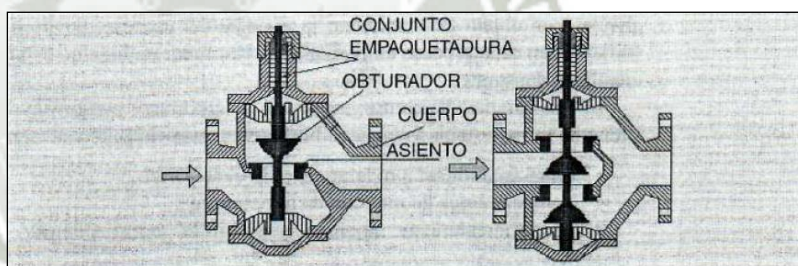


Figura 2.16: Válvula simple (izquierda) y válvula de doble asiento (derecha).

Fuente: Acedo, Jose. Control Moderno.

- **Válvula tipo aguja:** la válvula de aguja es llamada así por el vástago cónico que hace de obturador sobre un orificio de pequeño diámetro en relación el diámetro nominal de la válvula.

El desplazamiento del vástago, si es de rosca fina, es lento y el hecho de que hasta que no se gira un buen número de vueltas la sección de paso del fluido es mínima, convierte esta válvula en una

buena reguladora de caudal, por su estabilidad, precisión y el diseño del obturador que facilita un buen sellado metálico, con poco desgaste que evita la cavitación a grandes presiones diferenciales. (4)

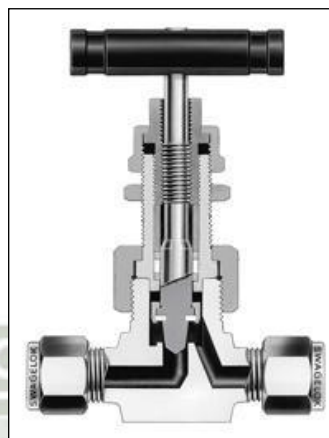


Figura 2.17: Válvula tipo aguja.

Fuente: Valvias. <http://www.valvias.com/tipo-valvula-de-aguja.php>.

- **Variador de velocidad electrónico:** la maquinaria industrial generalmente es accionada a través de motores eléctricos, a velocidades constantes o variables, pero con valores precisos. No obstante, los motores eléctricos generalmente operan a velocidad constante o cuasi-constante, y con valores que dependen de la alimentación y de las características propias del motor, los cuales no se pueden modificar fácilmente. Para lograr regular la velocidad de los motores, se emplea un controlador especial que recibe el nombre de variador de velocidad. Los variadores de velocidad se emplean en una amplia gama de aplicaciones industriales, como en ventiladores y equipo de aire acondicionado, equipo de bombeo, bandas y transportadores industriales, elevadores, llenadoras, tornos y fresadoras, etc.

Un variador de velocidad puede consistir en la combinación de un motor eléctrico y el controlador que se emplea para regular la velocidad del mismo. La combinación de un motor de velocidad constante y de un dispositivo mecánico que permita cambiar la velocidad de forma continua (sin ser un motor paso a paso) también puede ser designado como variador de velocidad.

2.12. Controladores Lógicos Programables

Un controlador lógico programable (PLC), es una forma especial de controlador basado en microprocesador, que usa una memoria programable para guardar instrucciones implementar funciones como lógica, secuencia, tiempo, contadores, operaciones aritméticas para controlar máquinas y procesos.

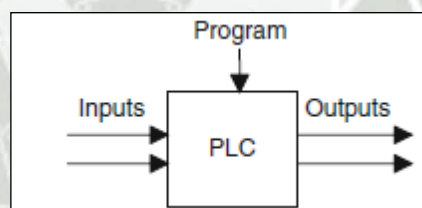


Figura 2.18: Controlador Lógico Programable.

Fuente: Bolton, W. Controladores Lógico Programables.

– Hardware

Típicamente un PLC cuenta con componentes básicos tales como unidad procesadora, memoria, fuente de alimentación, interface de entradas y salidas, interface de comunicaciones y dispositivo de programación.

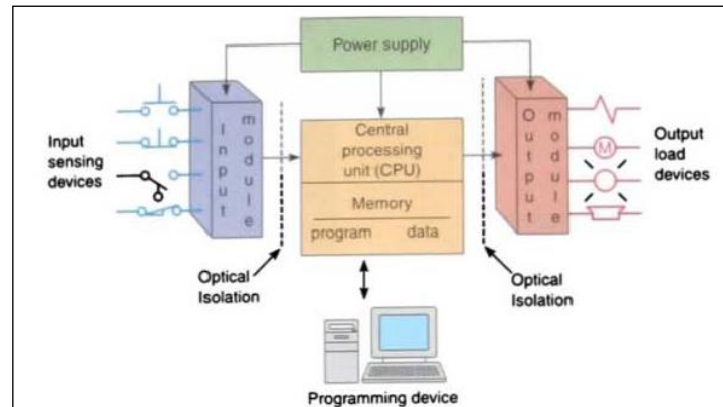


Figura 2.19: Sistema PLC.

Fuente: Petruzella, Frank D. *Controlador Lógico Programable*.

–Arquitectura Interna

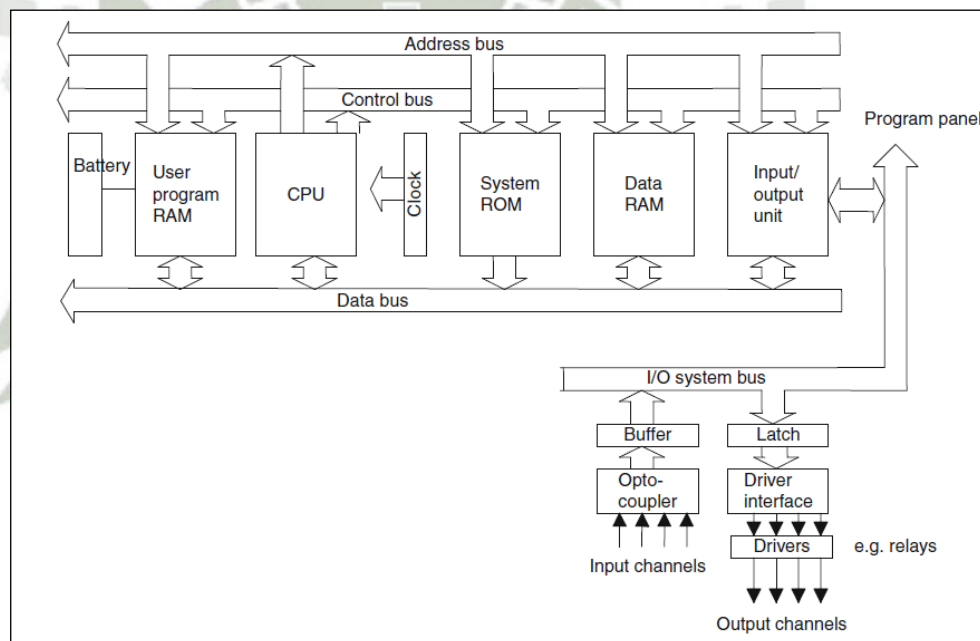


Figura 2.20: Arquitectura de un PLC.

Fuente: Petruzella, Frank D. *Controlador Lógico Programable*.

2.12.1. Clasificación PLC según fabricantes: Allen Bradley

- **PLC Tipo Compacto:** estos PLC tienen incorporado la Fuente de Alimentación, su CPU y módulos de I/O en un solo módulo principal y permiten manejar desde unas pocas I/O hasta varios cientos

(alrededor de 500 I/O), su tamaño es superior a los Nano PLC y soportan una gran variedad de módulos especiales, tales como:

- Entradas y salidas análogas
- Módulos contadores rápidos
- Módulos de comunicaciones
- Interfaces de operador
- Expansiones de I/O

Se cita la clasificación de este fabricante ya que en el módulo se utiliza un PLC Micrologix 1200 series B. Los PLC fabricados por Allen Bradley utilizan el programa Rockwell software el cual contiene una serie de programas para su configuración, su software para comunicaciones el RSLinx, que es el que se encarga de regular las comunicaciones entre los diferentes dispositivos utilizando el Microsoft NT de Windows. Proporciona el acceso a otros dispositivos hechos por Allen-Bradley. Para la programación se acuerdo a la gama de PLC se utiliza el RSLogix y para sistemas de supervisión utiliza el RSVIEW32.

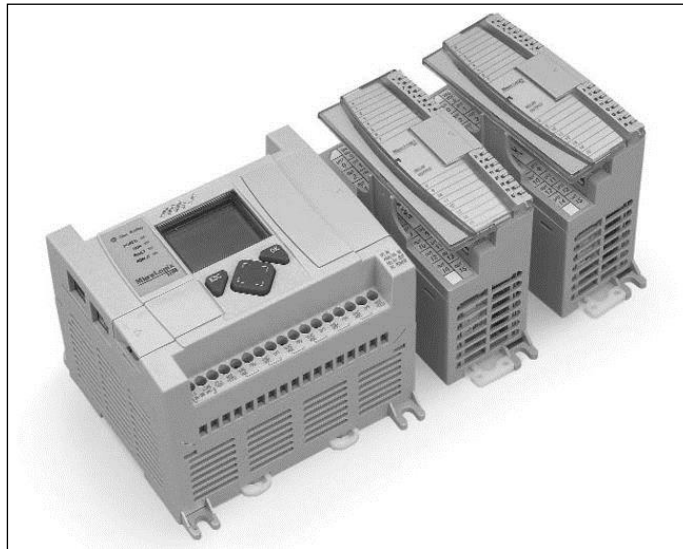


Figura 2.21: PLC Micrologix 1100.

Fuente: Bradley, Allen. Manual Micrologix1100

Debido a la gran variedad de tipos distintos de PLC, tanto en sus funciones, en su capacidad, en su aspecto físico y otros, es que es posible clasificar los distintos tipos en varias categorías.

– **PLC Tipo Modular**

Estos PLC se componen de un conjunto de elementos que conforman el controlador final, estos son:

- Rack
- Fuente de Alimentación
- CPU
- Módulos de I/O

De estos tipos existen desde los denominados Micro PLC que soportan gran cantidad de I/O, hasta los PLC de grandes prestaciones que permiten manejar miles de I/O.

2.12.2. Características De Los Módulos En Plc's

Existe gran cantidad de funciones especiales que no son soportadas por los módulos normales en los PLC, para estas situaciones los fabricantes ofrecen una gran variedad de elementos adicionales que permiten incorporar funciones especiales al PLC para nuestros procesos.

– Módulos De I/O Analógicos

Estos módulos permiten manejar entradas y salidas análogas en nuestro PLC de manera de poder efectuar lecturas y control analógico de variables en nuestros procesos, estas entradas y salidas analógicas se caracterizan, generalmente por:

- **Resolución:** Depende de la cantidad de bits del conversor utilizado, generalmente se requiere una resolución no inferior a 10 bits.
- **Tiempo de Conversión:** Corresponde al tiempo empleado en convertir el valor analógico en su correspondiente valor discreto. Este es un factor muy importante ya que define el tipo de aplicación para el cual puede emplearse el modulo. Generalmente en control de procesos, la velocidad de variación de las variables es relativamente lenta, sobre 1 segundo, por lo cual las exigencias de velocidad en los módulos analógicos no son muy exigentes.
- Generalmente razones de conversión del orden de los milisegundos es suficiente.

- **Número de Canales:** Corresponde a la cantidad de entradas o salidas que puede manejar el módulo, generalmente están agrupadas en 4 o más I/O. También existen agrupaciones de entradas y salidas agrupadas en un solo módulo.
- **Tipo de Entrada:** Corresponde al tipo de entrada que es posible manejar el módulo, estas pueden ser de Entrada o Salida en Corriente, 4-20 mA, 0-20 mA, en tensión, 0-10v, -10 ->+10 v, por termocupla, pt100, etc.

2.13.Método De Sintonización

La figura 2.22 muestra el control PID de una planta. Si se puede obtener un modelo matemático de la planta, es posible aplicar diversas técnicas de diseño con el fin de determinar los parámetros del controlador que cumpla las especificaciones en estado transitorio y en estado estable del sistema en lazo cerrado. Sin embargo, si la planta es tan complicada que no es fácil obtener su modelo matemático, tampoco es posible un enfoque analítico para el diseño de un controlador PID. En este caso, debemos recurrir a los enfoques experimentales para la sintonización de los controladores PID.

El proceso de seleccionar los parámetros del controlador que cumplan con las especificaciones de desempeño se conoce como sintonización del controlador. Ziegler y Nichols sugirieron más reglas para sintonizar los controladores PID (lo cual significa establecer valores K_p , T_i y T_d) con base en las respuestas escalón experimentales o basadas en el valor de K_p que se produce en la estabilidad marginal cuando sólo se usa la acción de control proporcional. Las reglas de Ziegler-Nichols, que se presentan a continuación, son muy

convenientes cuando no se conocen los modelos matemáticos de las plantas. (Por supuesto, estas reglas se aplican al diseño de sistemas con modelos matemáticos conocidos.)

Reglas de Ziegler-Nichols para sintonizar controladores PID. Ziegler y Nichols propusieron unas reglas para determinar los valores de la ganancia proporcional K_p , del tiempo integral T_i y del tiempo derivativo T_d , con base en las características de respuesta transitoria de una planta específica. Tal determinación de los parámetros de los controladores PID o de la sintonización de los controles PID la realizan los ingenieros en el sitio mediante experimentos sobre la planta. (Se han propuesto numerosas reglas de sintonización para los controladores PID desde la propuesta de Ziegler-Nichols. Se les encuentra en la literatura, Sin embargo, aquí sólo presentamos las reglas de sintonización de Ziegler-Nichols.)

Existen dos métodos denominados reglas de sintonización de Ziegler-Nichols. En ambos se pretende obtener un 25% de sobrepaso máximo en la respuesta escalón (véase la figura 2.22).

Primer método. En el primer método, la respuesta de la planta a una entrada escalón unitario se obtiene de manera experimental, como se observa en la figura 2.23.

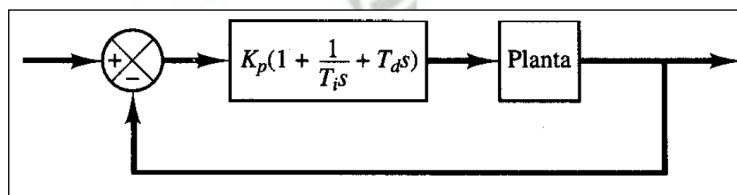


Figura 2.22: Control PID de una planta.
Fuente: Katsuhiko Ogata. Ingeniería de Control Moderna.

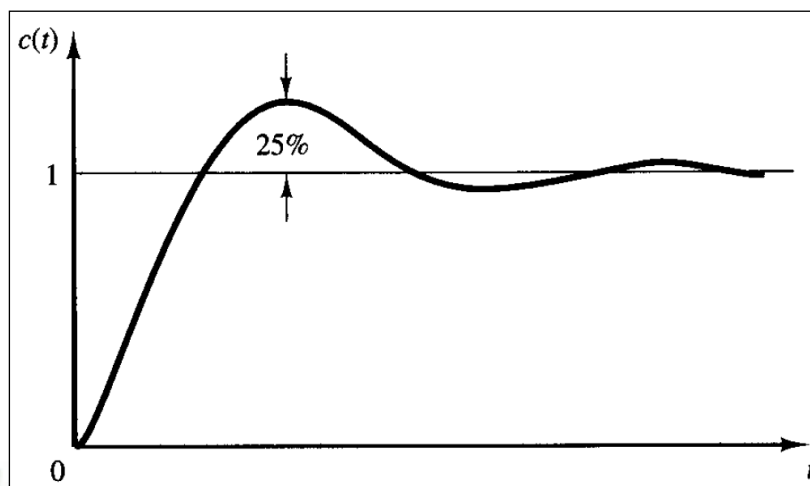


Figura 2.23: Curva de Respuesta Escalón Unitario que muestra un sobrepaso de 25%.

Fuente: Katsuhiko Ogata. Ingeniería de Control Moderna.

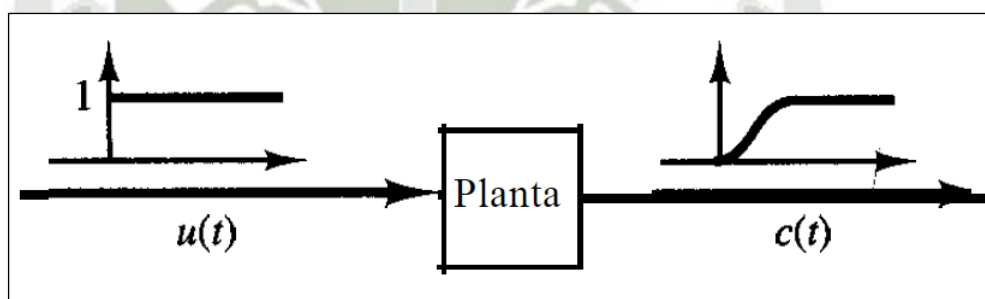


Figura 2.24: Respuesta escalón unitario de la planta.

Fuente: Katsuhiko Ogata. Ingeniería de Control Moderna.

Si la planta no contiene integradores ni polos dominantes complejos conjugados, la curva de respuesta escalón unitario puede tener forma de S, como se observa en la figura 2.24. (Si la respuesta no exhibe una curva con forma de S, este método no es pertinente.) Tales curvas de respuesta escalón se generan experimentalmente o a partir de una simulación dinámica de la planta. La curva con forma de S se caracteriza por dos parámetros: el tiempo de retardo L y la constante de tiempo T . El tiempo de retardo y la constante de tiempo se determinan dibujando una recta tangente en el punto de inflexión de la curva con forma de S y determinando las intersecciones de esta tangente con

el eje del tiempo y la línea $c(t) = K$, como se aprecia en la figura 2.24. En este caso, la función de transferencia $C(s)/U(s)$ se aproxima mediante un sistema de primer orden con un retardo de transporte del modo siguiente:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{K \times e^{-Ls}}{Ts + 1} \quad \text{Ecuación 2.6}$$

Ziegler y Nichols sugirieron establecer los valores de K_p , T_i y T_d de acuerdo con la fórmula que aparece en la tabla 2.2

Observe que el controlador PID sintonizado mediante el primer método de las reglas de Ziegler – Nichols produce

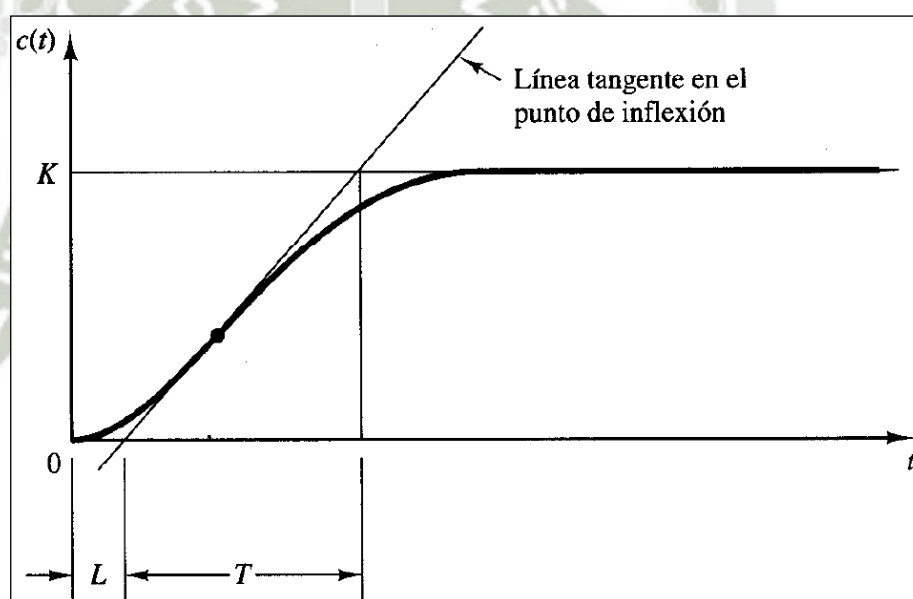


Figura 2.25: Curva de respuesta con forma de S.
Fuente: Katsuhiko Ogata. Ingeniería de Control Moderna.

Tipo de controlador	K_p	Ti	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Tabla 2.2: Regla de sintonización de Ziegler – Nichols basada en la respuesta escalón de la planta (primer método)

Fuente: Katsuhiko Ogata. Ingeniería de Control Moderna.

$$G_c = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad \text{Ecuación 2.7}$$

$$= 1.2 \frac{T}{L} \left(1 + \frac{1}{2Ls} + 0.5Ls \right) \quad \text{Ecuación 2.8}$$

$$= 0.6 \frac{(s + \frac{1}{L})^2}{s} \quad \text{Ecuación 2.9}$$

Por lo tanto, el controlador PID tiene un polo en el origen y un cero doble en $s = -1/Ls$.



CAPÍTULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO

3.1. Análisis de insumo y productos

MATRIZ Nº1: Materias Primas, Insumos, Productos, Sub-productos y Efluentes.							
OBJETO DE ANALISIS	IDENTIFICACION DE VARIABLES		TIPO DE VARIABLE C: Control M:Manipulable I:Independiente D:Dependiente R:Respuesta	RANGO OPERATIVO DE VARIABLES R:Rango P:Parametro	REFERENCIA DE COSTOS S/Soles	ASPECTOS TECNICOS A TOMAR EN CUENTA ANTES (A) Antes ,(E)Durante,(D)Después	FORMULA MATEMATICA
	NOMBRE	SIMBOLO					
MP : 30% HARINA DE TRIGO, 50% HARINA DE SOYA Y 20% MOYUELO	Tamaño de partícula	Tp	I	(R) Tp = 2mm	1 kg es s./3.5	(A) La Materia Prima deberá estar Libre de Impurezas.	-
	Volumen	Vol	I	(P) Vol = 7200	-		-
	Densidad	P	D,R	P=0.582 gr/cm3	-		$\rho = m \times V$ [gr/cm3]
	Temperatura	Teh	I	(P) Te=70°C	-		-
SS: VAPOR SATURADO	Capacidad	Cap	L	(R) Cap min. =7.5 Litros (R) Cap máx. = 10 Litros	-	(A) El agua deberá estar libre de impurezas. (A) El nivel del Agua deberá estar dentro de sus Rangos adecuados.	-
	Presión de Descarga	Pd	D,R,M	(R) Pd min. =40 PSI (R) Pd máx. = 50 PSI	-		-
	Presión de Salida	Ps	D,R,M	(R) Ps min. =5 PSI (R) Ps máx. = 10 PSI	-		-
	Temperatura	Temp	D,R	(P) Tec máx. =100°C	-		-
SS: ELECTRICIDAD	Intensidad	I	I	(P) I = 20 A	-	(A) Los cableados eléctricos deberán estar libre del contacto del vapor y del condensado.	$I = V/R$ [Amp]
	Voltaje	V	I	(P) v=220v	-		$V = I * R$; [voltios]
	Trabajo Eléctrico	We	I,R	(P) We=4.4 kWh	1 kwh es s./0.2872		$We = \text{Poten} \times \text{tiempo}$
	Potencia	Poten	I	(P) Poten = 4.4kW	-		$\text{Poten} = V \times I$ [Watts]
	Tiempo	tiempo	R	(P) Tiempo =0.25 Hora	-		

Tabla 3. 1: Análisis de insumos y/o productos que intervienen en el proceso.

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Análisis del proceso

MATRIZ Nº2 ANALISIS DE PROCESOS "Donde hay un cambio hay un proceso"								
NOMBRE DEL PROCESO	INGRESOS	OPERADORES DE CAMBIO	SALIDAS	ANALISIS DE VARIABLES			CONTEXTO	
				(símbolo)				
				ENTRADA (succión)	OPERADORES	SALIDAS (descarga)	FACTORES FAVORABLES	FACTORES DESFAVORABLES
Acondicionamiento de harina	Vapor saturado y Harina	acondicionador	Harina humedad	Temperatura Vapor Saturado Flujo, capacidad calorífica de vapor, Presión de Entrada	volumen de acondicionador, área del acondicionador	Temperatura Vapor Saturado Flujo, capacidad calorífica de vapor, Presión de SALIDA	Reductor de Presión.	Condensación de vapor.
				Carga de Harina de ingreso.	Tiempo de Retención, RPM Motor, Numero de Paletas de los Sin fines,	Carga de Harina de salida, humedad de salida,		

Tabla 3. 2: Análisis del proceso.
Fuente: Elaboración propia.

3.3. Análisis del sistema

IDENTIFICACION DE SISTEMAS			ANALISIS DE VARIABLES			MODELOS MATEMATICOS
SISTEMA	PROCESO QUE TIENE LUGAR EN EL SISTEMA	MACROPROCESOS EN LOS QUE SE INSCRIBE EL SISTEMA	NOMBRE O SIMBOL	TIPO E: Especificación C: Control M: Manipulable R: Respuesta I: Independiente D: Dependiente	INSTRUMENTOS DE MEDICION DE VARIABLES Especificar, Marca, Rango, Energía	
sistema de acondicionamiento	Transferencia de Materia y de Calor	Condensación de Vapor sobre la materia prima aumentando su peso y humedad.	Flujo de alimentación	Qal	C,M,D	Balanza Y Cronometro
			Flujo de Acondicionamiento	Qac	C,M,D	Balanza Y Cronometro
			Peso específico entrada	De	I	-
			Peso específico de salida	Dsa	I	-
			Humedad de entrada	He	I	Higrómetro
			Humedad de salida	Hsa	D	Higrómetro
			Temperatura	T	C,I	Termómetro
			Presión	P	C,I	Manómetro

Tabla 3. 3: Análisis del sistema.
Fuente: Elaboración propia.

- $Q=3600.s.v.\gamma.k$
Donde s: área de transporte,
v: velocidad de desplazamiento,
 γ : Densidad,
k: Coeficiente de disminución

- $\% \text{ Humedad} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100$
donde M1: masa de la muestra recién extraída, M2: masa de la muestra después de estar en el horno

3.4. Elección de la estrategia de control

Para elegir la mejor estrategia de control realizaremos una comparación entre un proceso donde el control de relación es adecuado (proceso de mezclado) y otro donde el control de relación presenta limitaciones (proceso de peletizado).

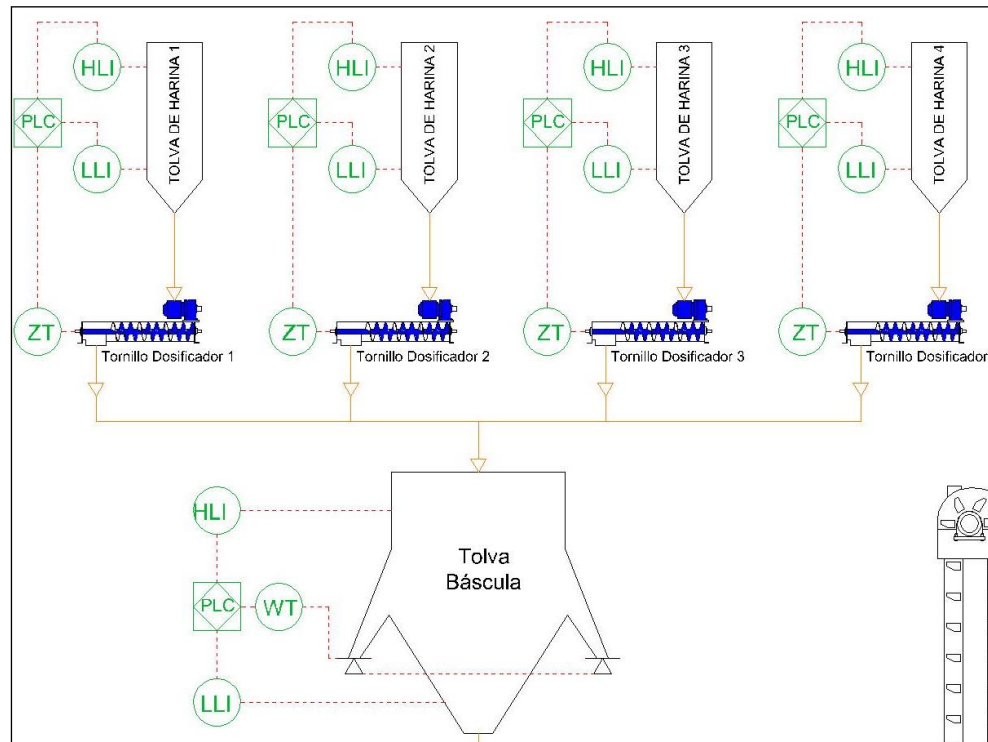


Figura 3. 1: Diagrama P&ID del procesos de mezclado
Fuente: Elaboración propia

Proceso de Mezclado:

- Mezcla de tres materias primas.
- Normalmente uno de los flujos sólo se puede medir, no manipular. Se le denomina flujo de referencia.

Objetivo

Mantener la relación entre los cuatro flujo para la fórmula siguiente:

- *Producto A: harina de soya 79.28%*
- *Producto B: harina de arroz 15.72%* $B=R*A*C$
- *Producto C: harina de trigo 5%* $C=R*A*B$

Alternativas

- Controlar directamente los tres flujos y ajustar los valores de consigna a unos valores previamente calculados.
- Medir el caudal de referencia A (no manipulable), multiplicarlo por R, y hacer $B=R*A$ (punto de consigna del controlador de Flujo).
- Medir los tres flujos, para calcular la relación entre ellos (ratio real) y ajustar la velocidad del flujo del Producto B y C.

Observación

El control de relación en el sistema de mezclado es posible, pero se deberá de ajustar sus parámetros, cuando la materia prima sufra cambios en su densidad. Además será necesario agregar un control PID para disminuir el error en el peso, ya que la báscula sufre perturbaciones cuando el producto cae y genera un sobrepeso producto de la altura de descarga.

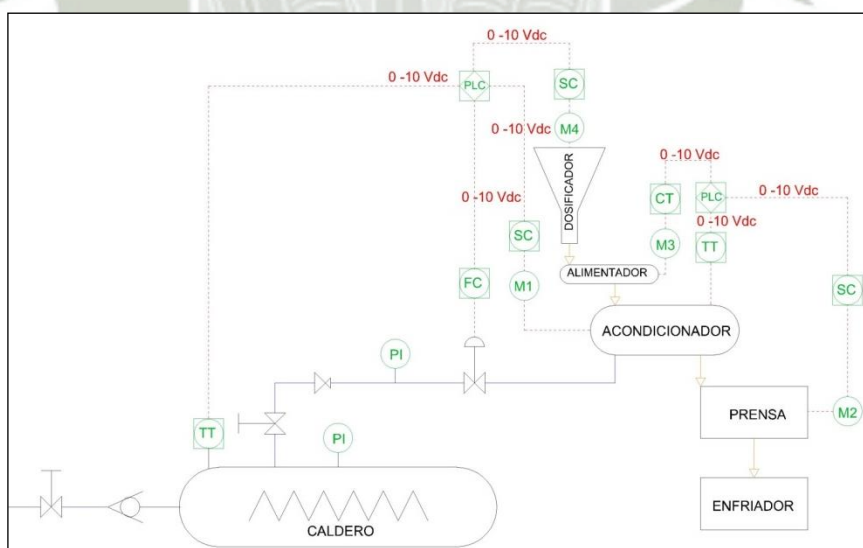


Figura 3. 2: Diagrama P&ID del proceso de peletizado.
Fuente: Elaboración propia

Proceso de Peletizado:

- Mezcla producto con vapor saturado
- Normalmente uno de los flujos sólo se puede medir, no manipular. Se le denomina flujo de referencia.

Objetivo

- Mantener la relación entre el flujo del producto y la apertura de la válvula de vapor:
- Ahora presentamos una tabla de valores del control de relación

Flujo de Producto	Apertura de la válvula	Temperatura del Producto
1kg/Hr	1%	25°
2kg/hr	2%	25°
4kg/hr	4%	27°
6kg/hr	6%	30°
8kg/hr	8%	30°
10kg/hr	10%	30°

Tabla 3. 4: Datos experimentales para un control de relación en el procesos de peletizado

Fuente: elaboración propia

Observación

Según la tabla anterior el control de relación no se adecúa al proceso de Peletizado por que la proporcionalidad no se refleja en la temperatura del producto. Ya que tendríamos problemas cuando queramos alcanzar un valor de 35°C para un flujo de 4 kg/hr.

El control cascada responde al único set point que es la temperatura ajustando los parámetros de flujo y grados de apertura de la válvula, para alcanzar la temperatura deseada en el producto.

3.5. Diseño de la etapa de control e instrumentación

En este apartado, para ser posible el control de este sistema explicado es necesario diseñar e implementar tarjetas de acondicionamiento de señal.

3.5.1. Control de temperatura

Diseño y fabricación de tarjeta para el acondicionamiento de señal de Temperatura de 0 a 10 Vdc, el diseño esquemático y la tarjeta impresa se encuentran en la figura 3.1 y 3.2.

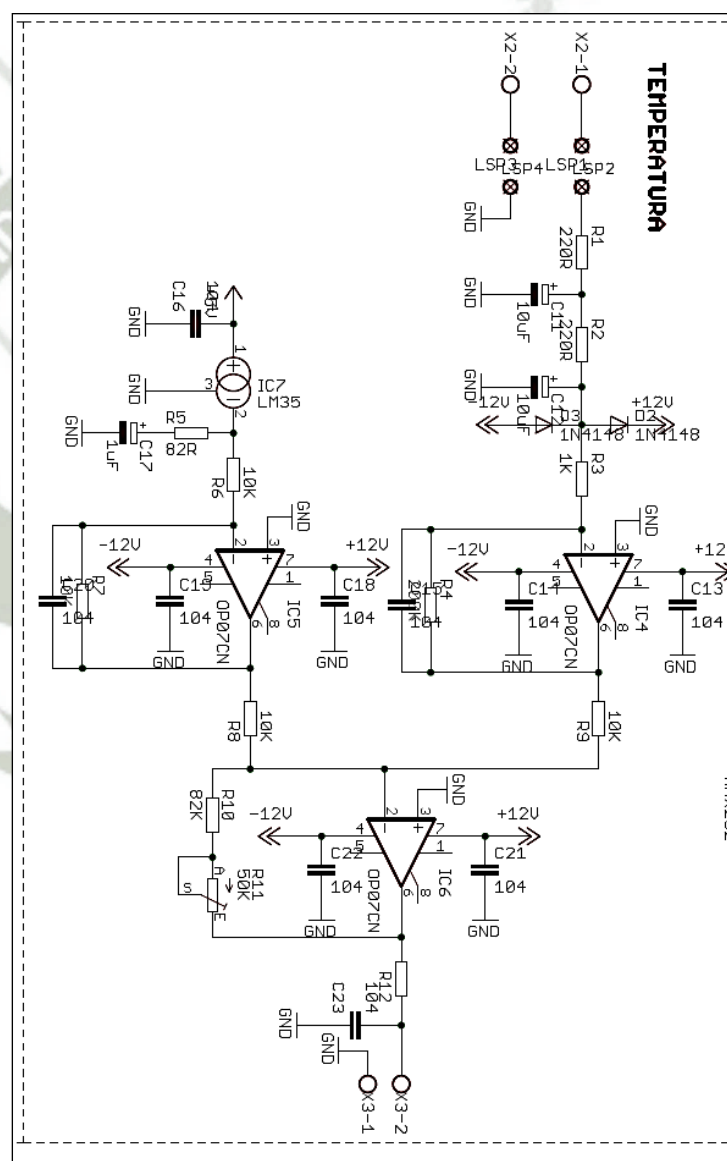
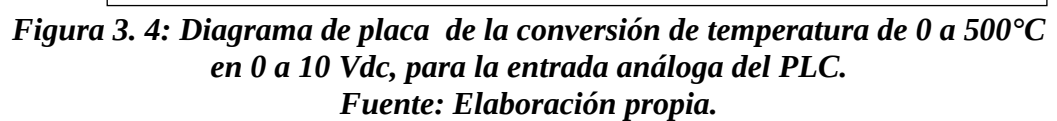


Figura 3. 3: Diagrama esquemático de conversión de temperatura de 0 a 500°C en 0 a 10 Vdc, para la entrada análoga del PLC.

Fuente: Elaboración propia.



3.5.2. Control indirecto de presión del caldero a través de la temperatura

Diseño y fabricación de tarjeta para el acondicionamiento de señal de Temperatura de 0 a 10 Vdc, el diseño esquemático y de la tarjeta impresa se encuentran en la figura 3.3 y 3.4.

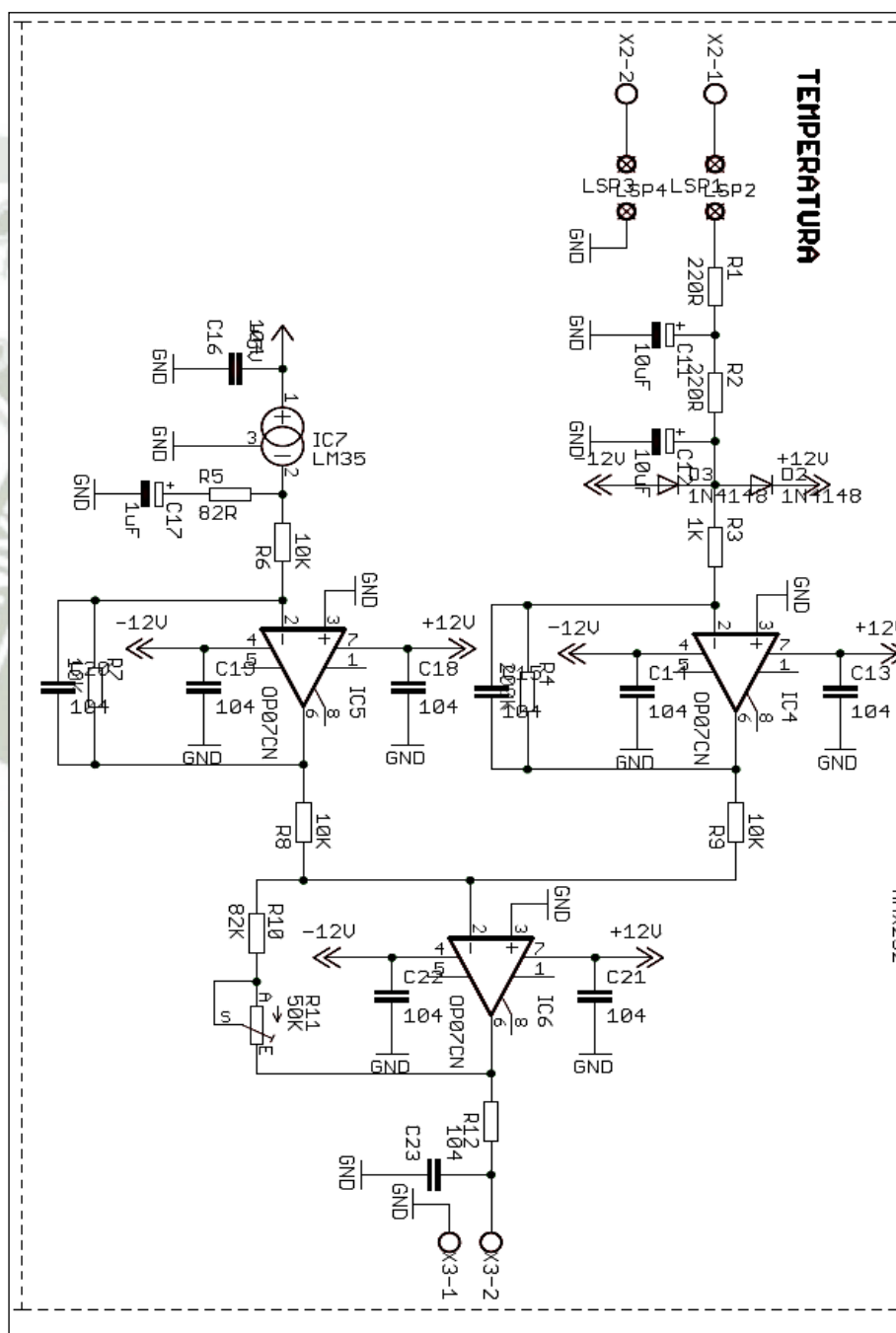
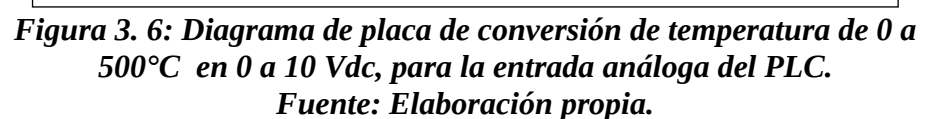


Figura 3. 5: Diagrama Esquemático de conversión de Temperatura de 0 a 500°C en 0 a 10 Vdc, para la entrada análoga del PLC.
Fuente: Elaboración propia.



3.5.3. Control de velocidad del motor alimentador con PWM

El control de velocidad del alimentador se controla con la modulación por ancho de pulso, como se muestra en las figuras 3.5 y 3.6.

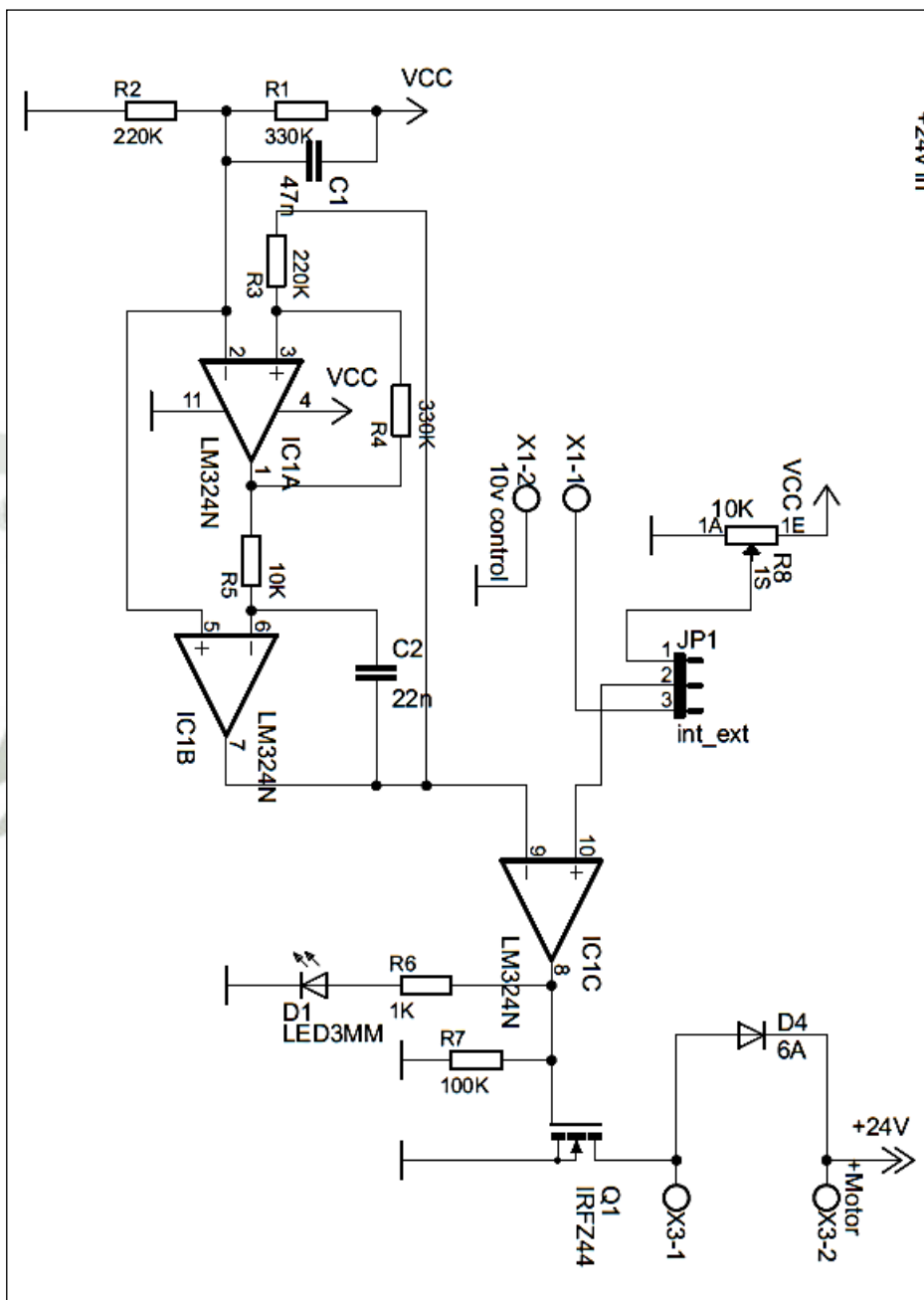


Figura 3. 7: Diagrama esquemático de control de velocidad con PWM con entradas de control de 0 a 10 Vdc, de la salida analógica del PLC.
Fuente: Elaboración propia.

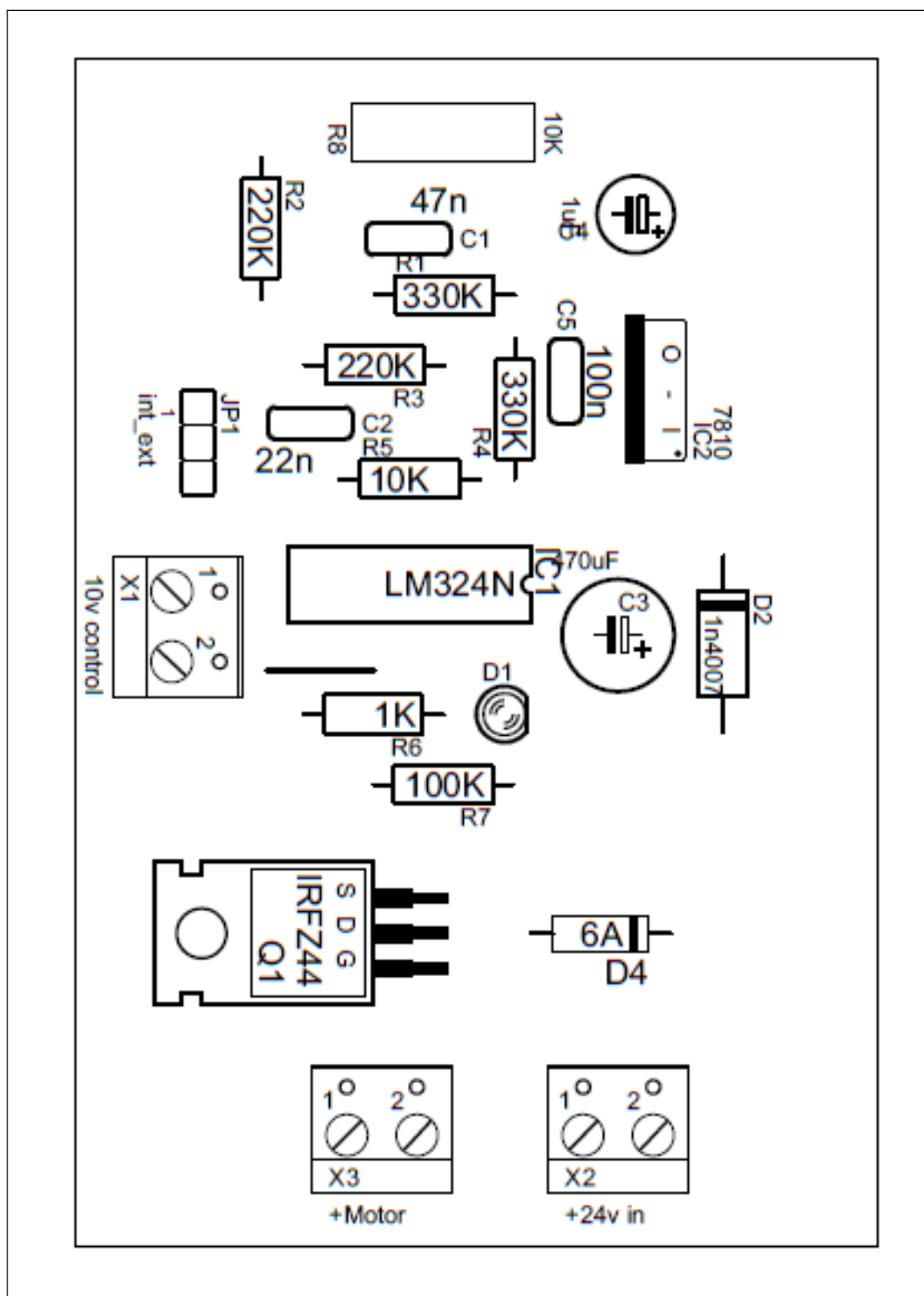


Figura 3. 8: Diagrama de placa del control de velocidad de motor DC con entradas de control de 0 a 10 Vdc, de la salida analógica del PLC.
Fuente: Elaboración propia.

3.5.4. Tarjeta de potencia para las salidas de PLC

Las salidas de control del PLC necesitan una etapa de potencia para motores que consumen hasta 1.5A. Con salidas a transistor y relays ver Figuras 3.7, 3.8 y 3.9.

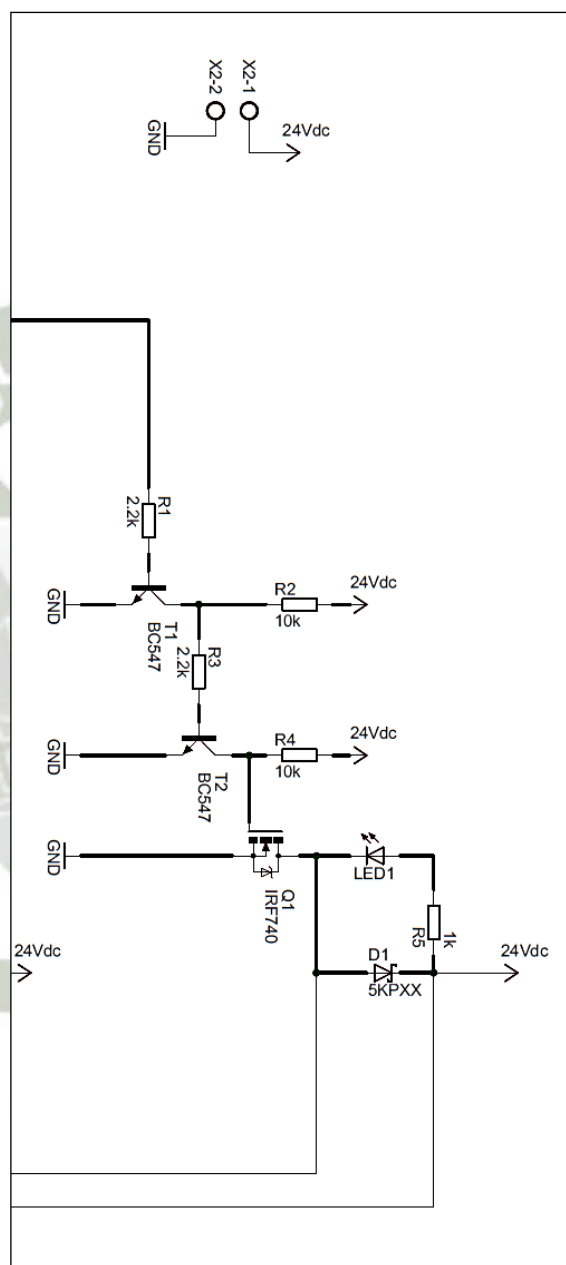


Figura 3. 9: Etapa de Potencia con transistores y Mosfet salida de 24 Vdc.

Fuente: Elaboración propia.

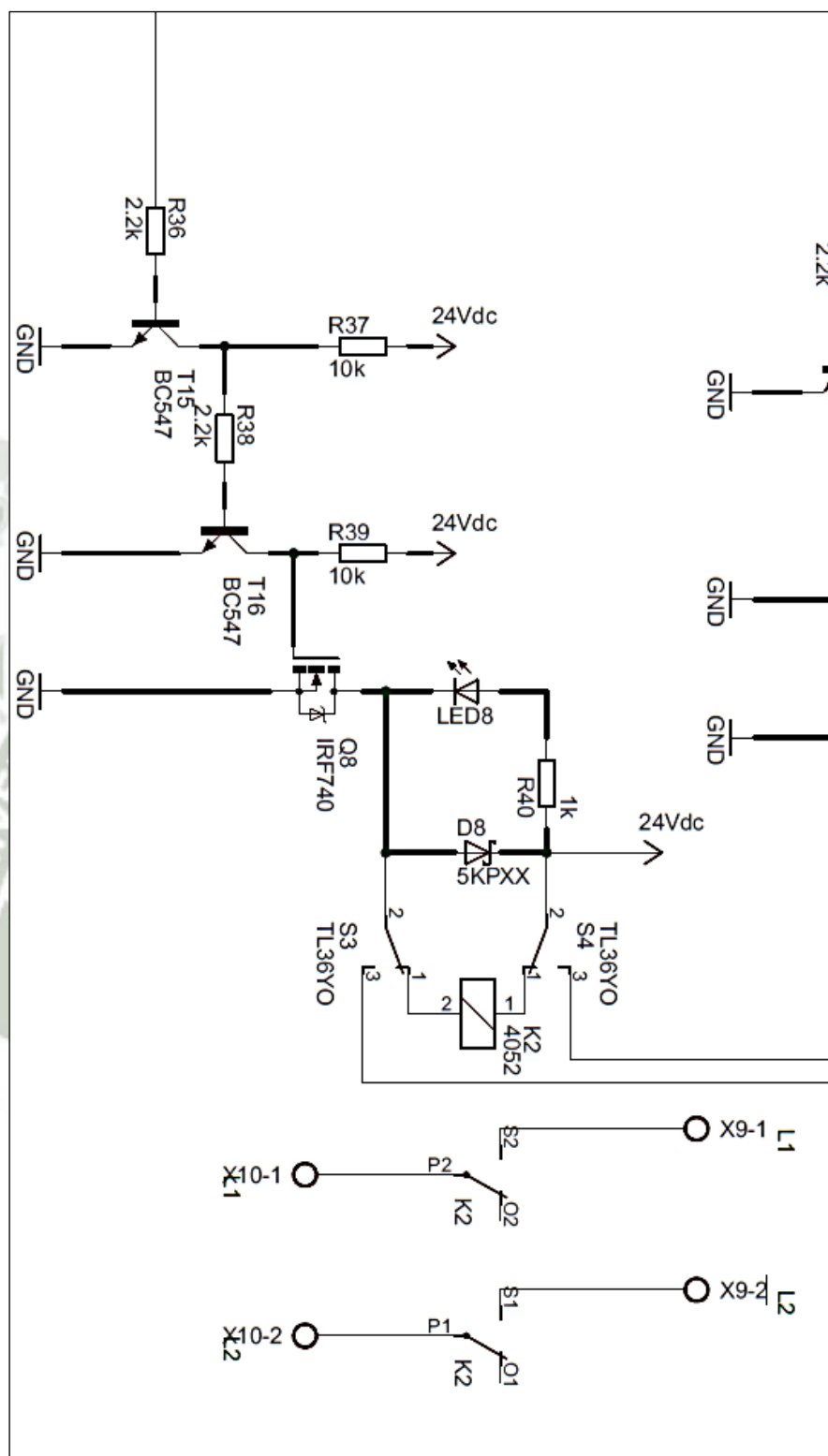


Figura 3. 10: Etapa de potencia con transistores y Mosfet salida a relay.

Fuente: Elaboración propia.

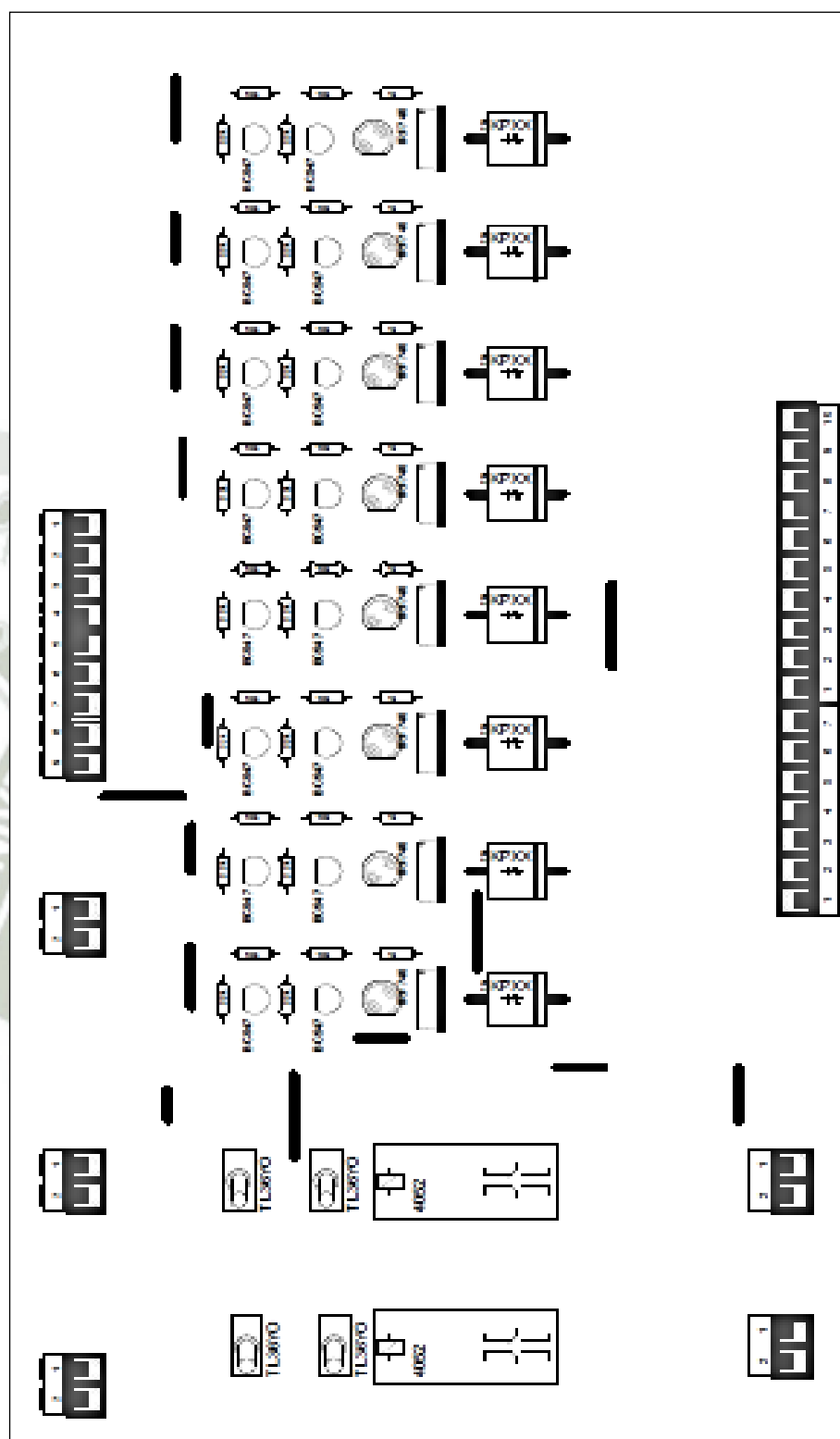


Figura 3. 11: Etapa de potencia con transistores y Mosfet salida a relay (placa).

Fuente: Elaboración propia.

3.5.5. Control de posición de válvula de vapor

Diagrama de flujo del sistema de control de apertura de válvula de vapor.

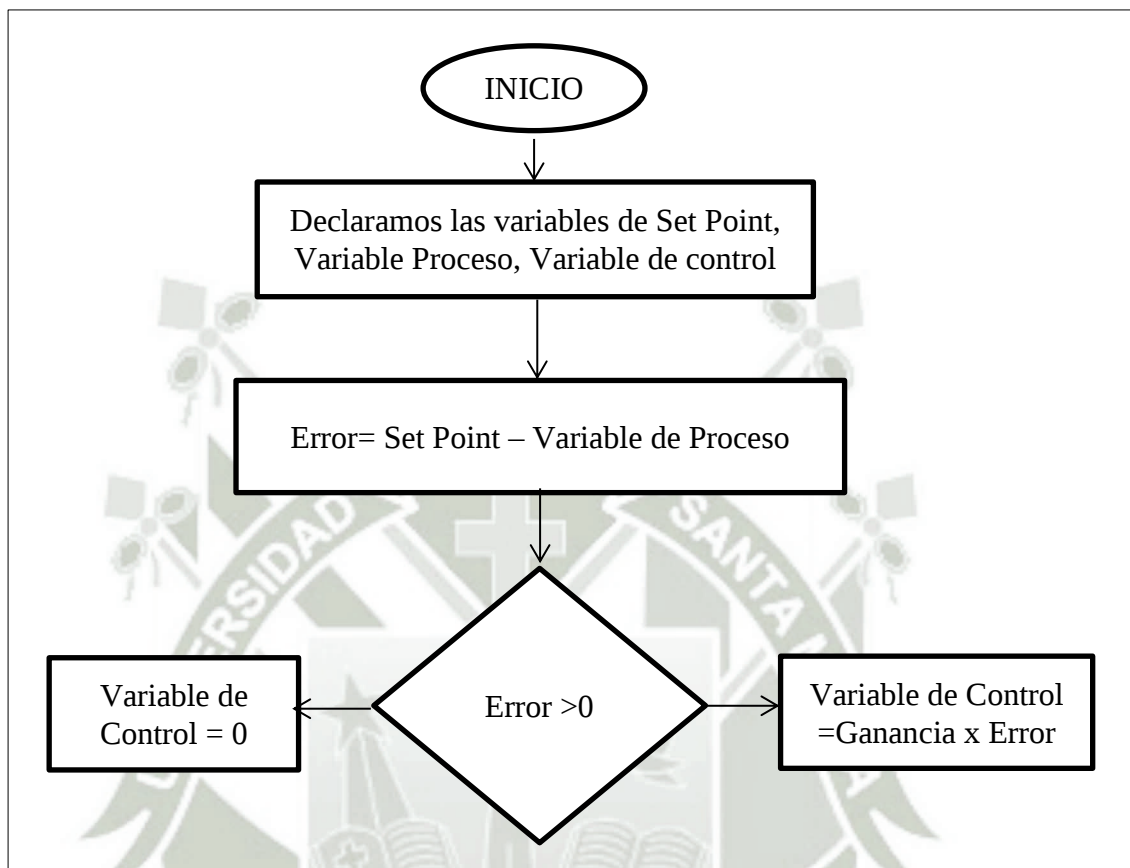


Figura 3. 12: Diagrama de flujo del control proporcional de la válvula tipo aguja de vapor.

:

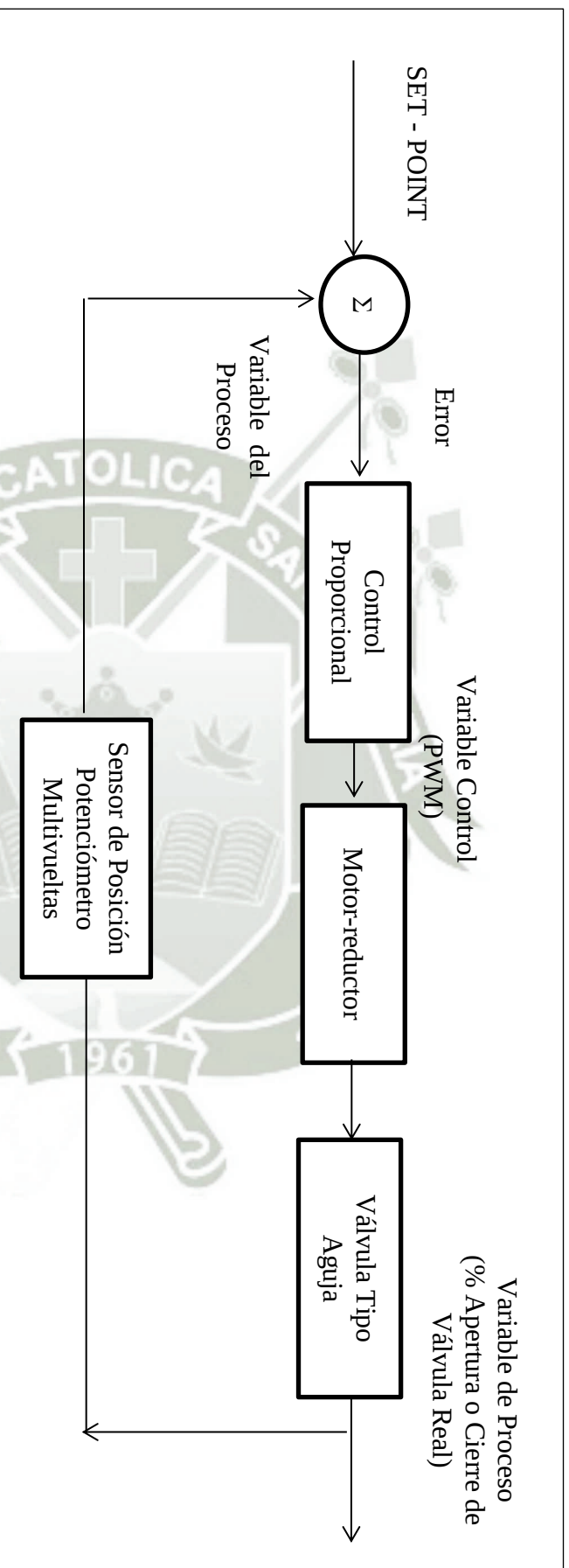


Figura 3. 13: Diagrama del control proporcional de la válvula tipo aguja de vapor.

Fuente: Elaboración propia.

Dónde:

Set Point → Grados de Apertura Deseada

Variable de Proceso → Grados de Apertura Real

Variable de Control → Señal de PWM a la etapa de Potencia del Moto-reductor.

Diseño del programa en lenguaje C para el microcontrolador

PIC16F873A.

```
#include <16F873A.h>
#device adc=8
#use delay(clock=20000000)
#fuses NOWDT, HS, PUT, NOPROTECT,NOLVP, NOBROWNOUT

int Vin,Pot,aux;

//*****
*****
void leer_adcs(VOID)
{
    set_adc_channel (0);
    delay_us (20);
    Vin = read_adc ();
    Vin = Vin/10;
    delay_ms (20) ;

    set_adc_channel (1);
    delay_us (20);
    Pot = read_adc ();
    Pot = Pot/5;
    delay_ms (20) ;
}

void main ()
{
    setup_adc_ports (AN0_AN1_AN3);
    setup_adc (ADC_CLOCK_INTERNAL);
    setup_timer_0 (RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_1);
    setup_timer_1 (T1_DISABLED);
    setup_timer_2 (T2_DIV_BY_1, 255, 1); //con osc de 1mhz para
    generar 60hz
    //setup_timer_2 (T2_DIV_BY_1, 249, 1) ;
    setup_ccp1 (CCP_PWM);
    setup_ccp2 (CCP_PWM);
    set_pwm1_duty (0); //MAX 999 PARA 100 % DE VELOCIDAD
    set_pwm2_duty (0);
    //enable_interrupts (INT_RDA);
    enable_interrupts (GLOBAL);
    //port_b_pullups (true);
    set_tris_b (255);

    WHILE (true)
```

```

{
    leer_adcs ();

    IF ((Vin > Pot) & (aux == 0))
    {
        set_pwm1_duty (900) ; //abrir
        set_pwm2_duty (0) ;

        IF (input (PIN_C0))
        {
            delay_ms (100) ;
            IF (input (PIN_C0)) aux = 1;
        }
    }

    else IF ((Vin < Pot) & (aux == 0))
    {
        set_pwm1_duty (0) ;
        set_pwm2_duty (900) ; //cerrar

        IF (input (PIN_C0))
        {
            delay_ms (100) ;
            IF (input (PIN_C0)) aux = 1;
        }
    }

    else IF ((Vin == Pot) | (aux == 1))
    {
        set_pwm1_duty (0) ;
        set_pwm2_duty (0) ;
        IF (Vin == Pot) aux = 0;
    }
}
}

```

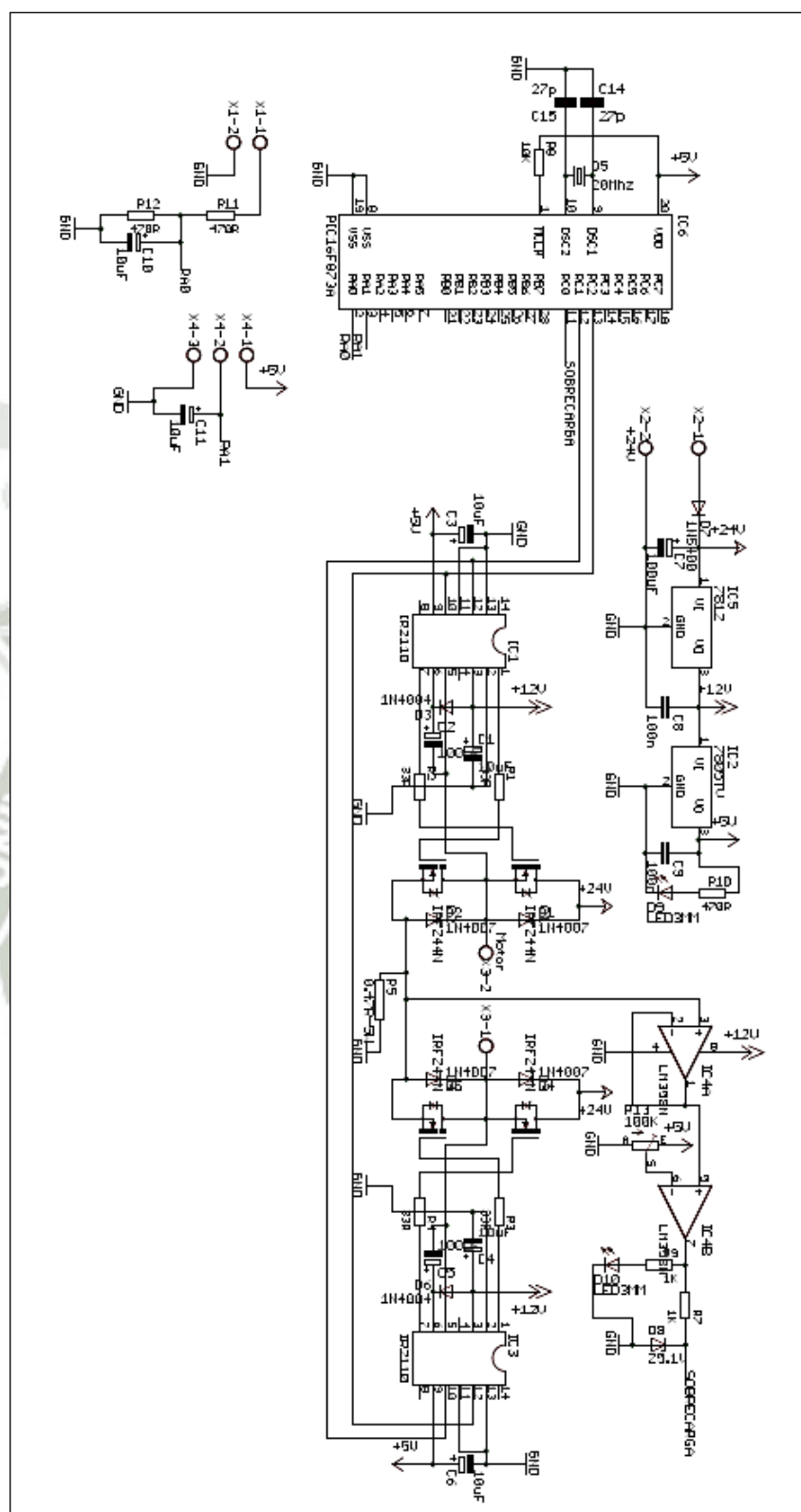


Figura 3. 14: Diagrama esquemático del control proporcional de la válvula de vapor.

Fuente: Elaboración propia.

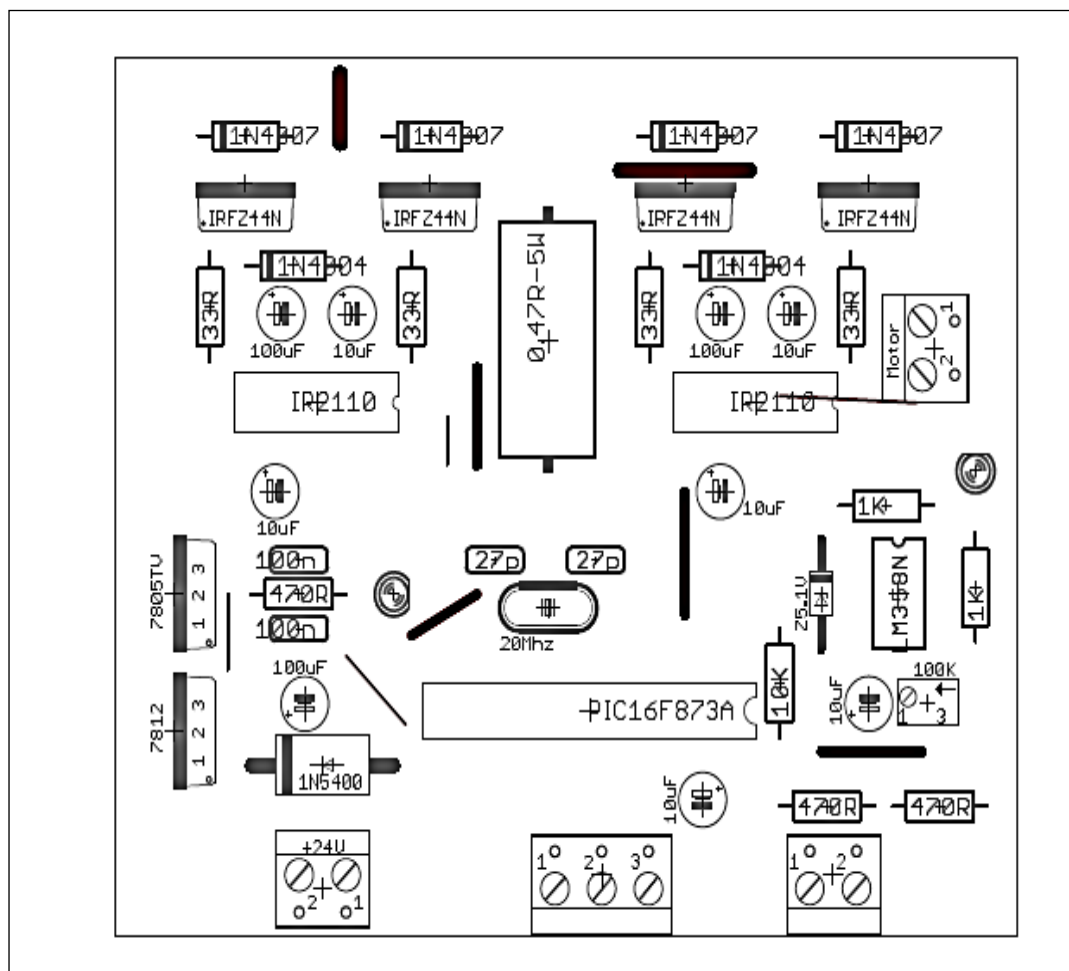


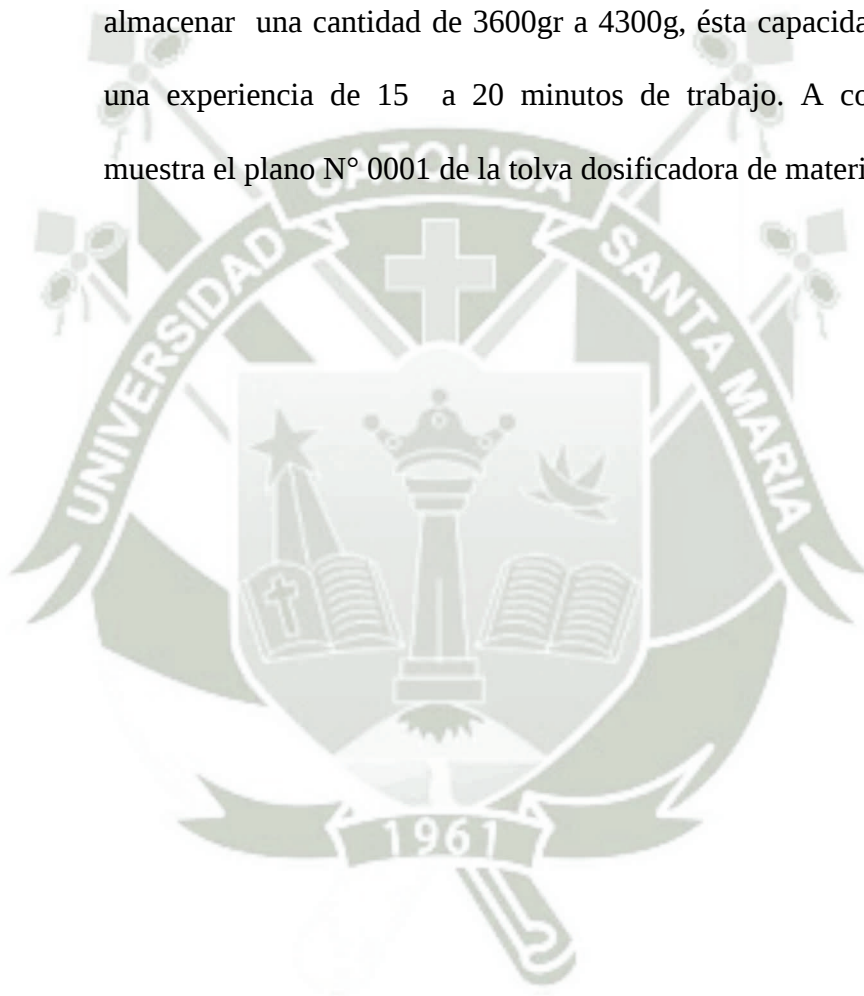
Figura 3. 15: Diagrama de placa del control proporcional de la válvula de vapor.

3.6. Diseño mecánico

A continuación realizamos los cálculos de almacenamiento y flujo del prototipo de peletizado.

3.6.1. Cálculo del dimensionamiento de la tolva dosificadora

La capacidad de la tolva dosificadora es de 7200cm^3 para una densidad que va desde 0.5 a 0.6 gr/cm^3 ; entonces la tolva dosificadora podrá almacenar una cantidad de 3600gr a 4300g , ésta capacidad servirá para una experiencia de 15 a 20 minutos de trabajo. A continuación se muestra el plano N° 0001 de la tolva dosificadora de materia prima.





3.6.2. Cálculo del flujo del tornillo alimentador

– Área de relleno del canalón (m²)

$$S = \delta \frac{\pi D^2}{4} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Dónde:

δ es coeficiente de la sección de relleno (menor que la unidad para evitar amontonamiento)

Tipo de Carga	δ
Pesada y abrasiva	0.125
Pesada poco abrasiva	0.25
Ligera poco abrasiva	0.32
Ligera no abrasiva	0.4

Tabla 3. 5: Coeficientes de relleno para cuatro tipos de carga.
Fuente: Universidad Carlos III de Madrid.

– Velocidad de desplazamiento del transportador (m/s)

$$V = \frac{t \cdot n}{60} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Dónde:

t es paso del tornillo en metros

n es velocidad de giro del tornillo

– Flujo del material Transportado (T/h)

$$Q = 3600 \cdot S \cdot V \cdot \gamma \cdot K \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Dónde:

Q es densidad del flujo del material

S es el área de llenado del canalón

V es velocidad de transporte

γ es densidad del material en (t/m³)

K es Coeficiente de disminución del flujo del material

Inclinación del Canalón	0°	5°	10°	15°	20°
K	1	0.9	0.8	0.7	0.6

Tabla 3. 6: Coeficiente de disminución por inclinación.
Fuente: Universidad Carlos III de Madrid.

Entonces reemplazando las ecuaciones 1, 2 en 3

$$Q = 3600 \cdot \frac{\delta \pi D^2}{4} \cdot \frac{t \cdot n}{60} \gamma \cdot K \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Ahora empleando las ecuaciones 1, 2 y 3 en el tornillo alimentador tenemos:

– **Datos de tornillo alimentador**

Superficie	0.000407138	m ²
Coeficiente Relleno	0.2	
Velocidad de Desplazamiento	0.0375	m/s
Paso	0.0075	m
RPM	150	rpm
Densidad	0.8	T/m ³
Coeficiente. Disminución	1	
Diámetro	0.036	m
Flujo	0.01075	T/H
	10.75	Kg/H

Tabla 3. 7: Datos del tornillo alimentador.
Fuente: Elaboración propia.

– Datos experimentales del tornillo alimentador

Se muestra en la siguiente tabla los datos experimentales en el tornillo alimentador.

Tornillo Alimentador						
PWM (%)	Sobrecarga (mA)	RPM con Carga	TIEMPO (seg)	PESO(gramos)	RPM en vacio	Flujo material (Kg/Hora)
0	95	0	0	0	0	0
10	112	25	30	51.18	70.1	6.16626506
20	128	70	30	52.5	93.6	6.325301205
30	140	90	30	74.14	115.4	8.93253012
40	157	115	30	80.24	137	9.66746988
50	172	128	30	96.2	161.6	11.59036145
60	184	151	30	101.92	182.4	12.27951807
70	195	145	30	108.54	182.4	13.07710843
80	203	140	30	111.54	182.4	13.43855422
90	216	147	30	114.24	182.4	13.76385542
100	225	135	30	102.66	182.4	12.3686747

Tabla 3. 8: Datos experimentales del tornillo alimentador para el cálculo de flujo (Prueba 1).
Fuente: Elaboración propia.

Tornillo Alimentador						
PWM (%)	Sobrecarga (mA)	RPM con Carga	TIEMPO (seg)	PESO(gramos)	RPM en vacio	Flujo material (Kg/Hora)
0	92	0	0	0	0	0
10	108	25	30	48.64	70.1	6.16626506
20	130	70	30	54.34	93.6	6.325301205
30	143	90	30	69.54	115.4	8.93253012
40	153	115	30	84.64	137	9.66746988
50	178	128	30	97.52	161.6	11.59036145
60	191	151	30	103.04	182.4	12.27951807
70	194	145	30	106.48	182.4	13.07710843
80	206	140	30	118.5	182.4	13.43855422
90	212	147	30	114.32	182.4	13.76385542
100	222	135	30	110.75	182.4	12.3686747

Tabla 3. 9: Datos experimentales del tornillo alimentador para el cálculo de flujo (Prueba 2).

Tornillo Alimentador						
PWM (%)	Sobrecarga (mA)	RPM con Carga	TIEMPO (seg)	PESO(gramos)	RPM en vacío	Flujo material (Kg/Hora)
0	98	0	0	0	0	0
10	113	25	30	51.2	70.1	6.144
20	130	70	30	56.53	93.6	6.7836
30	142	90	30	74.6	115.4	8.952
40	151	115	30	81.82	137	9.8184
50	174	128	30	95.42	161.6	11.4504
60	183	151	30	100.4	182.4	12.048
70	188	145	30	112.7	182.4	13.524
80	200	140	30	118	182.4	14.16
90	205	147	30	116.3	182.4	13.956
100	231	135	30	109.6	182.4	13.152

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 10: Datos experimentales del tornillo alimentador para el cálculo de flujo (Prueba 3).

Fuente: Elaboración propia.

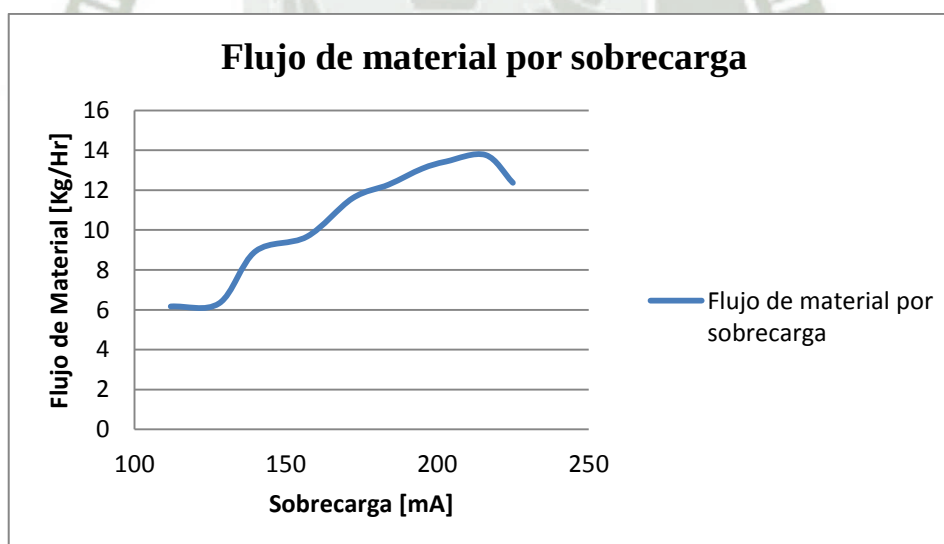


Figura 3. 16: Flujo de material por sobrecarga del alimentador.

Fuente: Elaboración propia.

- Análisis de datos experimentales para el alimentador

Flujo material (Kg/Hora) prueba 1	Flujo material (Kg/Hora) prueba 2	Flujo material (Kg/Hora) prueba 3	Promedio	Varianza	Desviación Estándar
6.17	5.84	6.14	6.05	0.02	0.15
6.33	6.52	6.78	6.54	0.04	0.19
8.93	8.34	8.95	8.74	0.08	0.28
9.67	10.16	9.82	9.88	0.04	0.20
11.59	11.70	11.45	11.58	0.01	0.10
12.28	12.36	12.05	12.23	0.02	0.13
13.08	12.78	13.52	13.13	0.09	0.31
13.44	14.22	14.16	13.94	0.13	0.36
13.76	13.72	13.96	13.81	0.01	0.10
12.37	13.29	13.15	12.94	0.16	0.41

Tabla 3. 11: Flujo de Tornillos alimentador cálculos del promedio, la varianza y la desviación estándar de los datos experimentales.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla mostrada se aprecia el valor promedio de las tres mediciones que se realizaron para determinar el flujo en el tornillo alimentador, además de la

varianza representada por
$$s_n^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$
 definida como una medida de dispersión definida como la esperanza del cuadrado de la desviación de dicha variable respecto a su media, además de la desviación estándar definida como la raíz cuadrada de la varianza, que muestra la desviación que presentan los datos en su distribución respecto a la media aritmética de dicha distribución.

A continuación se muestra el Plano N° 0002 de las dimensiones del tornillo alimentador.

3.6.1. Cálculo del flujo y del tiempo de retención del acondicionador

Calculamos el tiempo de retención del producto; como se observa en la figura 23 es un sinfín de paletas. Y para ello hacemos uso de las ecuaciones 1, 2 y 3. Con la diferencia que son 2 ejes que están en contra flujo.

– Datos de Eje de Diámetro mayor

Superficie Transporte	0.00027708 m ²
Coeficiente Relleno	0.2
Velocidad de desplazamiento	0.0815 m/s
Paso	0.0161 m
RPM	150 Rpm
Densidad	0.9 T/m ³
Coeficiente de Disminución	1
Diámetro	0.07 m
Flujo	0.035 T/Hora

Tabla 3. 12: Datos de eje de diámetro mayor.

Fuente Elaboración propia.

– Datos de Eje de Diámetro menor

Superficie Transporte	0.00019634 m ²
Coeficiente Relleno	0.2
Velocidad de desplazamiento	0.0815 m/s
Paso	0.0161 m
RPM	150 Rpm
Densidad	0.9 T/m ³
Coeficiente de Disminución	1
Diámetro	0.05 m
Flujo	0.025 T/Hora

Tabla 3. 13: Datos de eje de diámetro menor.

Fuente: Elaboración propia.

El flujo teórico del acondicionador de doble eje es de 10 Kg/Hora, el cual está determinado por el flujo del eje mayor

El tiempo de retención se determina de manera experimental como se muestra en la tabla 3.10 y es de aproximadamente de 30 segundos para un Flujo de 10 Kg/Hora.

– **Datos experimentales del Acondicionador de doble eje.**

Acondicionador Diferencial					
PWM- Periodo (KHz)	RPM con Carga	TIEMPO (seg)	PESO(gramos)	RPM en vacio	Flujo material
2000	0	0	0	0	0
100	15	30	63.5	60	7.62
90	60	30	68.7	85	8.244
70	73	30	80	105	9.6
60	119	30	90.3	140	10.836
50	133	30	105.8	173	12.696
40	160	30	108.6	190	13.032
30	155	30	110.6	190	13.272
20	161	30	110.5	190	13.26
10	157	30	115	190	13.8
1	165	30	119.1	190	14.292

Tabla 3. 14: Datos experimentales del acondicionador para el cálculo de flujo (Prueba 1)
Fuente: Elaboración propia

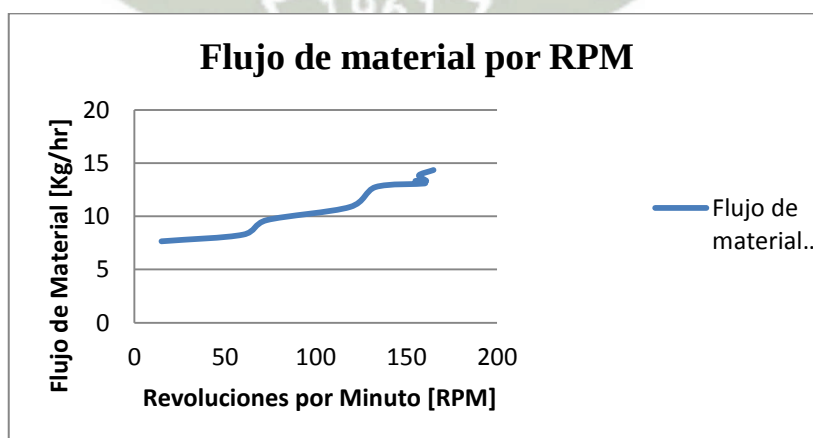


Figura 3. 17: Flujo de material por RPM del acondicionador.
Fuente: Elaboración propia.

Acondicionador Diferencial					
PWM- Periodo (KHz)	RPM con Carga	TIEMPO (seg)	PESO(gramos)	RPM en vacio	Flujo material
2000	0	0	0	0	
100	15	30	59.4	60	7.128
90	60	30	66.2	85	7.944
70	73	30	76.4	105	9.168
60	119	30	92.7	140	11.124
50	133	30	101.5	173	12.18
40	160	30	105.4	190	12.648
30	155	30	113.5	190	13.62
20	161	30	115.2	190	13.824
10	157	30	115	190	13.8
1	165	30	123.5	190	14.82

Tabla 3. 15: Datos experimentales del acondicionador para el cálculo de flujo (Prueba 2)

Fuente: Elaboración propia

Acondicionador Diferencial					
PWM- Periodo (KHz)	RPM con Carga	TIEMPO (seg)	PESO(gramos)	RPM en vacio	Flujo material
2000	0	0	0	0	
100	15	30	58.3	60	6.996
90	60	30	54.5	85	6.54
70	73	30	81.5	105	9.78
60	119	30	92.7	140	11.124
50	133	30	102.5	173	12.3
40	160	30	108.2	190	12.984
30	155	30	114.8	190	13.776
20	161	30	119.8	190	14.376
10	157	30	115.5	190	13.86
1	165	30	119.6	190	14.352

Tabla 3. 16: Datos experimentales del acondicionador para el cálculo de flujo (Prueba 3)

Fuente: Elaboración propia

- Análisis de datos experimentales para el acondicionador

Flujo material (Kg/Hora) prueba 1	Flujo material (Kg/Hora) prueba 2	Flujo material (Kg/Hora) prueba 3	Promedio	Varianza	Desviación Estandar
7.62	7.13	7.00	7.25	0.07	0.27
8.24	7.94	6.54	7.58	0.55	0.74
9.60	9.17	9.78	9.52	0.07	0.26
10.84	11.12	11.12	11.03	0.02	0.14
12.70	12.18	12.30	12.39	0.05	0.22
13.03	12.65	12.98	12.89	0.03	0.17
13.27	13.62	13.78	13.56	0.04	0.21
13.26	13.82	14.38	13.82	0.21	0.46
13.80	13.80	13.86	13.82	0.00	0.03
14.29	14.82	14.35	14.49	0.06	0.24

En la tabla mostrada se aprecia el valor promedio de las tres mediciones que se realizaron para determinar el flujo en el tornillo alimentador, además de la

varianza representada por
$$s_n^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$
 definida como una medida de dispersión definida como la esperanza del cuadrado de la desviación de dicha variable respecto a su media, además de la desviación estándar definida como la raíz cuadrada de la varianza, que muestra la desviación que presentan los datos en su distribución respecto a la media aritmética de dicha distribución.

Prensa					
Frecuencia	RPM con Carga	RPM en vacío	Tiempo (seg)	Peso (gramos)	Flujo material
0	0	0	0	0	0
10	120	130	30	77.84	9.37831325
20	240	256	30	102	12.2891566
30	360	381	30	137.78	16.6

Tabla 3. 17 Datos experimentales de la prensa de harina para el cálculo de flujo

Fuente: Elaboración propia

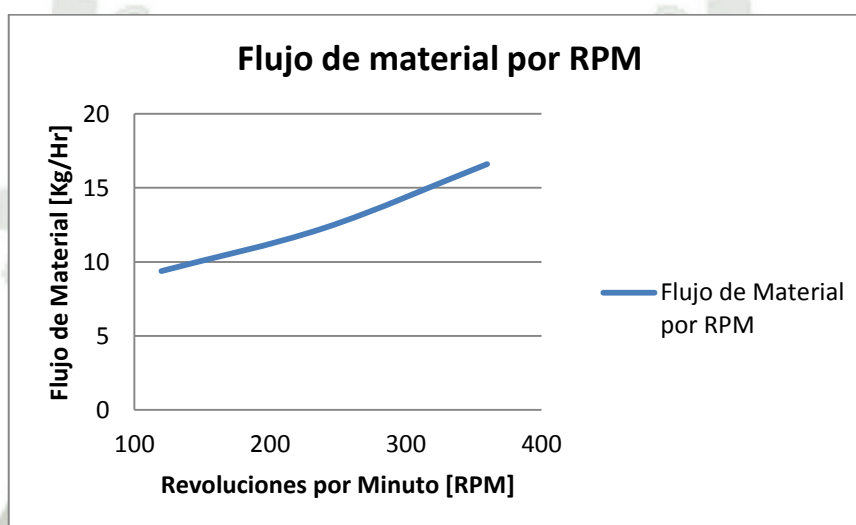


Figura 3. 18: Flujo de Material por RPM de la prensa de harina.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se muestra el Plano N° 0003 de dimensiones del acondicionador de doble eje y los Planos N° 0004, 5, 6, 7, 8 y 9 del Sistema de Vapor.

3.7. Diseño eléctrico e instrumentación

El diseño de la planta prototipo cuenta con la parte eléctrica el cual se estandarizó con cable número 18 AWG, cabe señalar que se realizó un módulo donde se encuentra el PLC Micrologix 1100 con sus respectivos tarjetas de entradas y salidas, además del variador de velocidad Power Flex 4M (ver plano N° 0010) .La instrumentación cuenta convertidores analógicos de 0 a 10 Vdc que se muestran inicialmente en este capítulo el proceso se detalla en el plano N° 0011.







CAPITULO IV

AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE BALANCEADOS

4.1. Mezclado.

4.1.1. Diseño de la estrategia de control del procesos de mezclado

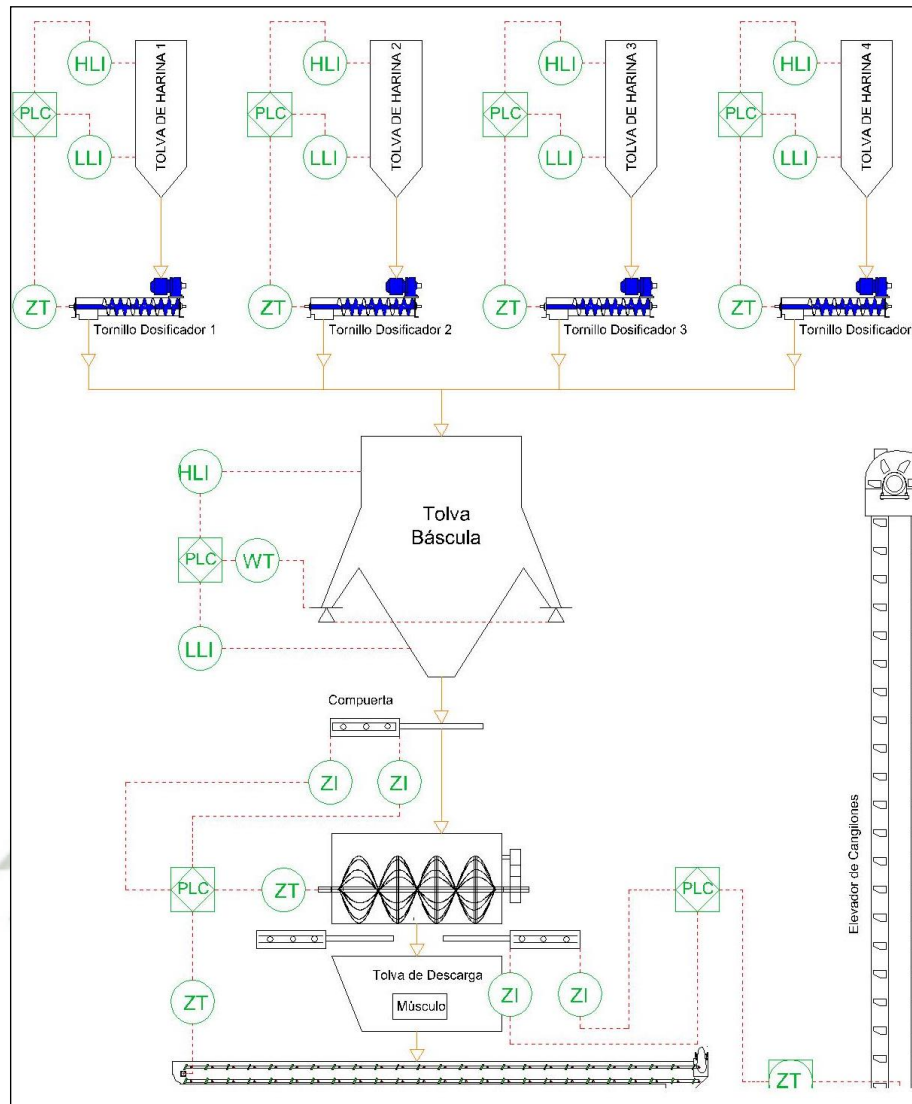


Figura 4. 1: Proceso de Mezclado.
Fuente Elaboración propia.

Objetivo del sistema: Alcanzar el peso deseado, en la tolva báscula.

Dinámica del sistema: Alcanzar el peso deseado a través del variador de frecuencia de los tornillos Dosificadores y el sensado de peso mediante celdas de cargas con una tarjeta de adquisición de 4 – 20mA para pesos de 0 a 800Kg. Se utiliza el PLC como controlador, éste recibe una señal analógica proveniente de la celda de carga, que es

procesada en el PLC, si el peso alcanza el valor deseado el controlador envía una señal análoga de 4 a 20mA para controlar la dosificación de los tornillos.

Variables de entrada y salida

- **Variable de entrada:** señal análoga proporcional al peso deseado.
- **Variable de control (CV):** señal análoga proporcional a los RPM del tornillo dosificador
- **Variable manipulada (MV):** Peso
- **Variable de Salida:** Señal análoga proporcional al peso real.

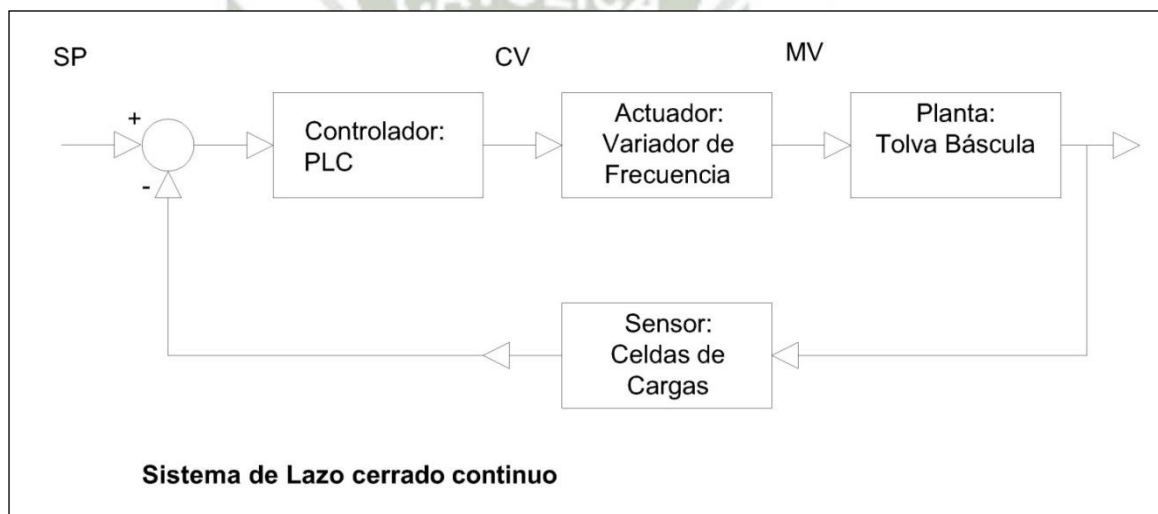


Figura 4. 2: Diagrama control del proceso de mezclado.
Fuente Elaboración propia.

4.1.2. Relación de entradas y salidas

Equipo	Componente	Entrada	Salida	Función
Tornillo 1	Motor		1	Transmisión
	Encóder	1 ^a		Verificar el Giro en el opuesto motor
	Térmico	1		Protección a Sobrecargas
Tornillo 2	Motor		1	Transmisión
	Encóder	1 ^a		Verificar el Giro en el opuesto motor
	Térmico	1		Protección a Sobrecargas
Tornillo 3	Motor		1	Transmisión
	Encóder	1 ^a		Verificar el Giro en el opuesto motor
	Térmico	1		Protección a Sobrecargas
Tornillo 4	Motor		1	Transmisión
	Encóder	1 ^a		Verificar el Giro en el opuesto motor
	Térmico	1		Protección a Sobrecargas
Tornillo 5	Motor		1	Transmisión
	Encóder	1 ^a		Verificar el Giro en el opuesto motor
	Térmico	1		Protección a Sobrecargas
Tornillo 6	Motor		1	Transmisión
	Encóder	1 ^a		Verificar el Giro en el opuesto motor
	Térmico	1		Protección a Sobrecargas
Tornillo 7	Motor		1	Transmisión
	Encóder	1 ^a		Verificar el Giro en el opuesto motor
	Térmico	1		Protección a Sobrecargas
Tornillo 8	Motor		1	Transmisión
	Encóder	1 ^a		Verificar el Giro en el opuesto motor
	Térmico	1		Protección a Sobrecargas
Tornillo 9	Motor		1	Transmisión
	Encóder	1 ^a		Verificar el Giro en el opuesto motor
	Térmico	1		Protección a Sobrecargas
Tornillo 10	Motor		1	Transmisión
	Encóder	1 ^a		Verificar el Giro en el opuesto motor
	Térmico	1		Protección a Sobrecargas
Variador de 1	Variador de velocidad		1 ^a	Regular la velocidad de alimentación a la báscula

Tabla 4.1: Entradas y salidas del proceso de mezclado.

Fuente: Elaboración propia. (Continuación)

Velocidad de Dosificadores	Variador de Velocidad 2		1ª	Regular la velocidad de un segundo tornillo a la vez.
Báscula	Transductor de Peso 0 1000Kg a 0-10Vdc	1ª		Sensado de Peso
	Compuerta de descarga	2	1	Descarga el producto pesado según la formula
	Sensor de vibración	1ª		Indicador de Perturbaciones, como el falso peso.
Mezcladora 1	Motor		1	Transmisión
	Sobre-corriente	1ª		Protección sobre-esfuerzo
	Encóder	1ª		Verificación de movimiento
	Compuerta de descarga	2	1	Descarga del producto
Tolva pulmón	Sensor de nivel	2		Indicador de nivel
	Músculo		1	Golpea a la tolva para que descargue el producto
Cadena transportadora	Motor		1	Transmisión
	Sobre-corriente	1ª		Protección a sobre esfuerzos
	Encóder	1ª		Verificación de rotación
	Sensor de sobre-corriente análogo	1ª		Indicará al músculo cuando deberá de golpear a la tolva
	Sensor de tensado de cadena	1ª		Indicará el estado de tensión de la cadena si está suelta o no.
Elevador de mezclado 1	Motor		1	Transmisión
	Encóder	1ª		Verificación de rotación
	Sensor Alineamiento	1ª		Monitorear el alineamiento de la faja
	Térmico	1		Protección a sobre esfuerzos
Tornillo 8m	Motor		1	Transmisión
	Encóder	1ª		Verificación de rotación
	Térmico	1		Protección a sobre esfuerzos
Válvula de Doble vía	Pistón neumático		1	Selección de molienda fina o molienda Gruesa
	Finales de carrera	2		
Distribuidor Rotatorio de 4 vías (mol.gruesa)	Motor		1	Transmisión
	Sensor a Tolva 1	1		Descarga a Tolva g-1
	Sensor a Tolva g-2	1		Descargar a tolva 2
	Sensor a Tolva g-3	1		Descargar a tolva 3
	Sensor a Tolva g-4	1		Descargar a tolva 4
	Térmico	1		Protección a sobre-esfuerzo
Tolva Mol. Gruesa	Tolva g-1	2		Indicadores de nivel
	Tolva g-2	2		Indicadores de nivel
	Tolva g-3	2		Indicadores de nivel
	Tolva g-4	2		Indicadores de nivel
Distribuidor Rotatorio de 4 vías (Mol.fina)	Motor		1	Transmisión
	Sensor PosiciónT-1	1		Descarga a Tolva 1
	Sensor PosiciónT-2	1		Descargar a tolva 2

Tabla 4.1: Entradas y salidas del proceso de mezclado.
Fuente: Elaboración propia. (Continuación)

	Sensor PosiciónT-3	1		Descargar a tolva 3
	Sensor PosiciónT- 4	1		Descargar a tolva 4
	Térmico	³ 1 ^a		Protección a sobre-esfuerzo
Tolva Mol. Fina	Tolva f-1	2		Indicadores de nivel
	Tolva f-2	2		Indicadores de nivel
	Tolva f-3	2		Indicadores de nivel
	Tolva f-4	2		Indicadores de nivel

Tabla 4. 1: Entradas y salidas del proceso de mezclado.

Fuente: Elaboración propia.

FORMULACION Y MEZCLADO	Entradas Digitales	Entradas Análogas	Salidas Digitales	Salidas Análogas	Puerto de Comunicación
	45	22	20	2	0

Tabla 4. 2: Entradas y salidas del proceso de mezclado.

Fuente: Elaboración propia.



³ “a” Extensión después del número para señalar si es una entrada o salida análoga.

4.1.1. Diagrama de flujo

En el proceso de Mezclado se realiza la siguiente lógica:

Primero: Detección de tolvas con productos

Segundo: Detección de tolvas con la misma materia prima para activar más de un tornillo a la vez.

Tercero: Se establecerá el valor del peso que extraerá por cada tolva.

Cuarto: se establecerá el tiempo de mezclado.

Quinto: se elige una de las molindas: de granos Gruesos o Finos. Para descargar el producto mezclado y extraer la materia prima.

Sexto: se deberá colocar a cero la balanza, antes de verter producto en la tolva báscula. Este paso se deberá realizar cuando se termine de pesar cada producto.

Séptimo: Cuando se termine de pesar el batch conformado por varias materias primas, se procederá a abrir la compuerta de descarga.

Octavo: el sistema preguntará si se completó el número de batch establecido.

Noveno: si existe merma, el sistema tendrá que compensar la diferencia.

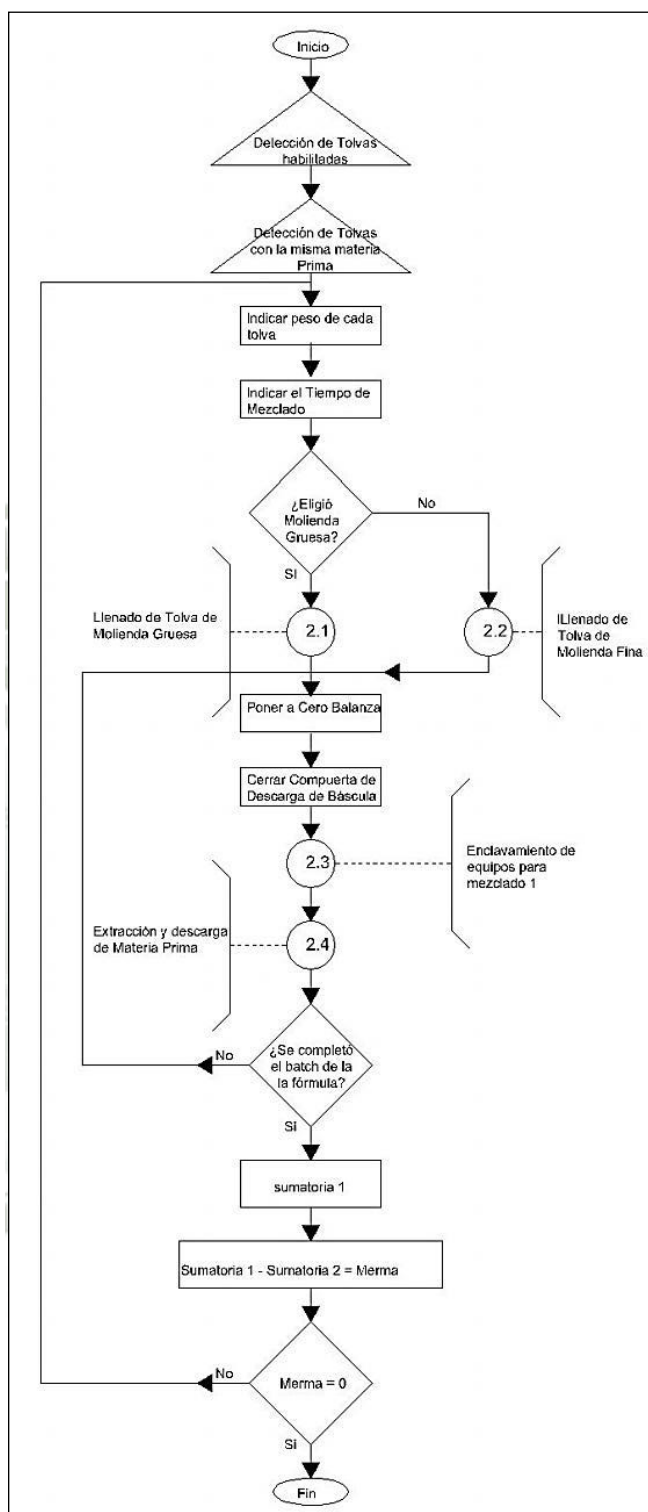


Figura 4. 3: Diagrama de flujo del proceso de formulación.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Layout del proceso de mezclado.

En el presente Layout de la figura 4.4 identificaremos los siguientes subprocesos

- Extracción de materia prima.
- Sistema de pesado.
- Sistema de mezclado.
- Sistema de descarga.
- Almacenamiento de producto mezclado.

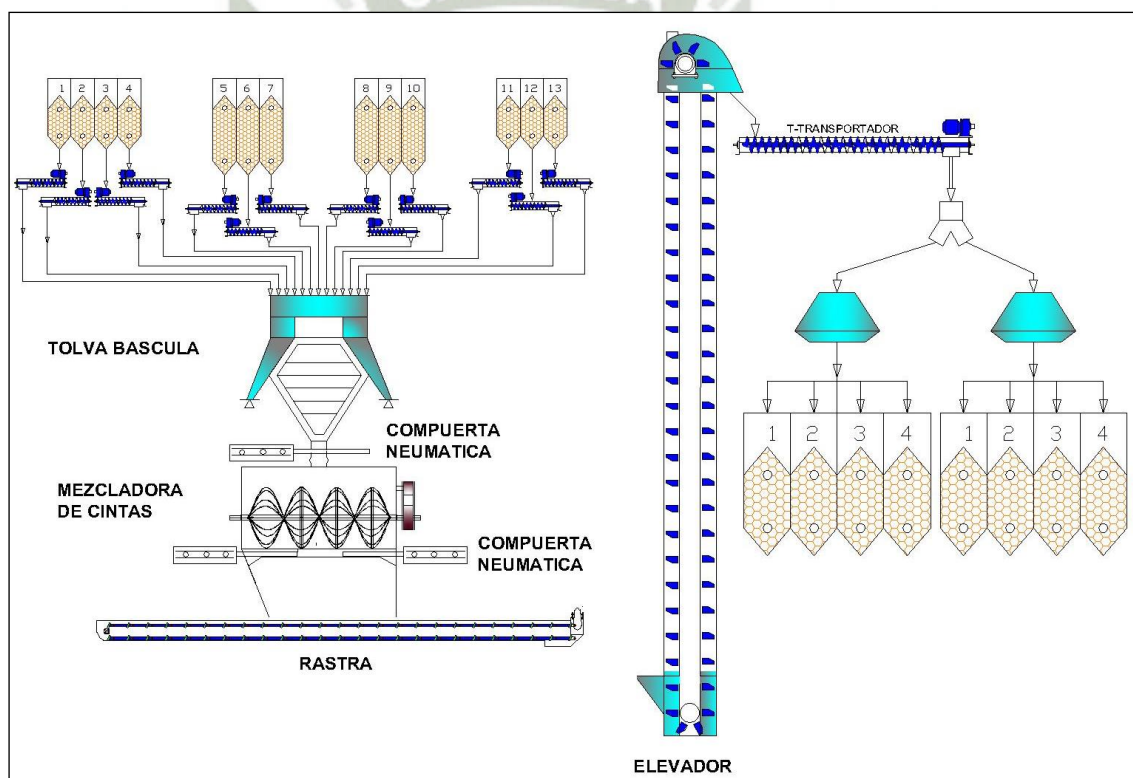


Figura 4. 4: Layout del proceso de formulación.
Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Diagrama P&ID del proceso de mezclado

En el presente diagrama de instrumentación tendremos en cuenta los siguientes parámetros de supervisión por cada subproceso:

- **Extracción de materia prima.**
 - Control de nivel de tolvas de materia prima.
 - Control de velocidad de los tornillos dosificadores.
 - **Sistema de pesado.**
 - Transmisor de peso
 - Control de nivel de la tolva báscula.
 - Control de apertura de la compuerta de descarga de la tolva báscula.
 - **Sistema de mezclado.**
 - Control del tiempo de mezclado
 - Control de apertura de las compuertas de descarga
 - **Sistema de descarga.**
 - Tiempo a la conexión y desconexión de los equipos de descarga.
 - **Almacenamiento de producto mezclado.**

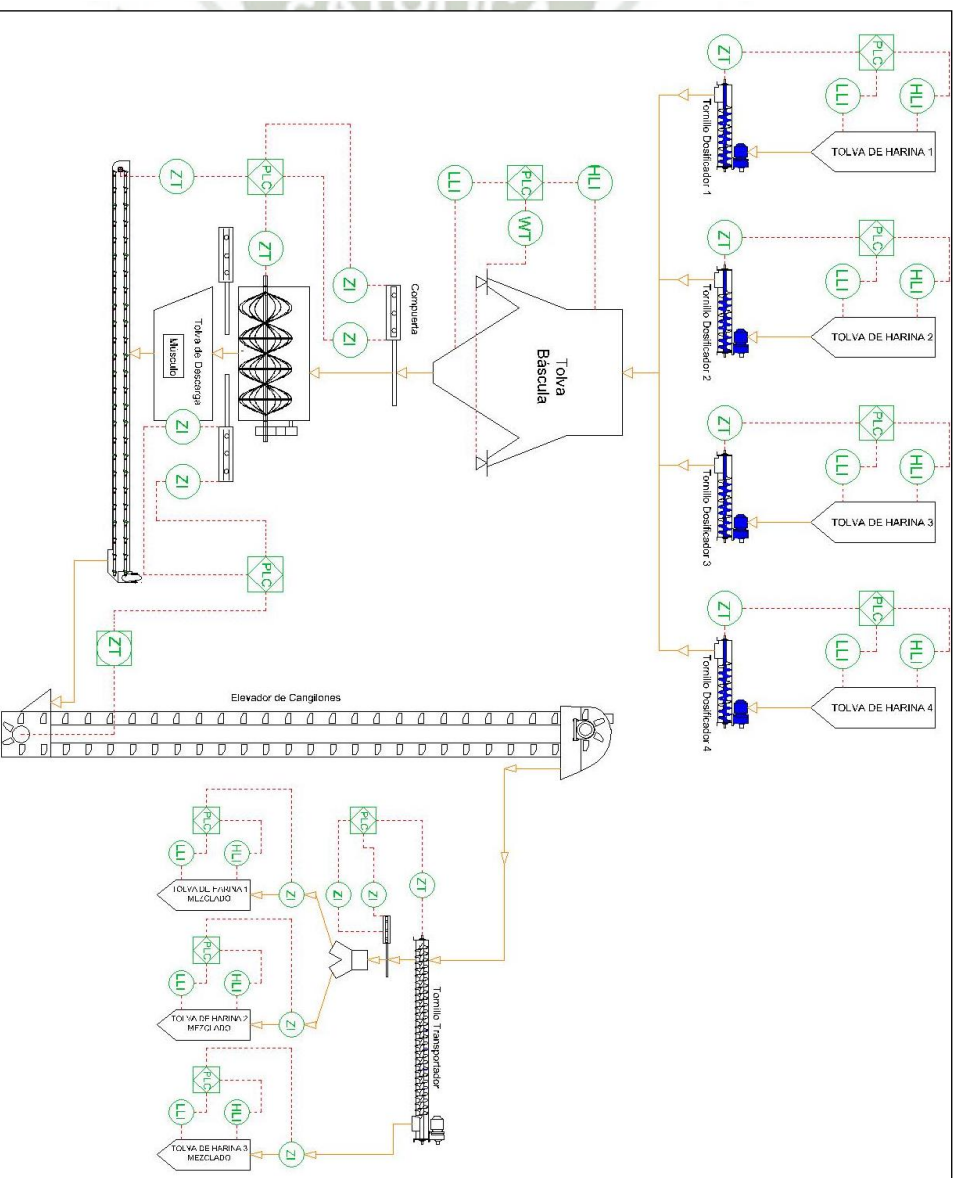
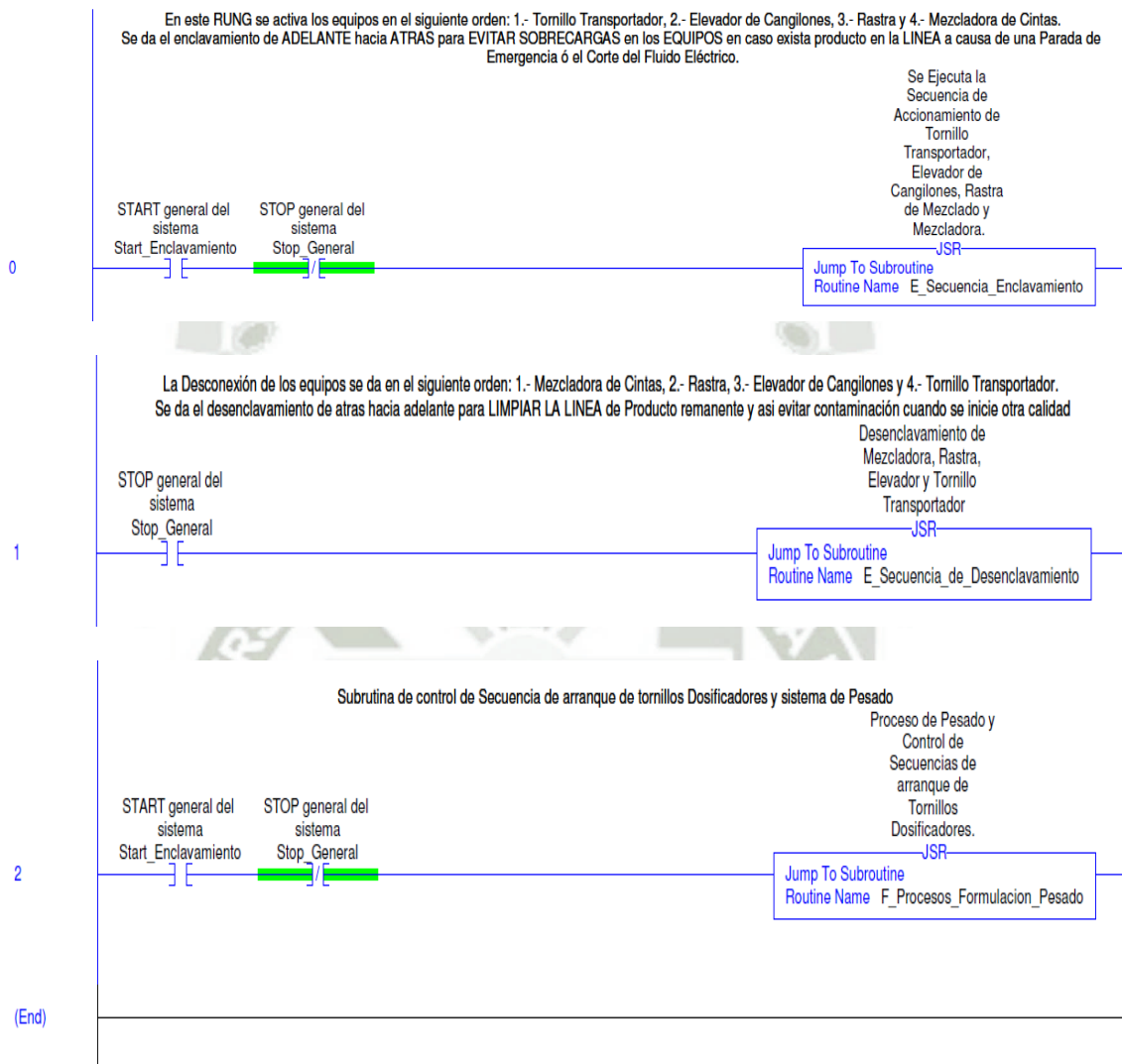


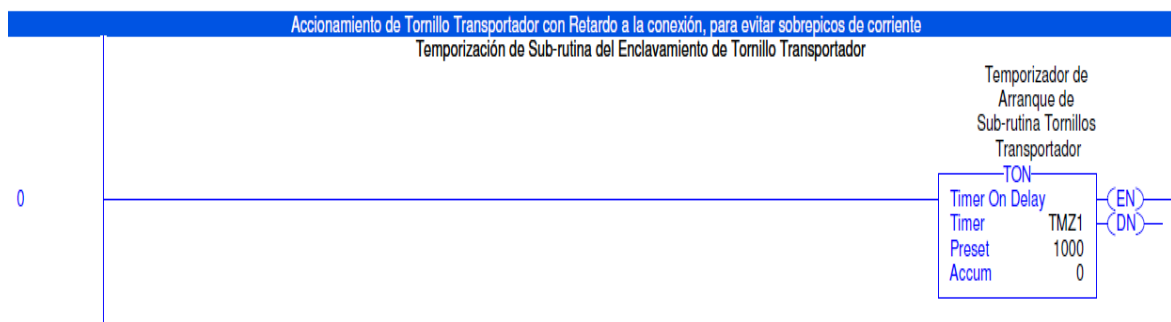
Figura 4. 5: Diagrama P&ID del proceso de Mezclado.
Fuente Elaboración propia.

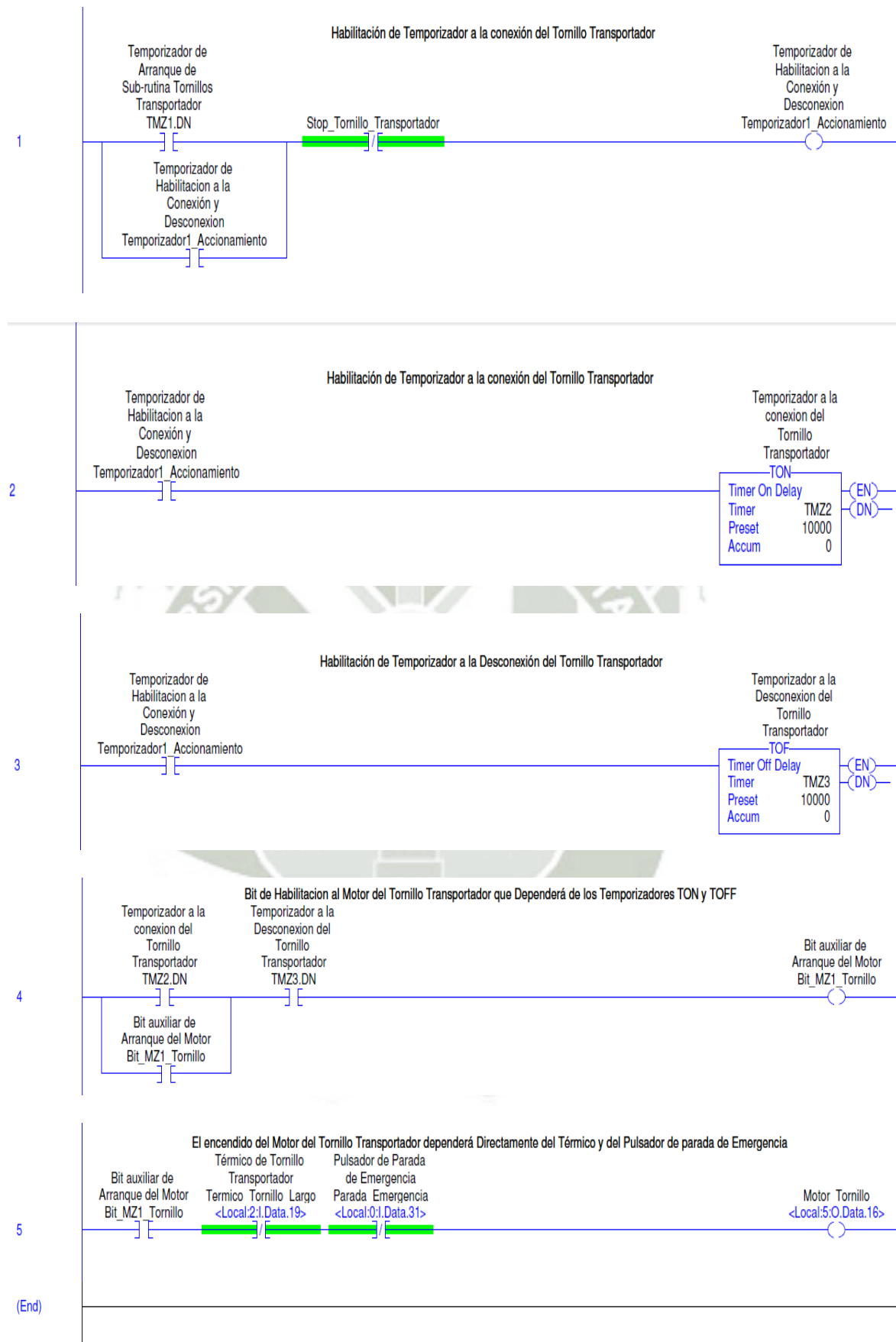
4.1.4. Programa ladder

— Subrutina: menú principal

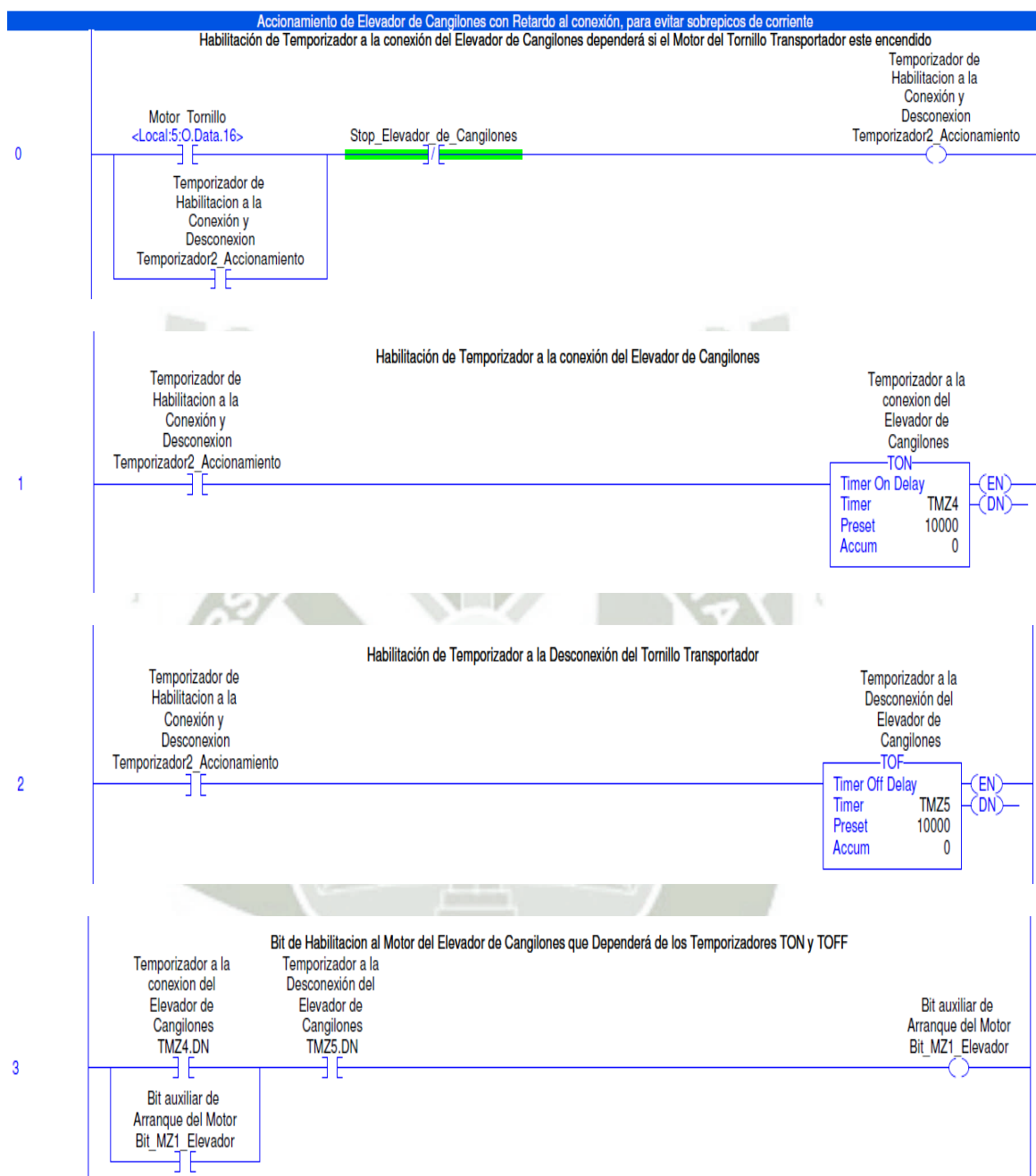


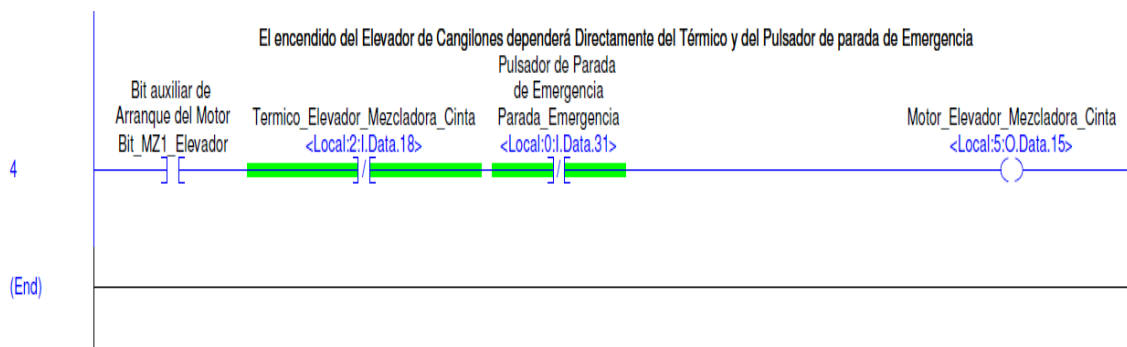
— Subrutina: tornillo transportador conexión y desconexión



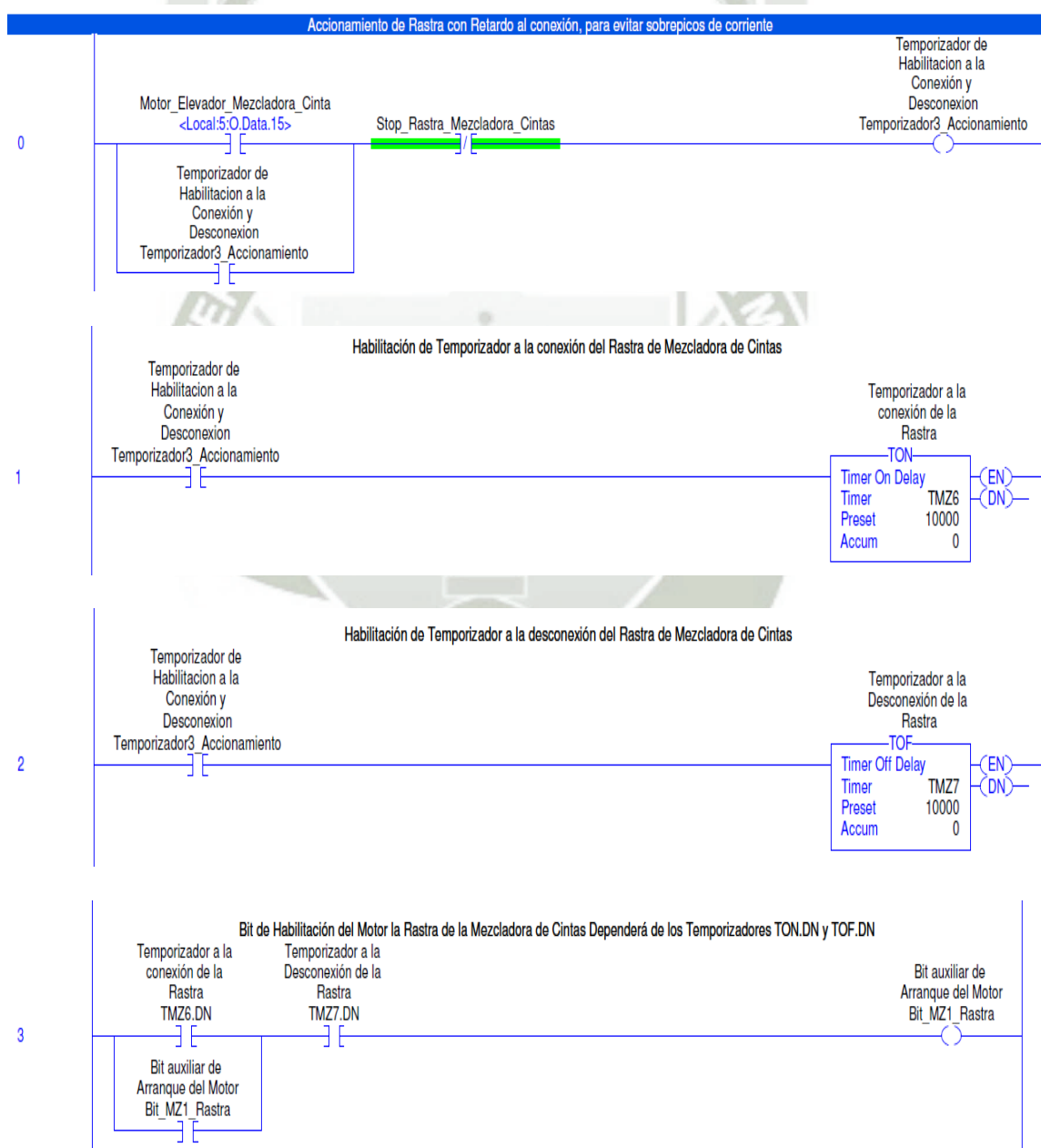


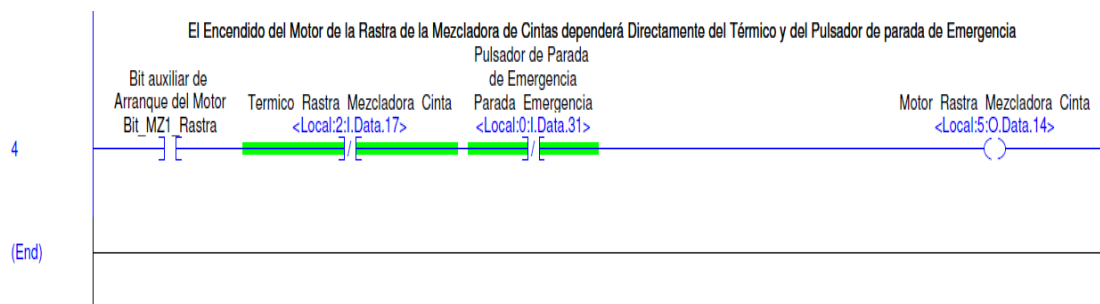
— Subrutina: elevador de cangilones conexión y desconexión



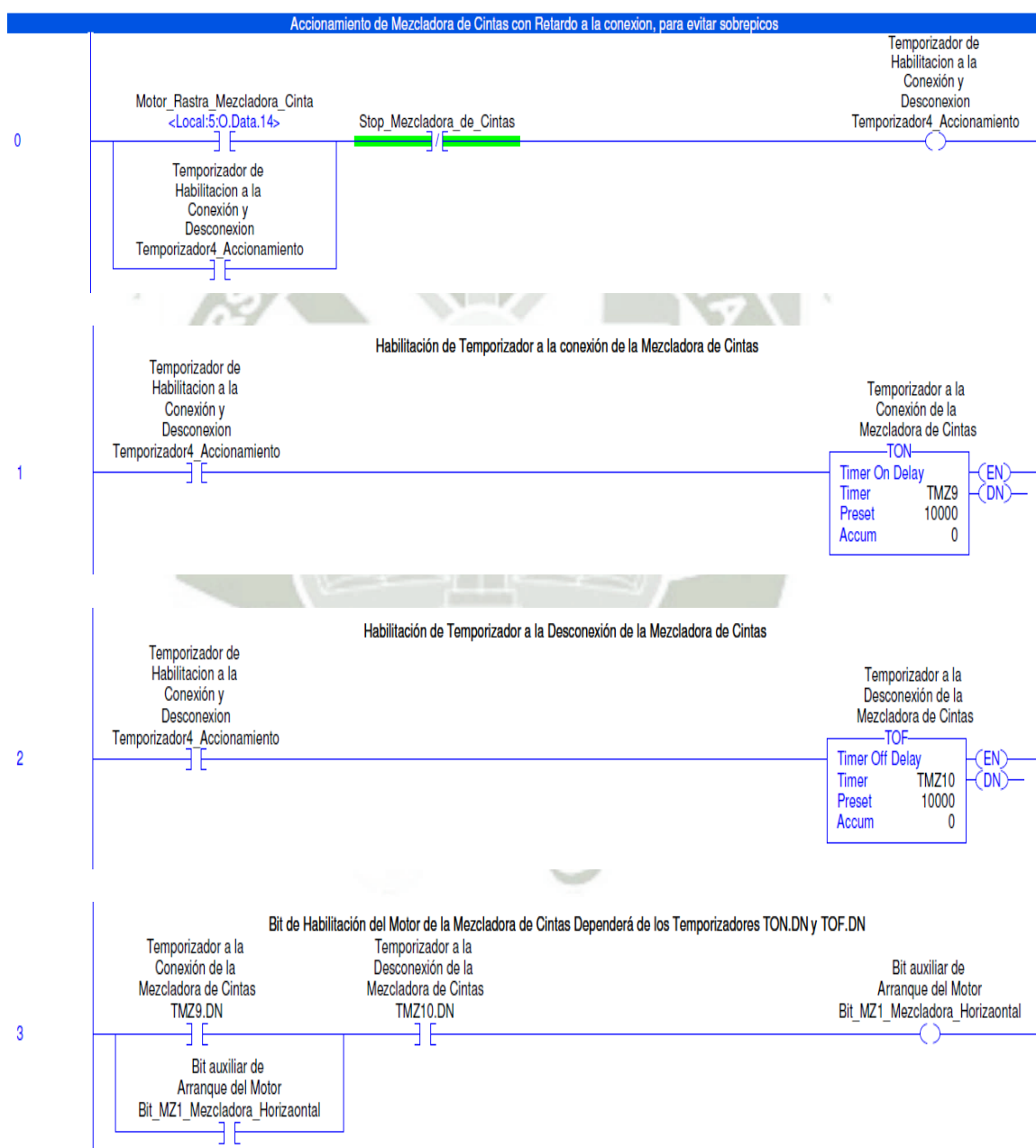


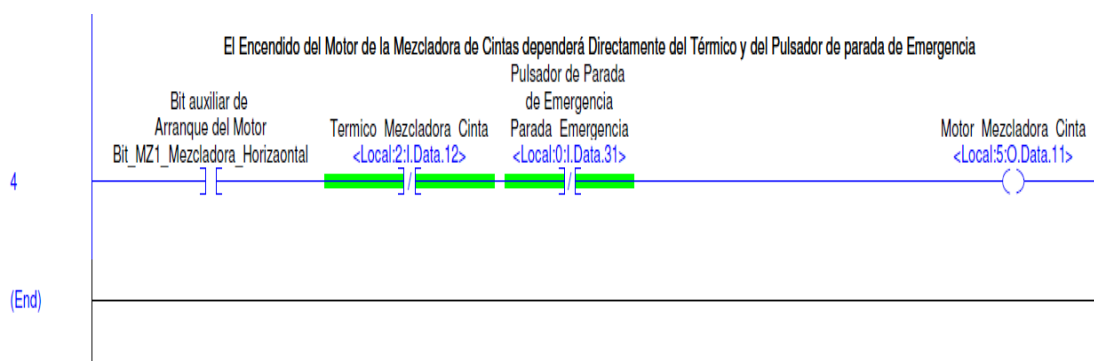
— Subrutina: rastra conexión y desconexión



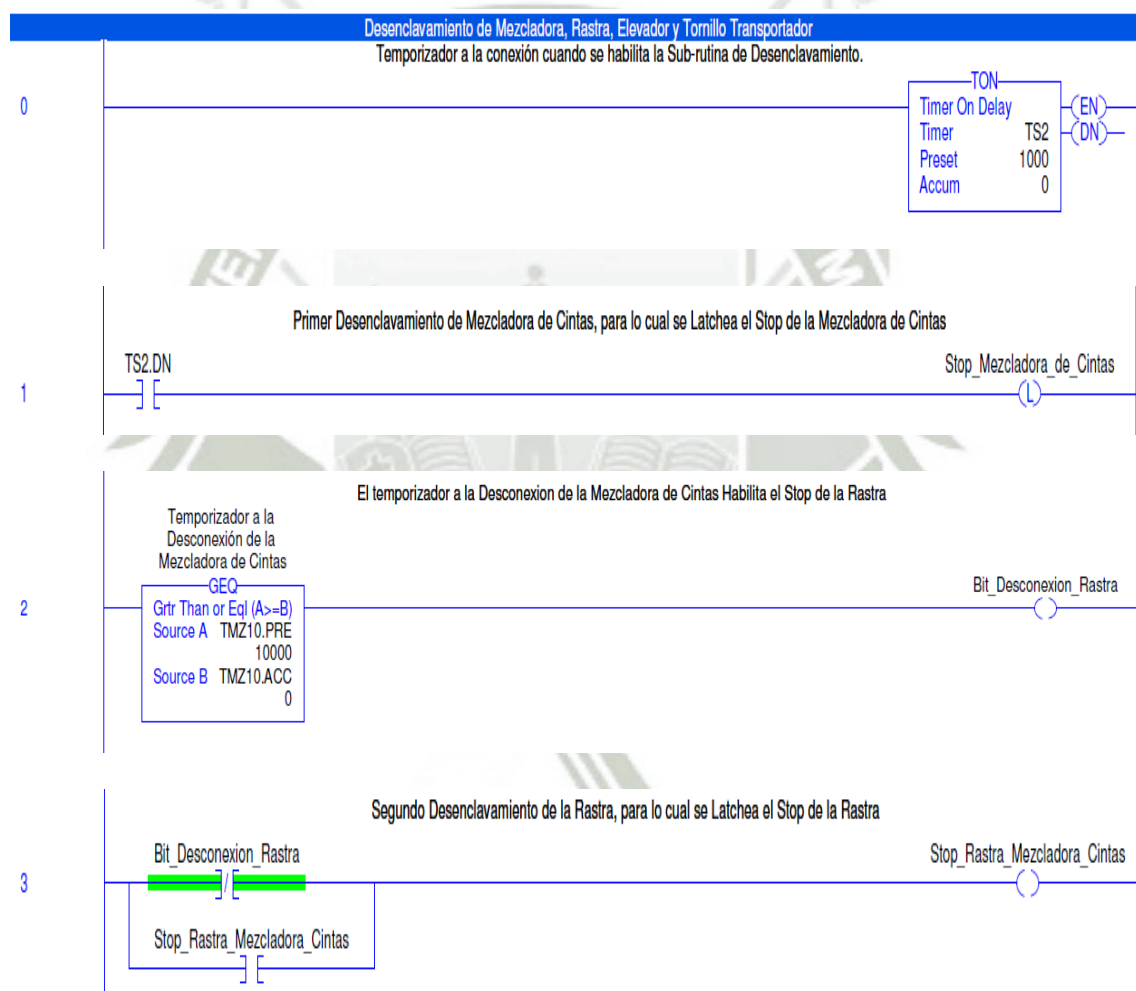


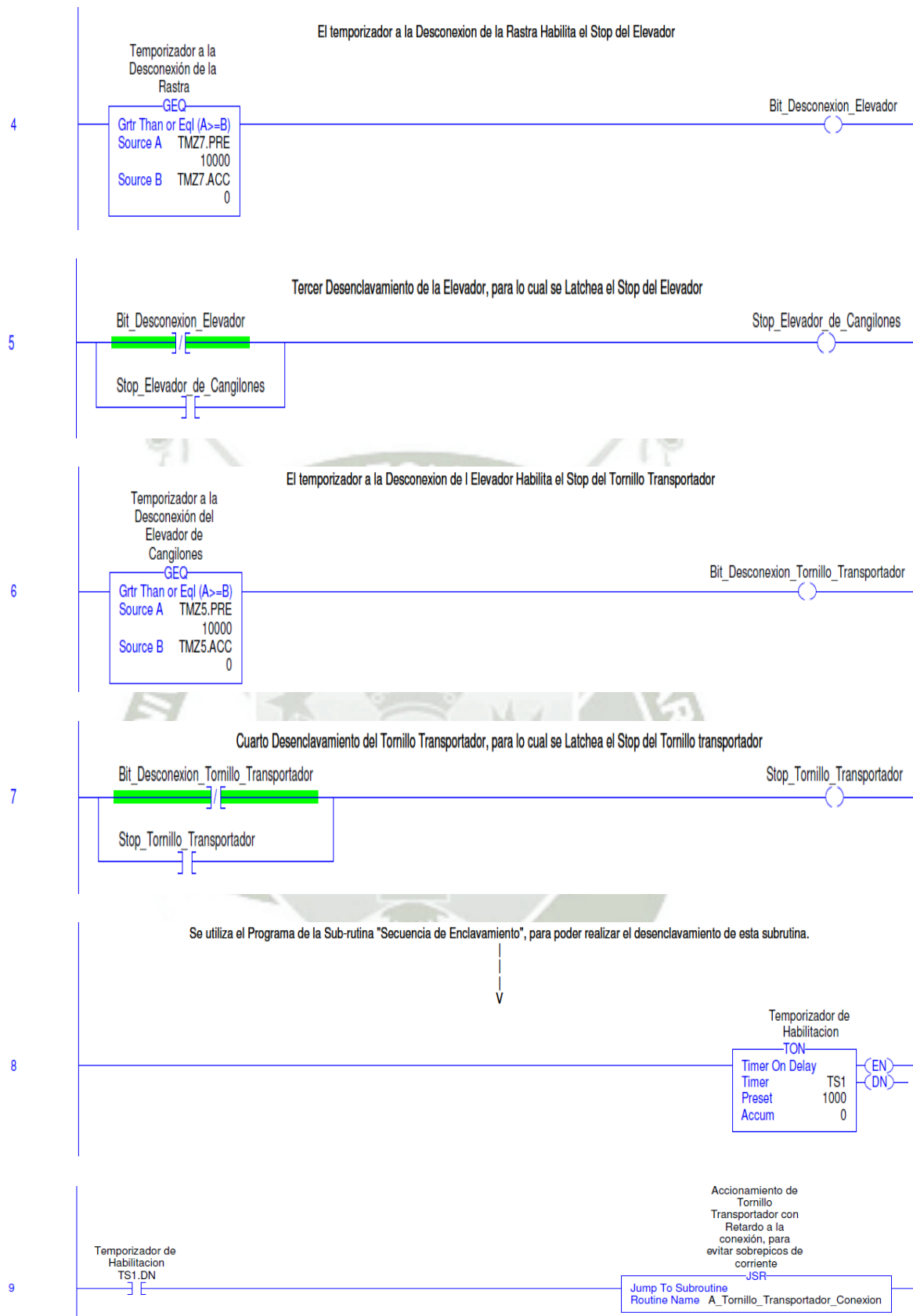
— Subrutina: mezcladora de cintas conexión y desconexión

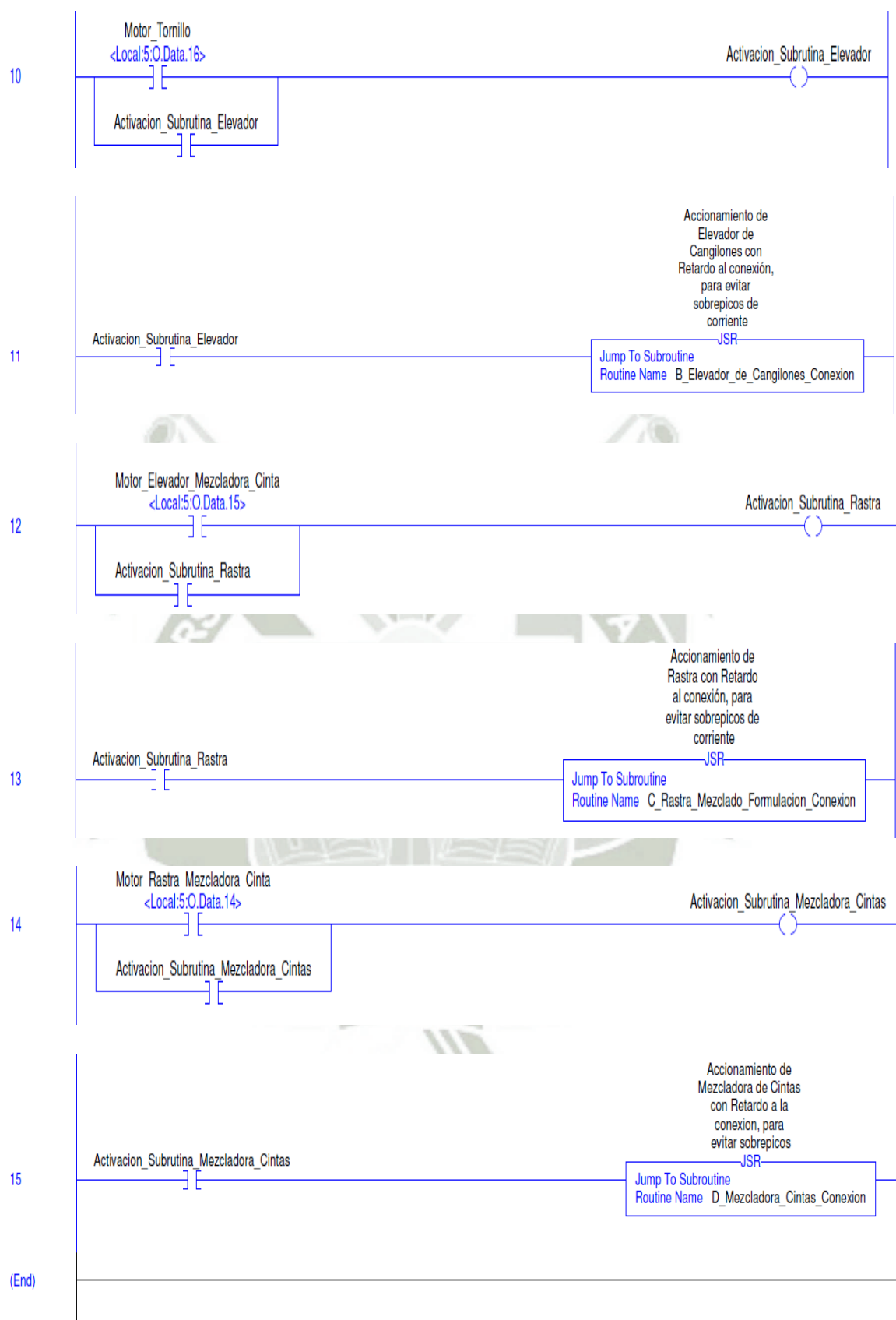




– Subrutina: secuencia de desenchavamiento de la etapa de
descarga de producto formulado y mezclado



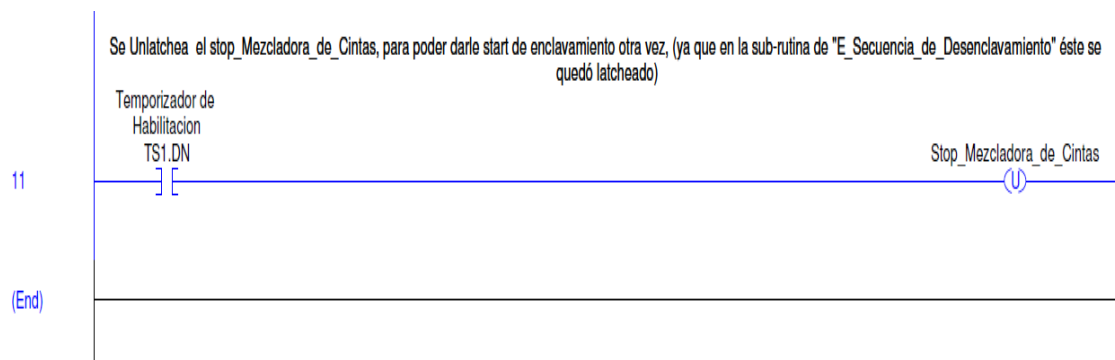




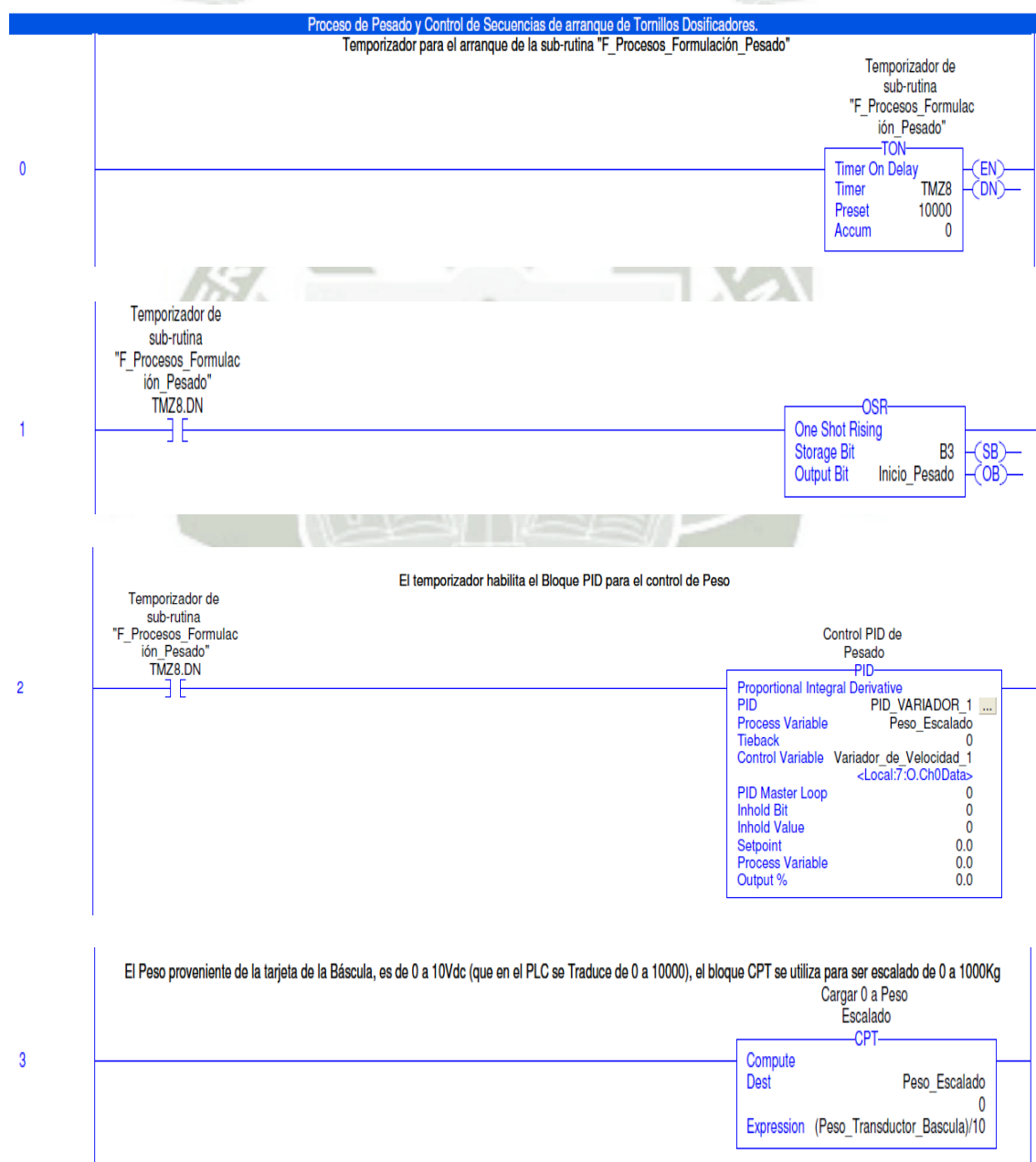
– Subrutina: secuencia de enclavamiento de los equipos de
descarga

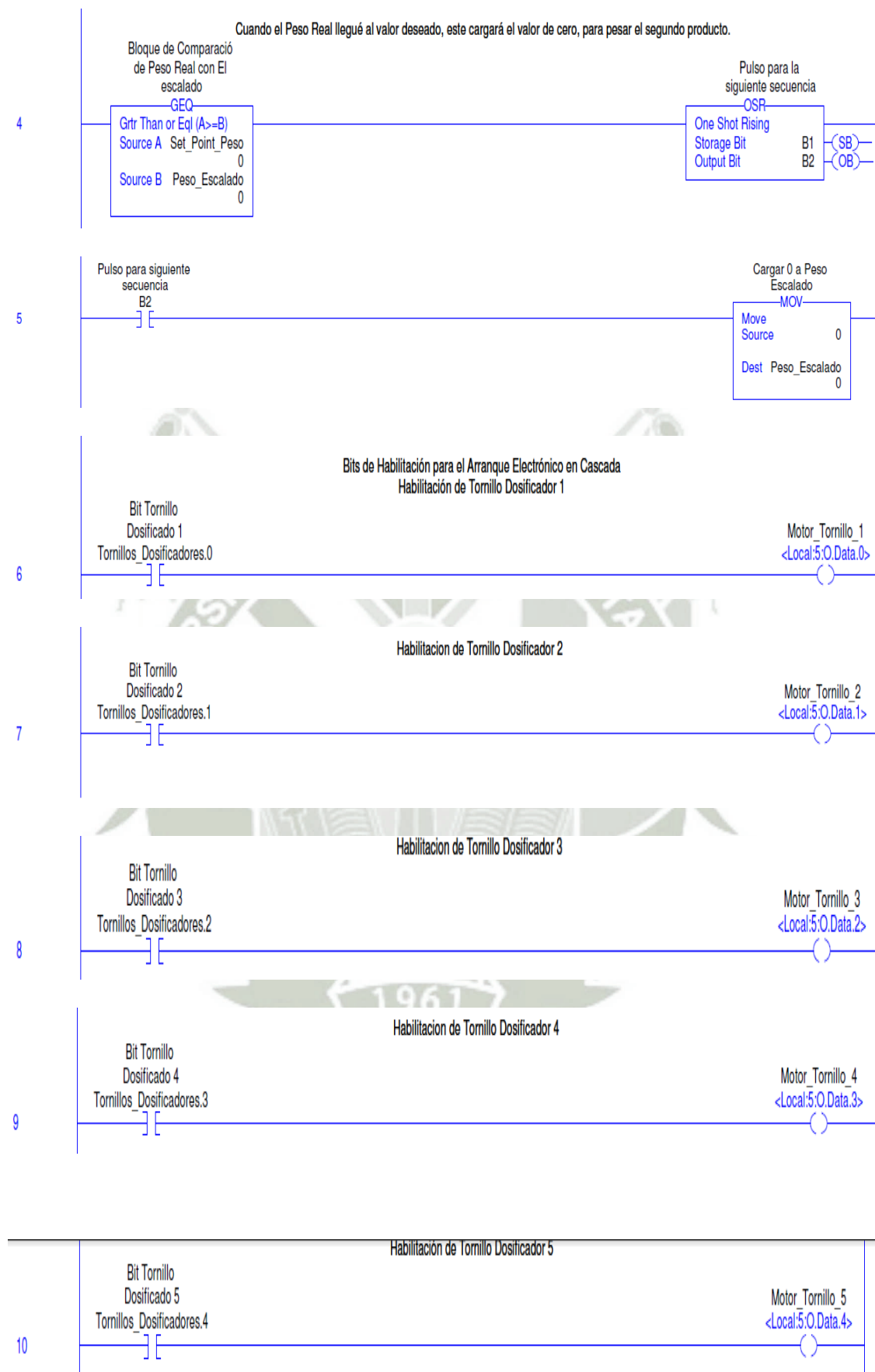




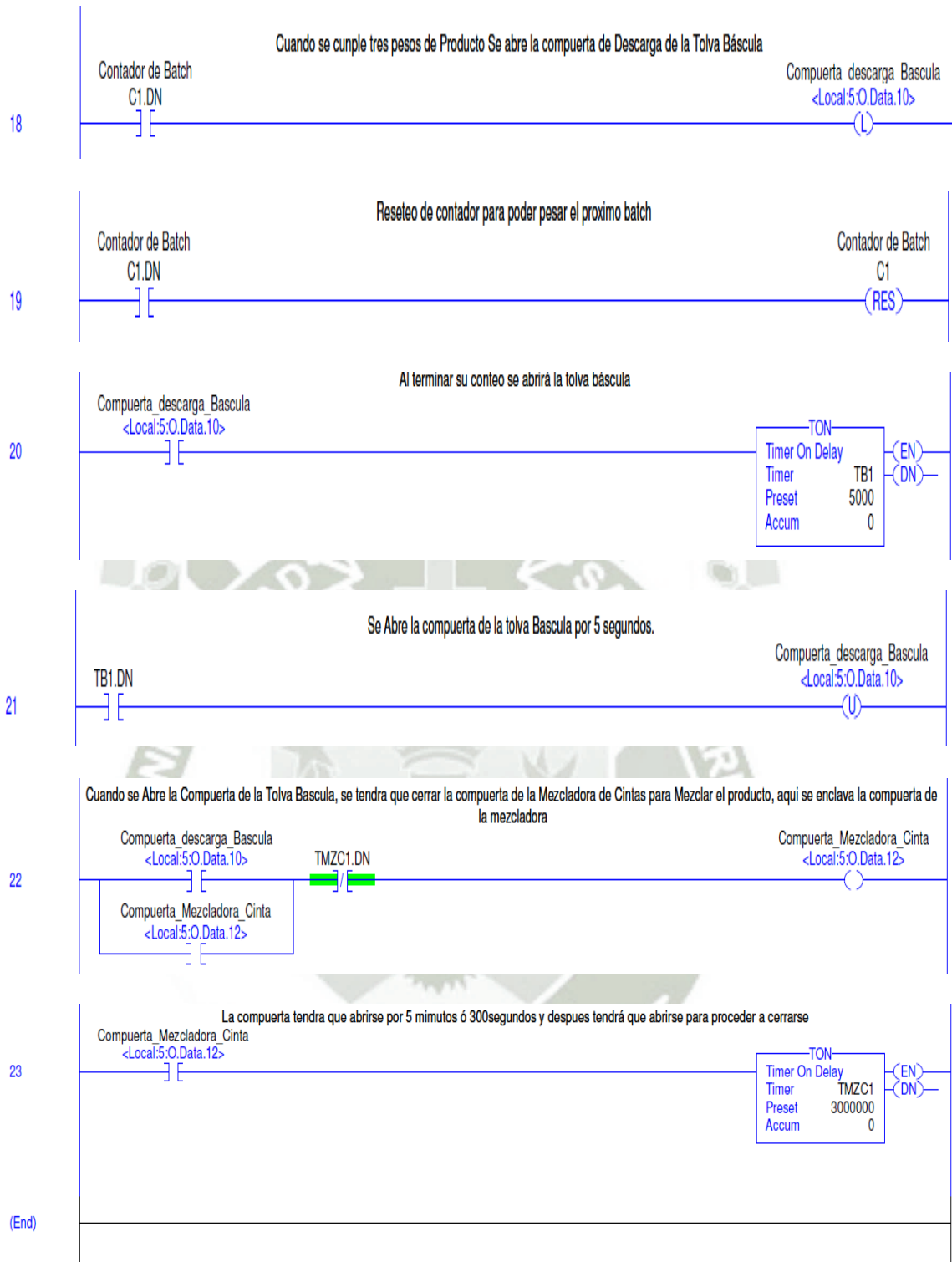


— Subrutina: procesos de formulación y pesado









4.2. Molienda

4.2.1. Diseño de la estrategia de control del procesos de molienda

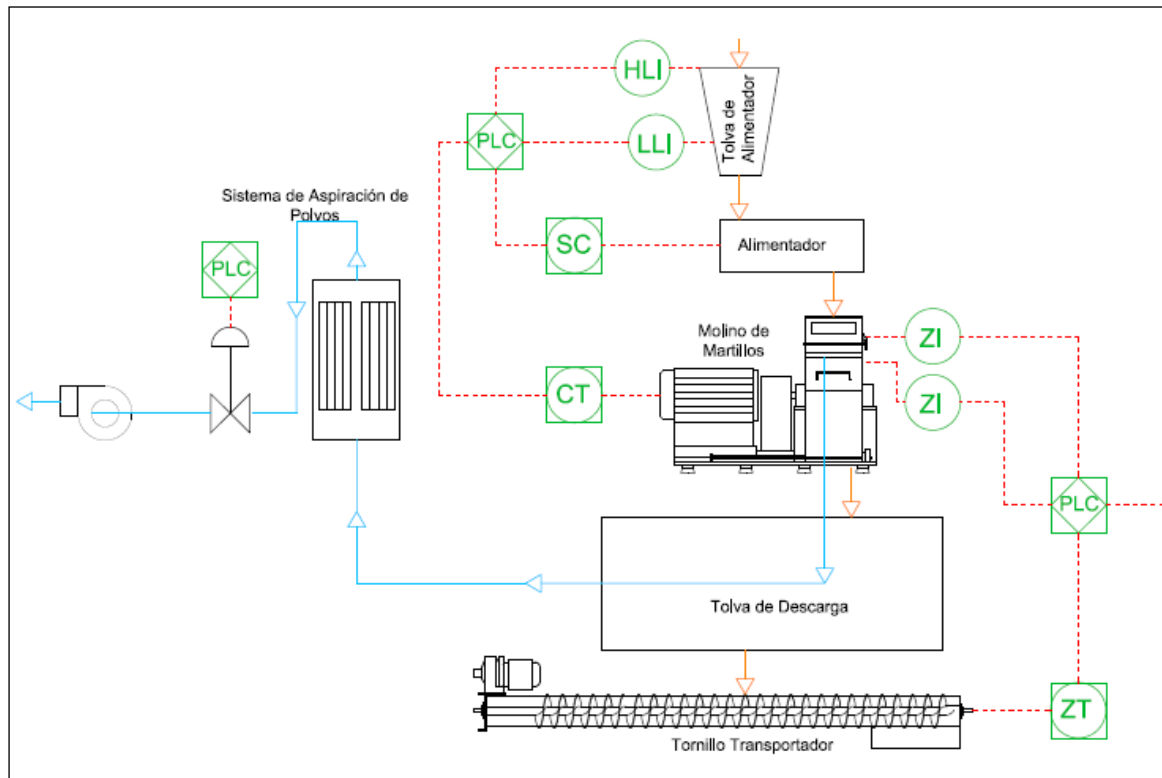


Figura 4. 6: Proceso de molienda.
Fuente: Elaboración propia.

Objetivo del sistema: Mantener al molino a una sobrecarga deseada.

Dinámica del sistema: Mantener la corriente deseada a través del variador de frecuencia del alimentador y el sensado de corriente mediante un convertidor de 4 – 20mA para una carga de 0 a 190A. Se utiliza el PLC como controlador, éste recibe una señal analógica del sensor de corriente, que es procesada en el PLC, si la corriente no es la deseada el controlador envía una señal análoga de 4 a 20mA para controlar la dosificación del alimentador.

Variables de entrada y salida

- **Variable de entrada:** señal análoga proporcional a la corriente deseada
- **Variable de control (CV):** señal análoga proporcional a los RPM del alimentador
- **Variable manipulada (MV):** Corriente
- **Variable de Salida:** Señal análoga proporcional a la corriente real.

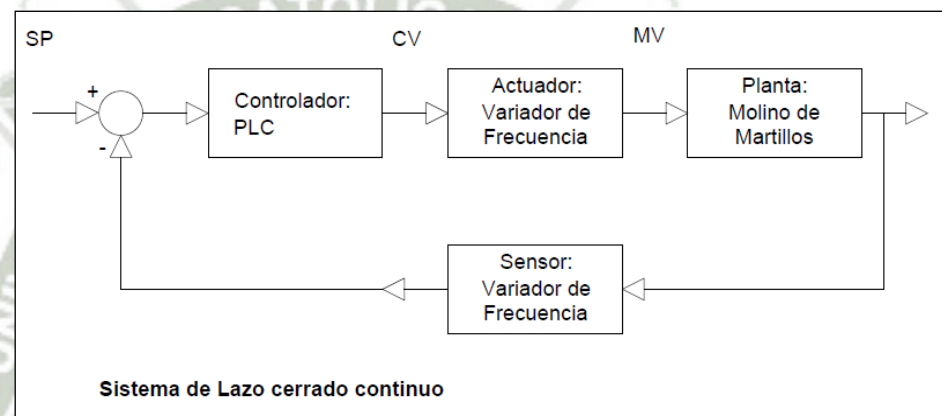


Figura 4. 7: Diagrama de control del proceso de molienda.
Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Relación de entradas y salidas

Equipo	componentes	Entrada	Salida	Función
Compuertas Neumáticas de Molienda Gruesa	Pistón de tolva g-1	2	1	Habilita alimentación de tolva 1
	Pistón de tolva g-2	2	1	Habilita alimentación de tolva 2
	Pistón de tolva g-3	2	1	Habilita alimentación de tolva 3
	Pistón de tolva g-4	2	1	Habilita alimentación de tolva 4
Alimentador	Motor		1	Transmisión
	Sobre-corriente	1 ^a		Sobre esfuerzo
	Encóder	1 ^a		Verificación de rotación
	Variador de velocidad		1	Regula la alimentación al molino
Molino granos gruesos	Pistón de entrada de material	2	1	Determinará Sentido de Giro
	Amperímetro	1 ^a		Sensor de sobrecarga del molino
	Arrancador suave		1	Comunicación al PLC para Visualizar algunos Parámetros
	Sensor de Vibración	6 ^a		Analizadores de vibración
	Sensor de temperaturas de chumaceras	2 ^a		Sistema de monitoreo de temperatura en chumaceras
	Sensor de Temperatura de Motor 220kW	2 ^a		Sistema de monitoreo de temperatura de motor de 220kW
	Encóder	1 ^a		Verificar rotación
	Puertas de inspección	2 ^a		Sistema de Protección que mientras esté abierto no podrá arrancar molienda
Filtro de Mangas	Caja de accionamiento remoto		1	Acciona la secuencia de inyección de aire a las mangas
Ventilador	Motor		1	Transmisión
	Sobre-corriente	1 ^a		Sobre-esfuerzos
	Encóder	1 ^a		Verificación de rotación en opuesto motor
	Sensor de Temperatura	1 ^a		Monitoreo de temperatura en eje de transmisión
Tornillo transportador	Motor		1	Transmisión
	Encóder	1 ^a		Verificación de rotación
	Sobre-Corriente	1 ^a		Protección a sobre esfuerzos
Elevador	Motor		1	Transmisión
	Encóder	1 ^a		Verificación de rotación
	Sensor Alineamiento	1 ^a		Detección de faja desalineada
	Sobre-Corriente	1		Protección de Motor
	Sensor T° caja	6		Temperatura en cajas evita explosión
	Sensor de T° ch.	4		Temperatura en chumaceras
Válvula de Doble vía	Pistón		1	Selección a ensaque lateral o siguiente proceso
	Sensores de posición	2		Verifica la actual posición del Pistón
Válvula de	Pistón		1	Selección a ensaque Mol. Fina o

Tabla 4.3: Relación de entradas y salidas del proceso de molienda.

Fuente: Elaboración propia. (Continuación)

Doble vía				siguiente Mezclado 2
	Sensores de posición	2		Verifica la actual posición del Pistón
Compuertas Neumáticas de Molienda Fina	Pistón de tolva f-1	2	1	Habilita alimentación de tolva 1
	Pistón de tolva f-2	2	1	Habilita alimentación de tolva 2
	Pistón de tolva f-3	2	1	Habilita alimentación de tolva 3
	Pistón de tolva f-4	2	1	Habilita alimentación de tolva 4
Alimentador	Motor		1	Transmisión
	Sobre-corriente	1		Sobre esfuerzo
	Encóder	1		Verificación de rotación
	Variador de velocidad		1	Regula la alimentación al molino
Molino granos Finos	Pistón de entrada de material	2	1	Determinará Sentido de Giro
	Amperímetro	1		Sensor de sobrecarga del molino
	Arrancador suave		1	Comunicación al PLC para Visualizar algunos Parámetros
	Sensor de Vibración	6		Analizadores de vibración
	Sensor de temperaturas de chumaceras	2		Sistema de monitoreo de temperatura en chumaceras
	Sensor de Temperatura de Motor 220kW	2		Sistema de monitoreo de temperatura de motor de 220kW
	Encóder	1		Verificar rotación
Filtro de Mangas	Puertas de inspección	2		Sistema de Protección que mientras esté abierto no podrá arrancar molienda
	Caja de accionamiento remoto		1	Acciona la secuencia de inyección de aire a las mangas
Ventilador	Motor		1	Transmisión
	Sobre-corriente	1		Sobre-esfuerzos
	Encóder	1		Verificación de rotación en opuesto motor
	Sensor de Temperatura	1		Monitoreo de temperatura en eje de transmisión
Tornillo Transportador	Motor		1	Transmisión
	Encóder	1		Verificación de rotación
	Sobre-Corriente	1		Protección a sobre esfuerzos
Elevador	Motor		1	Transmisión
	Encóder	1		Verificación de rotación
	Sensor Alineamiento	1		Detección de faja desalineada
	Sobre-Corriente	1		Protección de Motor
	Sensor T° caja	6		Temperatura en cajas evita explosión
Válvula de Doble vía	Sensor de T° ch.	4		Temperatura en chumaceras
	Pistón		1	Selección a ensaque lateral o Mezclado 2
Válvula de Doble vía	Sensores de Posición	2		Verifica la actual posición del Pistón
	Motor		1	Transmisión

Tabla 4.3: Relación de entradas y salidas del proceso de molienda.

Fuente: Elaboración propia.(Continuación)

lateral	Sensores de nivel	2		Indicadores de nivel de tolva
	Encóder	1		Verificación de rotación
	Sobre corriente	1		Protección a sobre esfuerzos
Tornillo inclinado	Motor			Transmisión
	Encóder			Verificación de rotación
	Sobre-Corriente			Protección a sobre esfuerzos
Distribuidor de 6 vías	Motor		1	Transmisión
	Sensor a Tolva 1	1		Descarga a Tolva 1
	Sensor a Tolva 2	1		Descargar a tolva 2
	Sensor a Tolva 3	1		Descargar a tolva 3
	Sensor a Tolva 4	1		Descargar a tolva 4
	Sensor a Tolva 5	1		Descargar a tolva 4
	Sensor a Tolva 6	1		Descargar a tolva 4
	Sobre – corriente	1		Protección a sobre-esfuerzo
Tolva de Mezclado 2	Tolva 1	2		Indicadores de nivel
	Tolva 2	2		Indicadores de nivel
	Tolva 3	2		Indicadores de nivel
	Tolva 4	2		Indicadores de nivel
	Tolva 5	2		Indicadores de nivel
	Tolva 6	2		Indicadores de nivel

Tabla 4. 3: Relación de entradas y salidas del proceso de molienda.

Fuente: Elaboración propia.

Molienda	Entradas Digitales	Entradas Análogas	Salidas Digitales	Salidas Análogas	Puerto de Comunicación
	60	56	29	1	0

Tabla 4. 4: Entradas y salidas del proceso de molienda.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3. Diagrama de Flujo General

En el proceso de Molienda se realiza la siguiente lógica:

Primero: Activa la secuencia de descarga de producto al molino

Segundo: Activa la secuencia de descarga del producto molido..

Tercero: Activación del proceso de molienda.

Cuarto: Control de sobrecarga del molino.

Quinto: si el proceso de molienda termina se activará la secuencia de des enclavamiento..

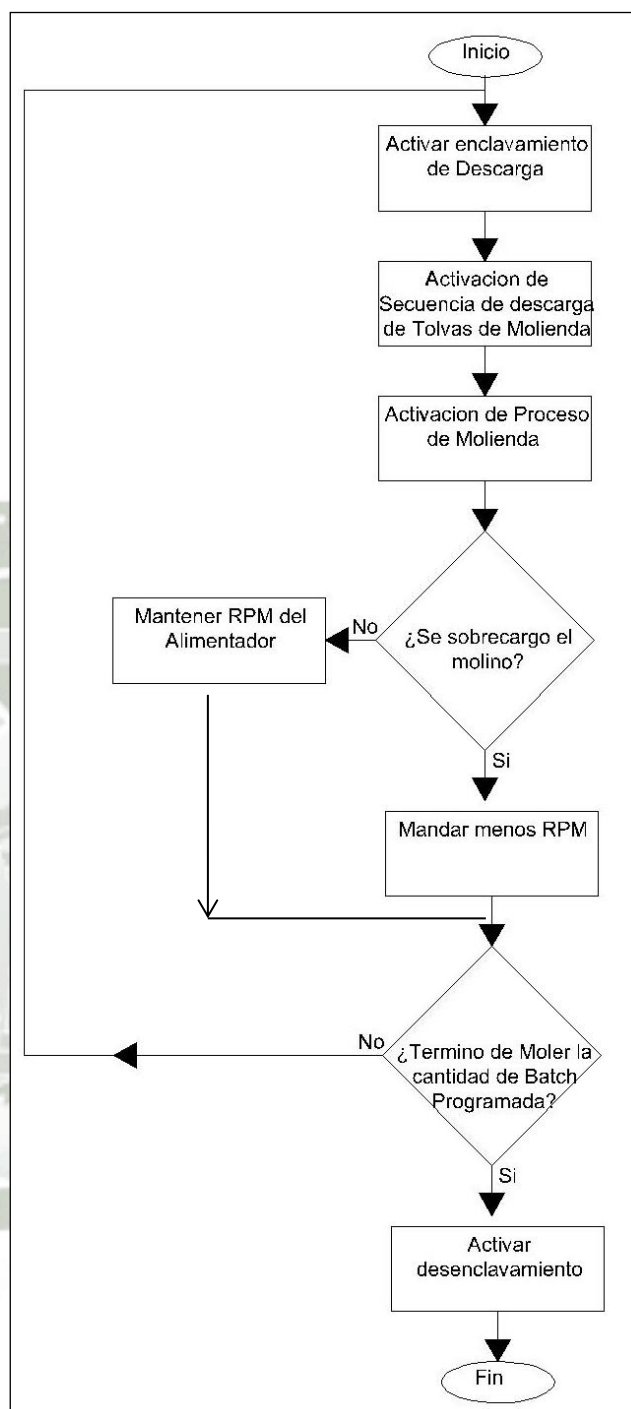


Figura 4. 8: Diagrama de Flujo del proceso de molienda.
Fuente: Elaboración propia.

4.2.4. Layout del Proceso de Molienda

En el presente Layout de la figura 4.4 identificaremos los siguientes subprocesos

- Extracción de materia prima.
- Sistema de molienda.
- Sistema de aspiración de polvos.
- Sistema de descarga.
- Almacenamiento de producto molido.

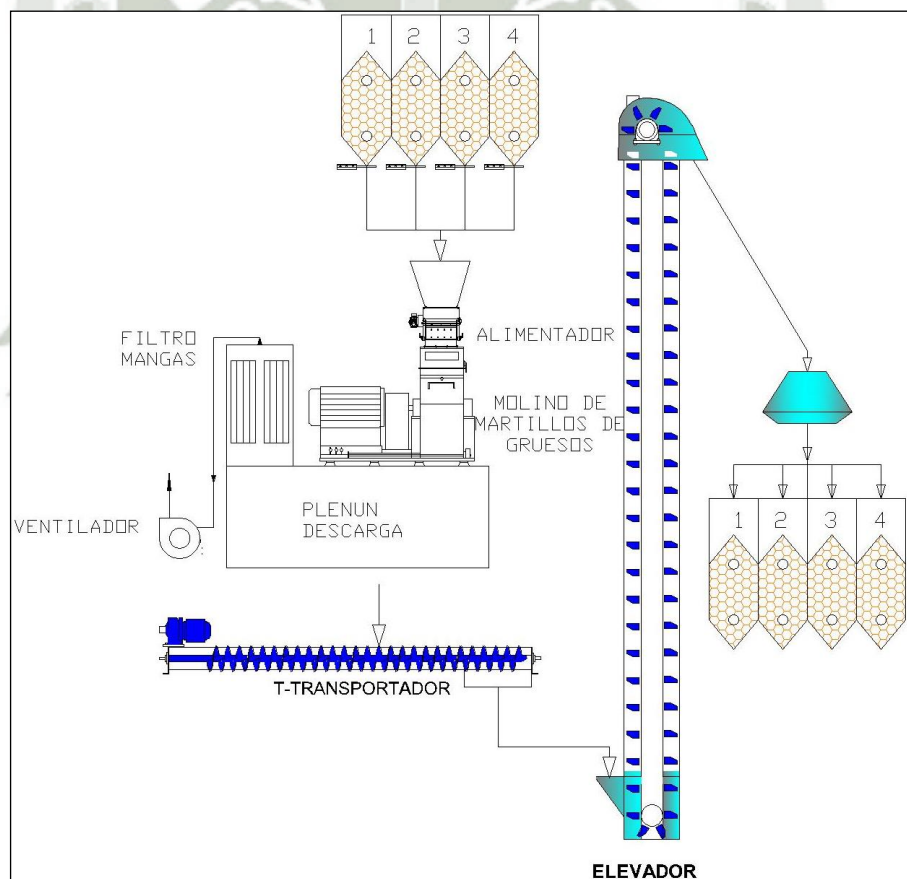


Figura 4. 9: Layout del proceso de molienda.
Fuente: Elaboración propia.

En el presente diagrama de instrumentación tendremos en cuenta los siguientes parámetros de supervisión por cada subproceso:

Control de nivel de
tolvas de materia
prima.

Control de apertura de compuertas neumáticas.

Transmisor de corriente

Control dosificación Sistema de aspiración de polvos.

Control de apertura de válvula del ventilador del filtro de mangas.

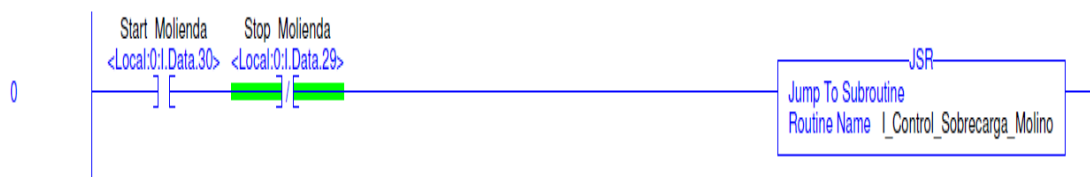
Tiempo a la conexión y desconexión de los equipos de descarga.

**Almacenamiento de
producto mezclado.**

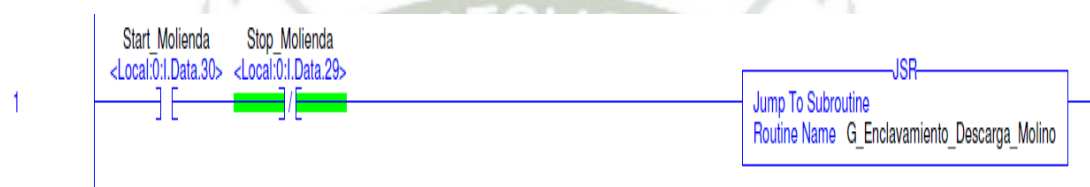
Control de nivel de
tolvas

4.2.6. Programa Ladder

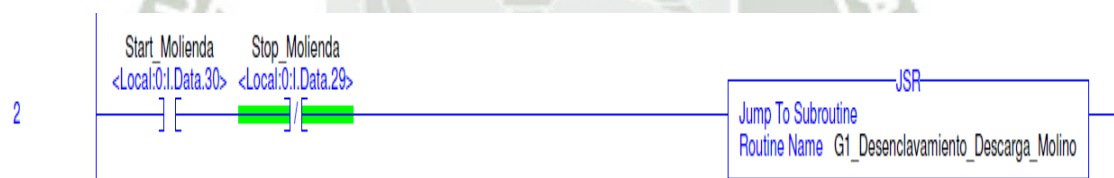
Línea 0: habilitación de Subrutina de control de sobrecarga del Molino.



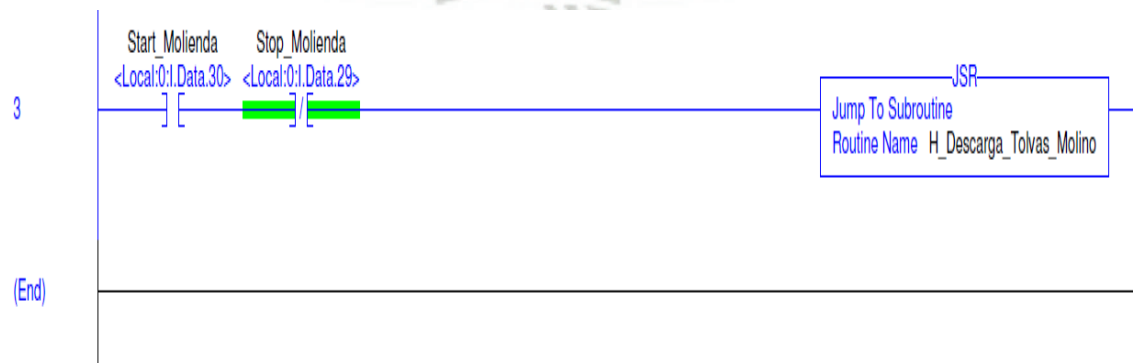
Línea 1: habilitación de subrutina de descarga de producto formulado y mezclado



Línea 2: habilitación de subrutina de Desenclavamiento de equipos de descarga.

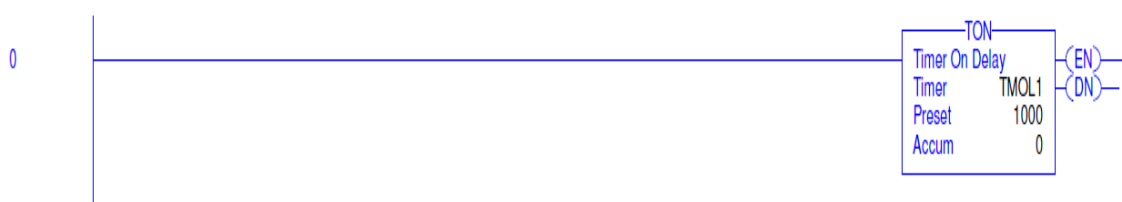


Línea 3: Habilitación de subrutina de Descarga Tolvas de Materia Prima Formulada y Mezclada para el Proceso de Molienda.

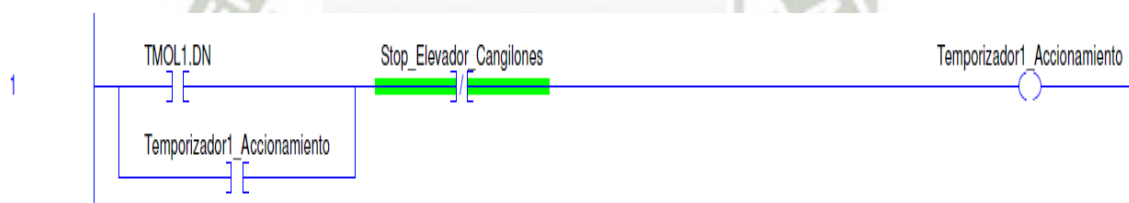


– Subrutina de: Conexión y Desconexión de Elevador de Cangilones

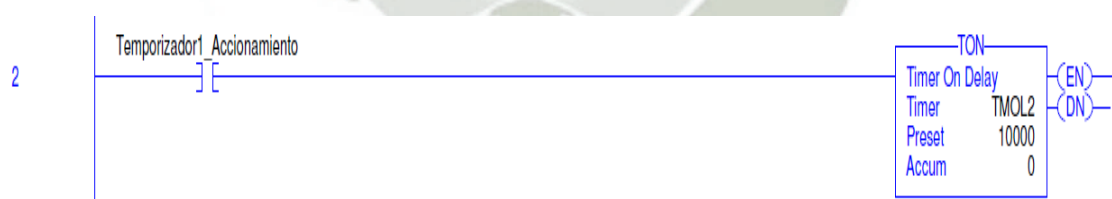
Línea 0: Temporizador de Habilitación de Subrutina de Conexión y Desconexión de Elevador de Cangilones.



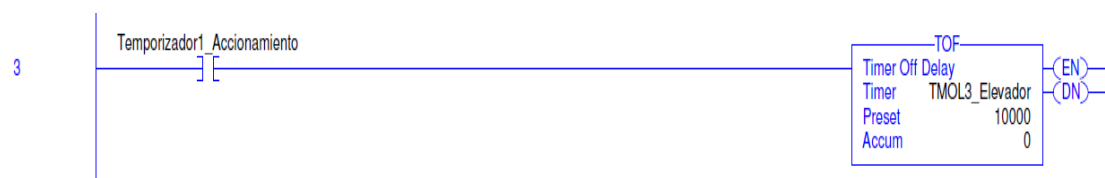
Línea 1: se habilita un temporizador a la conexión y desconexión a través de 1 bit “Temporizador1_Accionamiento”.



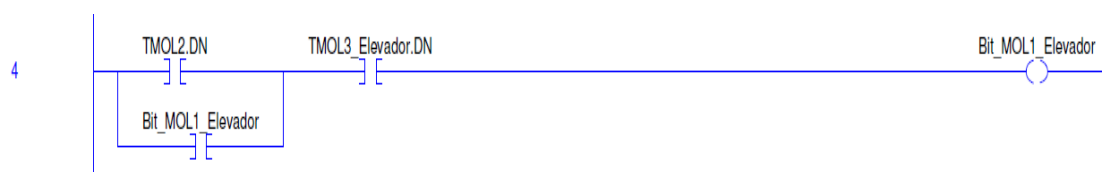
Línea 2: se habilita un temporizador a la conexión.



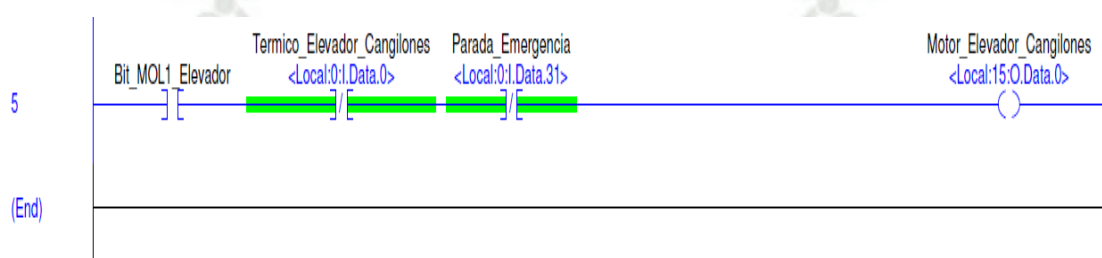
Línea 3: se habilita un temporizador a la desconexión.



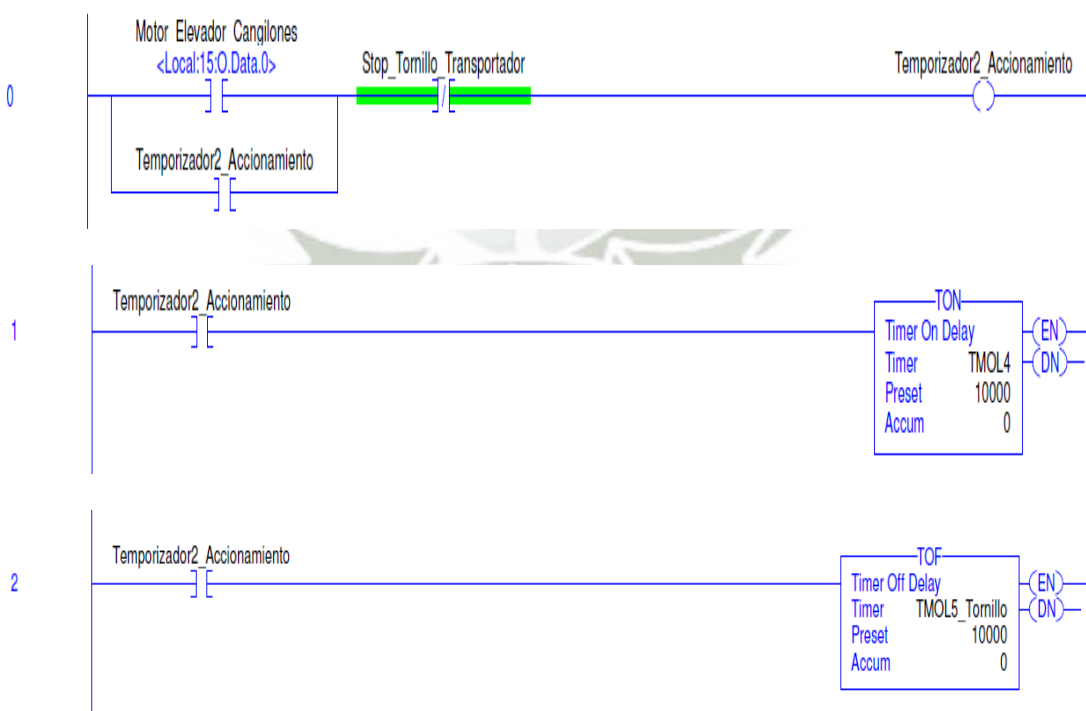
Línea 4: se habilita la conexión y desconexión del temporizador a través del “Bit_MOL1_Elevador”

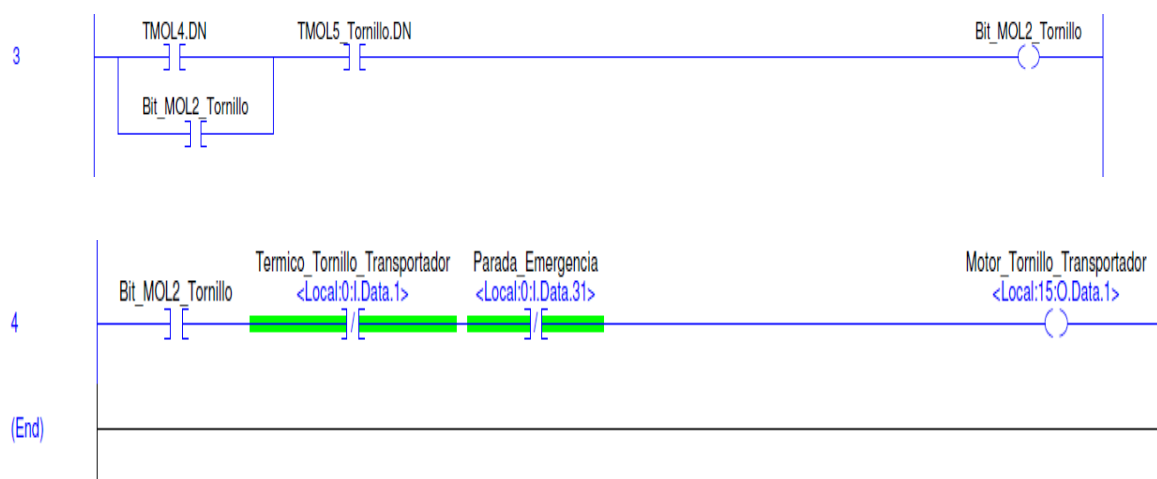


Línea 5: Arranque de Motor determinado por su Térmico y la Parada de Emergencia.



— Subrutina: Conexión y Desconexión del Tornillo Transportador

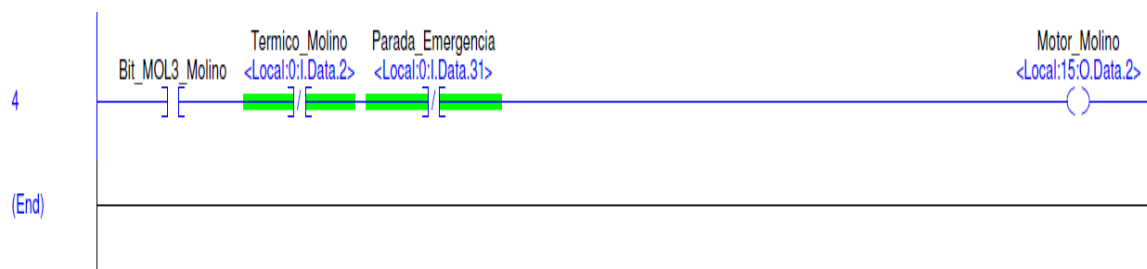




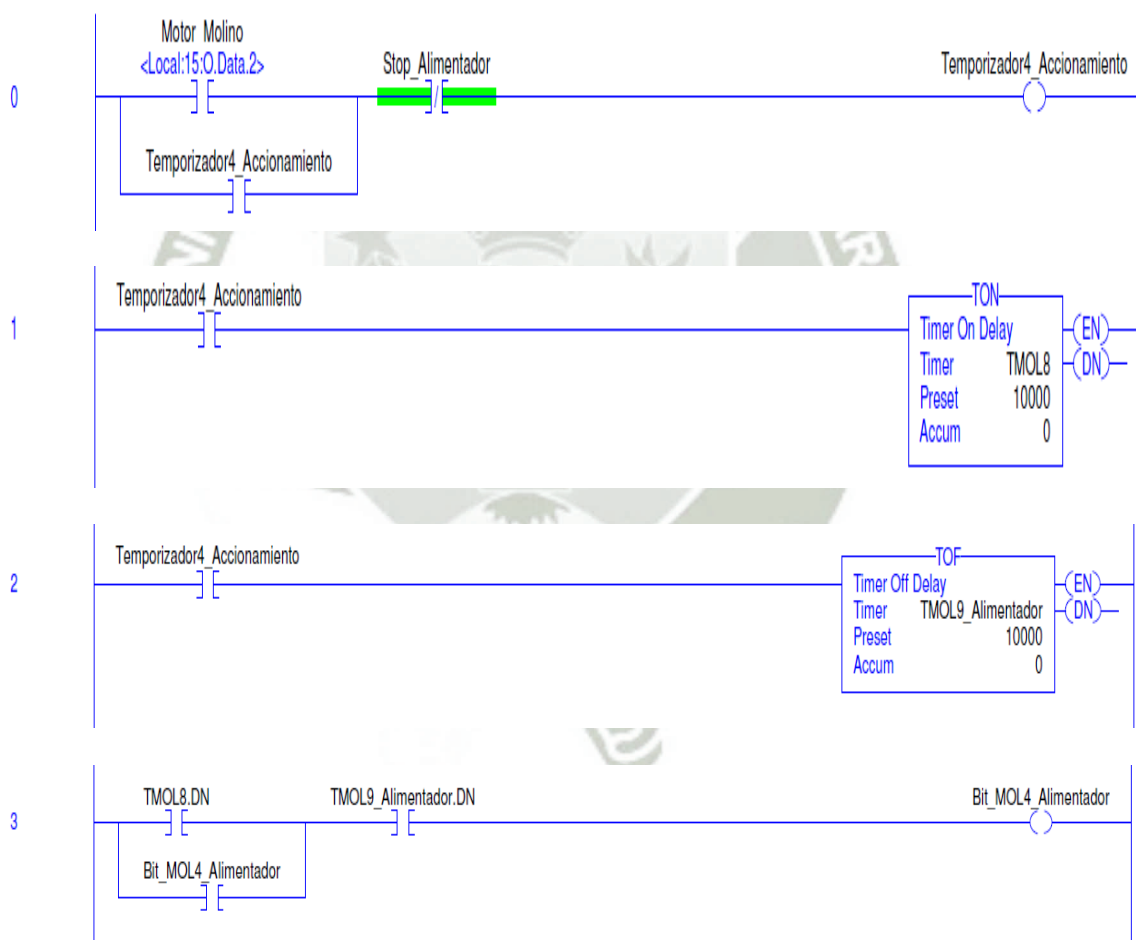
Subrutina: Conexión y Desconexión del Molino de Granos

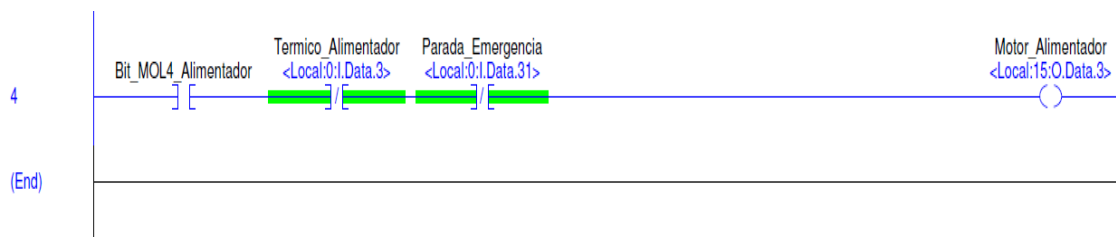


Línea 4:

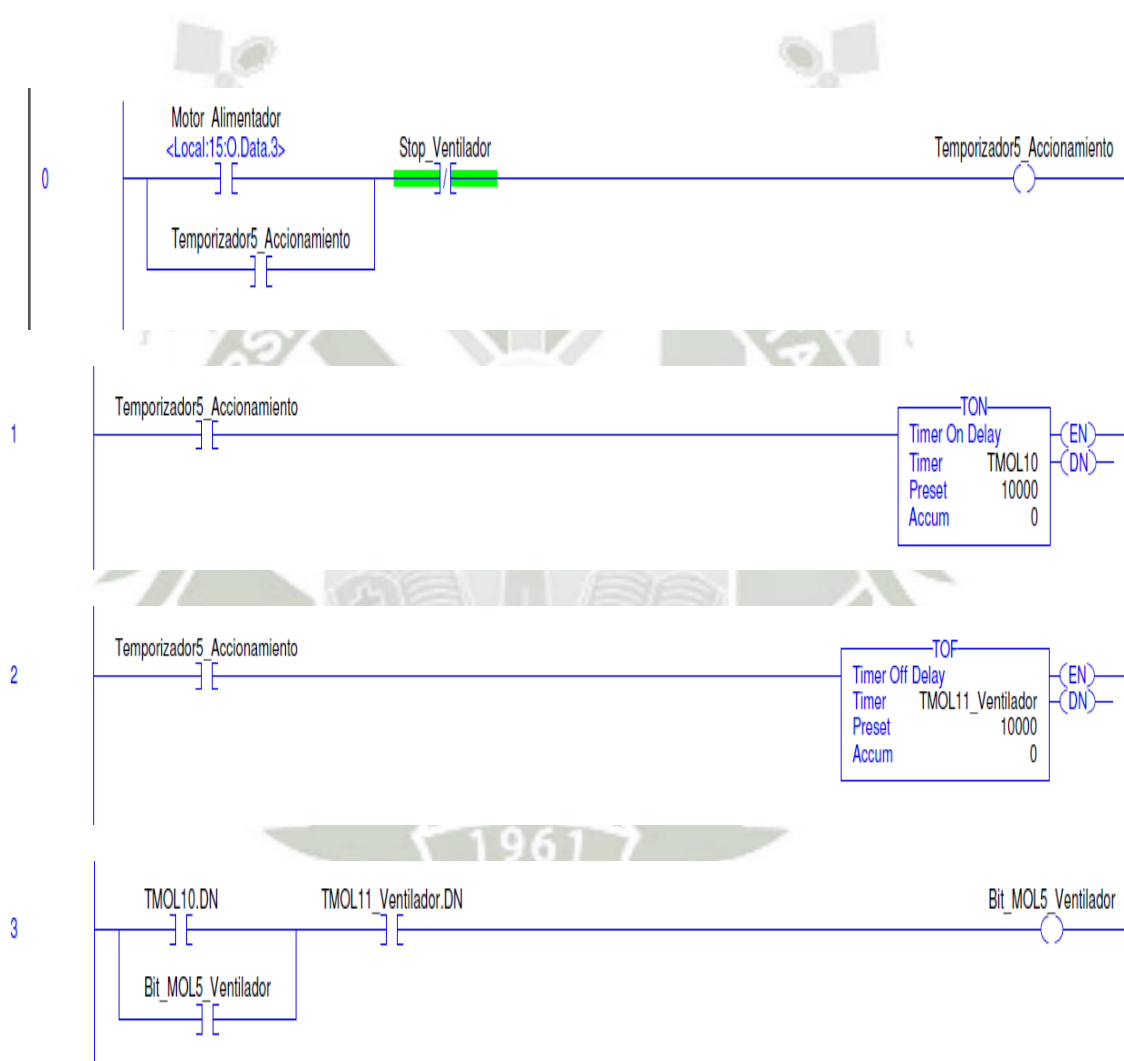


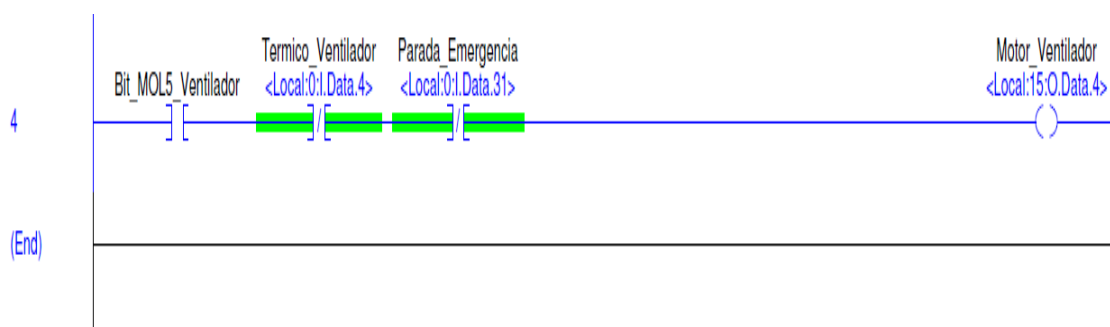
— **Subrutina: Conexión y Desconexión del Alimentador del Molino de Granos**





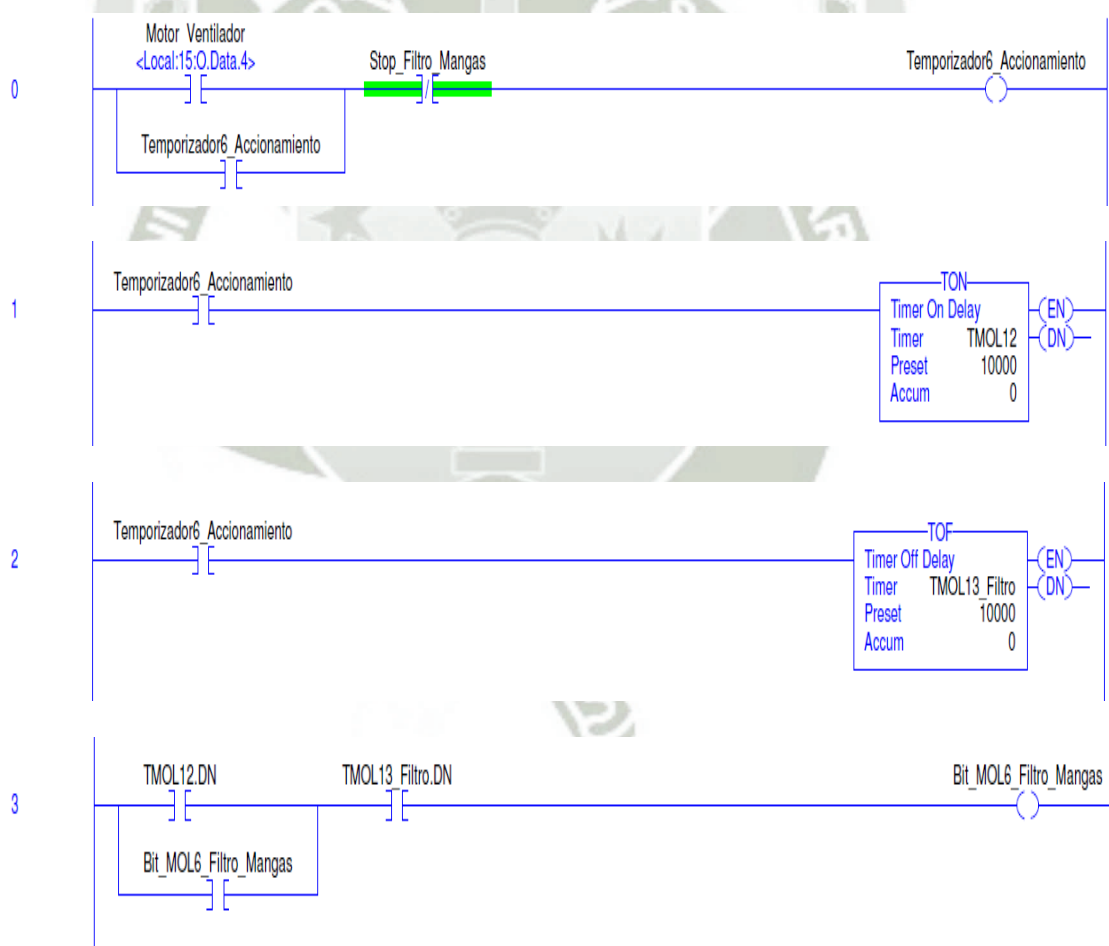
– **Subrutina: Conexión y Desconexión del Ventilador de Sistema de Extracción de Polvos.**

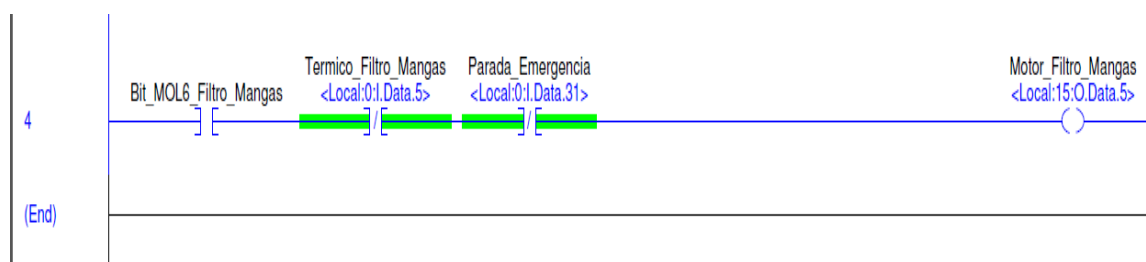




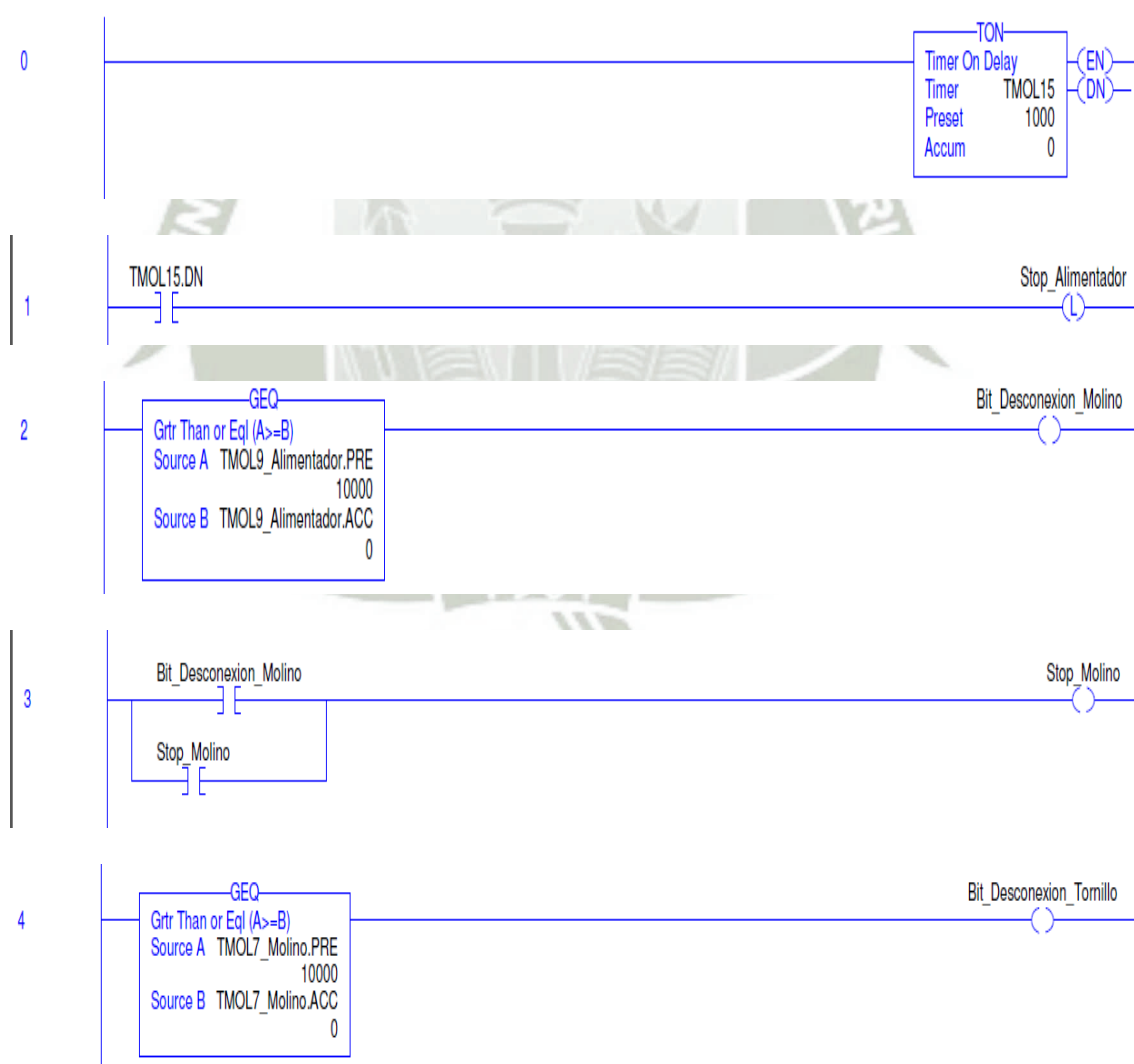
— Subrutina: Desconexión y Conexión de Filtros de Mangas del
sistema de Extracción de Polvos

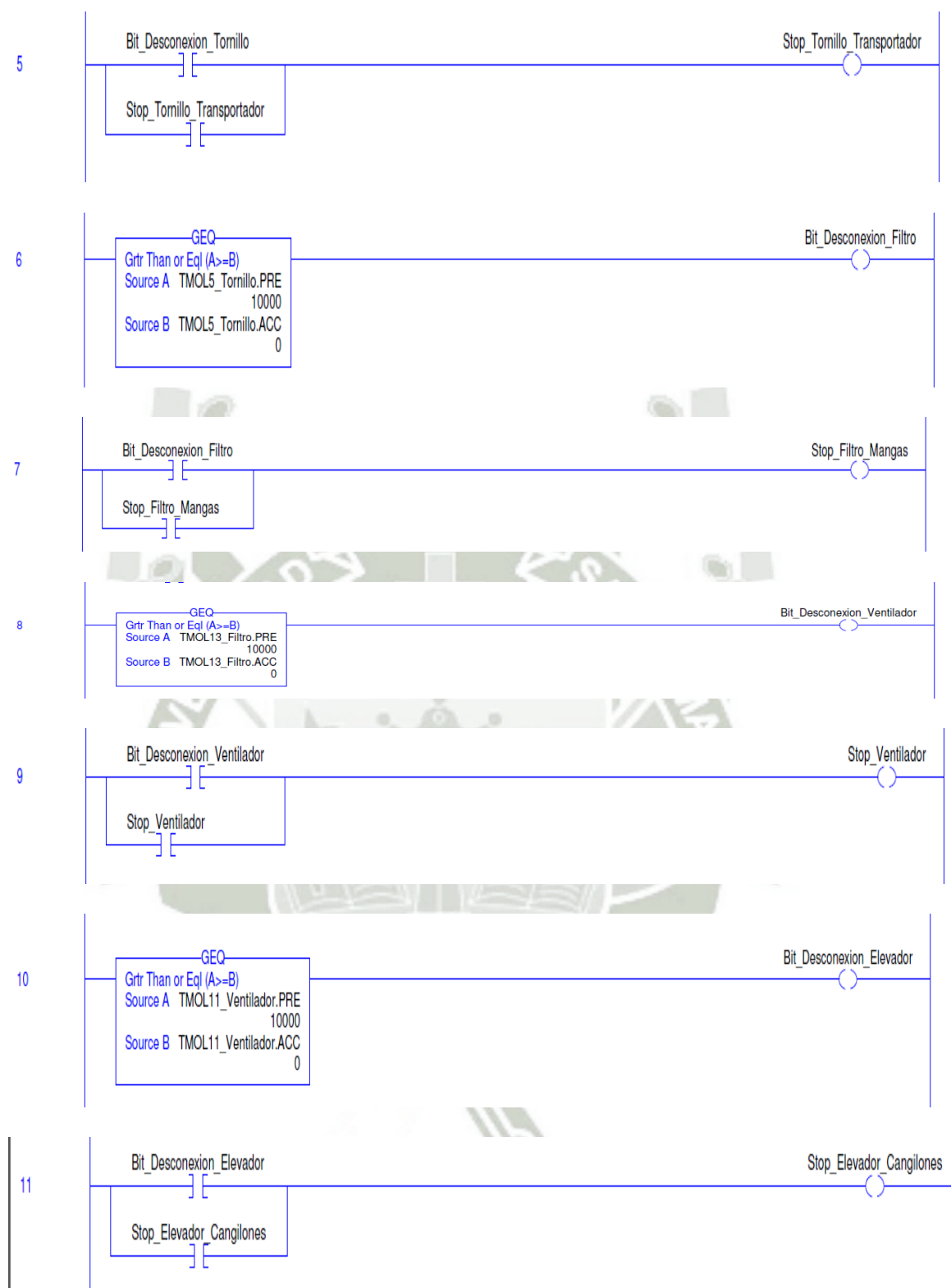
Línea 0:

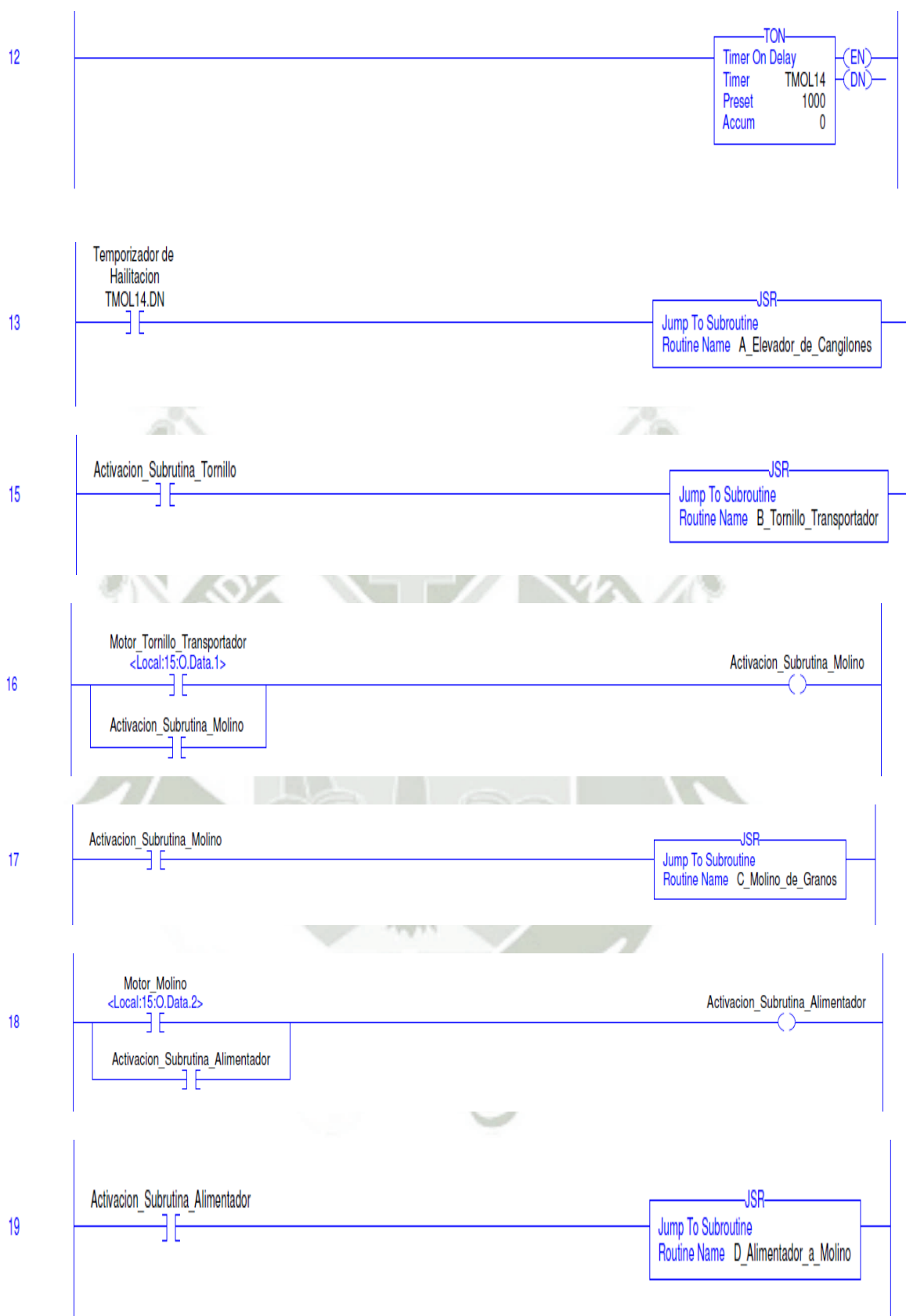


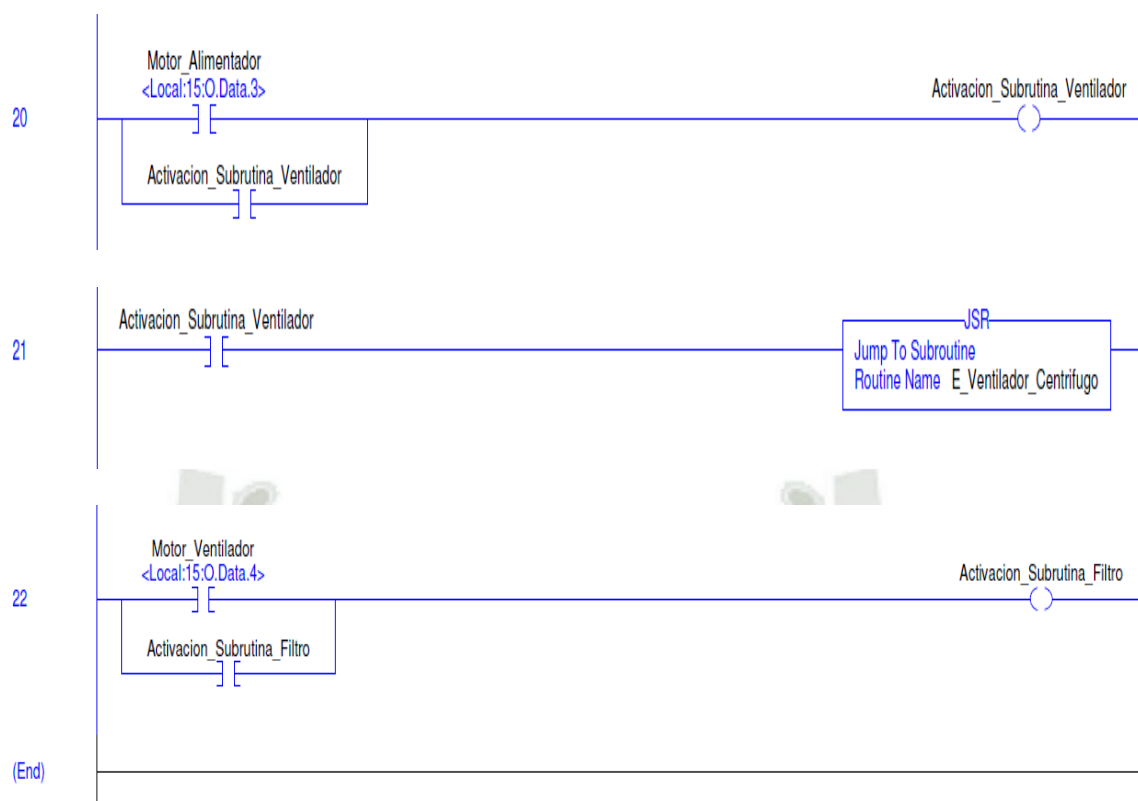


Subrutina: de Desconexión de los equipos de descarga del Molino

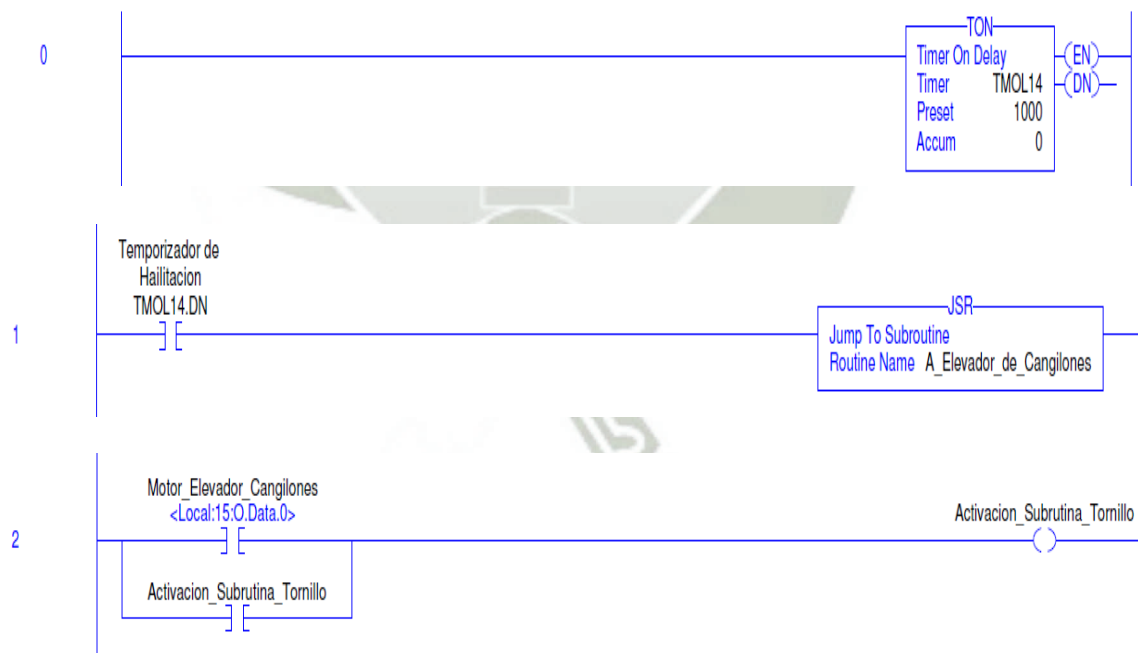


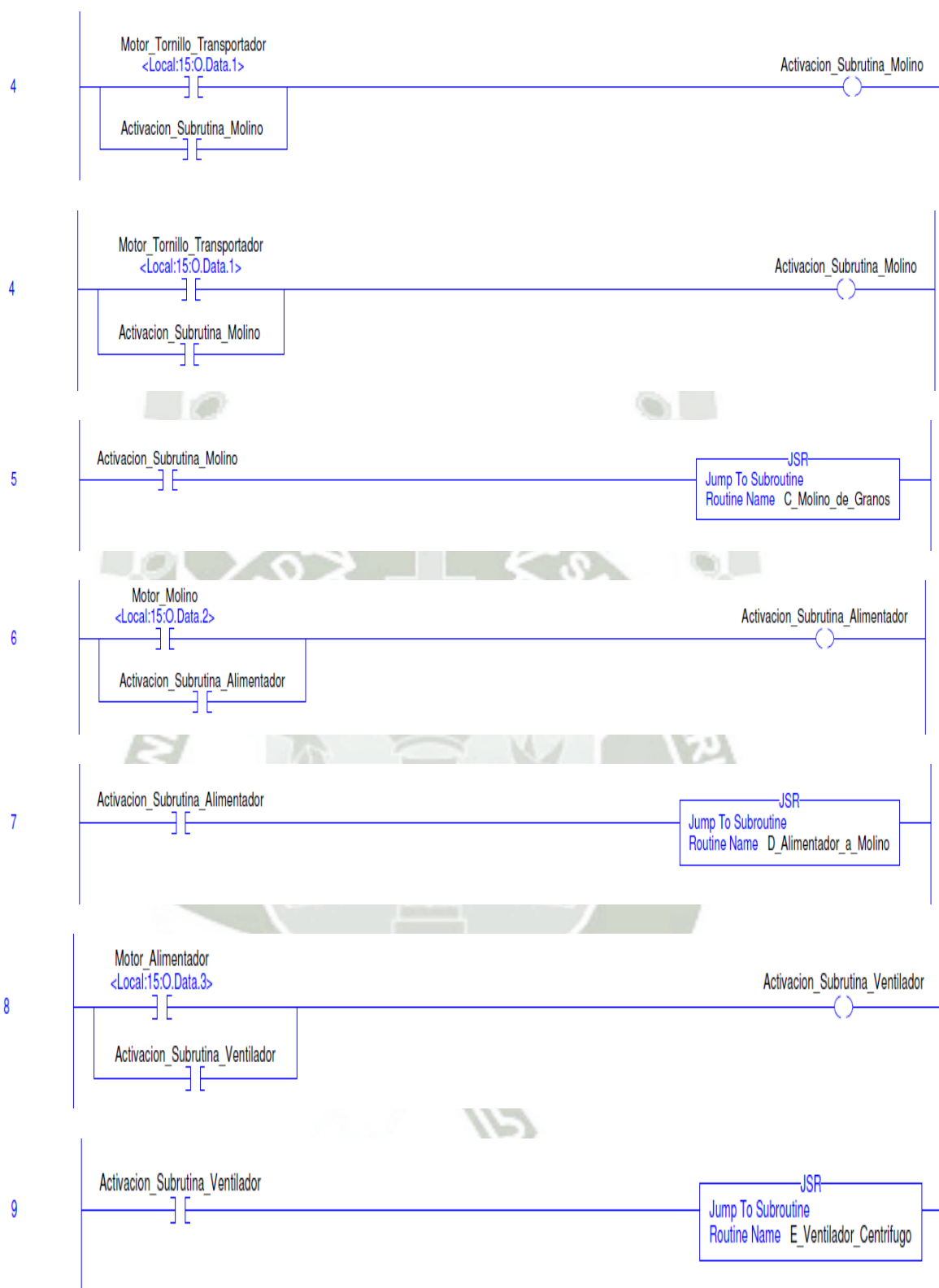






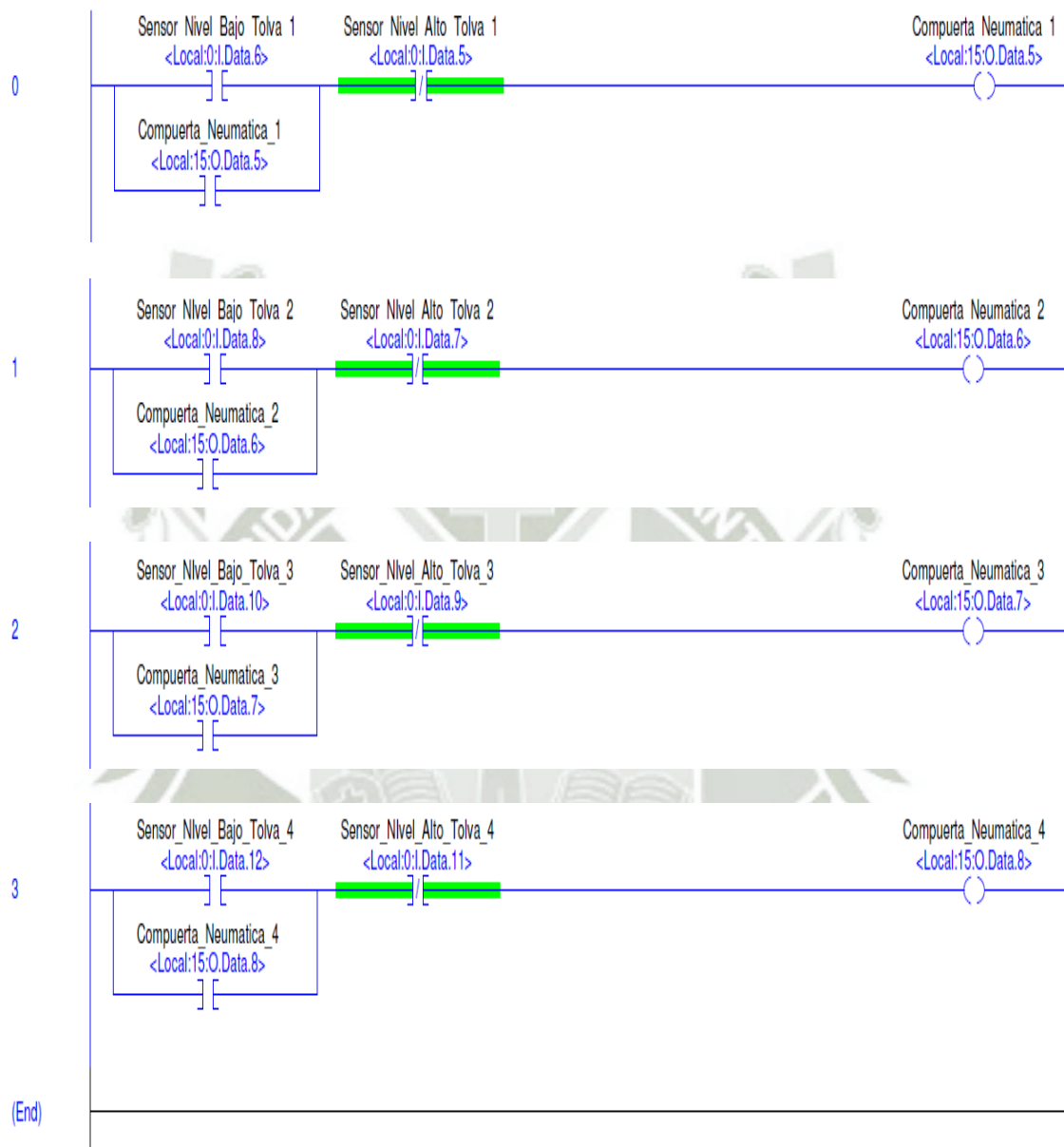
— Subrutina de Enclavamiento de Descarga de Molino de Granos







– Subrutina de Descarga de Tolvas de Producto hacia el
alimentador



— Subrutina de Control de Sobrecarga del Molino de Granos

0		PID Proportional Integral Derivative PID Control_Sobrecargas Process Variable Corriente_de_Molino Tieback 0 Control Variable Variador_Velocidad_Alimentador PID Master Loop 0 Inhold Bit 0 Inhold Value 0 Setpoint 0.0 Process Variable 0.0 Output % 0.0
(End)		



4.2.7. Diseño del sistema SCADA proceso de Abastecimiento, mezclado y molienda

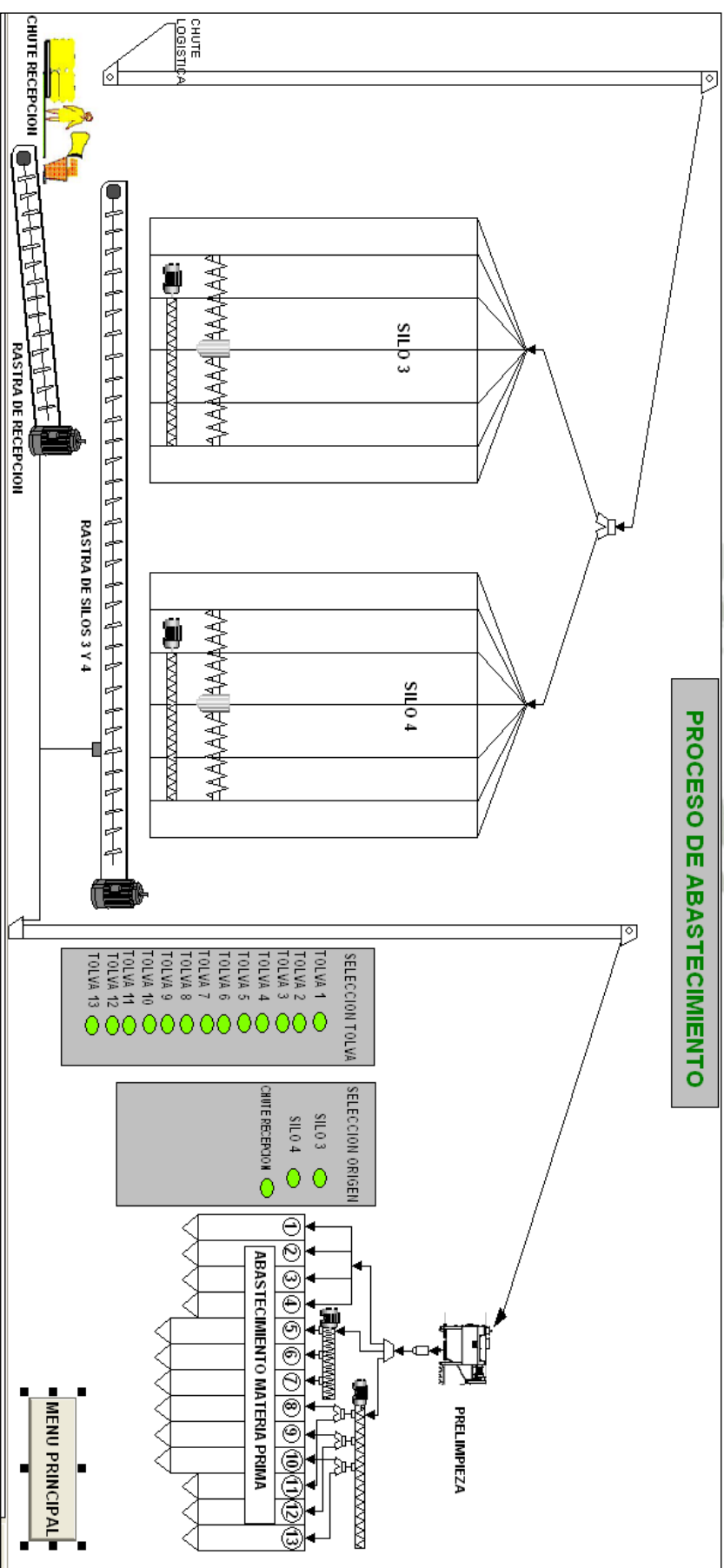


Figura 4. 11: Display del proceso de abastecimiento en software RSView32.
Fuente: Elaboración propia.

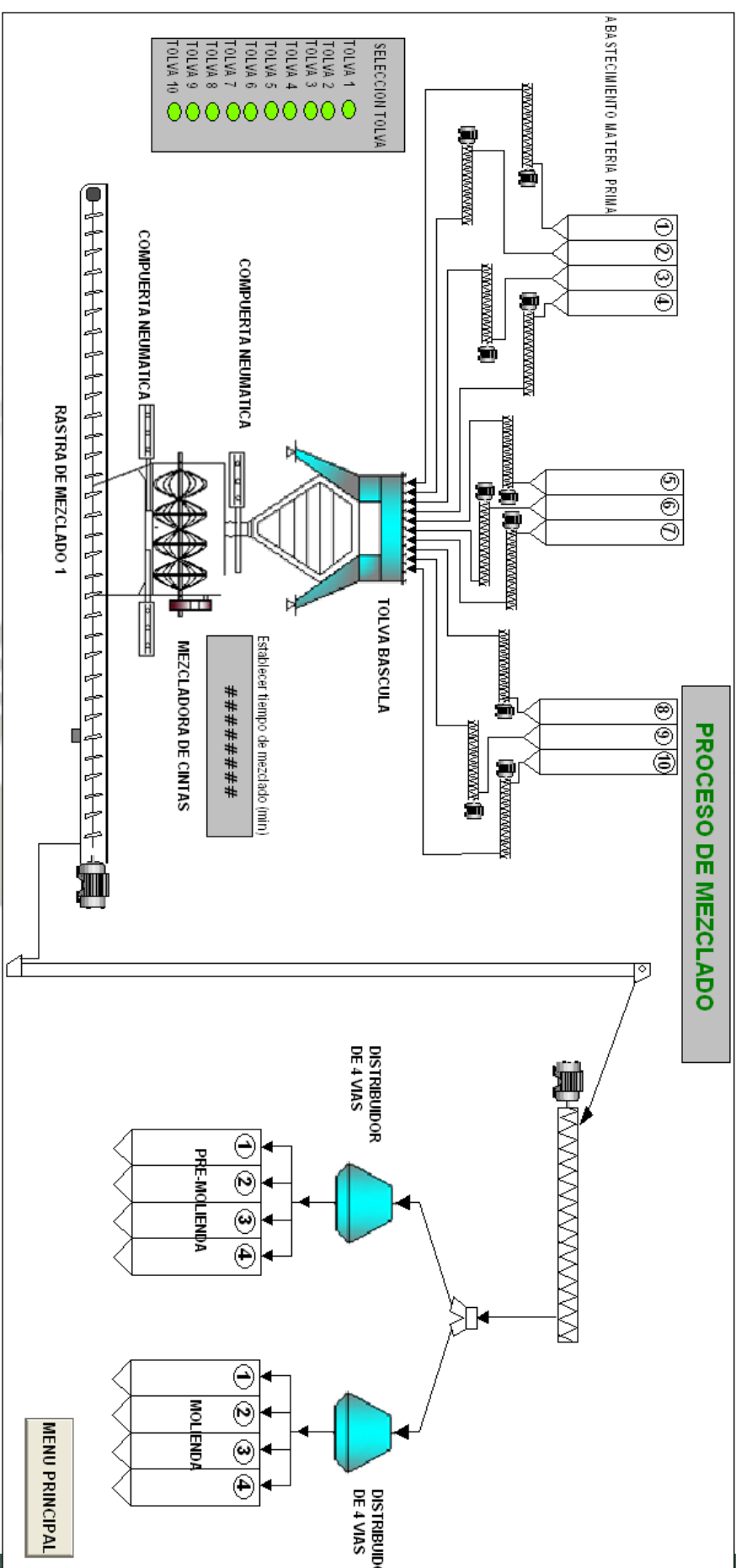


Figura 4. 12: Display del proceso de mezclado en software RSView32.
Fuente: Elaboración propia.

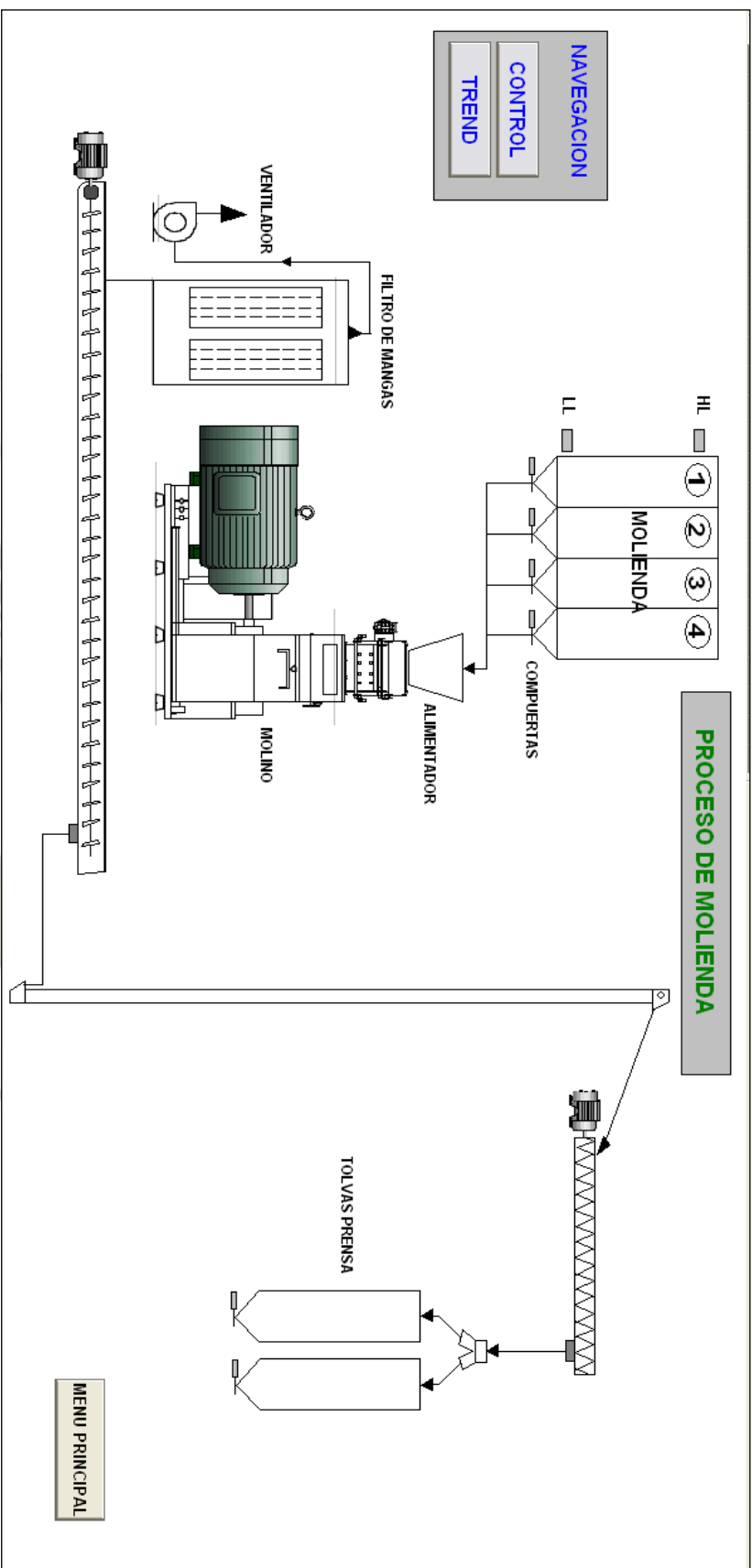
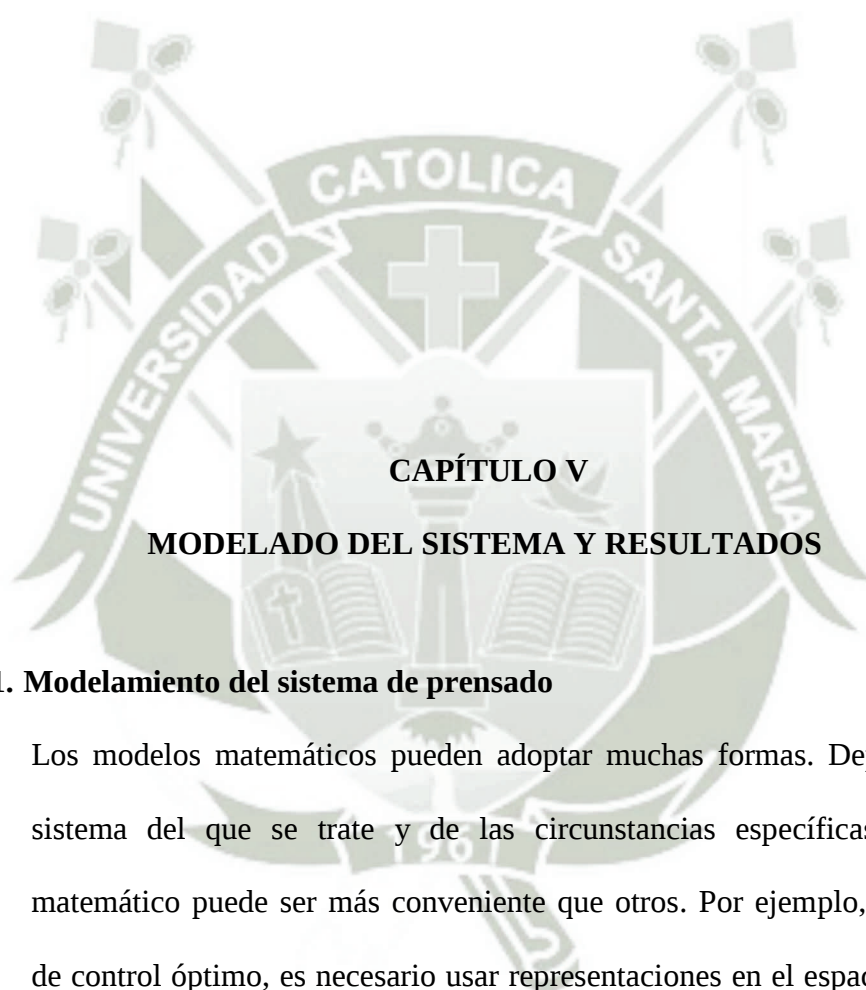


Figura 4. 13: Display del proceso de molienda en software RSView32.
Fuente: Elaboración propia.



CAPÍTULO V

MODELADO DEL SISTEMA Y RESULTADOS

5.1. Modelamiento del sistema de prensado

Los modelos matemáticos pueden adoptar muchas formas. Dependiendo del sistema del que se trate y de las circunstancias específicas, un modelo matemático puede ser más conveniente que otros. Por ejemplo, en problemas de control óptimo, es necesario usar representaciones en el espacio de estados. En cambio, para los análisis de la respuesta transitoria o de la respuesta en frecuencia de sistemas lineales con una entrada y una salida, la representación mediante la función de transferencia puede ser más conveniente que cualquier

otra. Una vez obtenido un modelo matemático de un sistema, se usan diversos recursos analíticos, así como computadoras, para estudiarlo y sintetizarlo.

En particular, si se pretende obtener un modelo matemático de parámetros lineales, siempre es necesario ignorar ciertas no linealidades y parámetros que pueden estar presentes en el sistema dinámico. Si los efectos que estas propiedades ignoradas afectan mínimamente sobre la respuesta del sistema, se obtendrá un buen acuerdo entre el análisis de un modelo matemático y los resultados del estudio experimental del sistema físico.

5.1.1. Linealidad del sistema torque Vs. Velocidad (5)

Expresiones matemáticas para determinar el torque:

$$Potencia [HP] = \frac{V[volts] * I[amp] * \sqrt{3} * \cos \phi}{746} \quad \text{Ecuación 5.1}$$

$$Potencia [HP] = \frac{Torque[lbf \cdot ft] * VelocidadRotacional[rpm]}{5252} \quad \text{Ecuación 5.2}$$

Despejando el torque de la ecuación 5.2, tenemos

$$Torque[lbf \cdot ft] = \frac{Potencia [HP] * 5252}{VelocidadRotacional[rpm]}$$

$$1[lbf \cdot ft] = 1.35582[N \cdot m] \quad \text{Ecuación 5.3}$$

Para el caso del motor que estamos utilizando tenemos los siguientes valores como datos de placa:

V [V]	I [A]	Frecuencia [Hz]	Potencia [HP]	Velocidad [RPM]
380	2.52	60	1.5	3390

Tabla 5. 1: Datos de placa de motor trifásico.
Fuente: Elaboración propia.

Con los datos de placa y empleando la ecuación 5.1 es posible hallar el

$\cos \phi$ como se muestra:

$$\cos \phi = \frac{746 * Potencia [HP]}{V [volts] * I [amp] * \sqrt{3}}$$

Reemplazando datos de la tabla 5.1 tenemos:

$$\cos \phi = \frac{746 * 1.5 [HP]}{380 [volts] * 2.52 [amp] * \sqrt{3}}$$

$$\cos \phi = 0.675$$

Del mismo modo utilizando la ecuación 5.2 y 5.3 hallamos el torque del motor.

$$Torque [N.m] = \frac{Potencia [HP] * 5252}{Velocidad Rotacional [rpm]} * 1,35582$$

Reemplazando datos de la tabla 5.1.

$$Torque [N.m] = \frac{1.5 [HP] * 5252}{3390 [rpm]} * 1,35582$$

$$Torque [N.m] = 3.15$$

Para verificar la linealidad del sistema torque vs velocidad se obtuvo pares de valores de torque y velocidad utilizando un freno de polvo magnético variando el valor del torque y mediante un tacómetro manual medir la velocidad del motor. Se trabajó variando la carga desde el 60 al 100% la cual pertenece a la zona lineal del sistema. Obteniendo los datos de la tabla 5.2

Linealidad del Sistema			
Potencia [HP]	% Carga	Torque [N.m]	Velocidad [rpm]
1.5	100	3.1	3220
1.5	95	2.95	3237
1.5	90	2.79	3263
1.5	85	2.64	3281
1.5	80	2.48	3298
1.5	75	2.33	3316
1.5	70	2.17	3338
1.5	65	2.02	3362
1.5	60	1.86	3383

Tabla 5. 2: Tabla de valores medidos de torque y velocidad con variación de la carga de 60 a 100%.

Fuente: Elaboración propia.

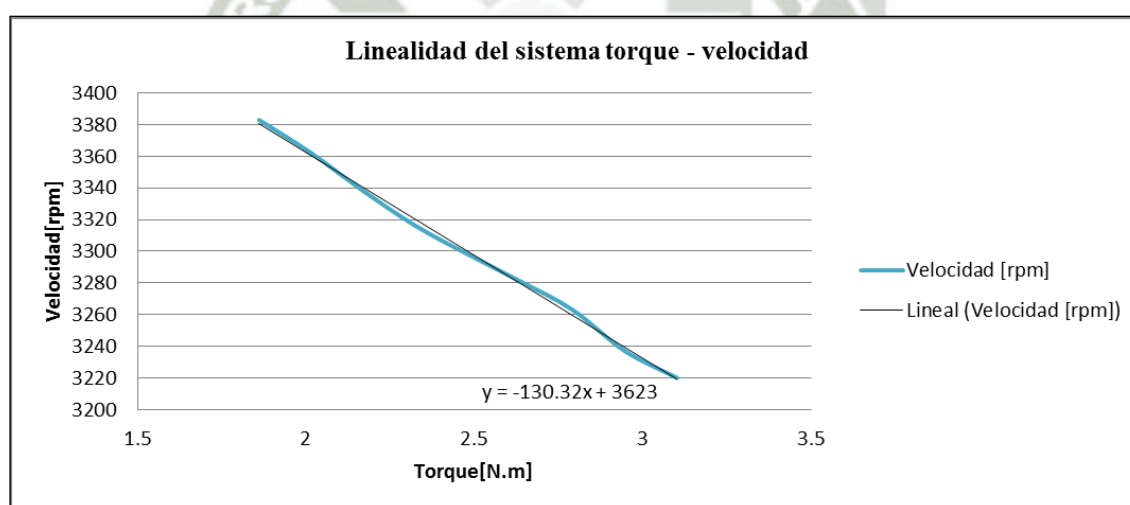


Figura 5. 1: Relación lineal torque vs velocidad.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenido los valores y la gráfica de relación de proporcionalidad se puede decir que, el sistema Torque vs Velocidad presenta una linealidad, debido a que cuando hay un cambio en el torque este cambio también se presenta en la velocidad de forma inversamente proporcional,

por lo cual el sistema es lineal en un rango de variación de carga comprendido entre el 60 y 100%.

5.1.2. Modelamiento teórico. (6)

– Movimiento de rotación

El movimiento de rotación de un cuerpo se puede definir como el movimiento alrededor de un eje fijo. La extensión de la ley de Newton para el movimiento de rotación establece que la suma algebraica de los momentos o pares alrededor de un eje fijo es igual al producto de la inercia por la aceleración angular alrededor del eje.

$$\sum \text{fuerzas} = J * a \quad \text{Ecuación 5.4}$$

En donde J denota la inercia y a es la aceleración angular. Las otras variables que se usan generalmente para describir el movimiento de rotación son el par T , la velocidad angular ω y el desplazamiento angular θ . Los elementos involucrados con el movimiento de rotación son los siguientes:

– Inercia.

La inercia J , se considera a la propiedad de un elemento de almacenar energía cinética del movimiento de rotación. La inercia de un elemento dado depende de la composición geométrica alrededor del eje de rotación y de su densidad. Por ejemplo, la inercia de un disco circular alrededor de su eje geométrico está dado por:

$$J = \frac{1}{2} M * r^2 \quad \text{Ecuación 5.5}$$

Dónde:

J : Inercia del disco circular.

M : Masa.

r : Radio del círculo.

Cuando un par es aplicado a un cuerpo con inercia J , como se presenta en la figura 5.2. La ecuación del par se escribe como:

$$T(t) = J * \alpha(t) = J * \frac{d\omega(t)}{dt} = J * \frac{d^2\theta(t)}{dt^2} \quad \text{Ecuación 5.6}$$

Dónde:

$\theta(t)$: Desplazamiento angular.

$\omega(t)$: Velocidad angular.

$\alpha(t)$: Aceleración angular.

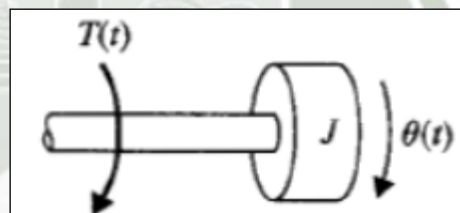


Figura 5. 2: Sistema Par-inercia

Fuente: Elaboración propia.

Unidades	Inercia	Par de torsión	Desplazamiento angular
SI	$kg - m^2$	$N - m$ $din - cm$	rad rad
Británicas	$slug - pie^2$ $lb - pie - s^2$ $oz - plg - s^2$	$lb - pie$ $oz - plg$	rad

Tabla 5. 3: Unidades de inercia, par de torsión y desplazamiento angular.

Fuente: Kuo, Benjamin. Sistemas de Control Automático.

– **Resorte torsional.**

Como con el resorte lineal para el movimiento de traslación, la constante del resorte torsional K , en par por unidad de desplazamiento angular, puede representar un eje cuando está sujeto a un par aplicado, la figura 5.3 ilustra un sistema par – resorte para el movimiento rotacional, que se puede representar por la ecuación:

Par generado por la constante de resorte torsional:

$$T(t) = K\theta(t) \quad \text{Ecuación 5.7}$$

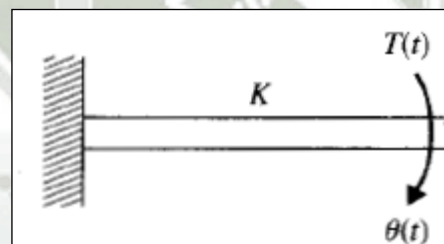


Figura 5. 3: Sistema par-resorte torsional.
Fuente: Elaboración propia.

Las unidades de la constante de resorte K , en el SI y británico son las siguientes:

Unidades	Constantes del resorte K
SI	$N - m/rad$
Británicas	$pie - lb/rad$

Tabla 5. 4: Unidades del par torsional.
Fuente: Kuo, Benjamin. Sistemas de Control Automático.

– Fricción para el momento de rotación

Los tres tipos de fricción descritos para el movimiento de translación se pueden manejar para el movimiento de rotación. De este modo tenemos la siguiente ecuación:

Par generado por la fricción viscosa:

$$T(t) = B * \frac{d\theta(t)}{dt} [N.m.s] \quad \text{Ecuación 5.8}$$

5.1.3. Modelamiento de la función de transferencia ideal

Para la obtención de la función de transferencia ideal se tomó en cuenta el modelo mecánico que consta de un motor acoplado a una carga inercial a través de un eje.

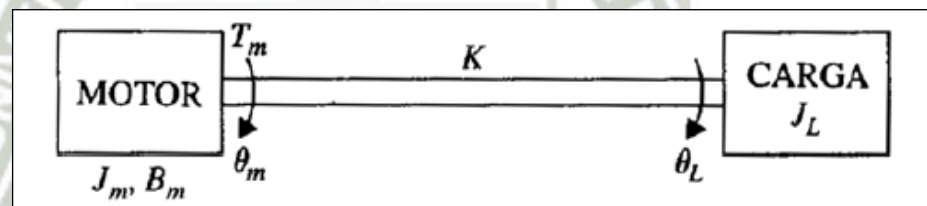


Figura 5. 4: Sistema ideal motor-carga.

Fuente: Elaboración propia.

Las variables y parámetros del sistema se definen como:

$T_m(t)$: Par del motor.

B_m : Coeficiente de fricción viscosa del motor.

k : Constante de resorte del eje.

$\theta_L(t)$: Desplazamiento de la carga.

$\omega_L(t)$: Velocidad de la carga.

J_m : Inercia del motor.

J_L : Carga inercial.

$\theta_m(t)$: Desplazamiento del motor.

$\omega_m(t)$: Velocidad del motor.

Diagrama de cuerpo libre

El diagrama de cuerpo libre nos ayuda a construir las ecuaciones que rigen el sistema, el cual es analizado en dos partes, primero con respecto a la unión motor-eje y luego respecto a la unión eje-carga.

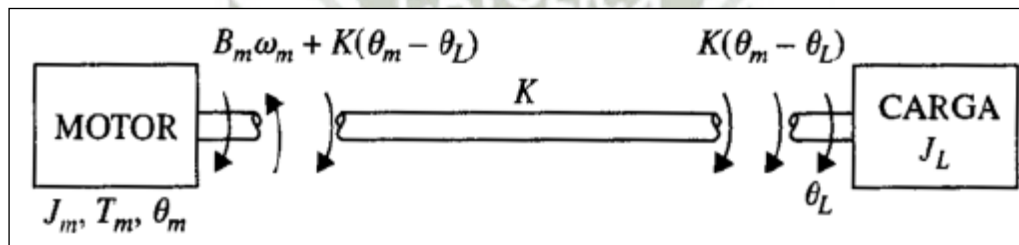


Figura 5. 5: Diagrama de cuerpo libre sistema motor-carga.

Fuente: Elaboración propia.

Las ecuaciones que rigen el sistema con respecto a la unión Motor-Eje son:

$$\sum \text{fuerzas} = J_m * \alpha$$

$$\text{Par}(\text{motor}) - \text{Par}(\text{Coeficient edeFriccion}) - \text{Par}(\text{Coeficient ederesorte}) = J_m * \alpha$$

De la ecuación 5.6. Tenemos

$$J_m * \alpha(t) = J_m * \frac{d\omega(t)}{dt} = J_m * \frac{d^2\theta(t)}{dt^2}$$

$$\text{Par}(\text{Coeficient ederesorte}) = k[\theta_m(t) - \theta_L(t)]$$

$$\text{Par}(\text{Coeficient edeFriccion}) = B_m * \frac{d\theta_m(t)}{dt}$$

$$Par(motor) = T_m(t)$$

La siguiente ecuación define la sumatoria de fuerzas en la unión

Motor-Eje:

$$J_m * \frac{d^2\theta_m(t)}{dt^2} = -B_m * \frac{d\theta_m(t)}{dt} - k[\theta_m(t) - \theta_L(t)] + T_m(t) \quad \text{Ecuación 5.9}$$

Con respecto a la unión Eje-Carga:

$$\sum \text{fuerzas} = J_L * \alpha$$

$$J_L * \alpha = J_L * \frac{d\omega(t)}{dt} = J_L * \frac{d^2\theta_L(t)}{dt^2}$$

$$Par(\text{Coeficient ederesorte}) = J_L * \alpha$$

$$Par(\text{Coeficient ederesorte}) = k[\theta_m(t) - \theta_L(t)]$$

En este caso la única fuerza transmitida a la carga es por medio del eje, por lo tanto la ecuación que determina la sumatoria de fuerzas en la unión Eje-Carga, queda definida por:

$$k[\theta_m(t) - \theta_L(t)] = J_L * \frac{d^2\theta_L(t)}{dt^2} \quad \text{Ecuación 5.10}$$

En este caso el sistema contiene tres elementos que almacenan energía: J_m , J_L , y k . Por lo tanto, hay tres variables de estado. Reordenando la ecuación 5.9 y ecuación 5.10, en función los elementos de almacenamiento de energía tenemos que:

$$\frac{d^2\theta_m(t)}{dt^2} = -\frac{B_m}{J_m} \frac{d\theta_m(t)}{dt} - \frac{k}{J_m} [\theta_m(t) - \theta_L(t)] + \frac{1}{J_m} T_m(t) \quad \text{Ecuación 5.11}$$

$$\frac{d^2\theta_L(t)}{dt^2} = \frac{k}{J_L} [\theta_m(t) - \theta_L(t)]$$

Ecuación 5.12

El diagrama de estado con tres integradores se muestra en la Figura 5.6. La clave dada por las ecuaciones 5.11 y 5.12 es que θ_m y θ_L aparezcan solo como su diferencia $[\theta_m(t) - \theta_L(t)]$.

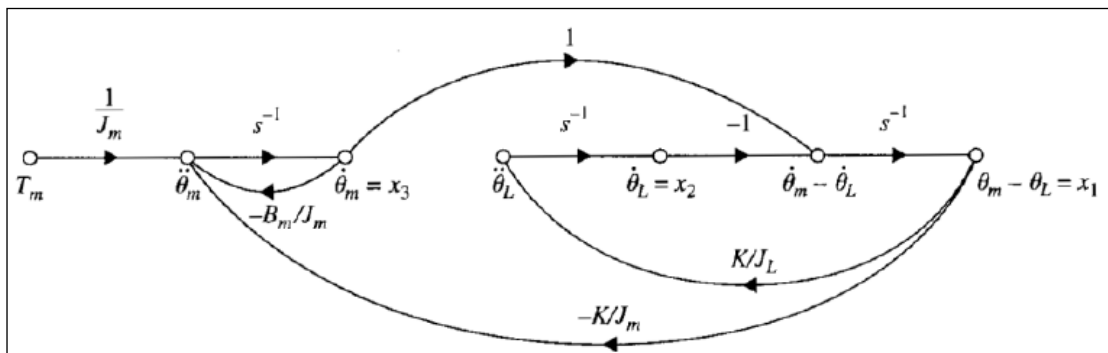


Figura 5. 6: Diagrama de estado del sistema motor-carga.
Fuente: Elaboración propia.

Del diagrama de estado de la Figura 5.6, las variables de estado se definen de la siguiente manera:

$$x_1(t) = \theta_m(t) - \theta_L(t)$$

Ecuación 5.13

$$x_2(t) = \frac{d\theta_L}{dt}$$

Ecuación 5.14

$$x_3(t) = \frac{d\theta_m}{dt}$$

Ecuación 5.14

Las ecuaciones de estado son:

$$\frac{dx_1(t)}{dt} = x_3(t) - x_2(t)$$

Ecuación 5.15

$$\frac{dx_2(t)}{dt} = \frac{k}{J_L} x_1(t)$$

Ecuación 5.16

$$\frac{dx_3(t)}{dt} = -\frac{k}{J_m}x_1(t) - \frac{B_m}{J_m}x_3(t) + \frac{1}{J_m}T_m(t)$$

Ecuación 5.17

La función de transferencia entre $\omega_L(s)$ y $T_m(s)$ se escriben al aplicar la fórmula de ganancia al diagrama de estado de la figura 5.6.

$$\frac{\omega_L(s)}{T_m(s)} = \frac{x_2(s)}{T_m(s)} = \frac{k}{J_m J_L s^3 + B_m J_L s^2 + k(J_m + J_L)s + B_m K}$$

Ecuación 5.18

Dando como resultado el siguiente sistema lineal en lazo abierto:

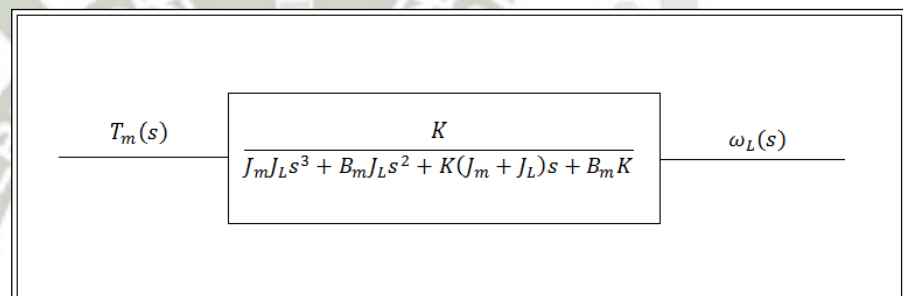


Figura 5. 7: Función de transferencia ideal.

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros en base a los cuales se obtuvo la función de transferencia teórica (B_m , J_m , J_L y k), se los puede asociar con parámetros físicos del sistema motor-carga real así tenemos que:

J_L : Este parámetro está relacionado con la carga a la cual está sometido el motor.

J_m : Este parámetro está relacionado con la potencia para la cual está diseñado.

B_m : Este parámetro está relacionado con el aceite dieléctrico del motor.

k : Este parámetro está relacionado con el conjunto de ejes acoplados desde el motor hasta la carga.

Operando la ecuación 5.18 tenemos:

$$\frac{\omega_L(s)}{T_m(s)} = \frac{\frac{k}{B_m * k}}{\left(\frac{J_m * J_L}{B_m * k}\right)s^3 + \left(\frac{B_m * J_L}{B_m * k}\right)s^2 + \left(\frac{k * (J_m + J_L)}{B_m * k}\right)s + 1}$$

$$\frac{\omega_L(s)}{T_m(s)} = \frac{\frac{1}{B_m}}{\left(\frac{J_m * J_L}{B_m * k}\right)s^3 + \left(\frac{J_L}{k}\right)s^2 + \left(\frac{(J_m + J_L)}{B_m}\right)s + 1}$$

Ecuación 5.19

5.2. Configuración del enlace entre computador y controlador.

Para la programación del autómatas Micrologix 1100 se necesitan dos programas importantes, uno para realizar el lazo de comunicación entre la PC y el PLC y otro para realizar directamente la programación LADDER que se quiere.

5.2.1. Comunicación entre el PLC y el PC

Al encender el PLC Micrologix 1100 el primer paso que se debe seguir es asignar una dirección IP al controlador. El software “BOOTP/DHCP Server 2.3” Asigna una dirección IP al PLC para establecer la comunicación con la PC.

- a) Ejecutamos el “BOOTP/DHCP”, para hallar la dirección MAC del PLC Micrologix 1100.

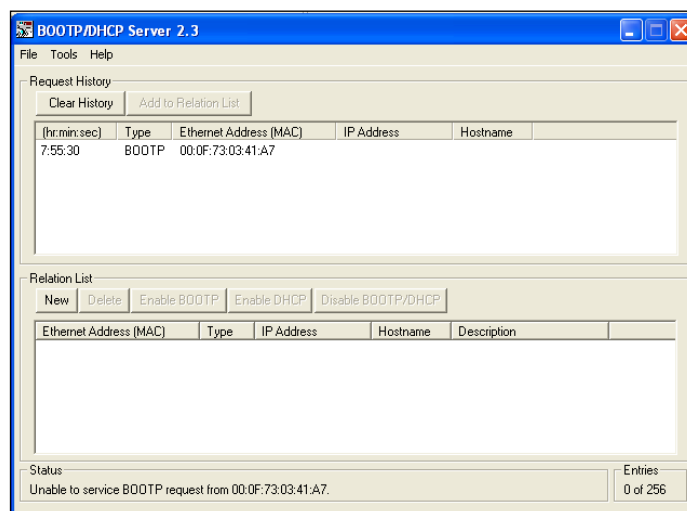


Figura 5. 8: Identificación de la dirección MAC del PLC Micrologix 1100.

Fuente: Programa BOOTP/DHCP Server 2.3

- b) Seleccionamos la MAC encontrada del PLC, y asignamos una dirección IP que este dentro del rango de la red de la PC.

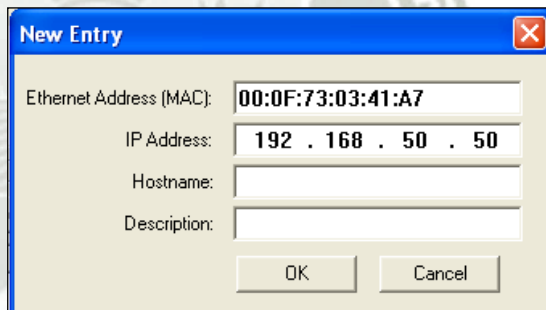


Figura 5. 9 Asignamos la dirección IP al PLC Micrologix 1100.

Fuente: Programa BOOTP/DHCP Server 2.3

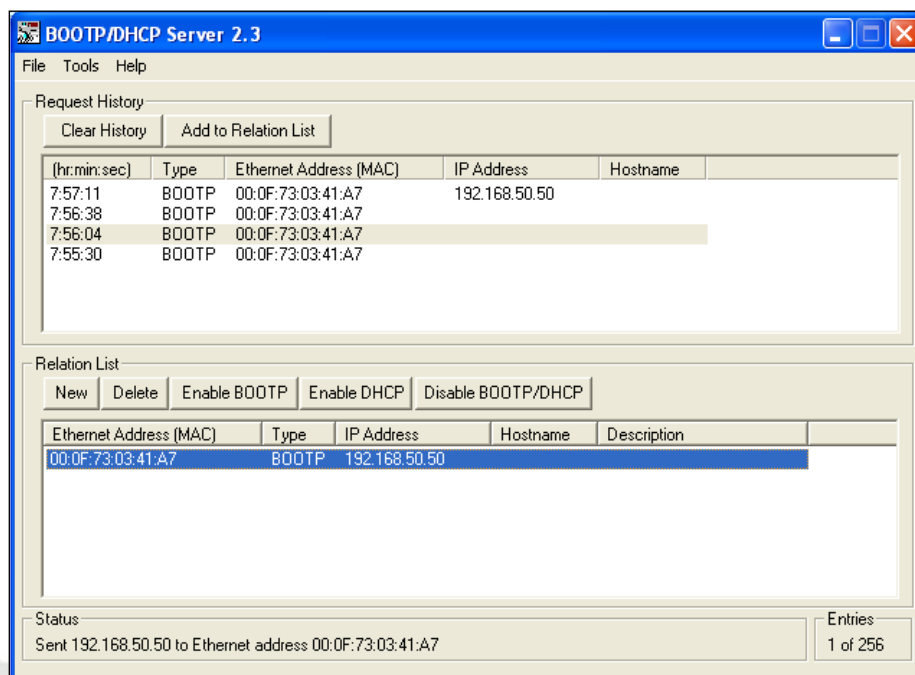


Figura 5. 10: Validación de la dirección IP al PLC Micrologix 1100.
Fuente: Programa BOOTP/DHCP Server 2.3

5.2.2. Software de comunicación RSLinx

Este es un programa perteneciente a la familia de Allen Bradley aplicable en Microsoft Windows. La versión utilizada para la aplicación de esta tesis es la 2.43.

Para poder realizar la programación del PLC primero debe haber un lazo de comunicación, para el caso de la programación se realizará un modo de comunicación ethernet, se accede al programa RSLinx por medio de su ícono característico () , al ingresar a este programa aparecerá la ventana que se observa en la figura 5.11.

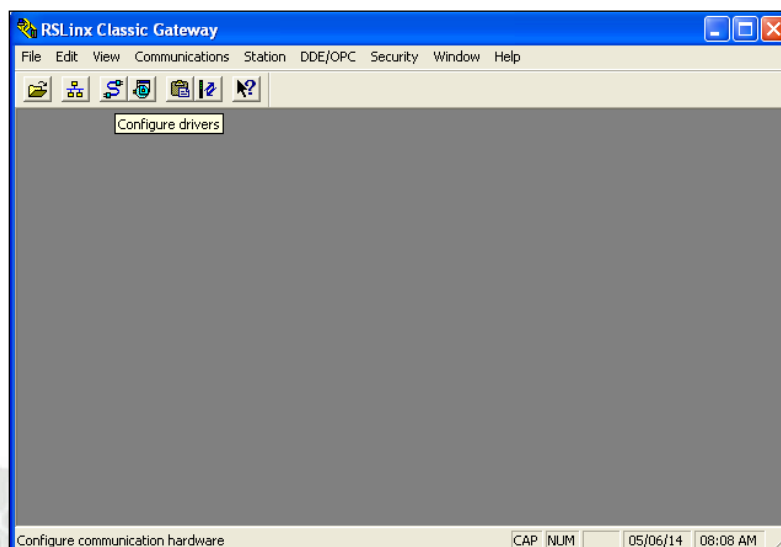


Figura 5. 11: Ventana Principal de RSLinx.
Fuente: Programa RSLinx.

Para realizar la comunicación primero se debe revisar que el conector por medio del puerto Ethernet entre la PC y el PLC y que el cable no presenta problemas físicos que puedan causar un cortocircuito. Para poder realizar la comunicación primero deberá encenderse el PLC, después de esto ingresar a la opción “Configure Drivers” () donde aparecerá la ventana que se observa en la figura 5.12.

Seleccionamos “EtherNet /IP Driver”, en Available Driver Types

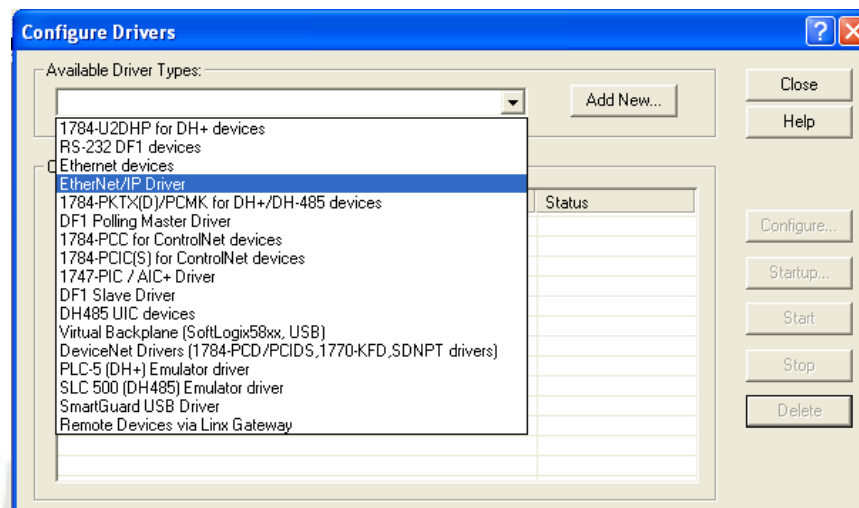


Figura 5. 12: Ventana Configure Drivers Antes De Establecer Comunicación Con El Controlador.
Fuente: Programa RSLink.

Escogemos el tipo de driver, como se muestra en la figura 5.13.

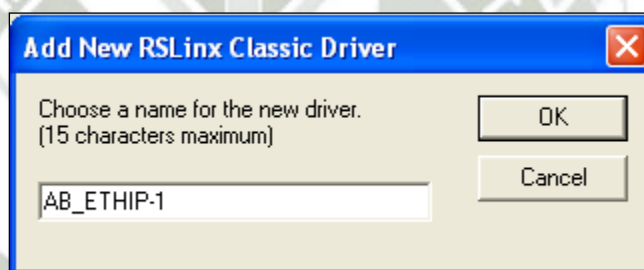


Figura 5. 13: Ventana para ingresar el nombre del Driver.
Fuente: Programa RSLink.

Como se muestra en la figura 5.14. El driver debe estar en modo “running”.

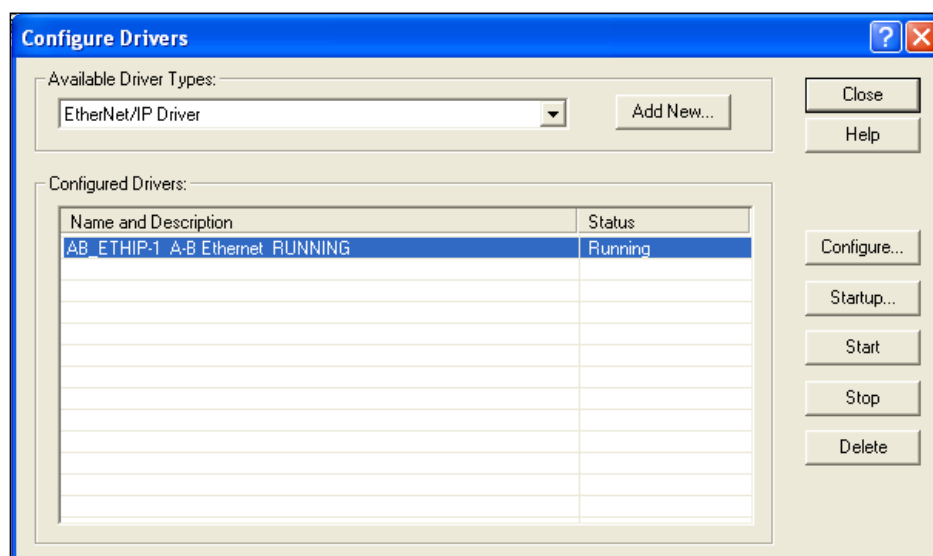


Figura 5. 14: Ventana Configure Drivers Después De Establecer Comunicación Con El Controlador.

Fuente: Programa RSLogix.

Para poder comprobar que el PLC ha sido reconocido y que la comunicación fue exitosa se ingresa a la opción “RSWho” () , donde aparecerá una ventana en la cual se observará al PLC (figura 5.15), en caso no haya comunicación entre ambos equipos el dibujo del PLC aparecerá tachado con una marca de color rojo.

En este momento ya hay un lazo de comunicación entre la PC y el PLC, por lo cual ya se puede programar el PLC.

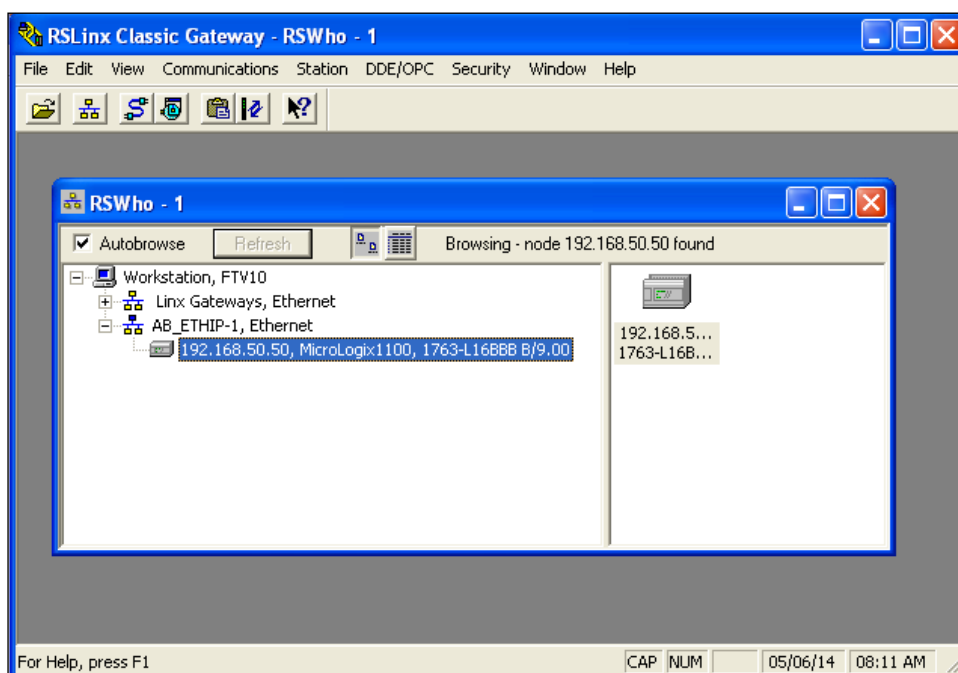


Figura 5. 15: Ventana RSWho.
Fuente: Programa RSLogix.

Para poder programar el PLC debemos abrir el Programa RSLogix 500, para Realizar la lógica en Programa Ladder, Para ello tendremos que configurar los parámetros del controlador de acuerdo a la conexión física de sus elementos. Para ello abrimos la configuración del PLC

5.2.3. Configuración del software RSLogix 500.

Para la programación del controlador se usará el software RSLogix 500, empezamos configurando la parte física del controlador, es decir, tarjetas de entradas y salidas tanto analógicas como digitales, para ello hacemos clic derecho en la opción “IO Configuration” como muestra la figura 5.16.

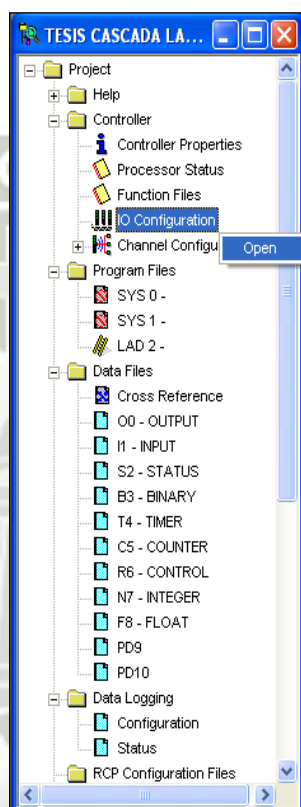


Figura 5. 16: Ventana RSLogix 500, panel de Configuración de controladores.

Fuente: RSLogix 500.

Nos aparece la ventana de I/O Configuration, figura 5.17. Damos clic al botón de “Read IO Config” para seleccionar las tarjetas de entradas y salidas; además del controlador.

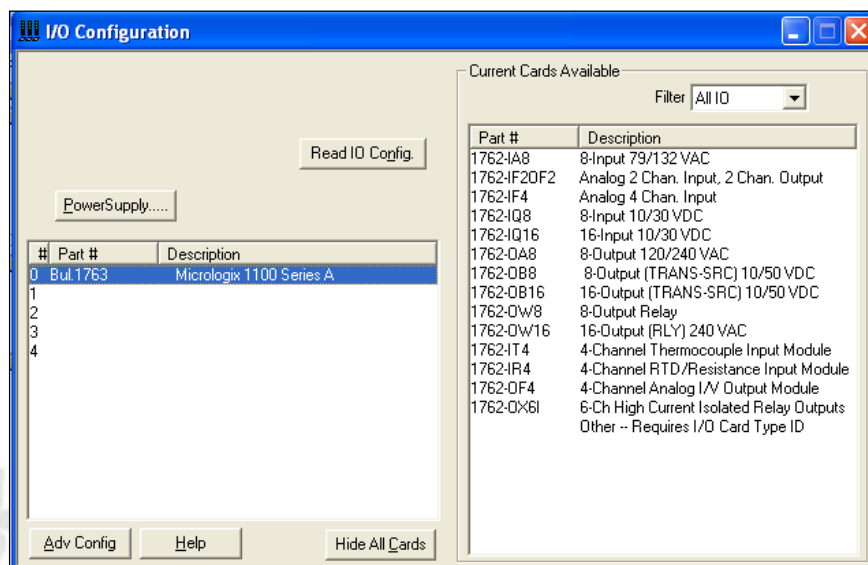


Figura 5. 17: Ventana RSLogix 500, I/O Configuration.
Fuente: RSLogix 500.

Nos aparecerá la siguiente ventana, figura 5.18, en donde daremos clic en “Who Active” para seleccionar el controlador que está en la Red de la PC.

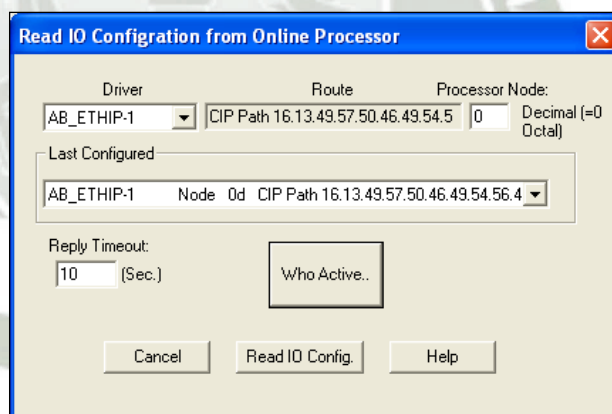


Figura 5. 18: Ventana RSLogix 500, Read I/O Configuration from Online Processor.
Fuente: RSLogix 500.

En la figura 5.19 se selecciona el número IP del controlador con el que estamos trabajando, para finalizar este paso hacemos clic en “OK”.

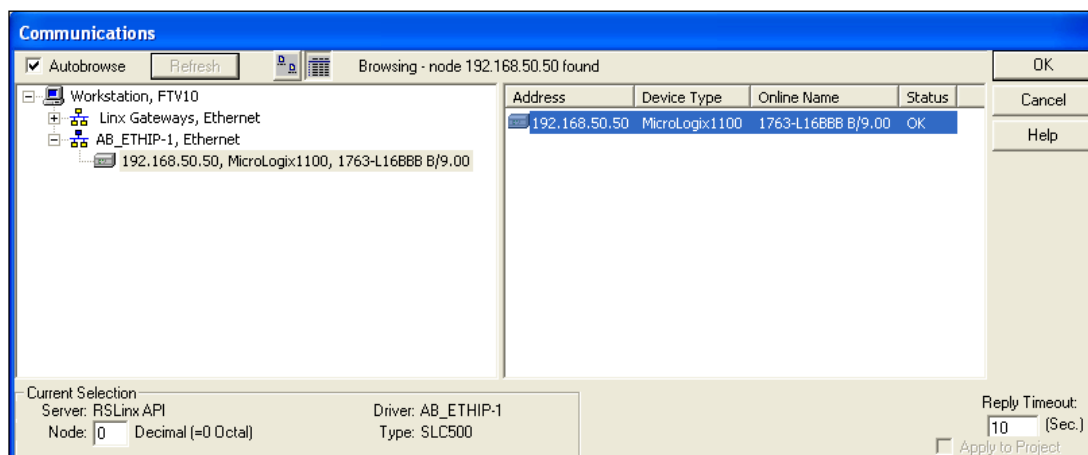


Figura 5. 19: Ventana RSLogix 500, enlace de comunicación entre la PC y el PLC.
Fuente: RSLogix 500.

El siguiente paso es configurar la pestaña “Read IO Config”, hacemos clic en la opción mencionada y se muestra la ventana de la figura 5.21.

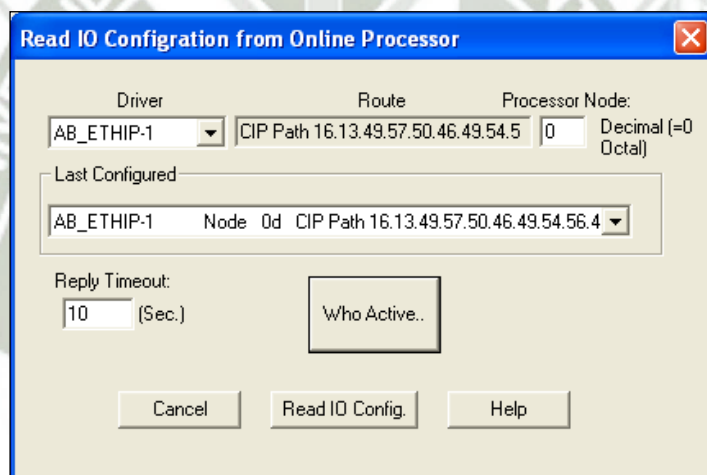


Figura 5. 20: Ventana RSLogix 500 Read I/O Configuration From Online Processor.
Fuente: RSLogix 500.

En la ventana de “I/O Configuration” que se muestra en la figura 5.21, hacemos clic en el botón “Read IO Config.”, de manera automática se detecta las tarjetas que están conectadas al PLC, en nuestro caso tenemos una tarjeta de entradas analógicas (1762-IF4) y una tarjeta de salidas analógicas (1762-OF4), como se observa en la figura 5.21.

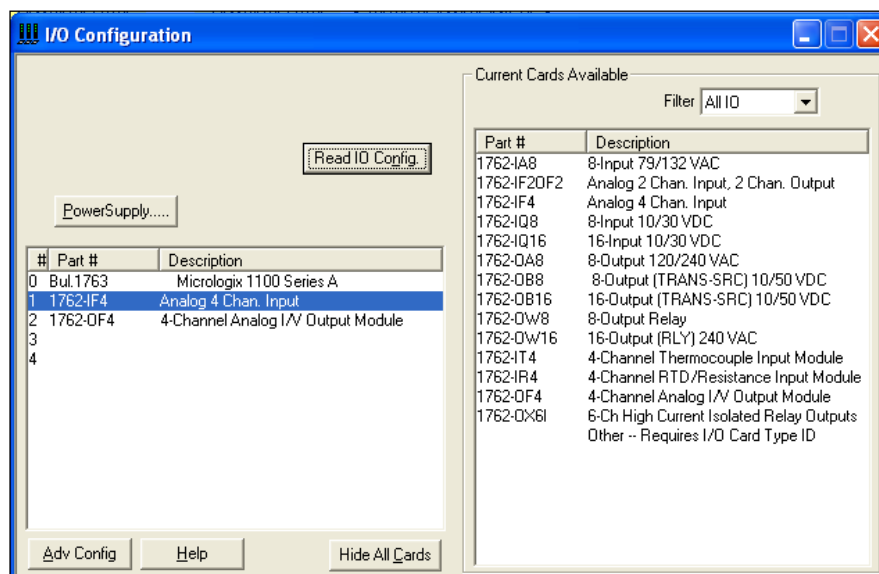


Figura 5. 21: Ventana RSLogix 500, Read I/O Configuration. Con las tarjetas de entradas y salidas leídas correctamente de manera automática en el orden de conexión física.
Fuente: RSLogix 500.

Cerramos la ventana “I/O Configuration” que se muestra en la figura 5.21 y con esto se termina la configuración del software de programación del PLC RSLogix 500, el siguiente paso es realizar el programa ladder y descargar el mismo en el controlador.

5.3. Obtención de la función de transferencia experimental para el lazo interno de corriente

Línea 0000: Establecemos el tiempo rampa en 300 segundos (5 minutos), habilitando el Bit B3:0/0

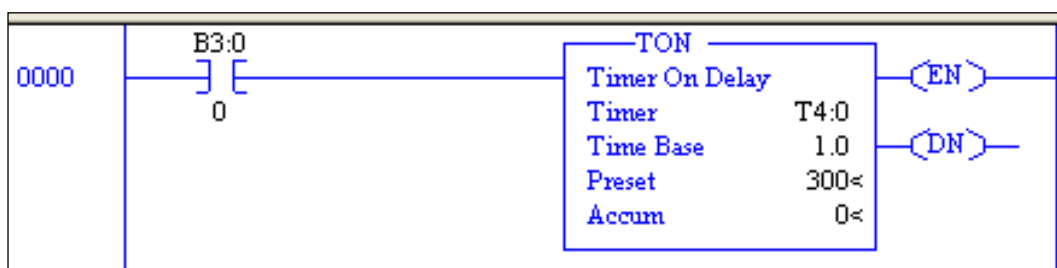


Figura 5. 22: Programa ladder de generación rampa línea 0, temporizador de 300 segundos para una señal rampa.
Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0001: Con el bit B3:0/0 en ON, iniciamos el alimentador el cual contiene al sensor de corriente.

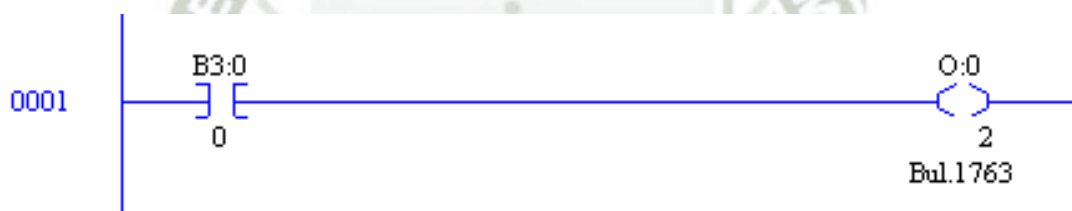


Figura 5. 23: Programa ladder de generación rampa línea 1, habilitación de tornillo alimentador.
Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0002: Con el bit B3:0/0 en OFF, cargamos el valor de 0 voltios al tornillo dosificador.

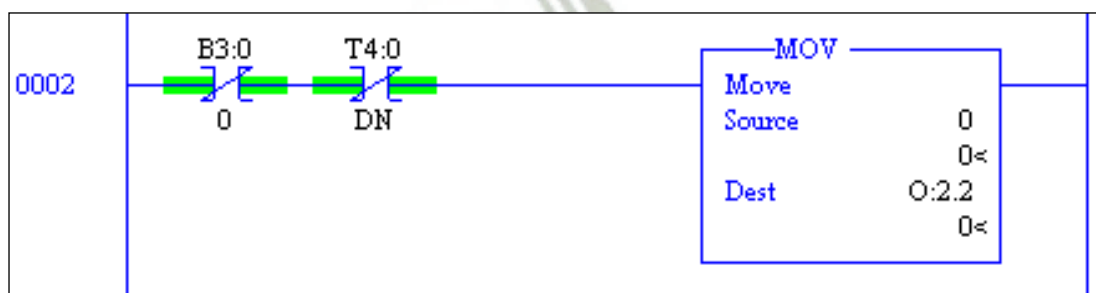


Figura 5. 24: Programa ladder de generación rampa línea 2, stop de la rampa.
Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0003: Escalamiento del temporizador de 0 a 300 segundos para generar una señal rampa de 0 a 10 Voltios.

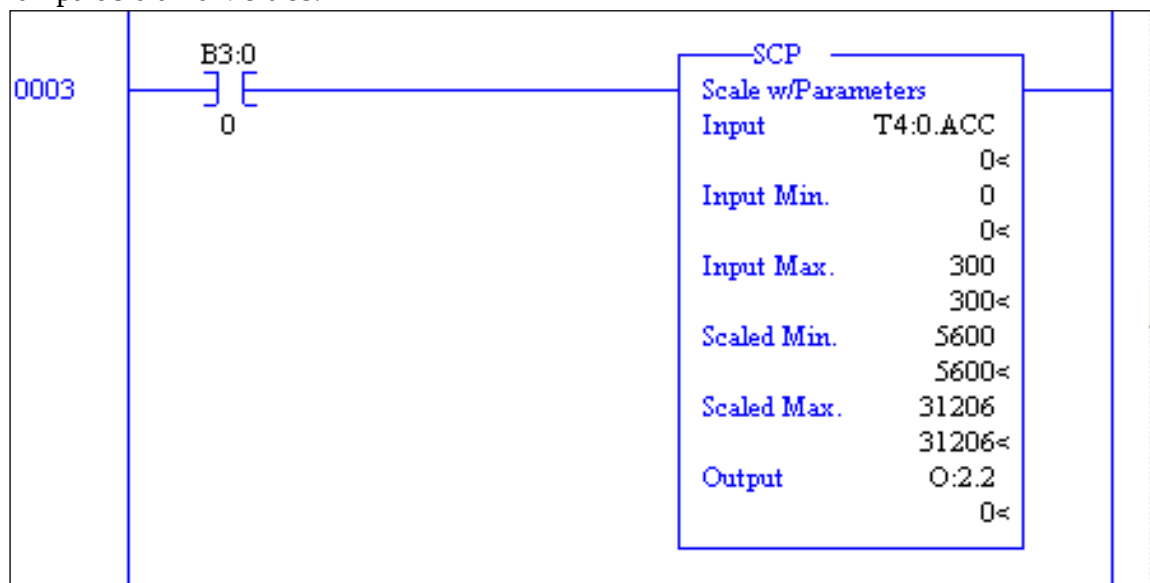


Figura 5. 25: Programa ladder de generación rampa línea 3, escalamiento de la señal rampa.

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0004: Escalamiento de la señal rampa de 0 a 100%

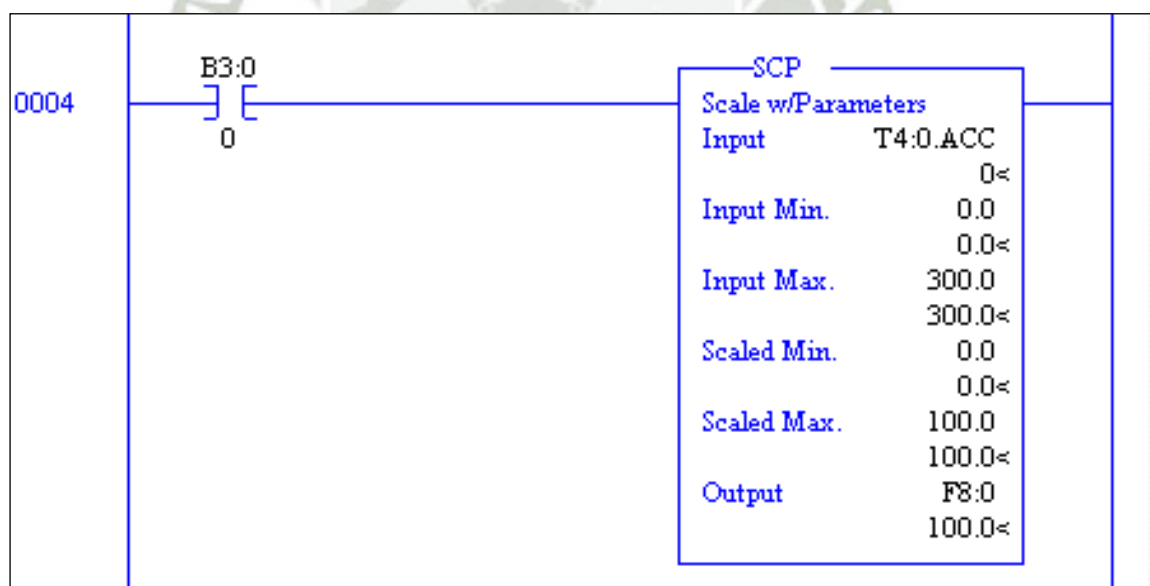


Figura 5. 26: Programa ladder de generación rampa línea 4, escalamiento de la señal rampa en porcentaje.

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0005 y 6: Escalamiento de la señal análoga de corriente de 0 a 1500 mA.

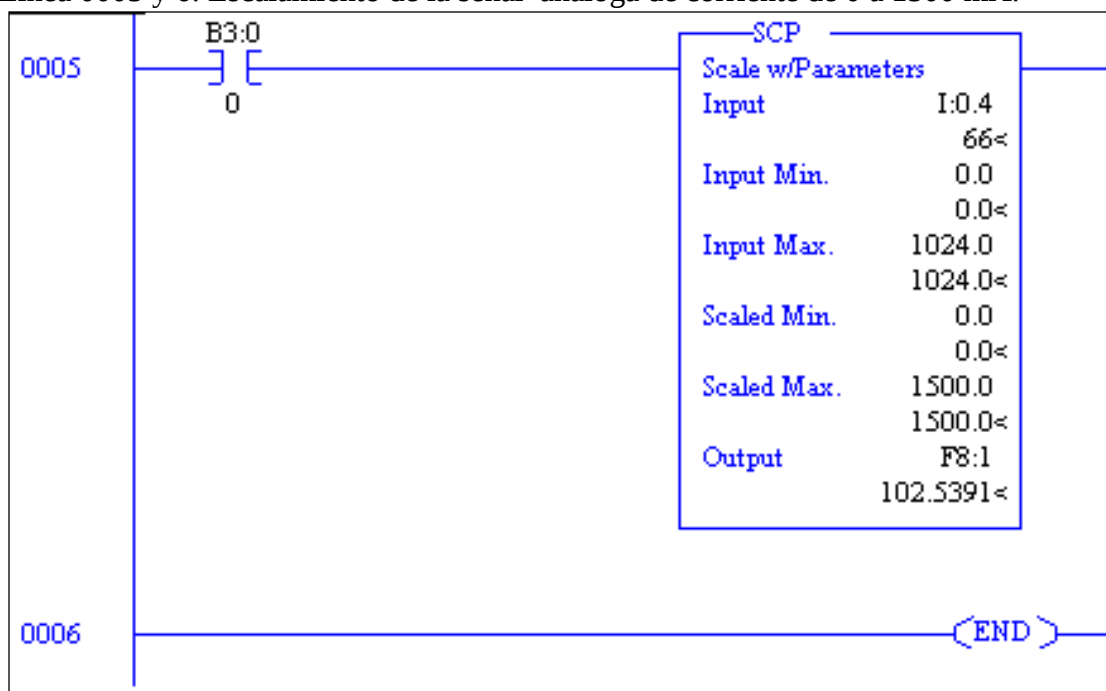


Figura 5. 27: Programa ladder de generación rampa línea 5 y 6, escalamiento de la señal de corriente del tornillo alimentador.

Fuente: Programa RSLogix 500.

El objetivo de realizar la función rampa como excitación al sistema es para definir la región de trabajo de control. En las figuras 5.28 y 5.29 se muestra la zona lineal, el cual establece los rangos de set point de nuestro sistema que va de 110 mA a 170 mA. Además en la gráfica se establece los valores de trabajo de la función escalón de 1 a 2.4 voltios.

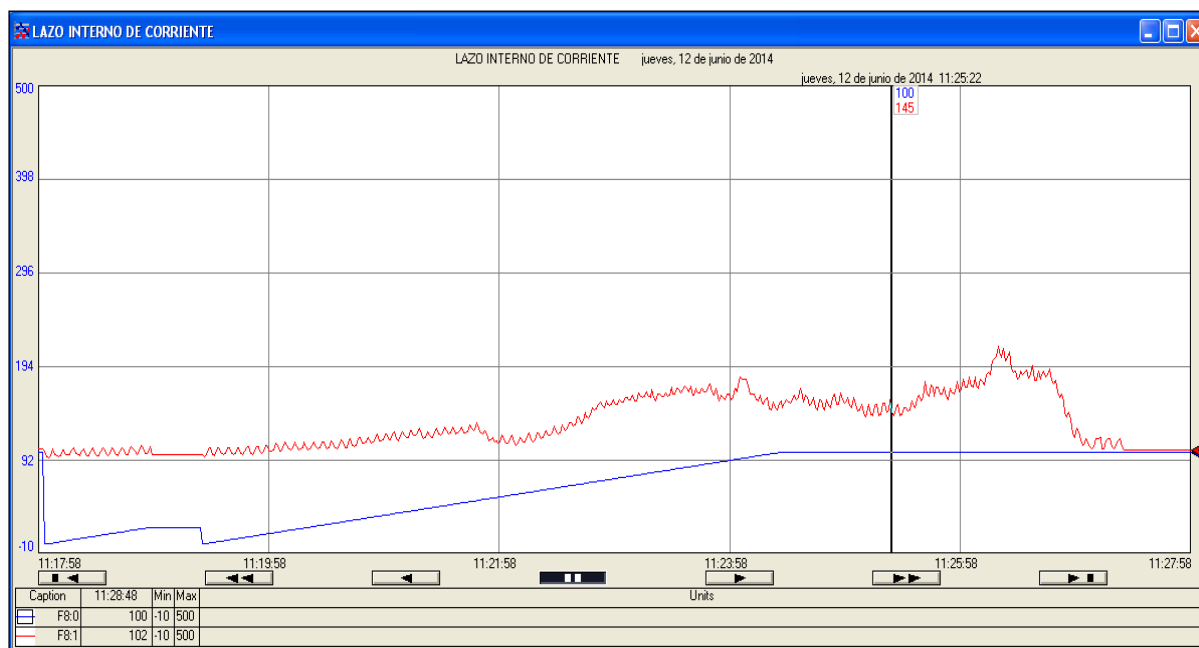


Figura 5. 28: Gráfica de la rampa generada y la respuesta del sistema para el lazo interno de corriente.

Fuente: Programa RSLogix 500.

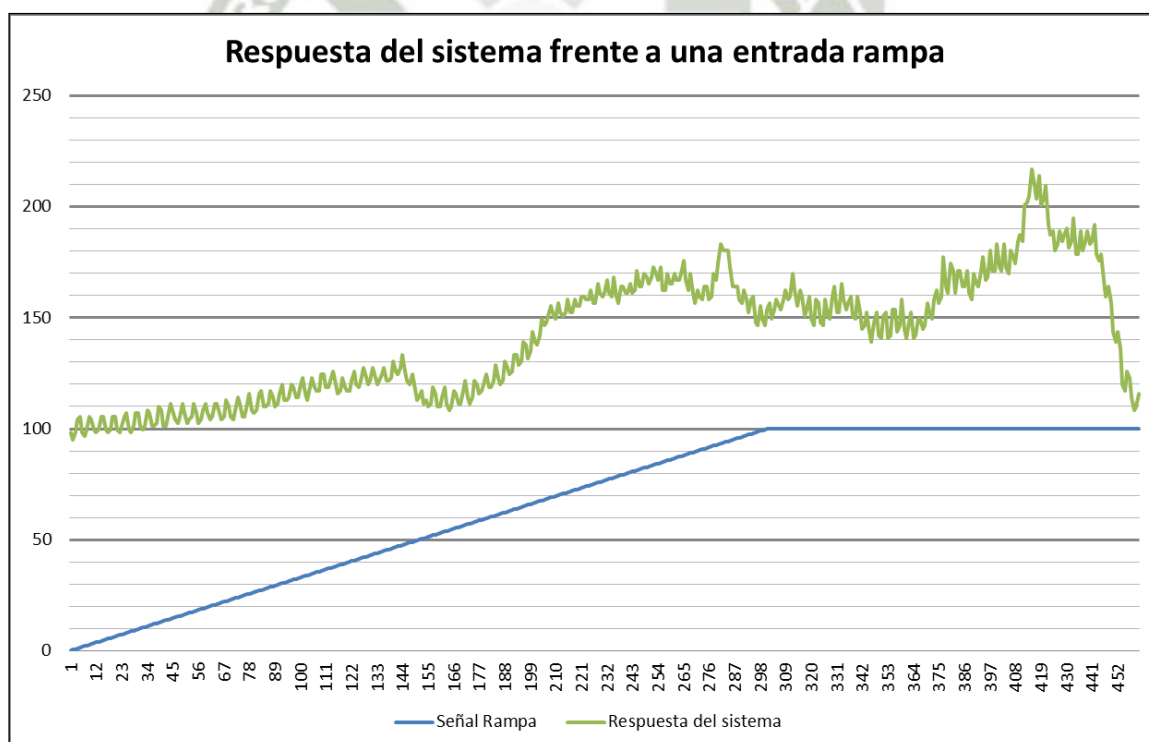


Figura 5. 29: Gráfica de la rampa generada y la respuesta del sistema para el lazo interno de corriente.

Fuente: Microsoft Office.

5.4. Programa Ladder para la generación de la función tipo escalón para el lazo interno de corriente.

Línea 000: Señal de Start y Stop con un tiempo experimental de estabilización de 30 segundos.

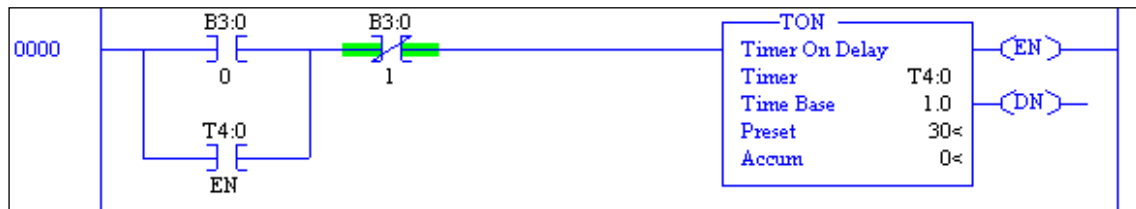


Figura 5. 30: Programa ladder para la generación de una señal tipo escalón línea 0, Tiempo de Estabilización .

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 001: Para el tiempo experimental de estabilización, se establece el valor del nivel mínimo de la señal escalón.

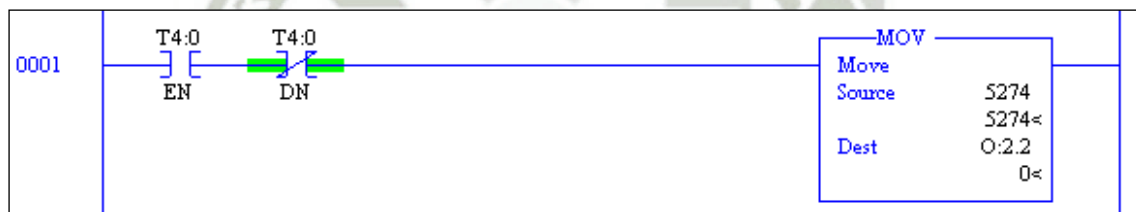


Figura 5. 31: Programa ladder para la generación de una señal tipo escalón línea 1, valor del nivel mínimo de la señal escalón.

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 002: Cuando termine el tiempo experimental de estabilización del sistema se establece el valor del nivel alto de la señal escalón.

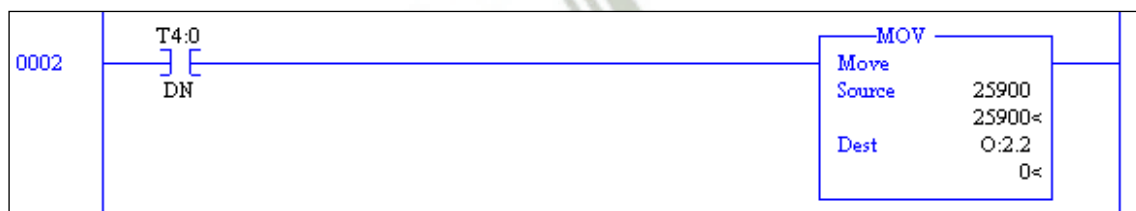


Figura 5. 32: Programa ladder para la generación de una señal tipo escalón línea 2, valor del nivel alto de la señal escalón.

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 003: Cuando se presione STOP ó habilite el bit “B3:0/1” se detendrá el dosificador cargándole el valor de “0” en su salida.

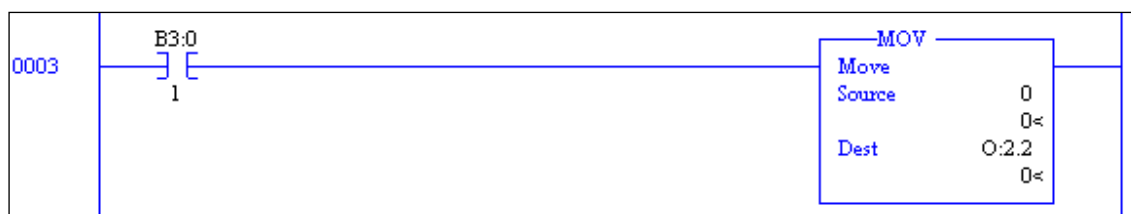


Figura 5. 33: Programa ladder para la generación de una señal tipo escalón línea 3, valor del nivel alto de la señal escalón.
Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 004: Escalamiento del convertidor analógico de corriente de 0 a 1500 mA.

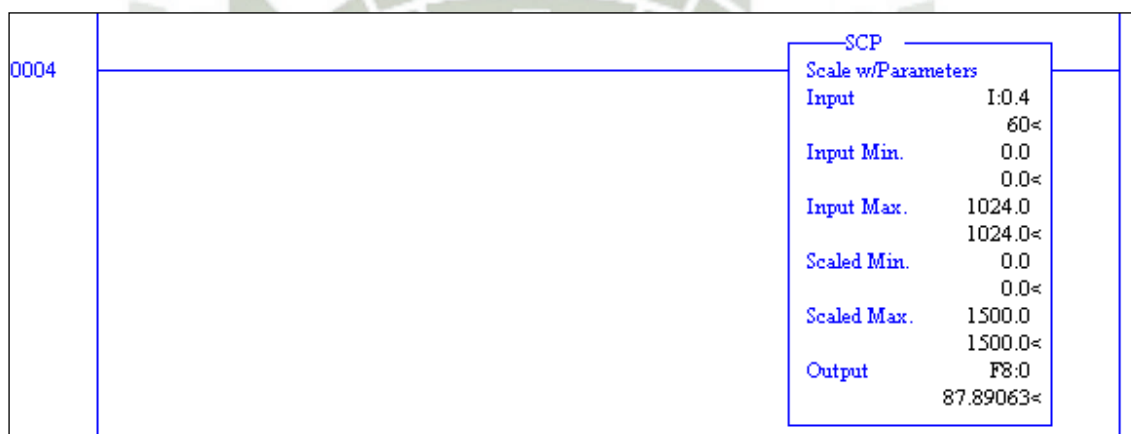


Figura 5. 34: Programa ladder para la generación de una señal tipo escalón línea 4.escalamiento del convertidor analógico de 0 a 1500 mA.
Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 005 y 6: Escalamiento de la señal PWM para el control de velocidad del dosificador.

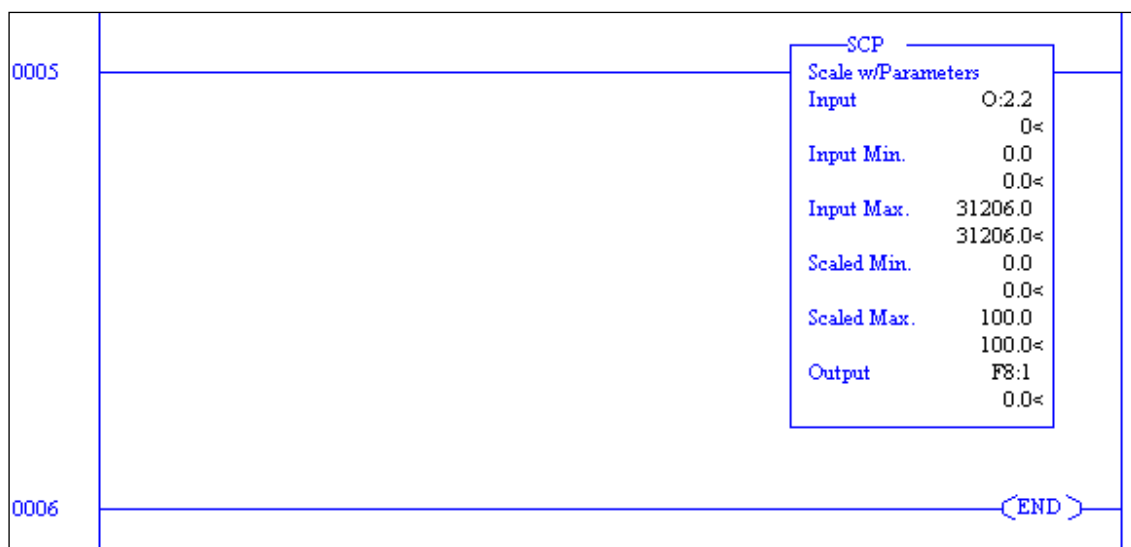


Figura 5. 35: Programa ladder para la generación de una señal tipo escalón línea 5 y 6, escalamiento de la señal PWM.
Fuente: Programa RSLogix 500.

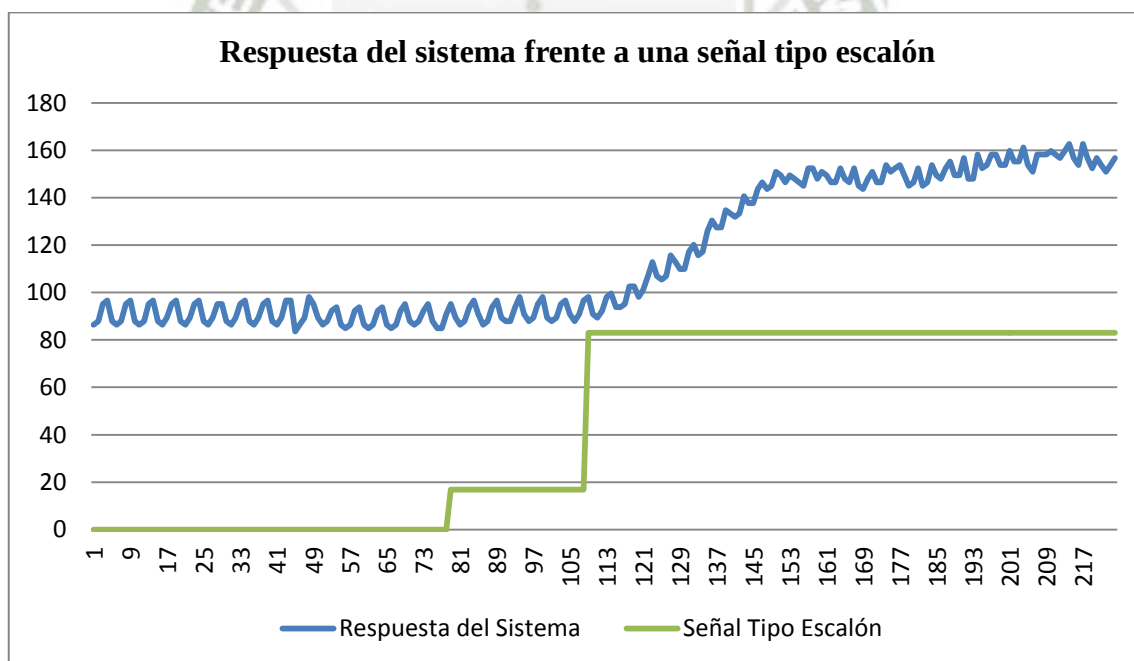


Figura 5. 36: Resuesta del sistema de lazo interno de corriente frente a una señal tipo escalón.
Fuente:Elaboración Propia.

En la Figura 5.36. Se muestra que la respuesta del sistema al escalón genera una función de primer orden. Con la Respuesta Transitoria obtenida es posible hallar la función de transferencia de primer orden de nuestro sistema que se detalla a continuación.

– **Ganancia estacionaria (kc):**

$$k_c = \frac{\Delta Y}{\Delta U} \quad \text{Ecuación 5.20}$$

Utilizando la ecuación 5.1 tenemos:

$$k_c = \frac{158.20 - 98.14}{83.00 - 16.90} = \frac{60.06}{66.1} = 0.9086$$

– **Retardo (Θ):**

$$\Theta = 118 - 108 \rightarrow \Theta = 10[\text{seg}]$$

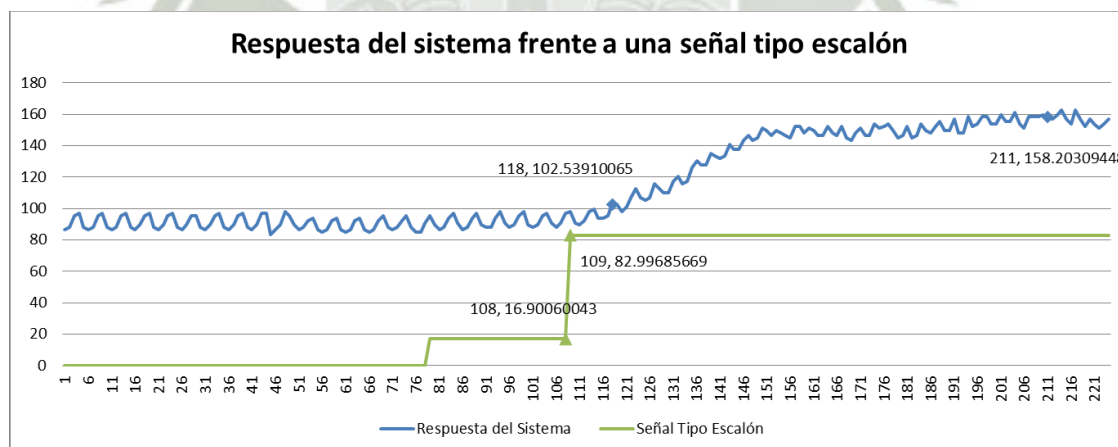


Figura 5. 37: Respuesta del sistema frente a una función escalón, con parámetros para hallar el retardo θ del primer método de sintonización de Ziegler and Nichols.
Fuente: RSLogix 500 Create Snap Show.

– **Constante de tiempo (τ)**

63.2% de 60.06 es 37.96 más el pedestal de 98.14 es 136.1 mA

$$\tau=142-108$$

$$\tau= 34 \text{ segundos}$$

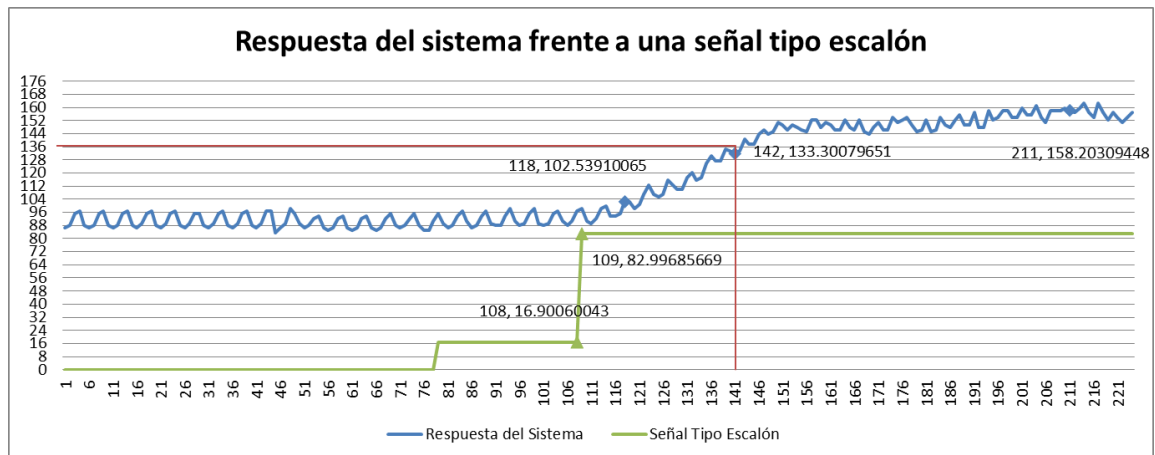


Figura 5. 38: Respuesta del sistema frente a una función escalón, con parámetros para hallar la constante de tiempo τ del primer método de sintonización de Ziegler and Nichols.

Fuente: RSLogix 500 Create Snap Show.

– Función de Transferencia del Sistema

Sacamos la función de transferencia del sistema de primer orden utilizando:

$$G(s) = \frac{k}{\tau s + 1} e^{-\alpha} \quad \text{Ecuación 5.21}$$

Remplazando:

$$G(s) = \frac{0.9086}{34s + 1} e^{-10\tau}$$

- Validación en MATLAB de la Función de Transferencia del sistema.

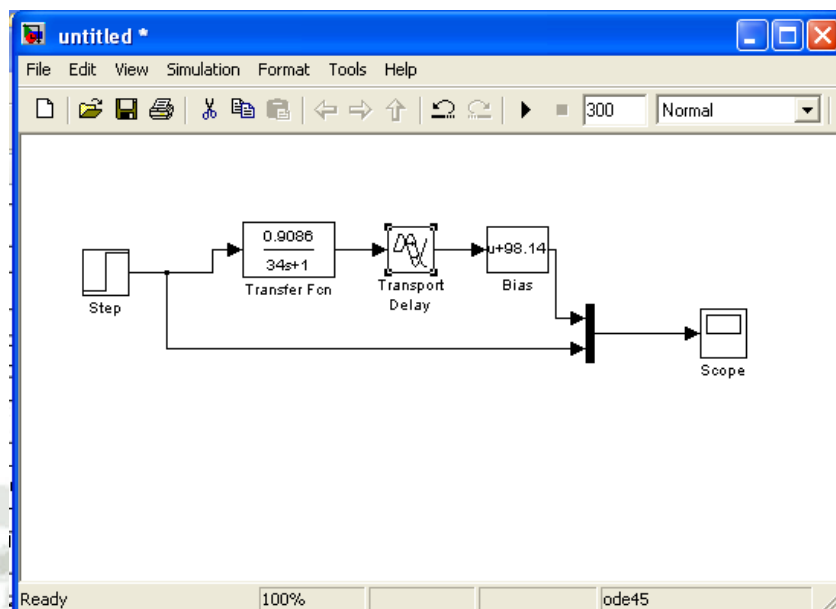


Figura 5. 39: Validación en Simulink de la Función de Transferencia hallado experimental.

Fuente: Software MATLAB 2010 – SIMULINK.

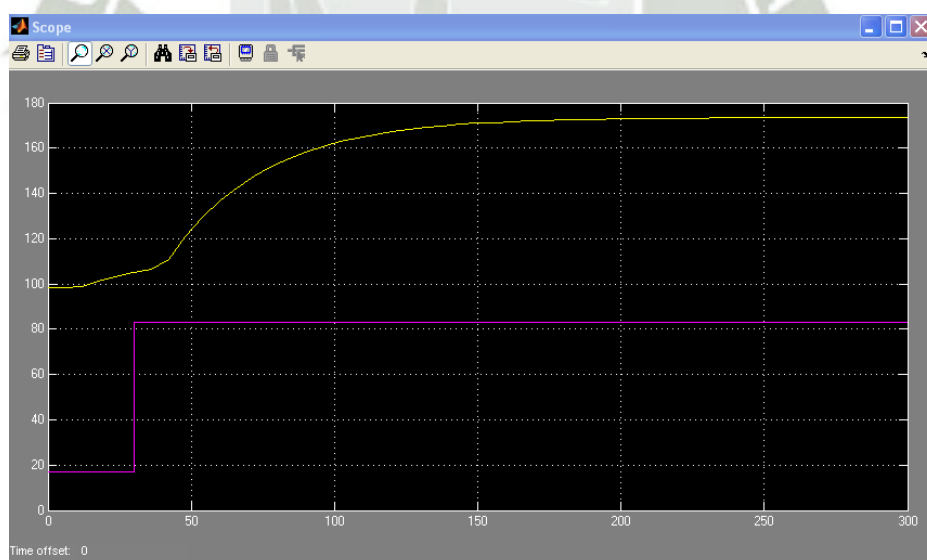


Figura 5. 40: Validación en Simulink de la función de transferencia hallado experimental resultado del SCOPE.

Fuente: MATLAB 2010 – SIMULINK.

La Validación del sistema es correcta debido a que la respuesta del sistema Real (Figura 5.36) es muy similar a la respuesta simulada en SIMULINK-MATLAB (Figura 5.40).

5.5. Sintonización del lazo de control de corriente utilizando regla de sintonización de Ziegler y Nichols basada en la respuesta escalón de la planta (primer método).

5.5.1. Para un sistema de Primer Orden

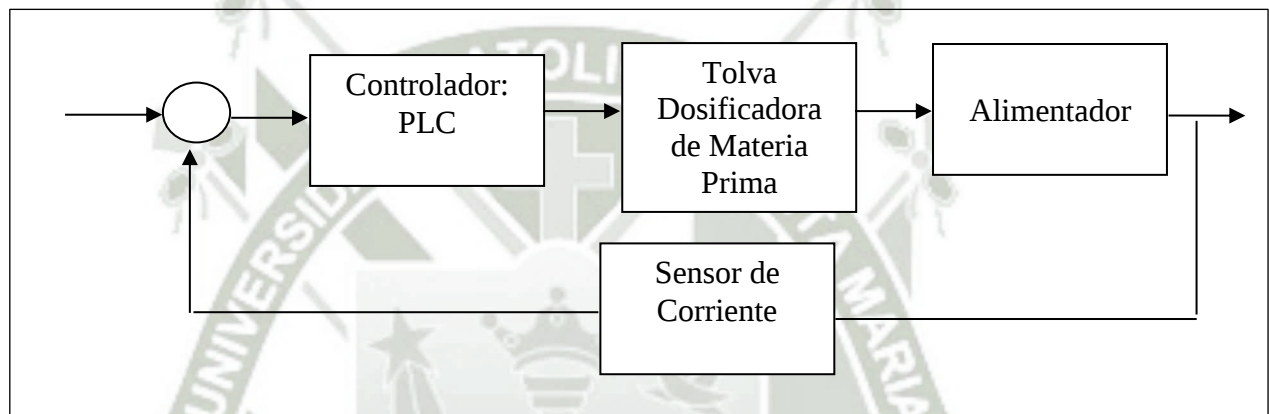


Figura 5. 41: Sistema de lazo cerrado, del bloque de control de temperatura.
Fuente: Elaboración propia.

5.5.2. Parámetros de Sintonización

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Tabla 5. 5: Regla de sintonización de Ziegler y Nichols basada en la respuesta escalón de la planta (primer método).

Fuente: Katsuhiko Ogata. Ingeniería de Control Moderna.

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad \text{Ecuación 5.22}$$

Para el caso de un controlador PID, teniendo en cuenta la tabla 5.5. Tenemos

$$G_c(s) = 1.2 \frac{T}{L} \left(1 + \frac{1}{2Ls} + 0.5Ls \right)$$

Obteniendo:

$$G_c(s) = 0.6T \frac{\left(s + \frac{1}{L} \right)^2}{s} \quad \text{Ecuación 5.23}$$

Por lo tanto de acuerdo a la ecuación 5.22, el controlador PID tiene un polo en

el origen y un cero doble en $s = -1/L$

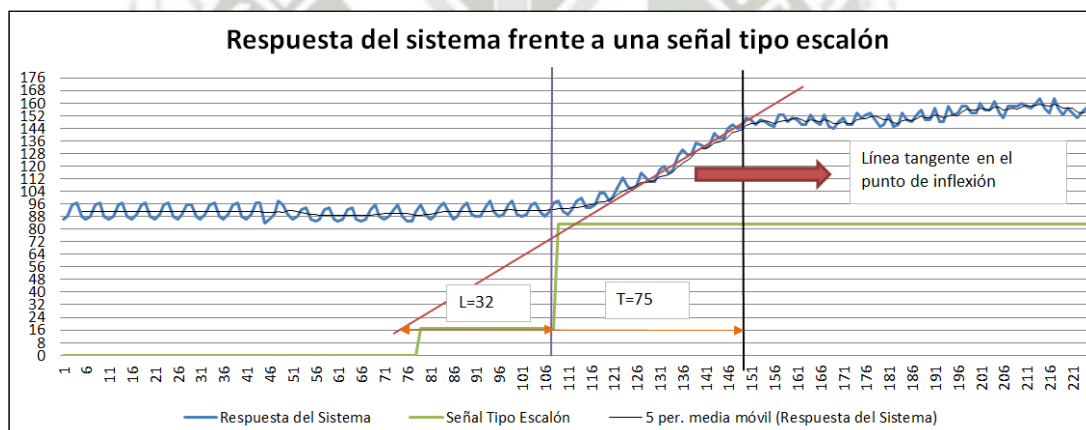


Figura 5. 42: Cálculo del tiempo de retardo L y la constante de tiempo T para el lazo de interno de corriente empleando el primer método de sintonización de Ziegler-Nichols.

Fuente: Elaboración propia.

De la figura 5.58 tenemos que $T=75$ segundos y $L=32$ segundos. Siguiendo la regla de sintonización de Ziegler y Nichols basada en la respuesta escalón de la planta (primer método) mostrada en la tabla 5.6, se tiene:

$$K_p = 1.2 \times \frac{T}{L} = 1.2 \times \frac{75}{\frac{60}{32}} = 2.8125$$

$$T_i = 2 \times L = 2 \times \frac{32}{60} = 1.067 \text{ min}$$

$$T_d = 0.5 \times L = 0.5 \times \frac{39}{60} = 0.267 \text{ min}$$

Tomando como punto de partida los valores calculados de forma teórica, ubicamos los puntos donde el sistema de comporte de la mejor manera de acuerdo a las características de control que requiere nuestro proceso obteniendo los siguientes parámetros:

Kc	Ti	Td
2.8125	1.067	0.267

Tabla 5. 6: Valores de sintonización PID.
Fuente: Elaboración propia.

5.6. Obtención de la función de transferencia experimental para el lazo externo de temperatura

5.6.1. Programa ladder para la generación de una función tipo rampa

Línea 0: tenemos un bit de habilitación para comenzar una rampa de 10 minutos o 600 segundos a través de un temporizador.

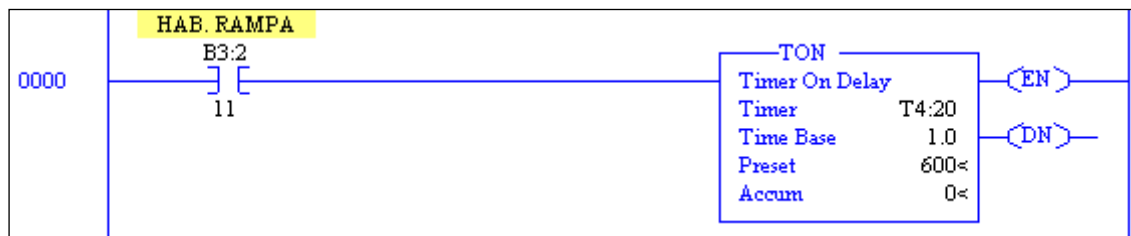


Figura 5. 43: Programa ladder de generación rampa línea 0, timer inicio de rampa.
Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 1: El tiempo se escalará de 0 a 10 voltios en 600 segundos (para el PLC de 0 a 31206).

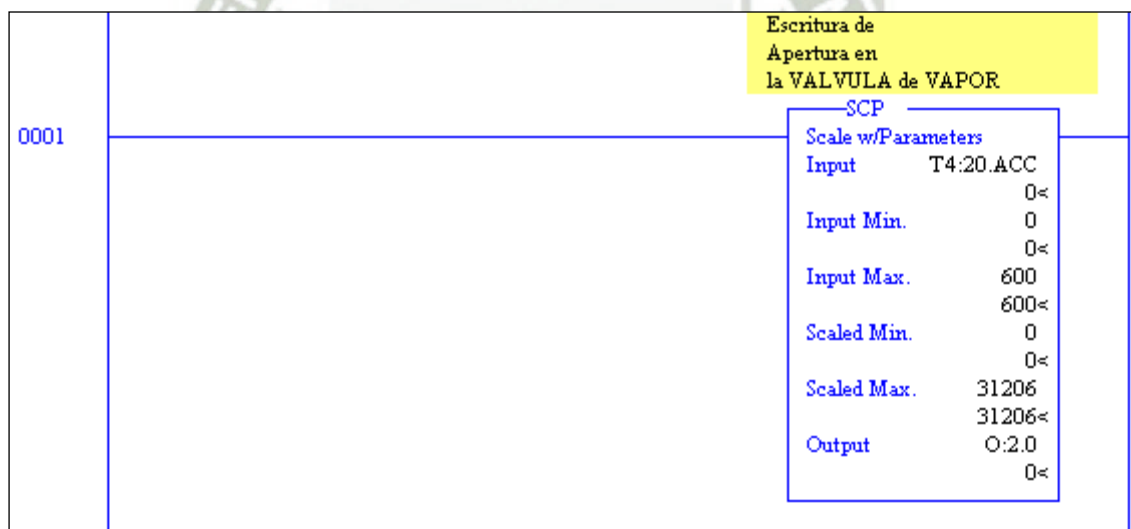


Figura 5. 44: Programa ladder de generación rampa línea 1, convertidor de tiempo a voltaje.
Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 2: Escalamos el tiempo de rampa de 0 a 100% de apertura

0002	Escalamiento de apertura valvula de 0 a 100%	
	SCP	Scale w/Parameters
	Input	T4:20.ACC
		0<
	Input Min.	0.0
		0.0<
	Input Max.	600.0
		600.0<
	Scaled Min.	0.0
		0.0<
	Scaled Max.	100.0
		100.0<
	Output	F8:4
		0.0<

Figura 5. 45: Programa Ladder de Generación Rampa línea 2 escalamiento de 0 a 100% de apertura.

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 3: Escalamos la entrada de temperatura del acondicionador de 0 a 31206 para un rango de 0 a 500°Celsius

0003	TEMPERATURA ACONDICIONADOR ESCALADA	
	SCP	Scale w/Parameters
	Input	I:1.3
		2516<
	Input Min.	0.0
		0.0<
	Input Max.	31206.0
		31206.0<
	Scaled Min.	0.0
		0.0<
	Scaled Max.	500.0
		500.0<
	Output	F8:5
		40.23265<

Figura 5. 46: Programa ladder de generación rampa línea 3 escalamientos de temperatura de 0 a 500 ° C.

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 4: Escalamos la entrada de temperatura del Caldero de 0 a 31206 para un rango de 0 a 500°Celsius

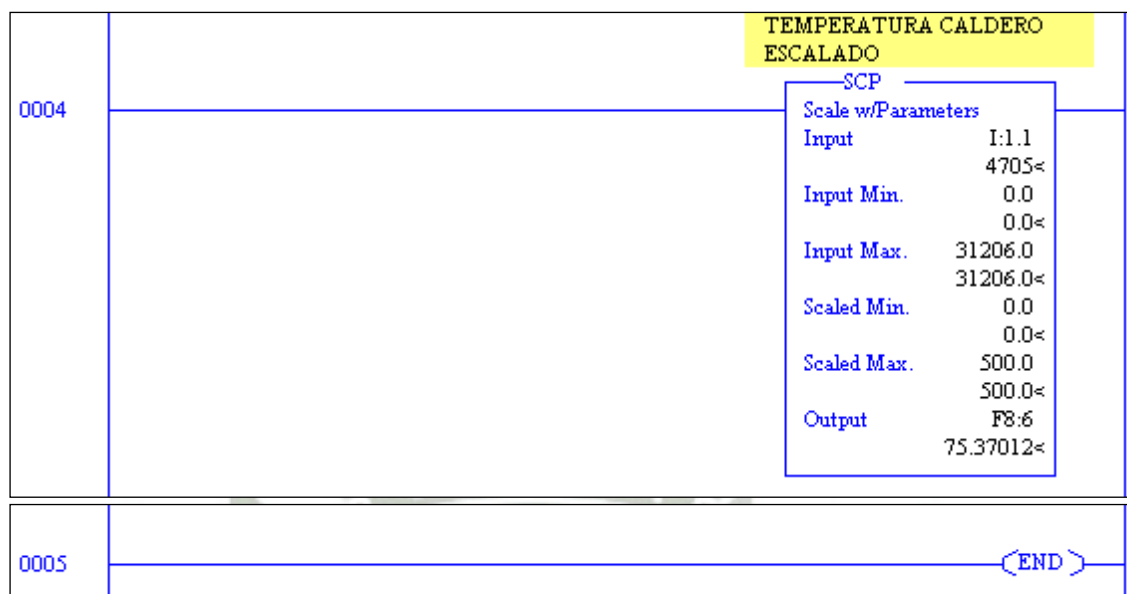


Figura 5. 47: Programa ladder de generación rampa línea 4, escalamiento de temperatura de caldero de 0 a 500°C.
Fuente: Programa RSLogix 500.

El objetivo de realizar la función rampa como excitación al sistema es para definir la región de trabajo de control. En la figura 5.27 se muestra la zona lineal, el cual establece los rangos de set point de nuestro sistema que va de 10° a 24° Centígrados. Además en la gráfica se establece los valores de trabajo de la función escalón de 1 a 2.4 voltios. Es importante mencionar que la generación de la función rampa del lazo externo de temperatura se realizó, con el lazo de interno de control de corriente.

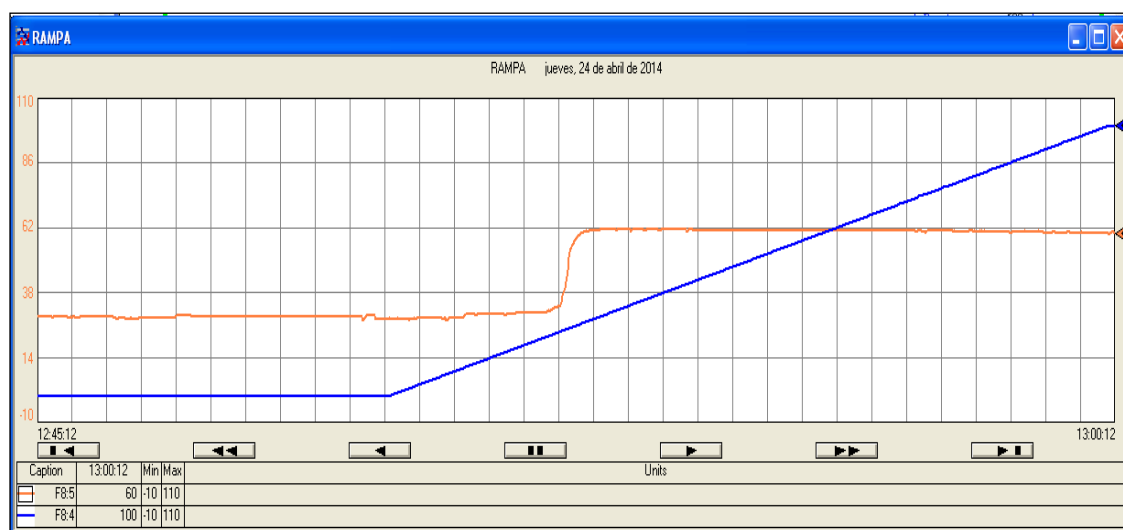


Figura 5. 48: Gráfica de la rampa generada y la respuesta del sistema.
Fuente: Programa RSLogix 500.

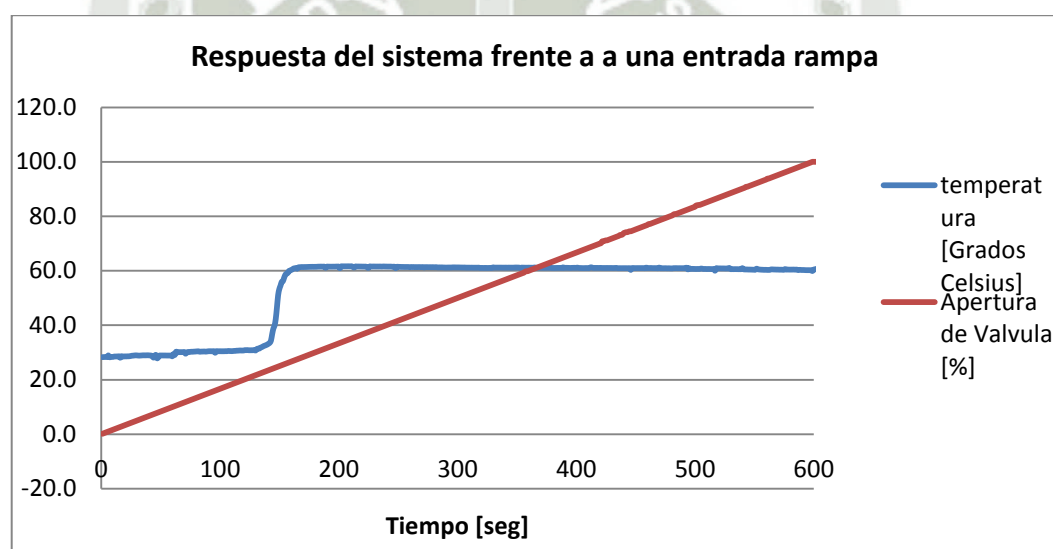


Figura 5. 49: Gráfica de la rampa generada y la respuesta del sistema.
Fuente: Elaboración propia.

5.6.2. Programa ladder para la generación de una función tipo escalón para el lazo externo de Temperatura

Línea 0: Habilita la Función escalón mediante el botón de start. Se utiliza un tiempo de 30 segundos para estabilizar la temperatura del sistema.

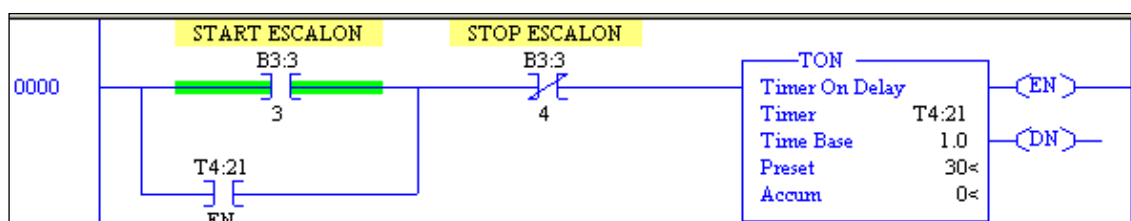


Figura 5. 50: Programa ladder línea 1, tiempo de estabilización de temperatura.
Fuente: RSLogix 500.

Línea 1: Definimos el valor inicial del escalón en 1.0 Voltios que representa 3121digital en el PLC.

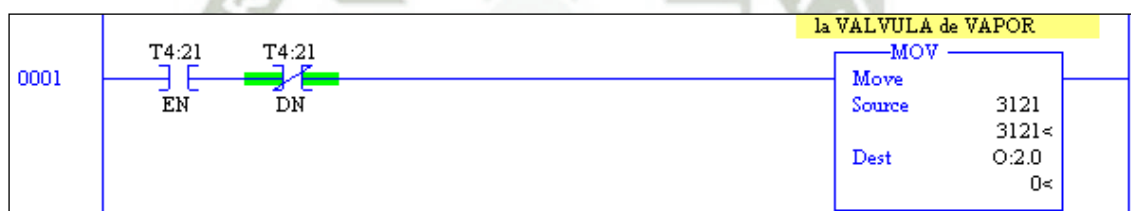


Figura 5. 51: Programa ladder línea, valor de estabilización del 10% de apertura de la válvula (equivalente a 1 Voltio → 3121).
Fuente: RSLogix 500.

Línea 2: Definimos el valor final del escalón en 2.4 Voltios que representa 15603 digital en el PLC.

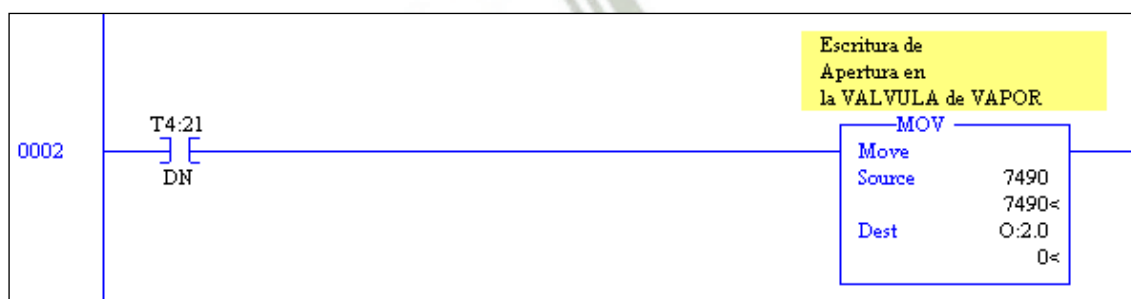


Figura 5. 52: Programa ladder línea 2, valor del escalón al 24% de apertura de la válvula.
Fuente: RSLogix 500.

Línea 3: Cuando se presione el STOP ESCALON, se cargará un valor de 0 a la válvula de control para regresarlo a su posición inicial.

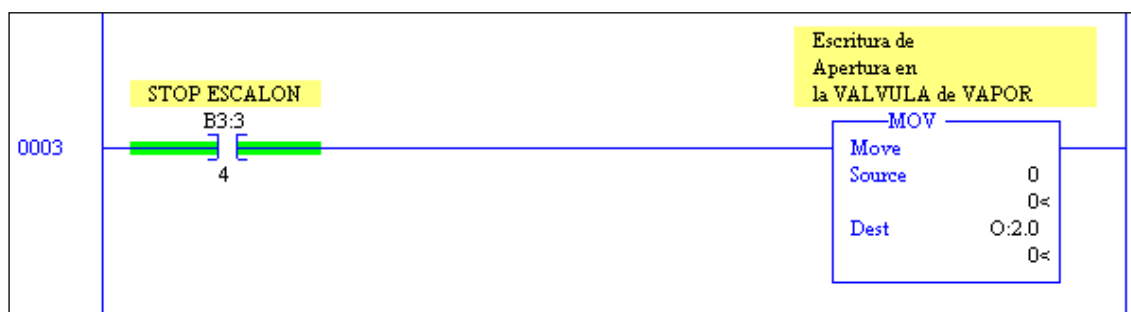


Figura 5. 53: Programa ladder línea 3, stop del escalón.
Fuente: RSLogix 500.

Línea 4: Escalamiento de la temperatura del Acondicionador de 0 a 500°C

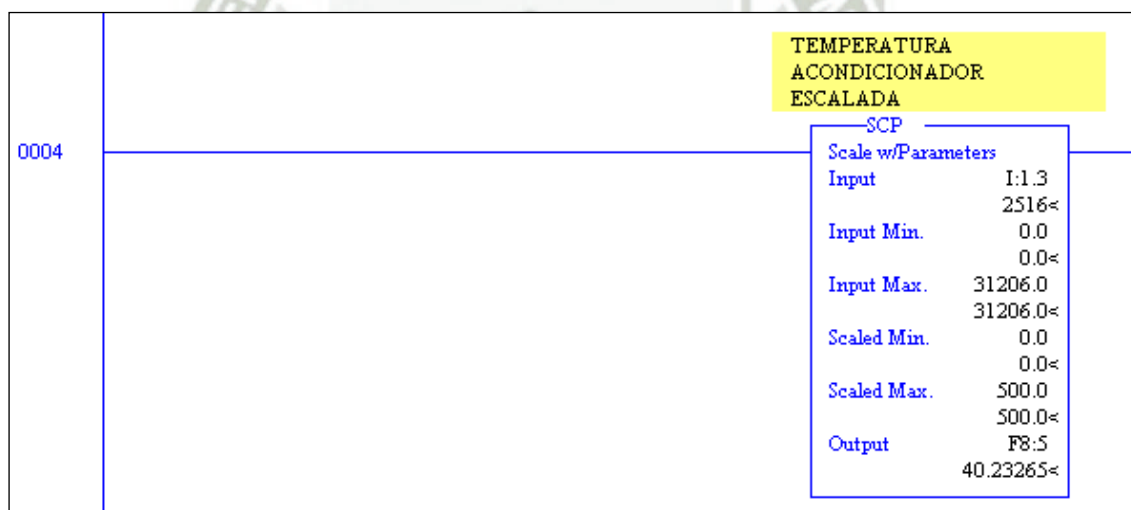


Figura 5. 54: Programa Ladder línea 4, escalamiento de temperatura del acondicionador.
Fuente: RSLogix 500.

Línea 5: Escalamiento de la temperatura del Caldero de 0 a 500°C.

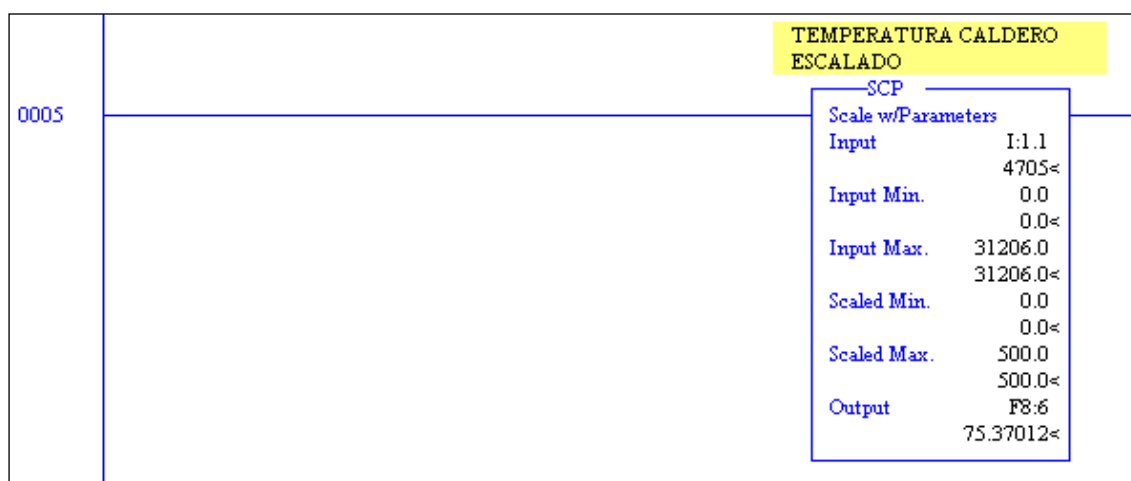


Figura 5. 55: Programa ladder línea 5, escalamiento de temperatura del caldero.
Fuente: RSLogix 500.

Línea 6: Escalamiento de la Apertura de la Válvula de 0 a 100%

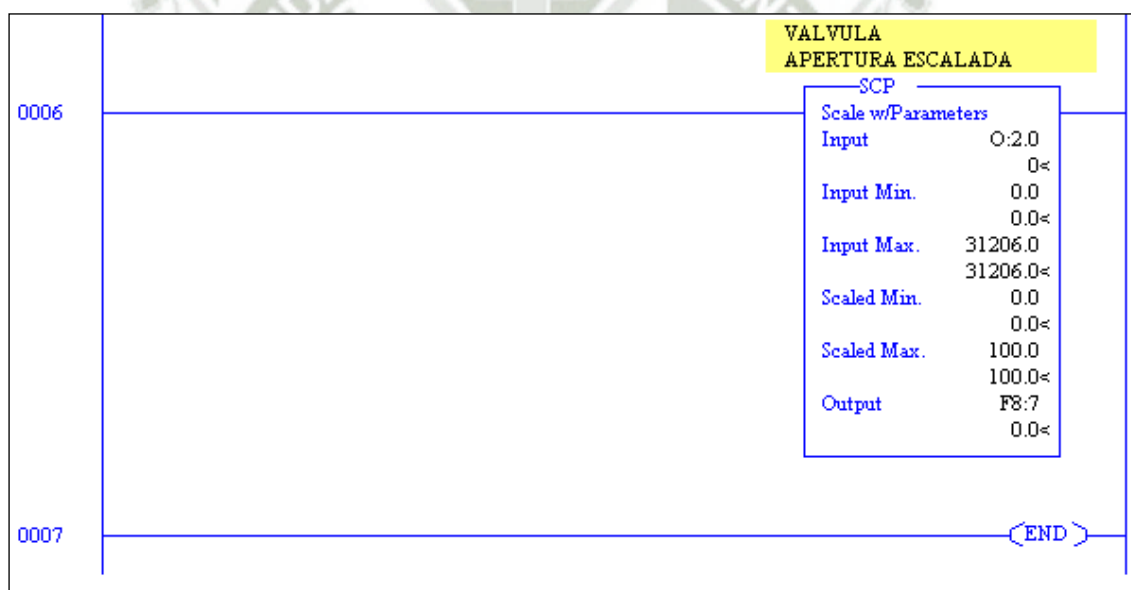


Figura 5. 56: Programa Ladder línea 6, Escalamiento de Apertura de la Válvula de Vapor.
Fuente: RSLogix 500.

En la Figura 5.36. Se muestra que la respuesta del sistema al escalón genera una función de primer orden. Con la Respuesta Transitoria obtenida es posible hallar la función de transferencia de primer orden de nuestro sistema que se detalla a continuación.

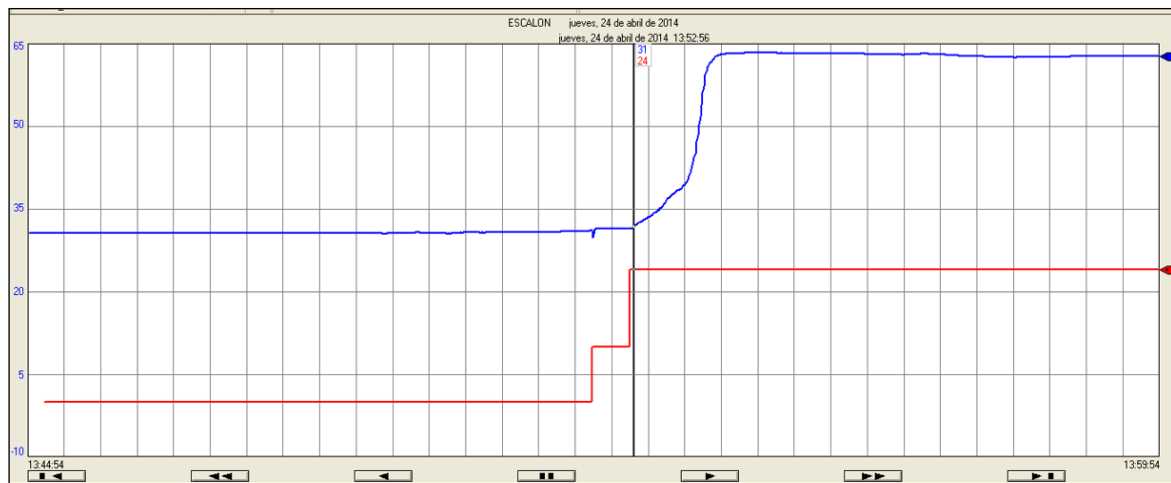


Figura 5. 57: Respuesta del sistema frente a una función escalón, con parámetros para hallar la ganancia K_c del primer método de sintonización de Ziegler and Nichols.

Fuente: RSLogix 500.

En los sistemas de segundo orden, la respuesta ante una entrada escalón no tiene un aspecto único, sino que pueden presentarse tres casos diferentes según la inercia y la amortiguación que presente el sistema.

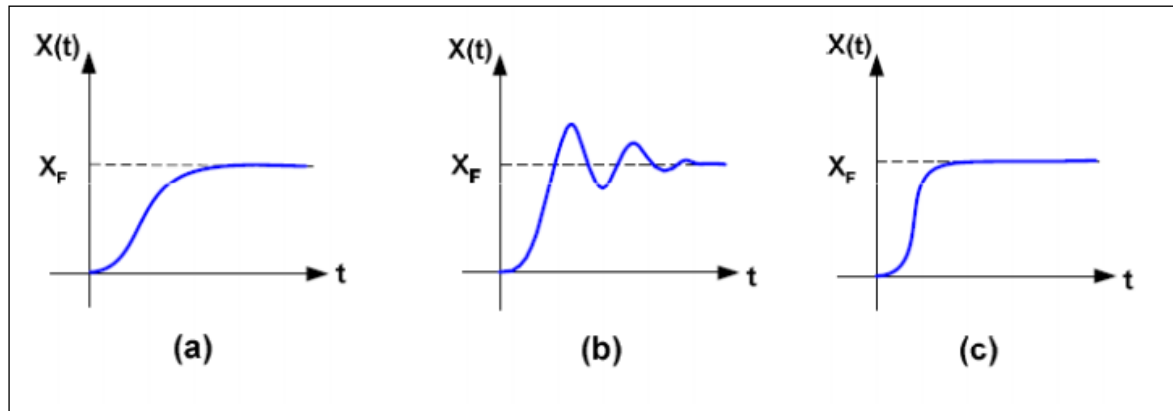


Figura 5. 58: Sistema de segundo orden y sus distinto comportamiento donde, a)es un sistema sobreamortiguado, en sistemas lentos, b)es un sistema subamortiguado, para sistemas rápidos con oscilaciones, y c)es un sistema con amortiguamiento crítico, en sistemas más rápidos que los sobreamortiguados.

Fuente: Elaboración propia.

En nuestro caso el sensor es de segundo orden, porque incluye dos elementos que almacenan inercia y otros dos que la disipan. La relación entre la entrada $x(t)$ y la salida $y(t)$ viene dada por una ecuación diferencial lineal de segundo

orden de la forma:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = x(t)$$

La función de transferencia correspondiente es:

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{k\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}$$

Ecuación 5.24

Donde k es la sensibilidad estática, ξ es el coeficiente de amortiguamiento y ω_n es la frecuencia natural del sensor. Hacen falta dos parámetros para definir su comportamiento dinámico u uno para su comportamiento estático. Las expresiones genéricas de los parámetros de un sistema de segundo orden son:

$$k = \frac{1}{a_0}$$

$$\omega_n^2 = \frac{a_0}{a_2}$$

$$\xi = \frac{a_2}{2} (a_0 \cdot a_2)^2$$

Ecuación 5.25

Puede observarse que estos tres parámetros son independientes y que la modificación que la modificación de uno de ellos puede afectar a los otros dos. Sólo a_0 , a_1 y a_2 son independientes entre sí.

La figura 5.57 muestra un sistema de segundo orden para un sistema con amortiguamiento crítico, para el método de sintonización aproximaremos la respuesta a un sistema de primer orden.

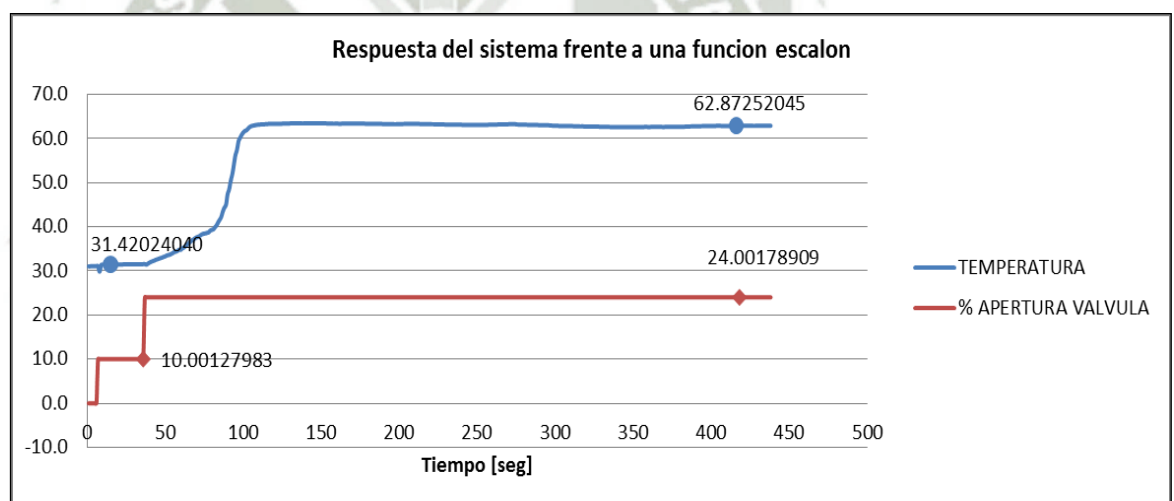


Figura 5. 59: Respuesta del sistema frente a una función escalón, con parámetros para hallar la ganancia K_c del primer método de sintonización de Ziegler and Nichols.

Fuente: RSLogix 500 Create Snap Show.

– **Ganancia estacionaria (k_c):**

$$k_c = \frac{\Delta Y}{\Delta U} \quad \text{Ecuación 5.24}$$

Utilizando la ecuación 5.1 tenemos:

$$k_c = \frac{62.87 - 31.42}{24 - 10} = \frac{31.45}{14} = 2.246 \rightarrow k_c = 2.246$$

– **Retardo (Θ):**

$$\Theta = 52:51:10 - 52:51:00 \rightarrow \Theta = 10[\text{mseg}]$$

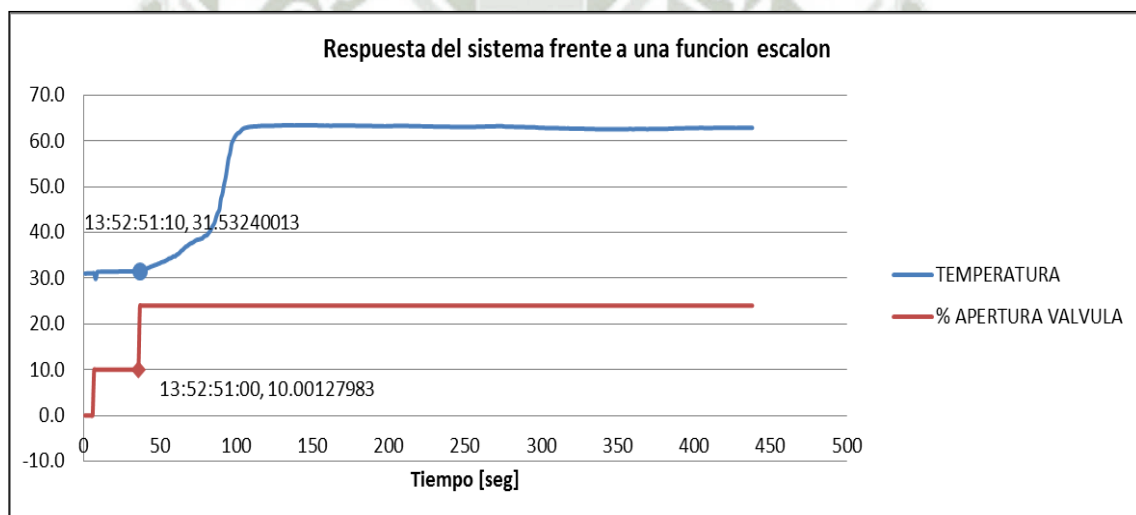


Figura 5. 60: *Respuesta del sistema frente a una función escalón, con parámetros para hallar el retardo θ del primer método de sintonización de Ziegler and Nichols.*

Fuente: RSLogix 500 Create Snap Show.

– **Constante de tiempo (τ)**

63.2% de 29.82 es 18.85 más el pedestal de 31.95 $\rightarrow$ es 50.8

$$\tau = 52:51'' - 53:49''$$

$$\tau = 58 \text{ segundos}$$

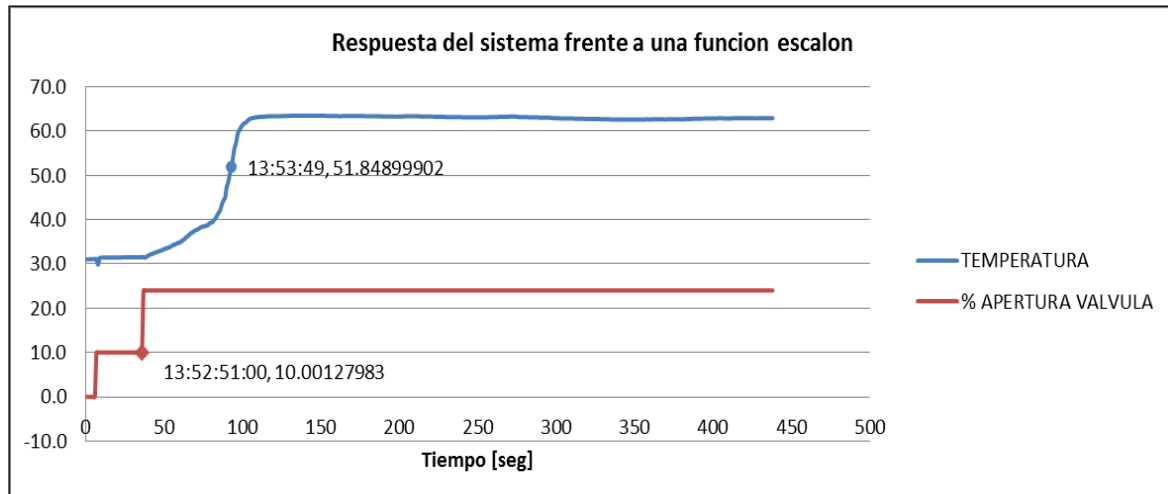


Figura 5. 61: Respuesta del sistema frente a una función escalón, con parámetros para hallar la constante de tiempo τ del primer método de sintonización de Ziegler and Nichols.

Fuente: RSLogix 500 Create Snap Show.

– Función de Transferencia del Sistema

Sacamos la función de transferencia del sistema de primer orden utilizando:

$$G(s) = \frac{k}{\tau s + 1} e^{-\alpha} \quad \text{Ecuación 5.25}$$

Remplazando:

$$G(s) = \frac{2.245}{58s + 1} e^{-0.1s}$$

- Validación en MATLAB de la Función de Transferencia del sistema.

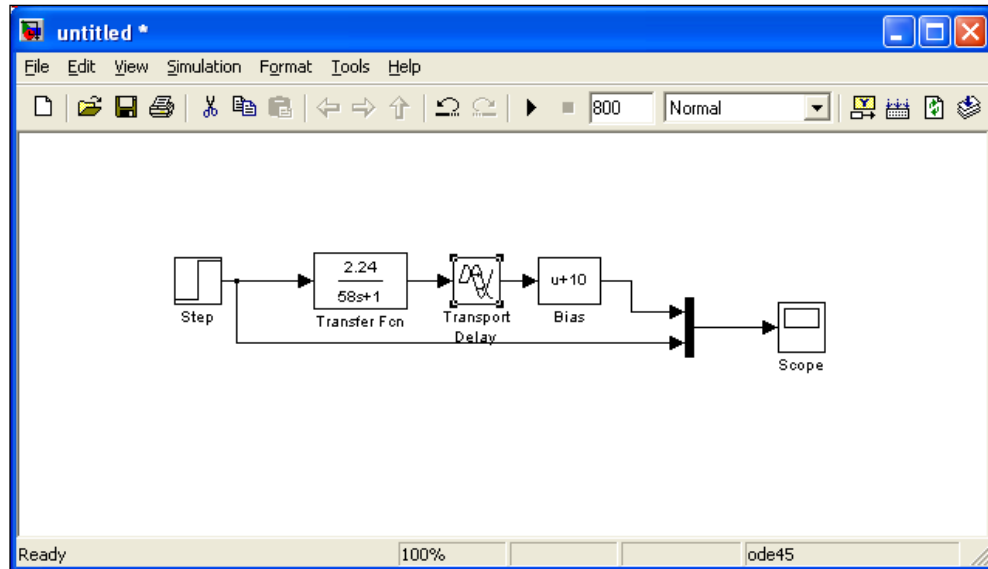


Figura 5. 62: Validación en Simulink de la Función de Transferencia hallado experimental.

Fuente: Software MATLAB 2010 – SIMULINK.

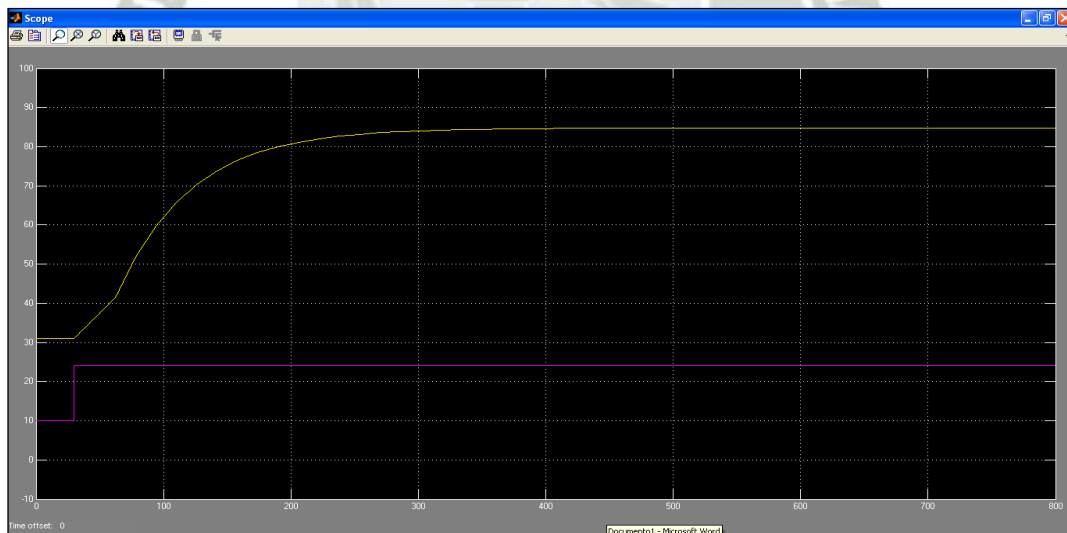


Figura 5. 63: Validación en Simulink de la función de transferencia hallado experimental resultado del SCOPE.

Fuente: MATLAB 2010 – SIMULINK.

La Validación del sistema es correcta debido a que la respuesta del sistema Real (Figura 5.57) es muy similar a la respuesta simulada en SIMULINK-MATLAB (Figura 5.62).

5.7. Sintonización del lazo de control de temperatura utilizando regla de sintonización de Ziegler y Nichols basada en la respuesta escalón de la planta (primer método).

5.7.1. Para un sistema de Primer Orden

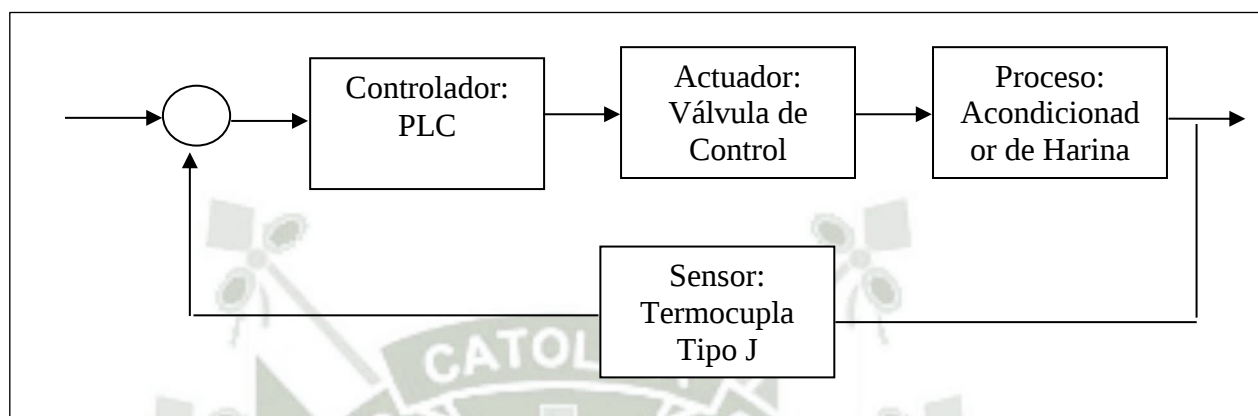


Figura 5. 64: Sistema de lazo cerrado, del bloque de control de temperatura.
Fuente: Elaboración propia.

5.7.2. Parámetros de Sintonización

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Tabla 5. 7: Regla de sintonización de Ziegler y Nichols basada en la respuesta escalón de la planta (primer método).

Fuente: Katsuhiko Ogata. Ingeniería de Control Moderna.

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad \text{Ecuación 5.26}$$

Para el caso de un controlador PID, teniendo en cuenta la tabla 5.6. Tenemos

$$G_c(s) = 1.2 \frac{T}{L} \left(1 + \frac{1}{2Ls} + 0.5Ls \right)$$

Obteniendo:

$$G_C(s) = 0.6T \frac{\left(s + \frac{1}{L}\right)^2}{s} \quad \text{Ecuación 5.27}$$

Por lo tanto de acuerdo a la ecuación 5.22, el controlador PID tiene un polo en

el origen y un cero doble en $s = -1/L$

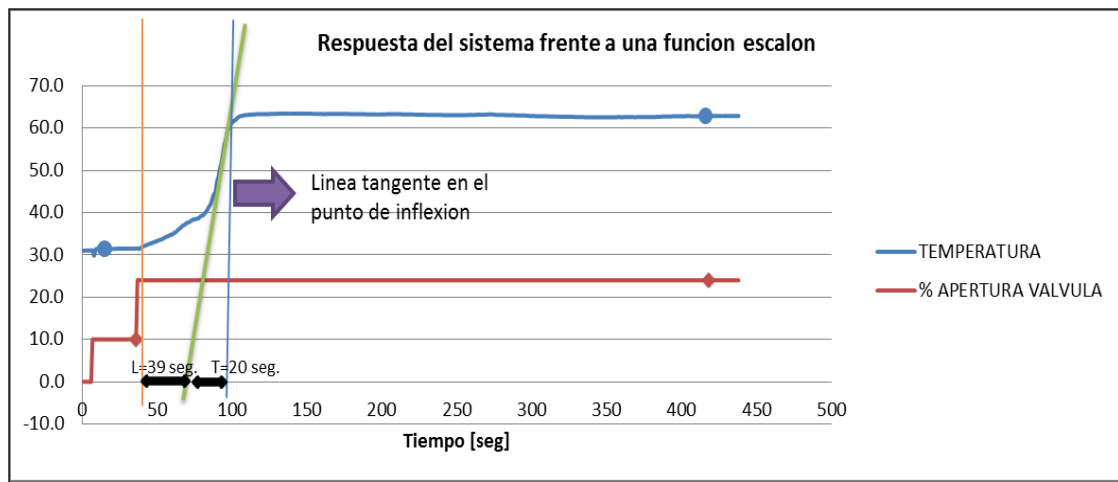


Figura 5. 65: Cálculo del tiempo de retardo L y la constante de tiempo T para el lazo de temperatura empleando el primer método de sintonización de Ziegler-Nichols.
Fuente: Elaboración propia.

De la figura 5.43 tenemos que $T=20$ segundos y $L=39$ segundos. Siguiendo la regla de sintonización de Ziegler y Nichols basada en la respuesta escalón de la planta (primer método) mostrada en la tabla 5.6, se tiene:

$$K_p = 1.2 \times \frac{T}{L} = 1.2 \times \frac{20}{39} = 0.6$$

$$T_i = 2 \times L = 2 \times \frac{39}{60} = 2 \times 0.65 \text{ min} = 1.30 \text{ min}$$

$$T_d = 0.5 \times L = 0.5 \times \frac{39}{60} = 0.325 \text{ min}$$

Tomando como punto de partida los valores calculados de forma teórica, ubicamos los puntos donde el sistema de comporte de la mejor manera de acuerdo a las características de control que requiere nuestro proceso obteniendo los siguientes parámetros:

Kc	Ti	Td
0.6	1.30	0.325

Tabla 5. 8: Valores de sintonización PID.
Fuente: Elaboración propia.

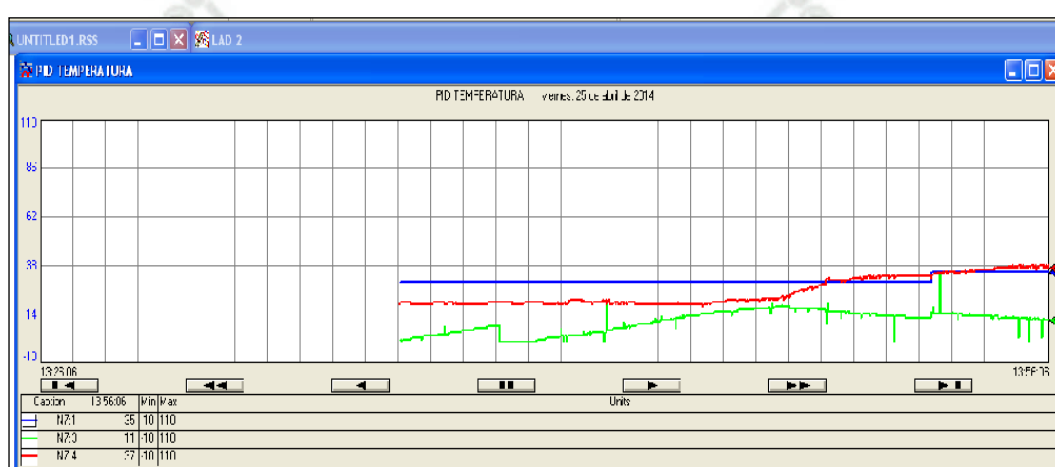


Figura 5. 66: Control del sistema con parámetros de ensayo y error en el sistema.
Fuente: Programa RSLogix 500 – TREND.

5.8. Programación para un control en Cascada del Controlador Micrologix 1100

Este es un programa perteneciente a la familia de Allen Bradley aplicable en Microsoft Windows. La versión utilizada para la aplicación de esta tesis es la 6.3. Antes de empezar con la programación debemos conocer las condiciones de nuestro programa y las entradas, salidas y tags que se van a utilizar.

Condiciones del programa:

1. El único Set Point será la Temperatura.
2. Para una mejor respuesta se aplicará un control cascada, donde el lazo PI maestro se realizará entre el sensor de Temperatura y la válvula de control,

teniendo como entrada el Set Point ingresado por el operador y el esclavo será un lazo PID entre el sensor de corriente y la Variación de velocidad del Alimentador, teniendo como entrada de Set Point la salida controlada por el PI maestro. Basándonos en estas condiciones lo primero que se debe hacer es definir cuáles serán las entradas, salidas y Tags a utilizar en el programa, para esto nos basamos en la tabla 5.8.

ITEM	EQUIPO	TAG	Modo de Trabajo	Rango de Trabajo	Tipo de Señal	Dirección en PLC	Ubicación
1	Pulsador NC	Parada de Emergencia (PE)	Discreto	24	VDC	I:0/9	Exterior Panel
2	Sensor de Temperatura Caldero	TT1	Analógico	0 a 10	VDC	I:1.1	Salida del Caldero
3	Sensor de Temperatura Acondicionador	TT2	Analógico	0 a 10	VDC	I:1.3	Acondicionador
4	Sensor de corriente	TC	Analógico	4 a 20	mA	I:1.2	Interior del Panel
5	Sensor de Humedad	TH	Analógico	0 a 10	VDC	I:1.0	Enfriador
6	Motor Alimentador	M1	PWM	24	VDC	O:2.2	Alimentador
7	Motor Acondicionador	M2	PWM	24	VDC	O:2.1	Acondicionador
8	Válvula de Control	FV	Analógico	0 a 10	VDC	O:2.0	Salida del Caldero
9	Resistencia de Caldero	CR	Discreto	220	VAC	O:0/0	Caldero
10	Control Velocidad Variador	SC	Analógico	0 a 10	VDC	O:2.3	Exterior Panel
11	Start Variador de Velocidad	ST	Discreto	24	VDC	O:0/3	Exterior Panel
12	Stop Variador de Velocidad	STP	Discreto	24	VDC	O:0/1	Exterior Panel
13	Motor Mezclador	M3	Discreto	24	VDC	O:0/2	Mezclador

Tabla 5. 9: Tabla de especificación de equipos.

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo estos datos podemos proceder a obtener los rangos de trabajo que deseamos aplicar tanto en el nivel del tanque como en el Set Point. Para esto se tendrán que realizar unas programaciones previas para poder obtener resultados que nos ayuden a obtener el programa definitivo, para esto se abre el programa RSLogix por medio de su ícono () , apareciendo en pantalla un cuadro como el de la figura

5.8.1. Procedimiento para la puesta en marcha después de la parada de emergencia

1.- Establecer el control del caldero

- Verificar que el nivel de agua pase el 65% de la altura del visor
- Cerrar la válvula de ingreso de agua.
- Se deberá de colocar el valor de set point a 35°Celsius.
- Se deberá colocar el tiempo de encendido y apagado del caldero.

2.- Iniciar el prensado

- Se tendrá que limpiar la prensa
- Verificar que la transmisión
- Verificar la frecuencia del variador a 20Hz

3.- Iniciar el acondicionador diferencial

- Verificar que la transmisión de engranajes esté libre de impurezas.
- Limpiar el acondicionador diferencial.
- Verificar que el sensor de temperatura esté en la salida.

4.- Iniciar el alimentador

- Ajustar el acople rígido.

- Limpiar el alimentador

5.- Iniciar el lazo de flujo o corriente

- Verificar que exista producto dentro de la tolva.
- Ajustar el acople rígido
- Limpiar el Dosificador vertical

6.- Iniciar el lazo de temperatura

- Purgar el condensado de la tubería de vapor.
- Ajustar la unión simple del acondicionador



5.8.2. Rangos de Trabajo de Temperatura

Para poder obtener estos datos primero descargamos un programa LADDER simple en el cual únicamente se verá involucrado un SCP (Escala con parámetros) como se muestra en la figura 5.42.



Figura 5. 67: Programa ladder de escalamiento para lazo de temperatura.
Fuente: Programa RSLogix 500.

La Termocupla Tipo J puede sensor de 0 a 500 grados Celsius, es por ello que nuestro rango de trabajo es de 0 °C hasta 100 °C, que traducidos en valor digital para el PLC Micrologix 1100 va de 0 (0 °C) hasta 6241 (100 °C) para valores digitales de 0 a 16383 que serán ingresados al bloque PID.

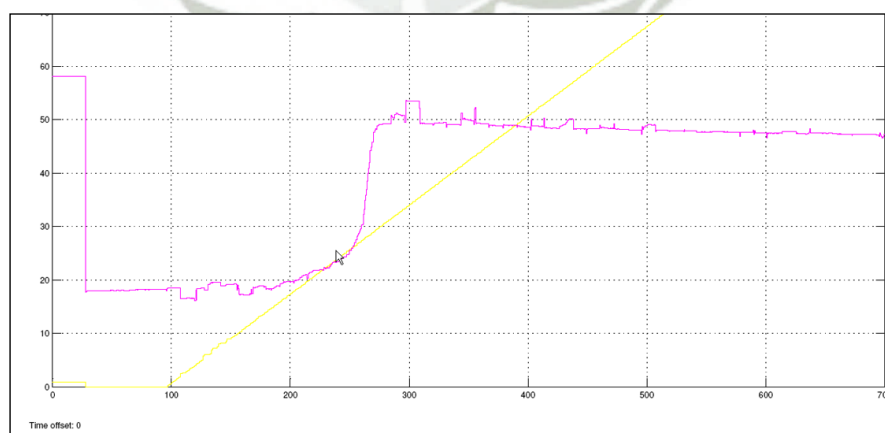


Figura 5. 68: Gráfica de trabajo de temperatura.
Fuente: Programa RSLogix 500.

Para determinar el rango de trabajo del lazo de temperatura nos guiamos de la función rampa que generamos anteriormente, como se observa en la figura 5.43. el rango empieza de 18° hasta 62° aproximadamente.

5.8.3. Rangos de Trabajo de Corriente

Para poder obtener estos datos primero descargamos un programa LADDER simple en el cual únicamente se verá involucrado un SCP (Escala con parámetros) como se muestra en la figura

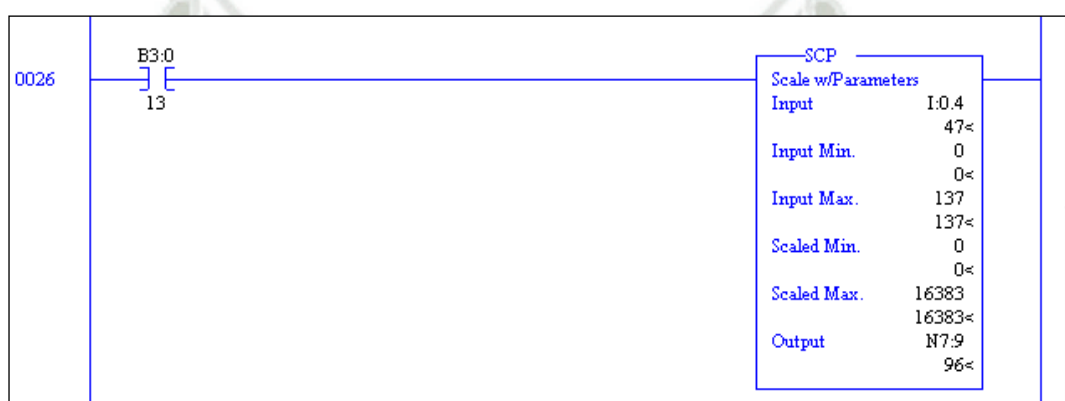


Figura 5. 69: Programa ladder de escalamiento para lazo corriente.
Fuente: Programa RSLogix 500.

El sensor de Corriente puede sensor de 0 a 1500 mA, es por ello que nuestro rango de trabajo es de 70 mA hasta 200 mA, que traducidos en valor digital para el PLC Micrologix 1100 va de 47 (10 °C) hasta 137 (100 °C) para valores digitales de 0 a 1024.

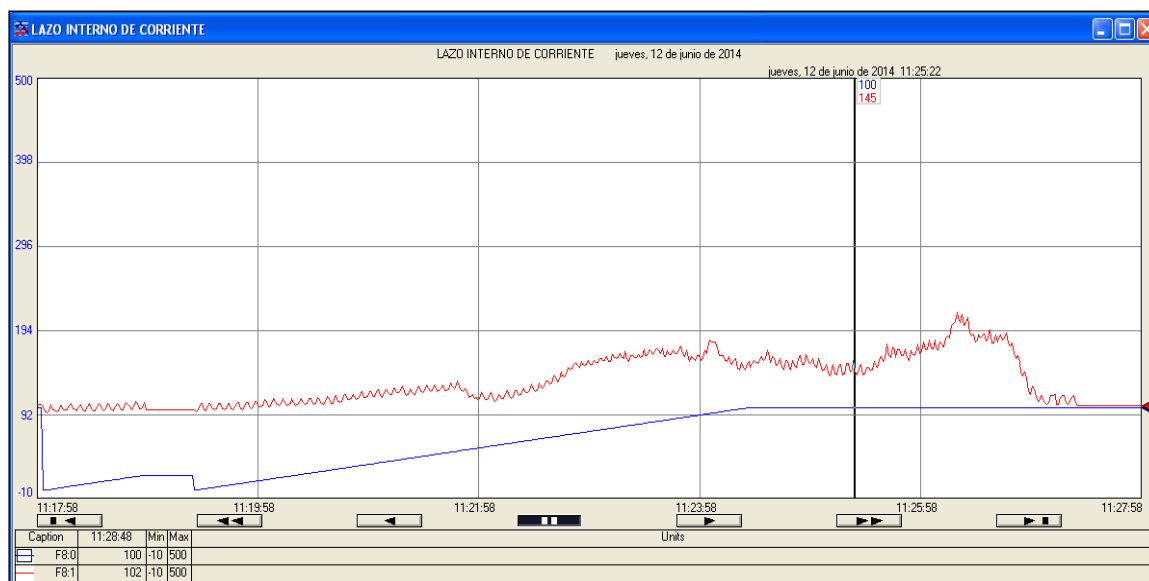


Figura 5. 70: Gráfica de trabajo de rango de trabajo del lazo de corriente.
Fuente: Programa RSLogix 500.

5.8.4. Programa de Control Cascada

Línea 0000: Lazo externo de Control de Temperatura: se realiza el Start, Stop General y Parada de Emergencia del Programa

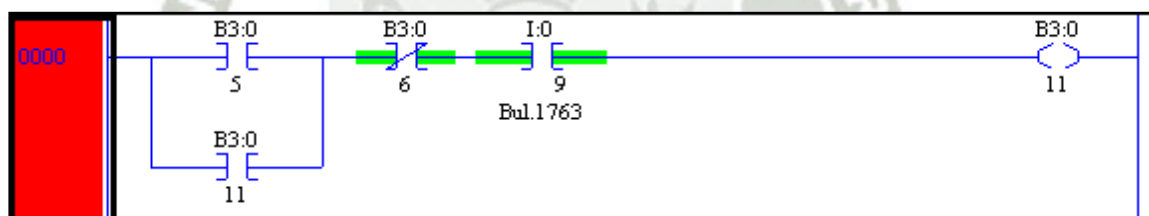


Figura 5. 71: Línea 0000, programa multivariable cascada.
Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0001: Cuando se Presione Stop o Parada de Emergencia se Cargará un valor de 0 la Válvula de Vapor para de esta forma cerrarla.

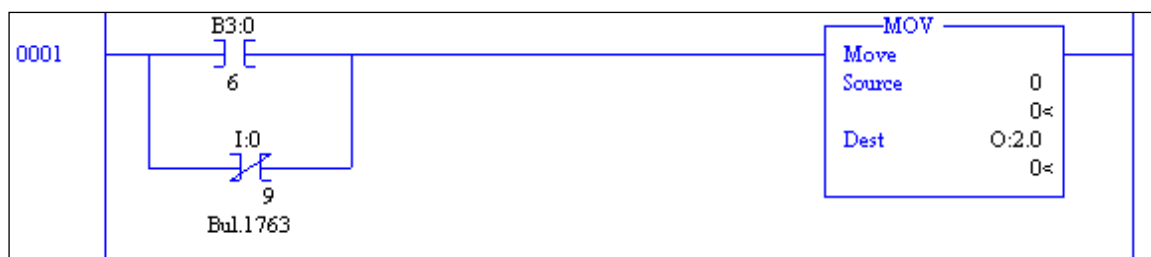


Figura 5. 72: Línea 0001, programa multivariable cascada.
Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0002: Establecemos el rango de trabajo explicado en el Item 5.4.1 y el escalamiento para el bloque PID del sensor de temperatura.

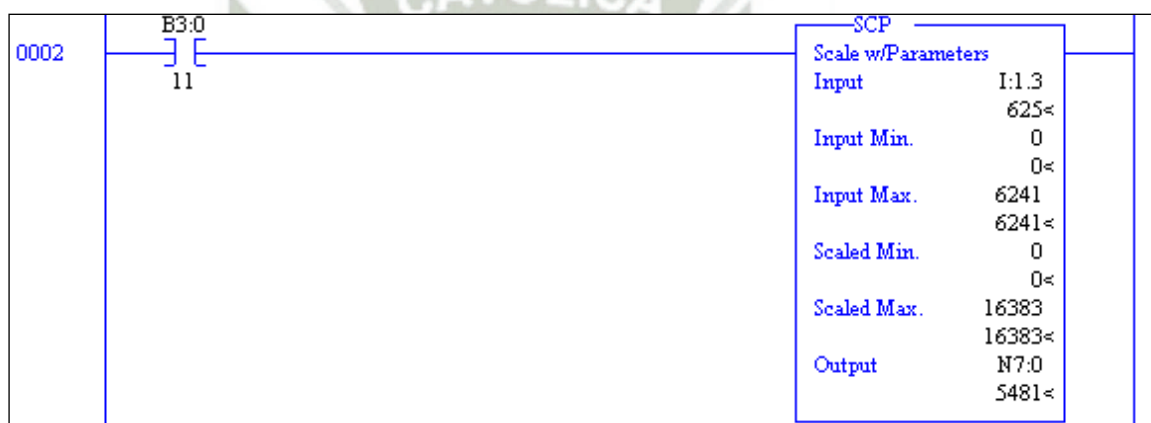


Figura 5. 73: Línea 0002, programa multivariable cascada.
Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0003: Establecemos el Set point con el bloque SCP que va de 0 a 100°C.

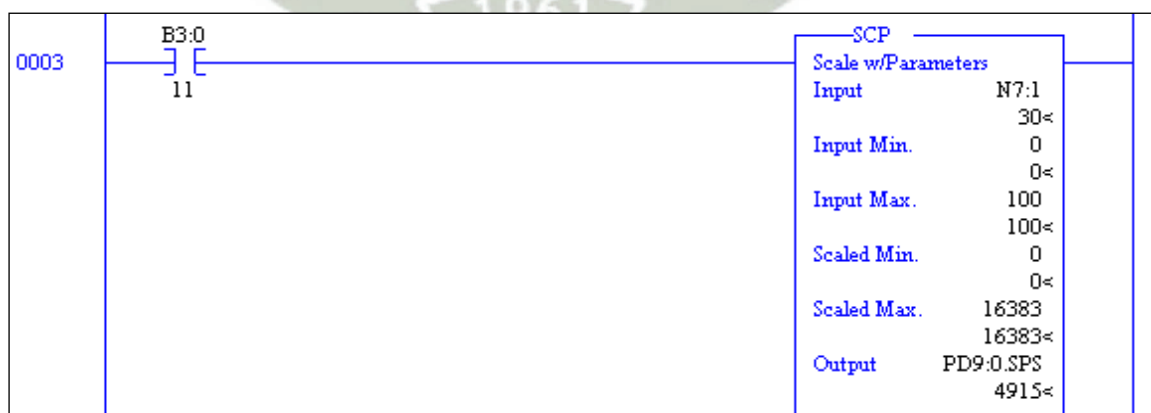


Figura 5. 74: Línea 0003, programa multivariable cascada.
Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0004: Bloque PID, donde ingresamos los parámetros.

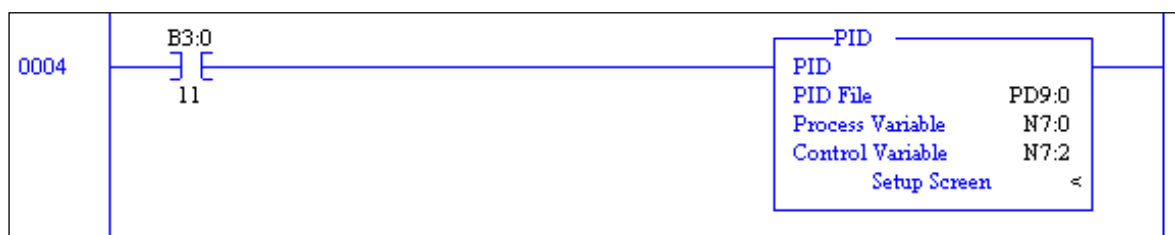


Figura 5. 75: Línea 0004, programa multivariable cascada.

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0005: la salida del PID son valores de 0 a 16383 pero el motor trabaja de 0 a 31206, y es por ello que se escala en el bloque SCP.

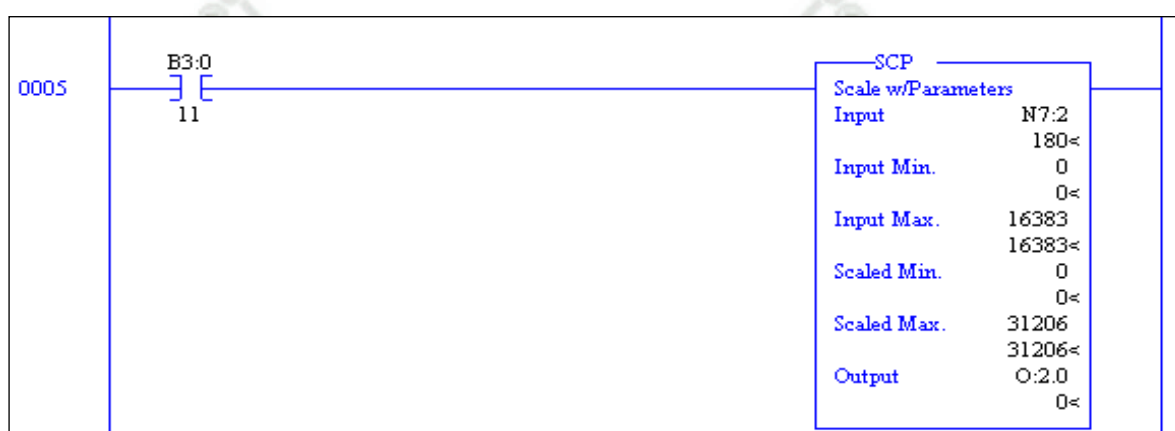


Figura 5. 76: Línea 0004, programa multivariable cascada.

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0006: Escalamos la salida del Bloque PID para poder visualizarlo en el TREND de Temperatura de 0 a 100 °C.



Figura 5. 77: Línea 0006, programa multivariable cascada

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0007: Escalamiento del Rango de trabajo de la Temperatura en el Acondicionador.



Figura 5. 78: Línea 0007, programa multivariable cascada.

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0008: START y STOP y Parada de Emergencia del Tiempo de Conexión y Desconexión del Caldero,

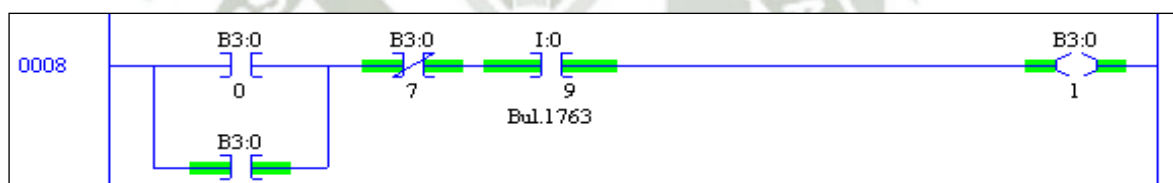


Figura 5. 79: Línea 0008, programa multivariable cascada.

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0009: Cuando se Presione STOP o Parada de Emergencia, se Desconecta el Caldero.

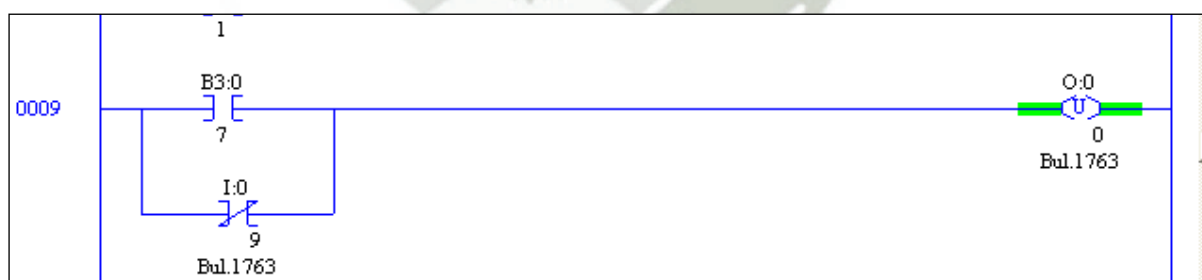


Figura 5. 80: Línea 0009, programa multivariable cascada.

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0010: Tiempo de Conexión del Caldero.

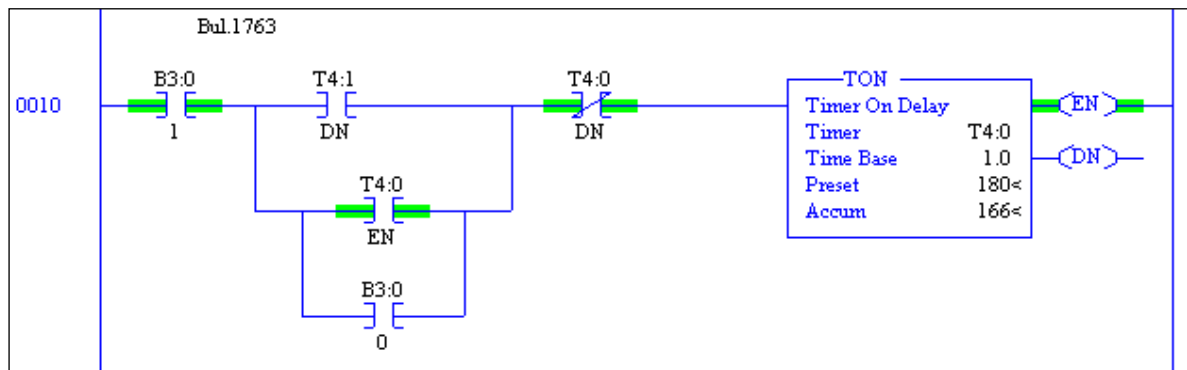


Figura 5. 81: Línea 0010, programa multivariable cascada.

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0011: Tiempo de Desconexión del Caldero.

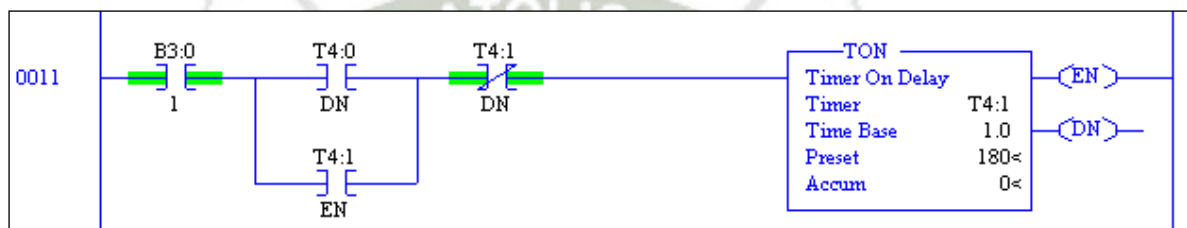


Figura 5. 82: Línea 0011, programa multivariable cascada.

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0012: Cuando el Tiempo de Desconexión Termina, se realiza la conexión del caldero.

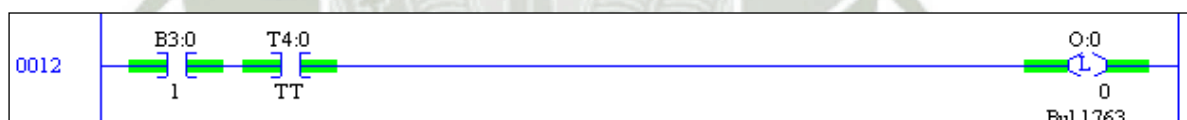


Figura 5. 83: Línea 0012, programa multivariable cascada.

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0013: Cuando el Tiempo de Conexión Termina, se realiza la Desconexión del caldero por “N” segundos.

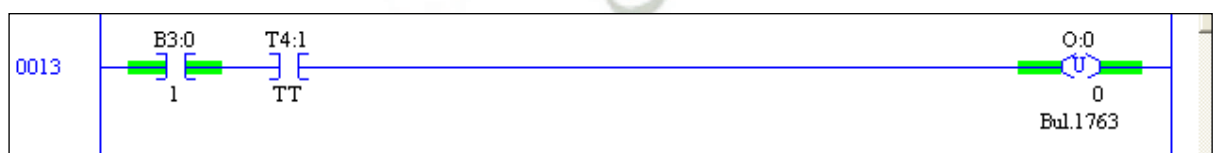


Figura 5. 84: línea 0013, programa multivariable cascada.

Fuente: RSLogix 500.

Línea 0014: Bloque de Control de Velocidad del Acondicionador Con
PWM

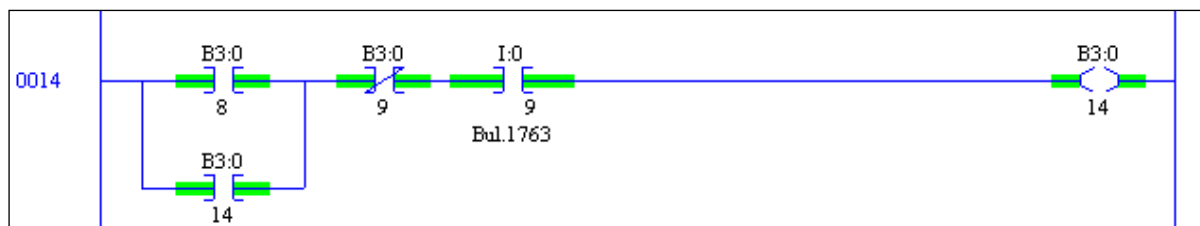


Figura 5. 85: línea 0013, programa multivariable cascada.

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0015: Cuando el STOP o la Parada de Emergencia son activados se
cargará un valor de 20000 al periodo para detener al Motor del
Acondicionador.

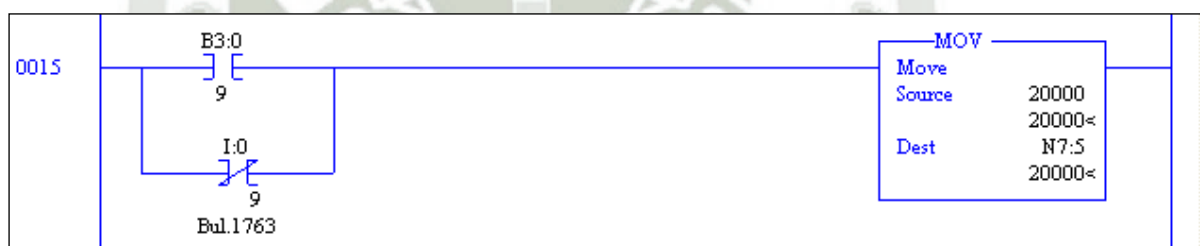


Figura 5. 86: Línea 0015, Programa Multivariable CASCADA

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0016: Cargamos al N7:5 el valor del Periodo, y realizamos la
división entre 10000 para obtener valores de frecuencia de kilo Hertz.

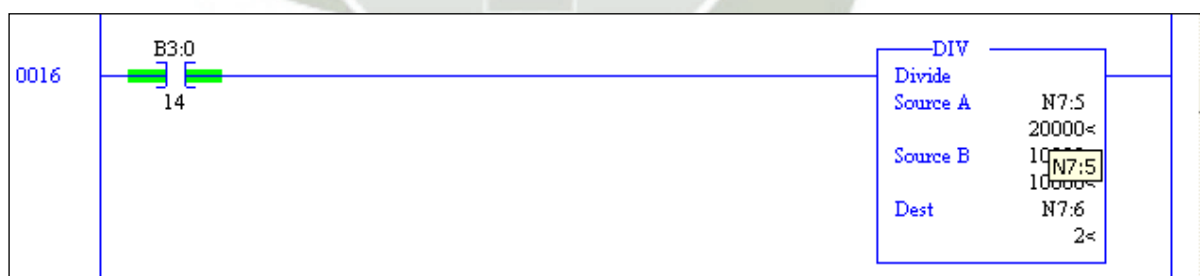


Figura 5. 87: Línea 0016, programa multivariable cascada.

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0017: Realizamos una Resta del cociente y la resta es decir N7:5 – N7:6 para determinar el tiempo de permanencia en Nivel ALTO y BAJO.

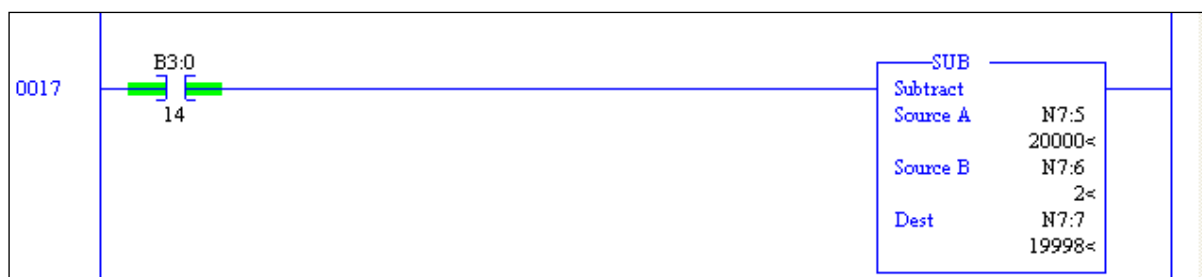


Figura 5. 88: Línea 0017, programa multivariable cascada.

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0018: Cargamos el Tiempo en Nivel Alto al Temporizador T4:2.PRE

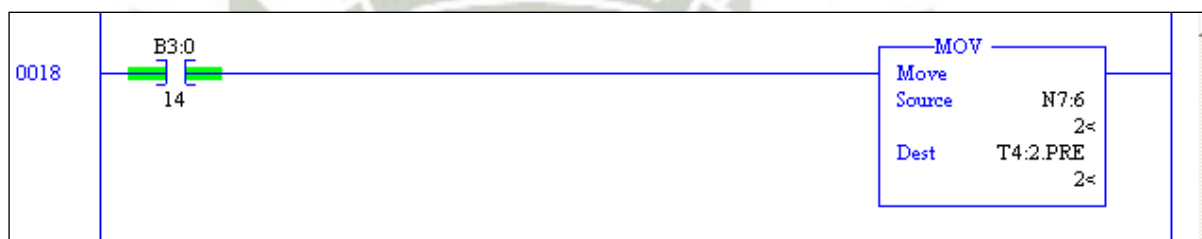


Figura 5. 89: Línea 0018, programa multivariable cascada.

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0019: Cargamos el Tiempo en Nivel Bajo al Temporizador T4:3.PRE

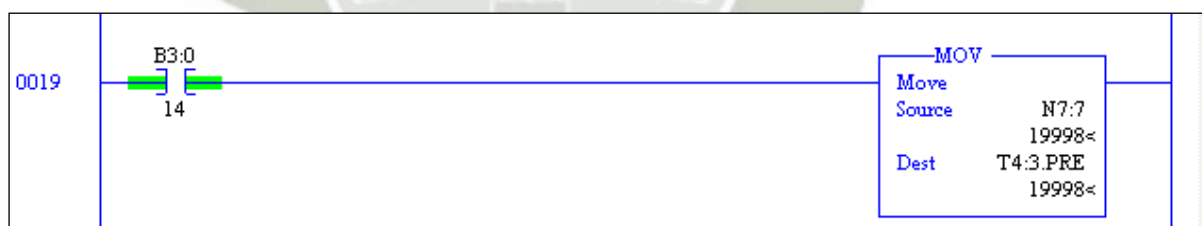


Figura 5. 90: Línea 0019, programa multivariable cascada.

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0020 y 0021: Bloque de conexión y desconexión de conmutación rápida o PWM.

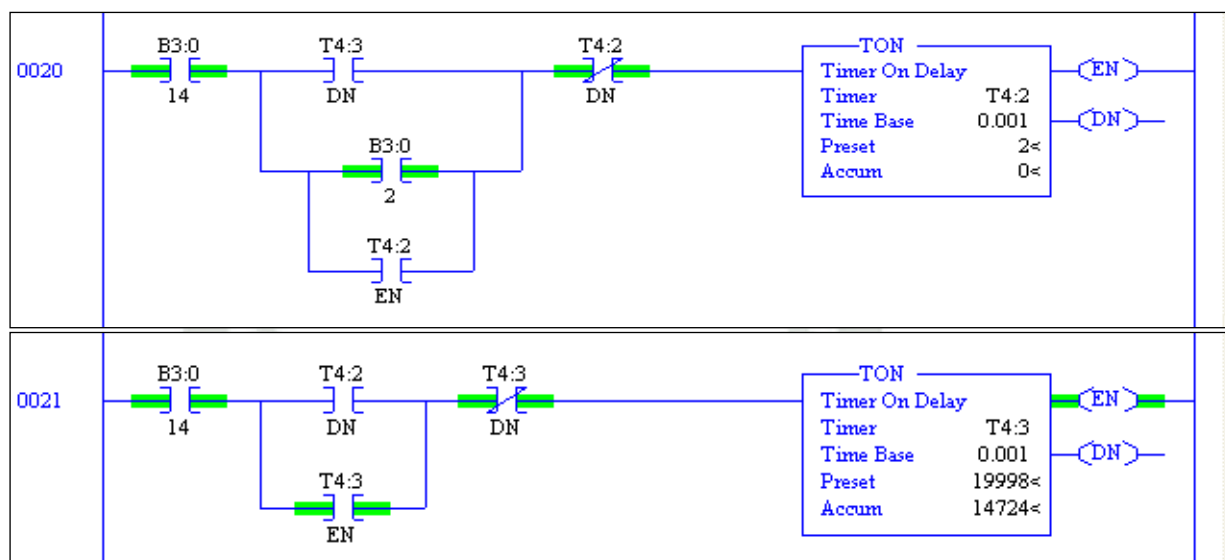


Figura 5. 91: Línea 0020 y 0021, programa multivariable cascada

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0022: Cargamos en Nivel Alto el valor de 31206 valor digital a la salida.

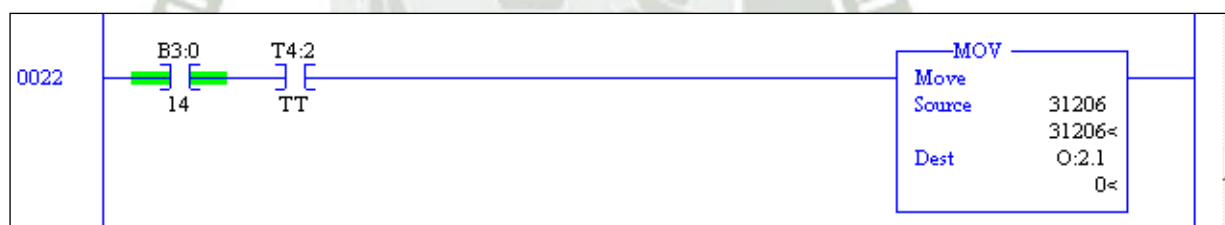


Figura 5. 92: Línea 00221, programa multivariable cascada.

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0023: Cargamos en Nivel Bajo el valor de 0 valor digital a la salida.

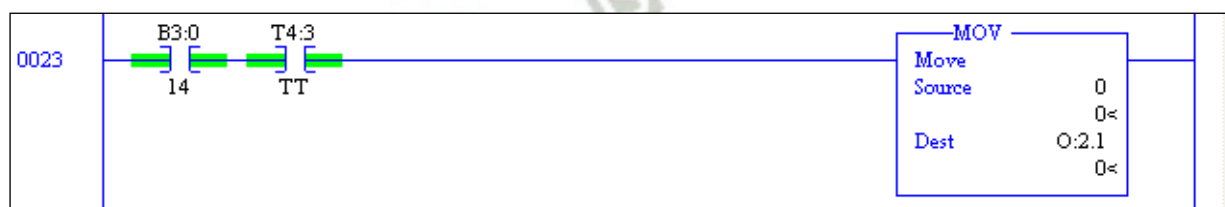


Figura 5. 93: Línea 0023 programa multivariable cascada.

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0024: Control del Lazo de Corriente START, STOP y Parada de Emergencia.

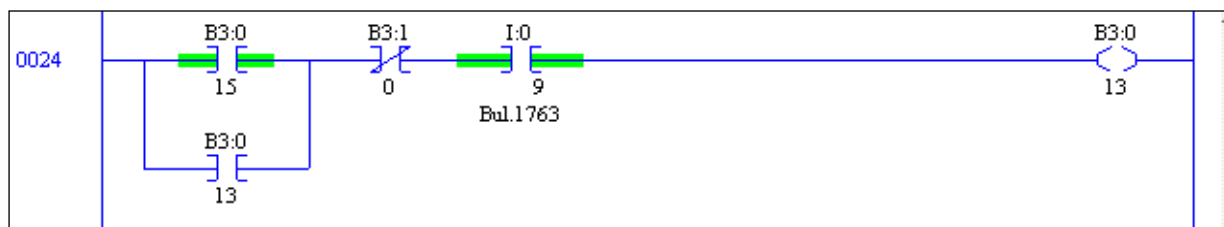


Figura 5. 94: Línea 0024, Programa Multivariable CASCADA

Fuente: Programa RSLogix 500

Línea 0025: Cuando se active STOP o Parada de Emergencia, se Carga el Valor de 0 al Motor del Alimentador.

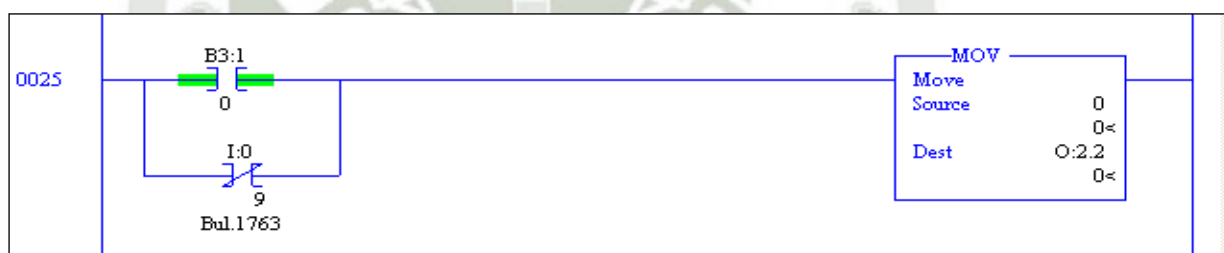


Figura 5. 95: Línea 0025, programa multivariable cascada.

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0026: Establecemos el Rango de Trabajo explicado en el ítem 5.4.2

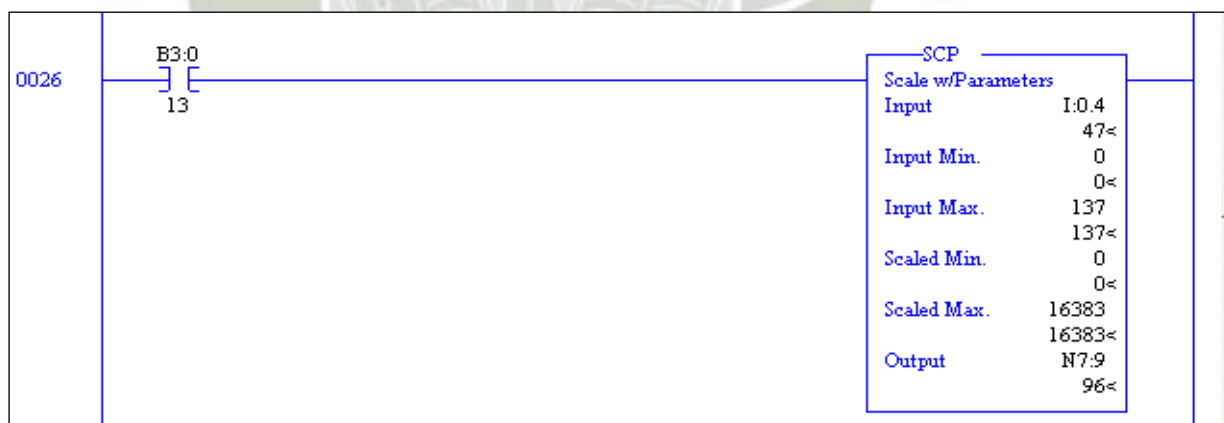


Figura 5. 96: Línea 0026, programa multivariable cascada.

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0027: Escalamiento del SET POINT de 0 a 1500 mA

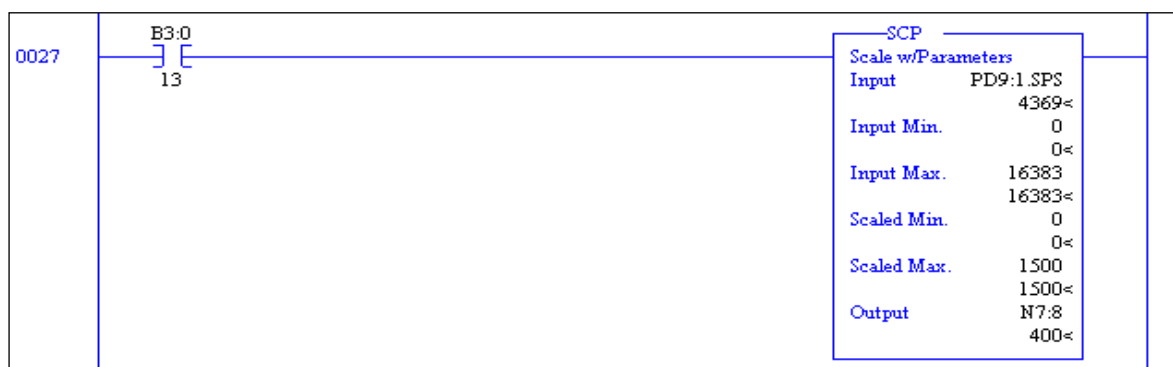


Figura 5. 97: Línea 0027, programa multivariable cascada.

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0028: Con el MOV cargamos la salida del Lazo de temperatura hacia el SET POINT del Lazo de Corriente, como se observa en la figura de abajo.

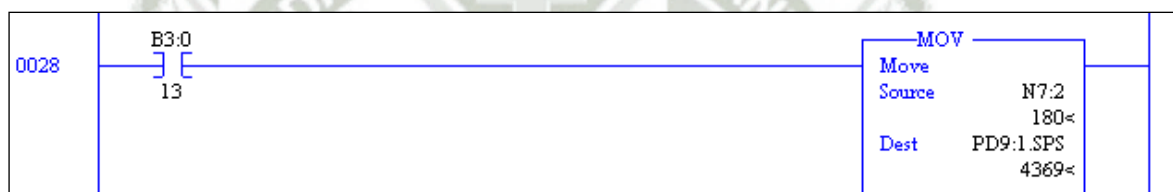


Figura 5. 98: Línea 0028, programa multivariable cascada.

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0029: Bloque PID del Lazo de Corriente.

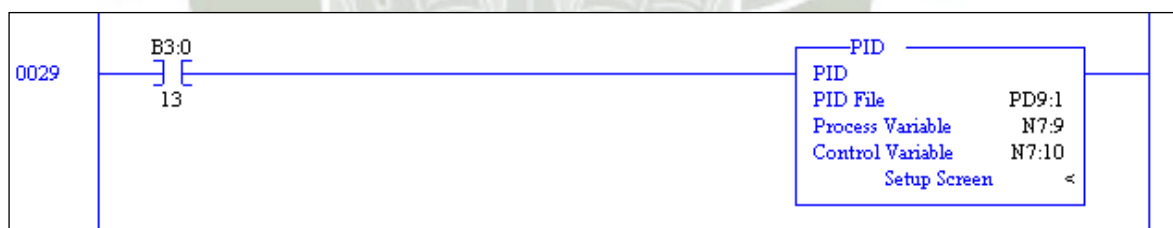


Figura 5. 99: Línea 0029, programa multivariable cascada.

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0030: Escalamos la salida de control del Lazo de corriente para la salida del motor del alimentador con un bloque SCP.



Figura 5. 100: Línea 0030, programa multivariable cascada.

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0031: Bloque de escalamiento para la visualización de velocidad del motor del 0 al 100%.

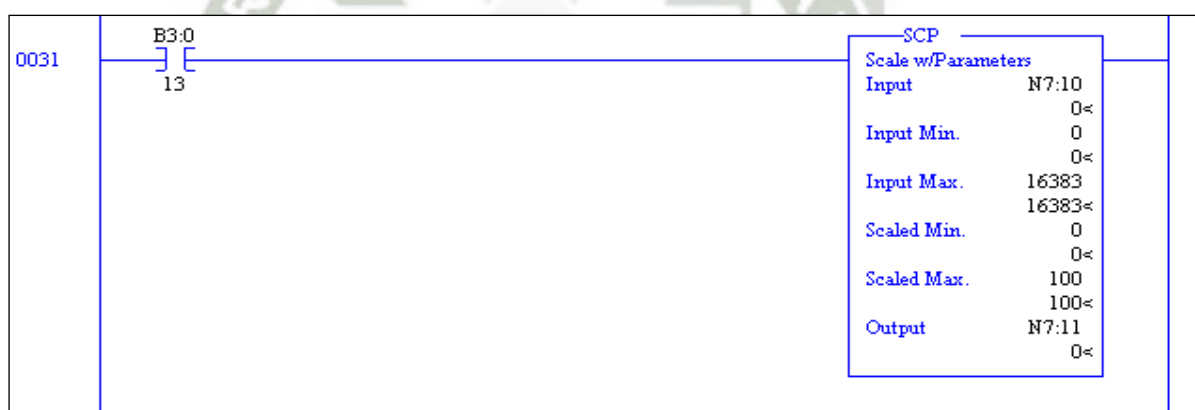


Figura 5. 101: Línea 0031, programa multivariable cascada.

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 000: Escalamos la el sensor de corriente dentro del rango de trabajo de 70 a 200 mA.



Figura 5. 102: Línea 0032, programa multivariable cascada.

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 000: Control de Velocidad del Motor de la Prensa START, STOP

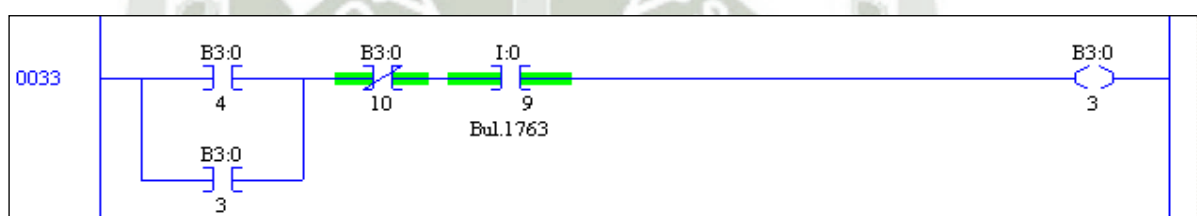


Figura 5. 103: Línea 0033, programa multivariable cascada.

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0034: El Bit de Habilitación del Variador de Velocidad.

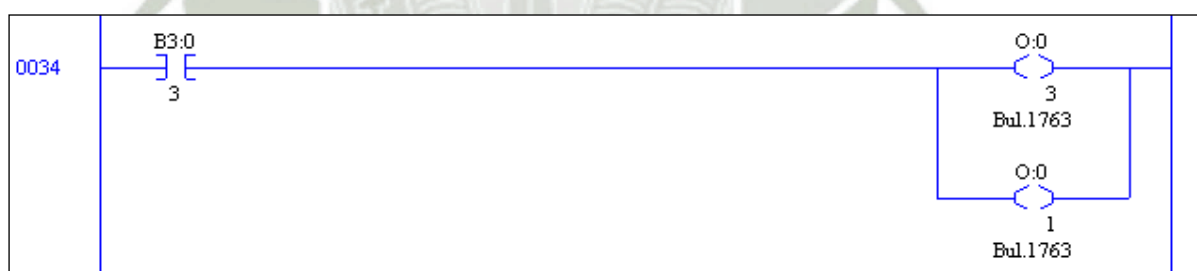


Figura 5. 104: Línea 0034, programa multivariable cascada.

Fuente: Programa RSLogix 500.

Línea 0035 y 0036: Ingreso y Escalamiento de la Frecuencia en el Variador de velocidad.

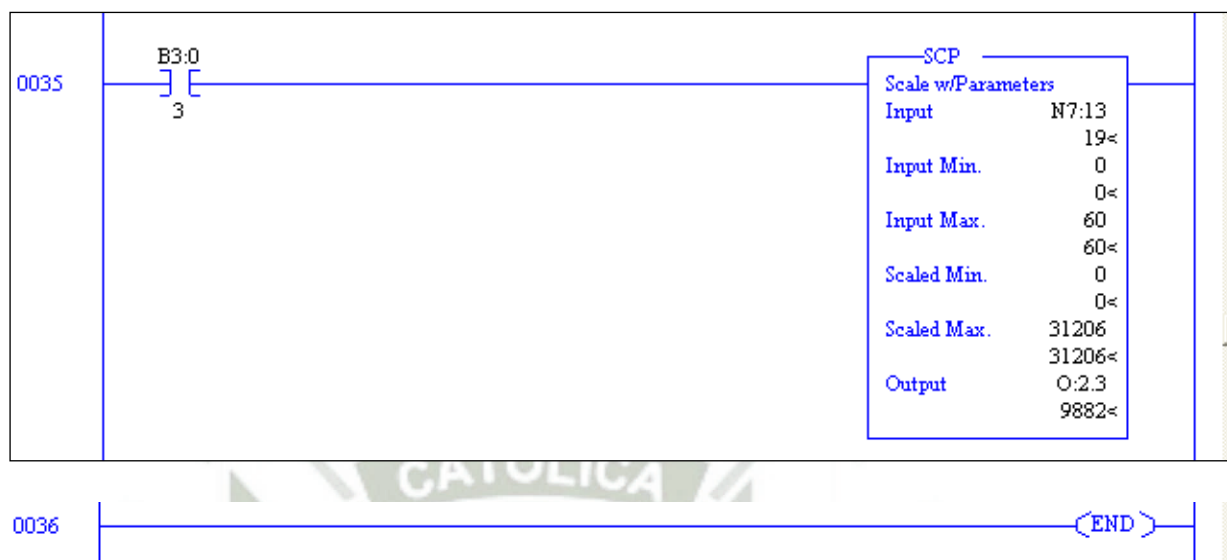


Figura 5. 105: Línea 0035 y 0036, programa multivariable cascada.
Fuente: Programa RSLogix 500.



5.9. Desarrollo del sistema de control y supervisión SCADA utilizando Software FactoryTalk View Studio

5.9.1. Configuración de la comunicación OPC entre el PLC y software FactoryTalk View Studio

Para establecer la comunicación entre el PLC y el software FactoryTalk View Studio usaremos un enlace mediante comunicación OPC, es por ello que creamos un nuevo nodo de enlace, dentro del software RSLinx hacemos clic en la opción “DDE/OPC”, seguidamente seleccionamos “Topic Configuration”, como se muestra en la figura 5.105.

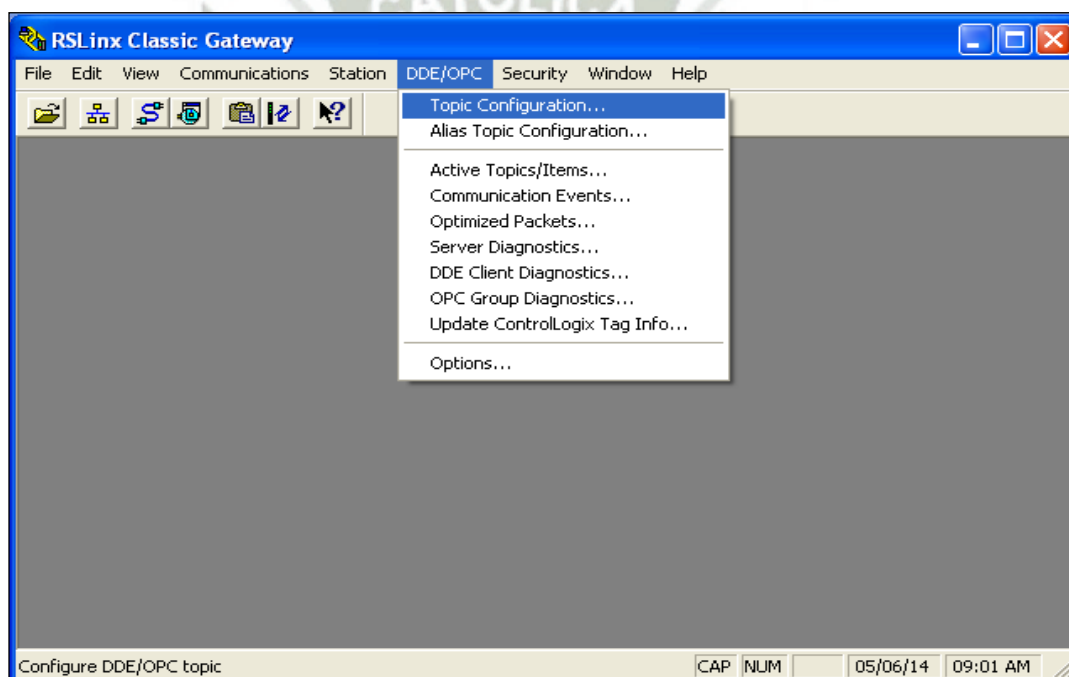


Figura 5. 106: Configuración para conexión OPC entre PLC y software FactoryTalk View Studio.

Fuente. Programa RSLinx Classic Gateway.

Definimos un nombre a nuestro enlace OPC como muestra la figura 5.106, y seleccionamos el IP del PLC con el que queremos establecer la comunicación, para terminar hacemos clic en “Apply” y luego “Done”.

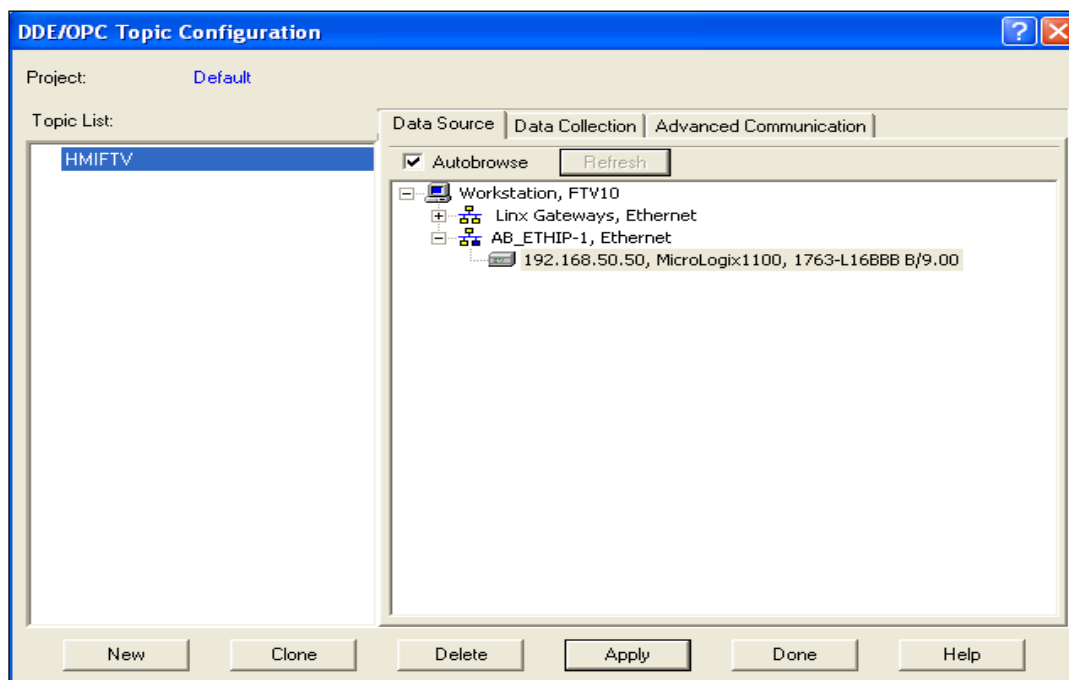


Figura 5. 107: Selección de nombre para el enlace OPC.
Fuente. Programa RSLinx Classic Gateway.

Nos muestra la ventana de confirmación figura 5.107, aceptamos mediante la opción “Yes”.

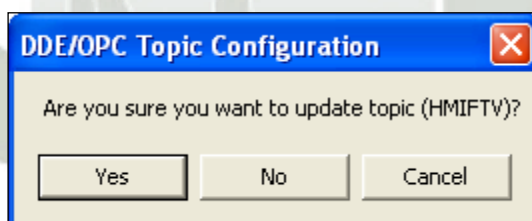


Figura 5. 108: Confirmación del canal de comunicación OPC.
Fuente. Programa RSLinx Classic Gateway.

El enlace entonces queda configurado como muestra la figura 5.108, para finalizar la configuración hacemos clic en “Done”.

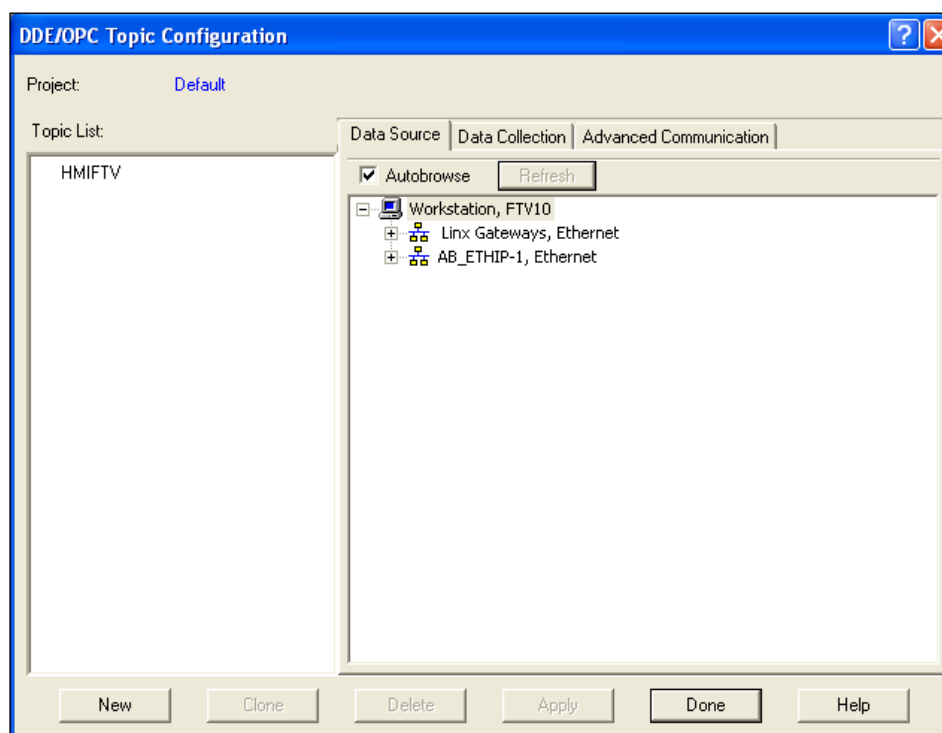


Figura 5. 109: Ventana de configuración del enlace OPC.
Fuente: Programa RSLinx Classic Gateway.

Seguidamente iniciamos el software FactoryTalk View Studio, (Boton inicio, FactoryTalk View Studio). Como se muestra en la Figura 5.109.

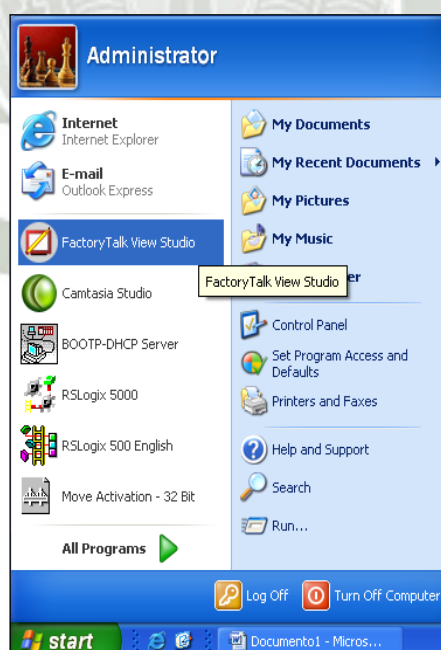


Figura 5. 110: Inicio software FactoryTalk View Studio.
Fuente: Microsoft Windows XP.

Para configurar el computador como interfaz de comunicación Hombre-Maquina, seleccionamos el tipo de aplicación “Site Edition (Local)” visto en la figura 5.110. Hacemos clic en “Continue”.

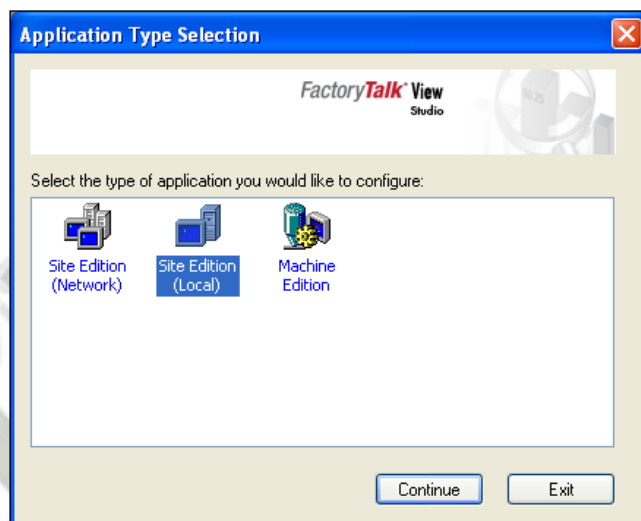


Figura 5. 111: Selección del tipo de aplicación a configurar.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio

Se muestra la ventana de la figura 5.111, donde asignamos un nombre a nuestro nuevo proyecto y hacemos clic en “Create”.

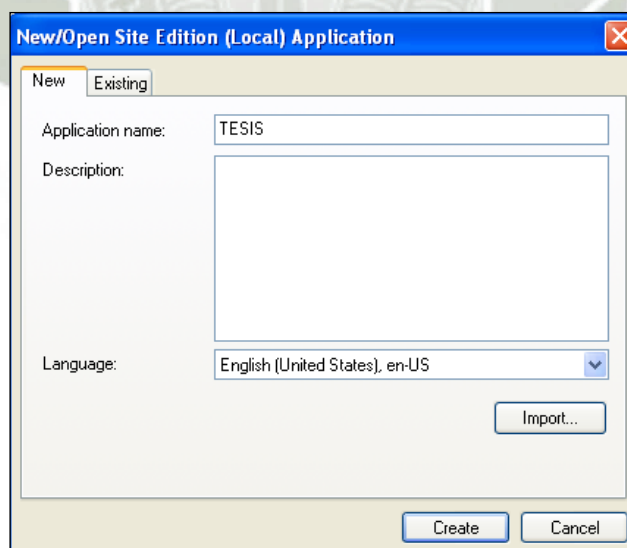


Figura 5. 112: Ventana para creación de un Nuevo Proyecto.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Nos aparecerá la figura 5.112, en este caso no vamos a agregar ningún display predeterminado, ya que haremos el proyecto desde una ventana en blanco, por ello hacemos clic en ‘Clear All’ y luego clic en ‘OK’.

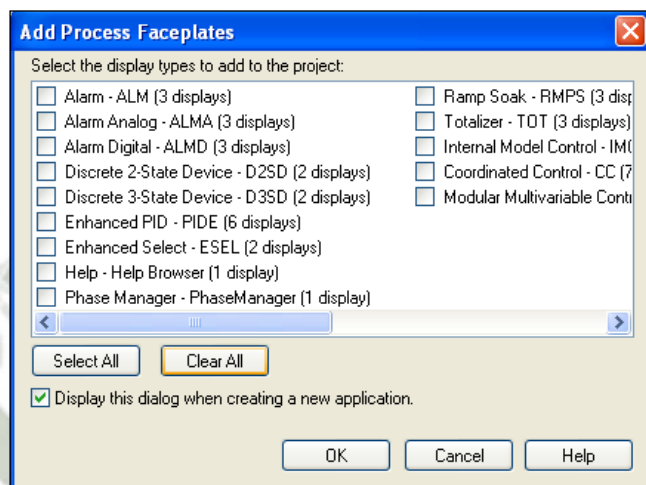


Figura 5. 113: Ventana de selección de displays predeterminados a usar en el proyecto.

Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Se muestra la figura 5.113, donde se detalla la pantalla principal del software FactoryTalk View Studio.

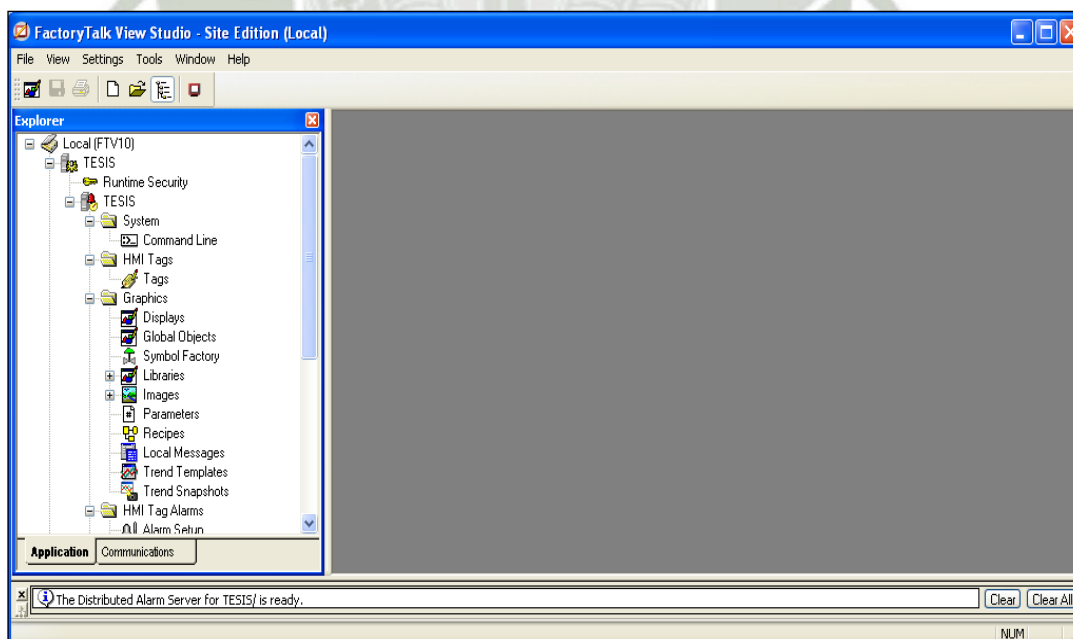


Figura 5. 114: Ventana de entorno principal software FactoryTalk View Studio.

Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Seguidamente configuramos la comunicación OPC del software FactoryTalk View Studio. Para ello nos dirigimos a la barra “Explorer”, hacemos clic derecho en nuestro proyecto creado, seleccionamos la opción “Add New Server” y elegimos la opción “OPC Data Server...”, mostrada en la figura 5.114.

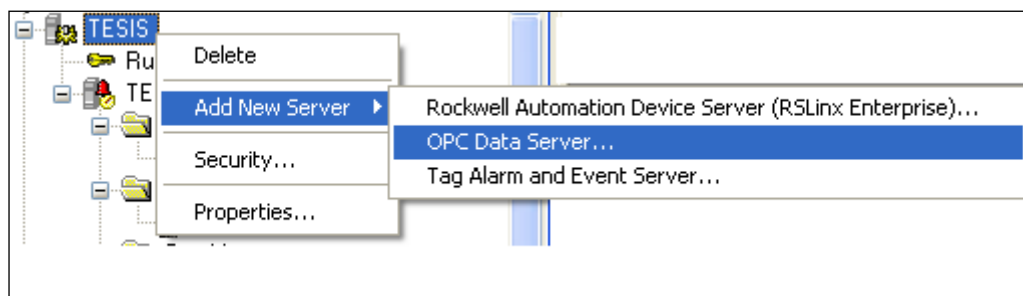


Figura 5. 115: Ventana de configuración comunicación OPC.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

A continuación aparece la figura 5.115, donde definimos un nombre para el enlace OPC, además debemos seleccionar el tipo de configuración OPC, para ello hacemos clic en “Browse...” y se mostrara la figura 5.116.

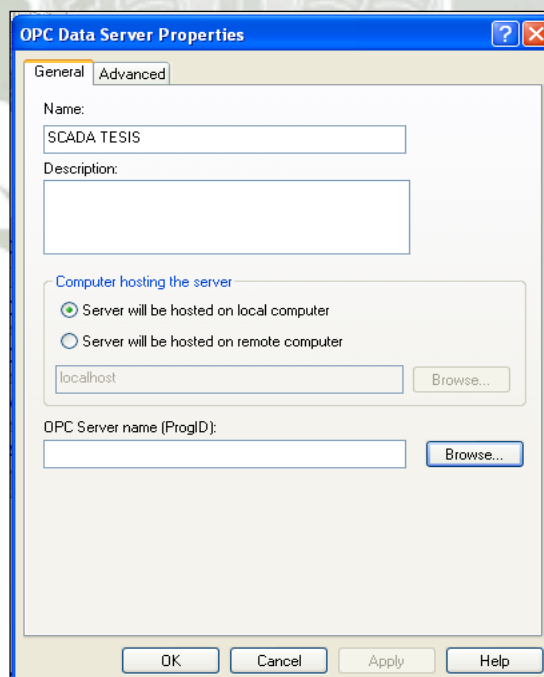


Figura 5. 116: Ventana de propiedades del servidor OPC.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Seleccionamos la opción “RSLinx OPC Server” y hacemos clic en “OK”.

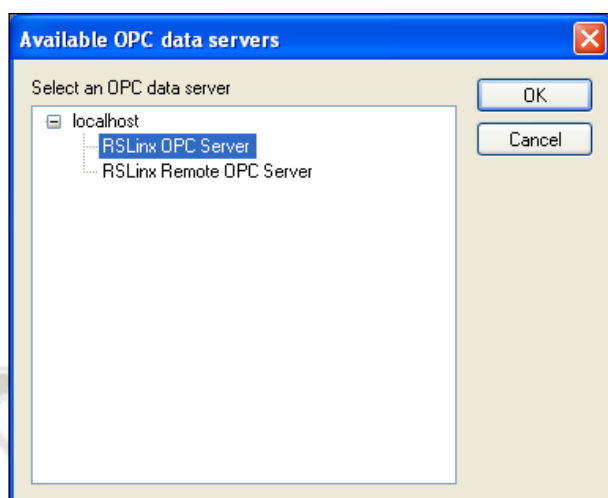


Figura 5. 117: Ventana de selección de servidor OPC.

Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

La ventana de configuración del enlace de comunicación OPC quedara como se muestra en la figura 5.117, hacemos clic en “Apply” y seguidamente “OK”.

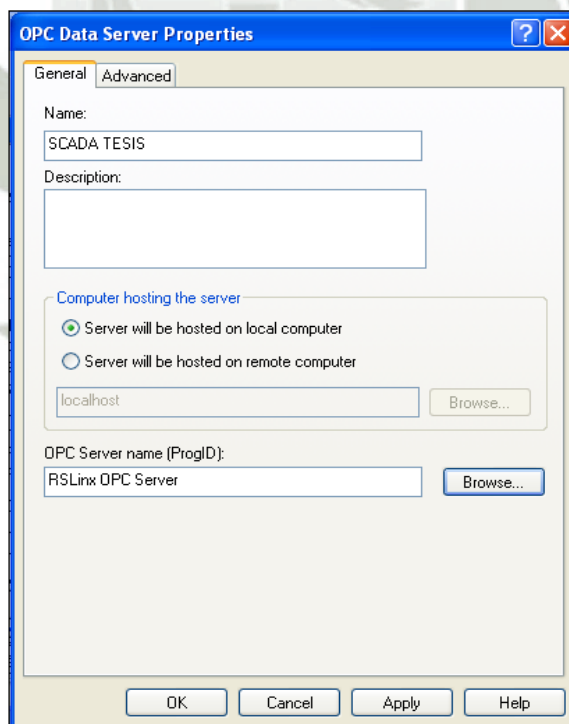


Figura 5. 118: Ventana de configuración final de servidor OPC.

Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

En la figura 5.118, se observa la barra “Explorer” donde se aprecia el enlace OPC creado con el nombre de “SCADA_TESIS”.

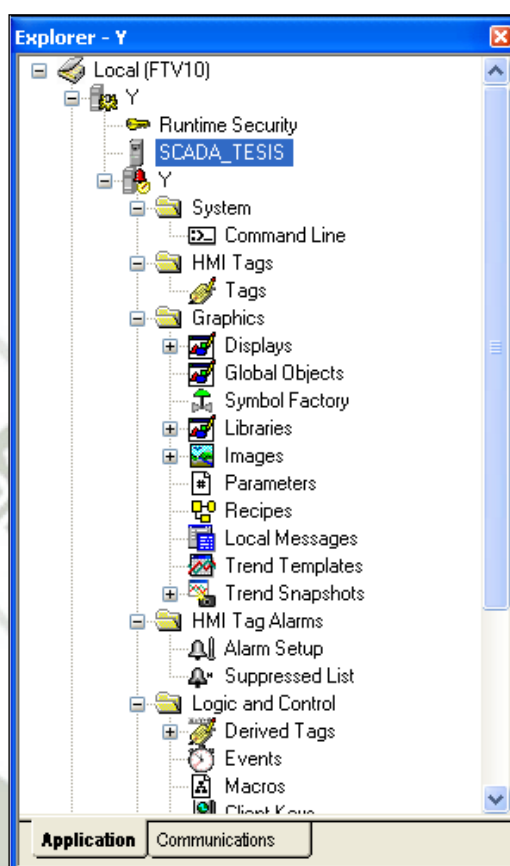


Figura 5. 119: Barra Explorer con la creación del nuevo enlace OPC.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

5.9.2. Creación de Tag para HMI

Para la creación de Tags accedemos desde la barra “Explorer”, desplegamos la opción “HMI Tags”, hacemos clic derecho en “Tags” y seleccionamos “Open”, como se muestra en la figura 5.119.

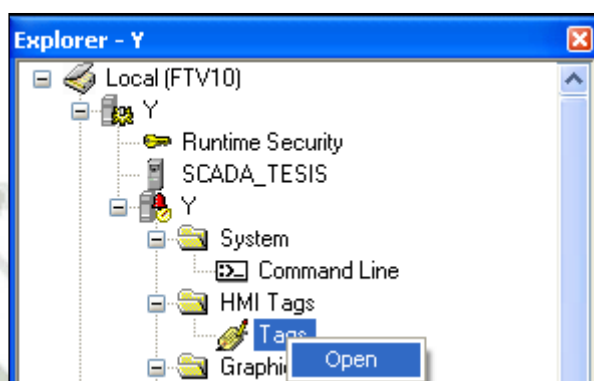


Figura 5. 120: Ventana Explorer para configurar tags de HMI.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Se muestra en la figura 5.120, la ventana de configuración de un nuevo Tag, en dicha ventana es importante definir el tipo de dato de nuestro tag (analógico, digital), en caso sea análogo definir el rango de trabajo del mismo. Como vamos a leer datos del PLC en la opción “Data Source” seleccionamos la opción “Device”, mientras que en la opción “Address” hacemos clic en el símbolo , se mostrara la figura 5.21.

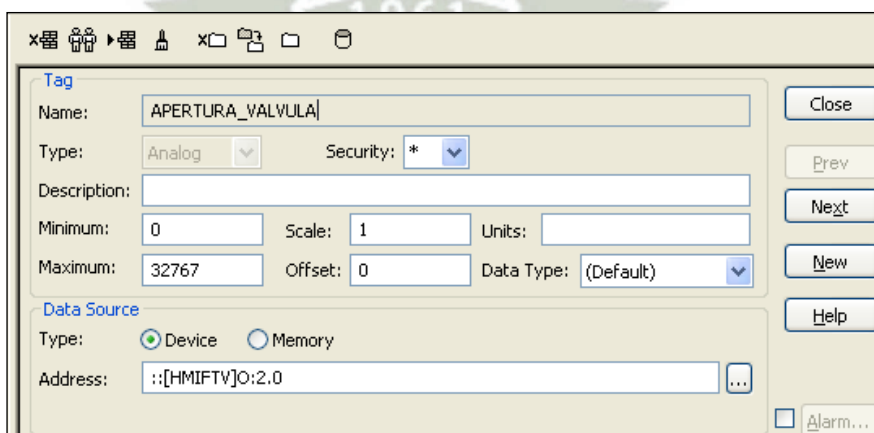


Figura 5. 121: Ventana de creación de un nuevo Tag para HMI.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

En la figura 5.121, se muestra la ventana para seleccionar la variable del PLC que queremos definirla en nuestro tag, es posible seleccionar cualquier tipo de variable creada en nuestro PLC ya sea de memoria o física.

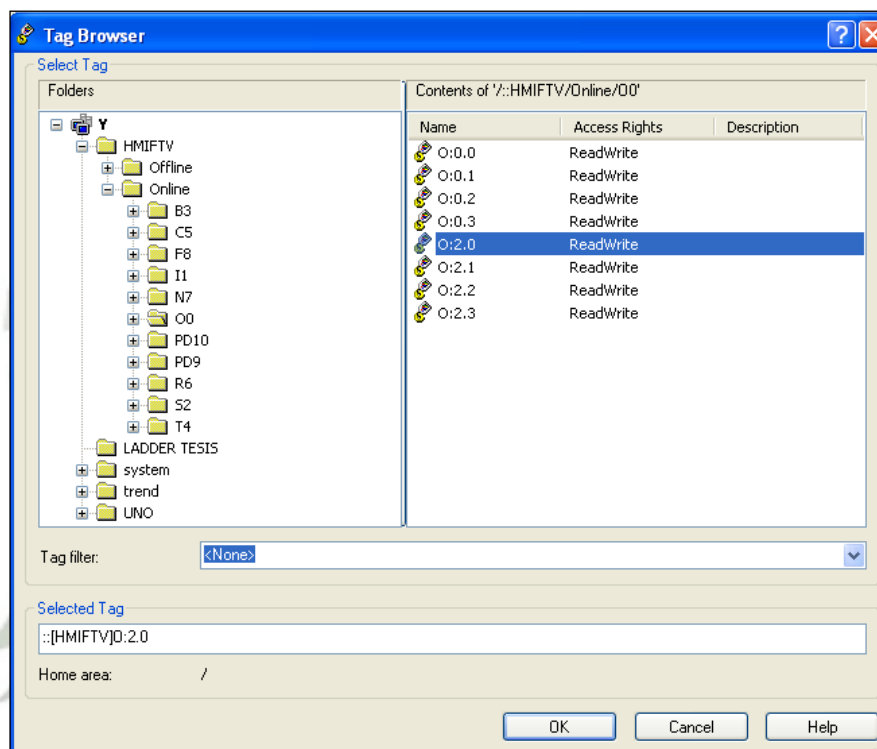


Figura 5. 122: Selección de variable de PLC para un Tag .
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Siguiendo los pasos mostrados tanto en las figuras 5.99 como en la 5.100, definiremos cada uno de nuestros tags que usaremos en nuestro HMI, llegando a una tabla donde se encuentren todos los tags mostrados en las figuras 5.122 y 5.123.

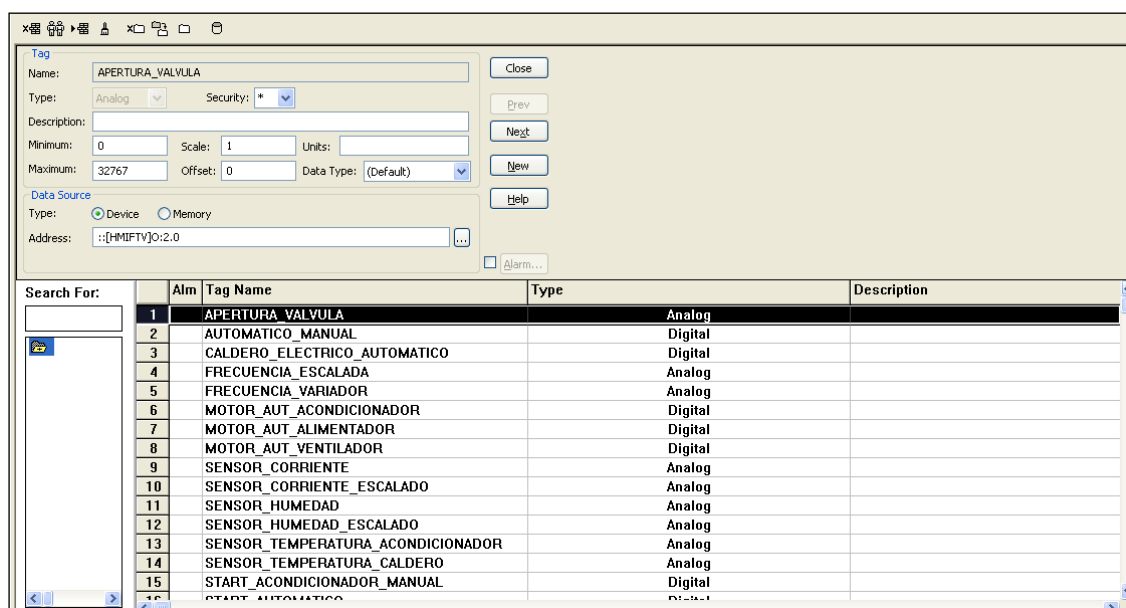


Figura 5. 123: Tags creados para el diseño de HMI.(primera parte).
Fuente. Software FactoryTalk View Studio.

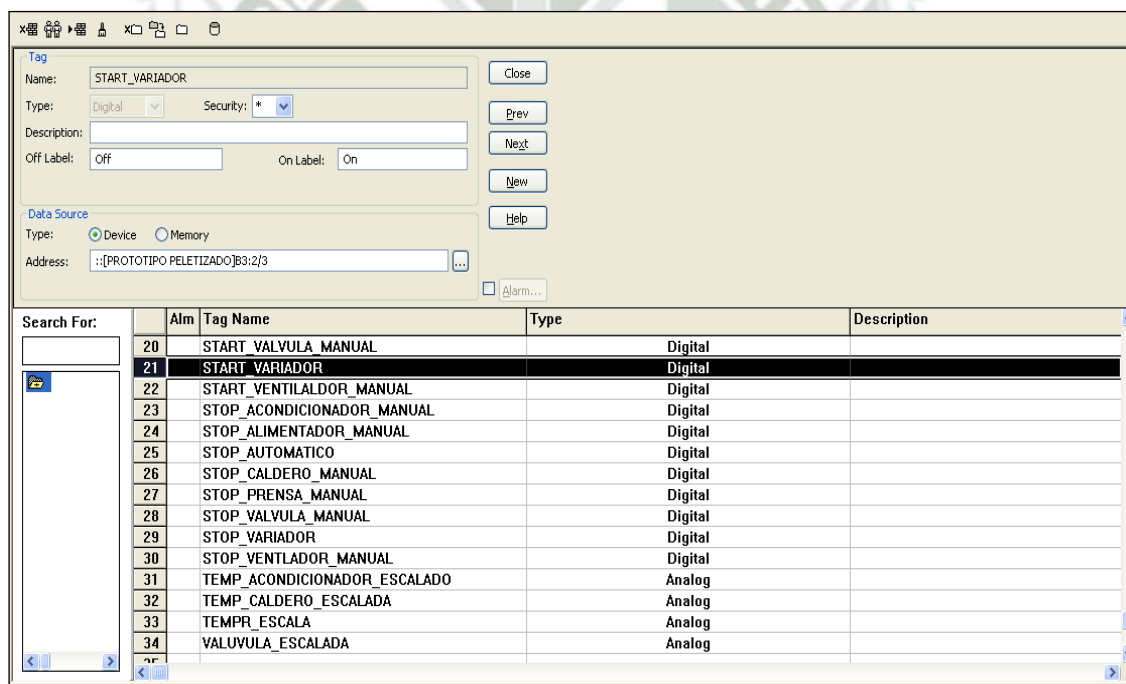


Figura 5. 124: Tags creados para el diseño de HMI.(segunda parte).
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

5.9.3. Creación de Displays para HMI

Una vez creados tanto el enlace OPC, como los Tags el siguiente paso será crear las pantallas o displays que servirán de interface entre el operador y el proceso. Para ello nos dirigimos a la barra “Explorer”, desplegamos la opción “Graphics”, hacemos clic derecho en “Display” y seleccionamos la opción “New”, como muestra la figura 5.124.

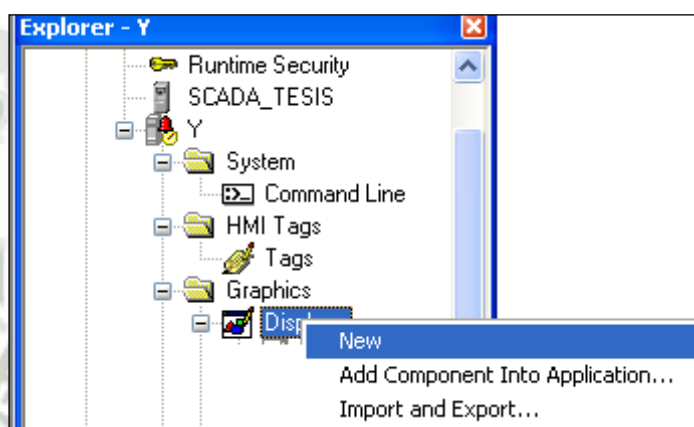


Figura 5. 125: Creación de un nuevo Display en el proyecto.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Aparece un nuevo display en blanco mostrado en la figura 5.125.

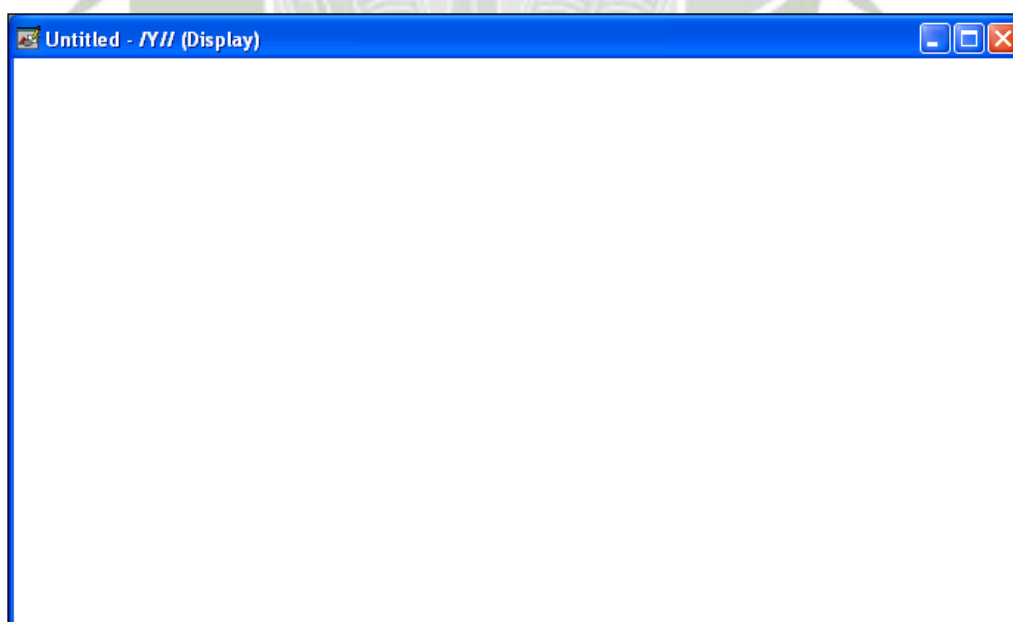


Figura 5. 126: Display creado.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Una vez que contamos con el display es posible configurar el mismo ayudandonos de la barra de herramientas mostrado en la figura 5.126.



Figura 5. 127: Barra de herramientas de Display.

Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

A la vez contamos con una galería de elementos predeterminados que usaremos para la implementación del HMI, para visualizarlos, nos dirigimos a la barra “Explorer”, hacemos clic derecho en “Symbol Factory” y “Open”, se mostrara la librería mostrada en la figura 5.127.

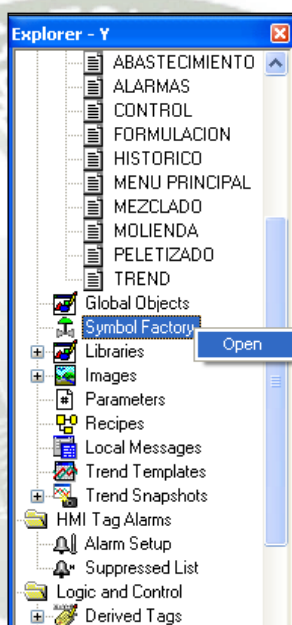


Figura 5. 128: Ingreso a galería de figuras predeterminadas.

Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

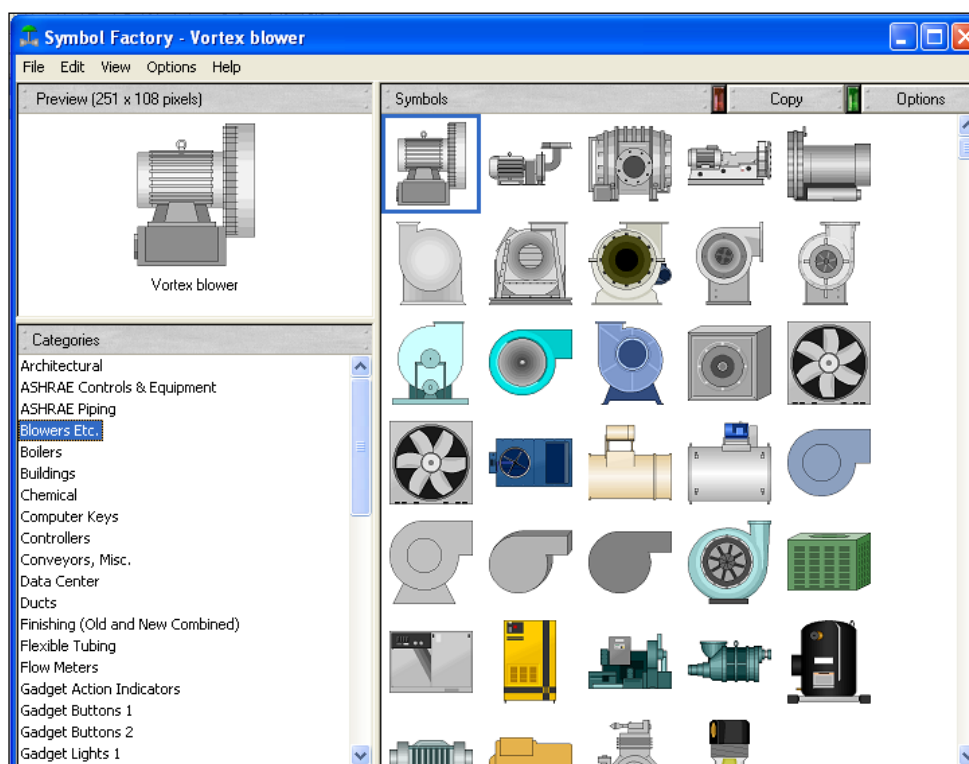


Figura 5. 129: Galería de figuras predeterminadas (Symbol Factory).
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Utilizando las herramientas mencionadas en las figuras 5.126 y 5.128 procedemos a configurar la pantalla principal de nuestro HMI (Figura 5.129)

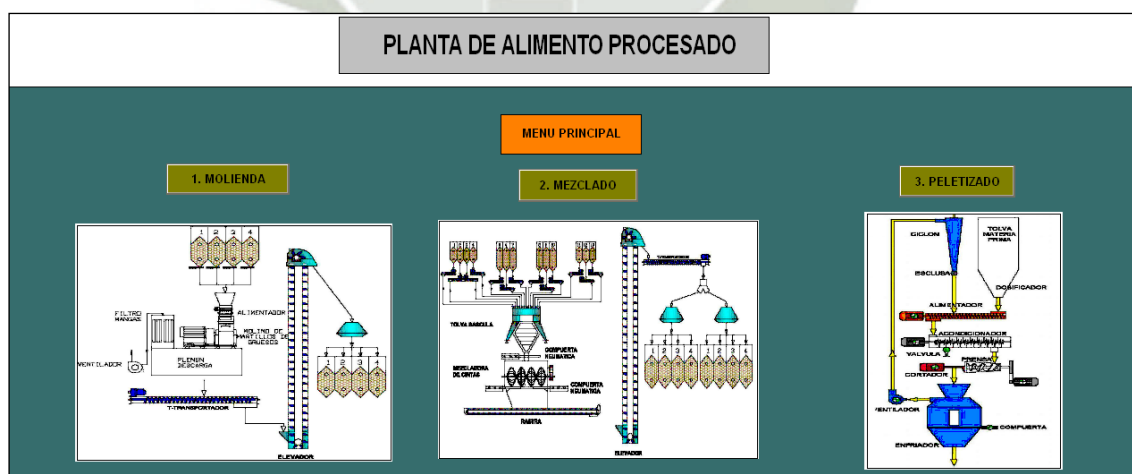


Figura 5. 130: Display para menú principal para la Planta de Alimento Procesado
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

El procedimiento seguido para la creación del Display para Menu Principal se detalla a continuación. Utilizando campo de texto  y un cuadrado  se construye la figura 5.130.

PLANTA DE ALIMENTO PROCESADO

Figura 5. 131: Cuadro de texto Menú Principal.

Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Para el caso del proceso de peletizado se agrega un botón, para configurarlo hacemos clic derecho en el mismo, seleccionamos la opción “Properties”, como se muestra en la figura 5.131.

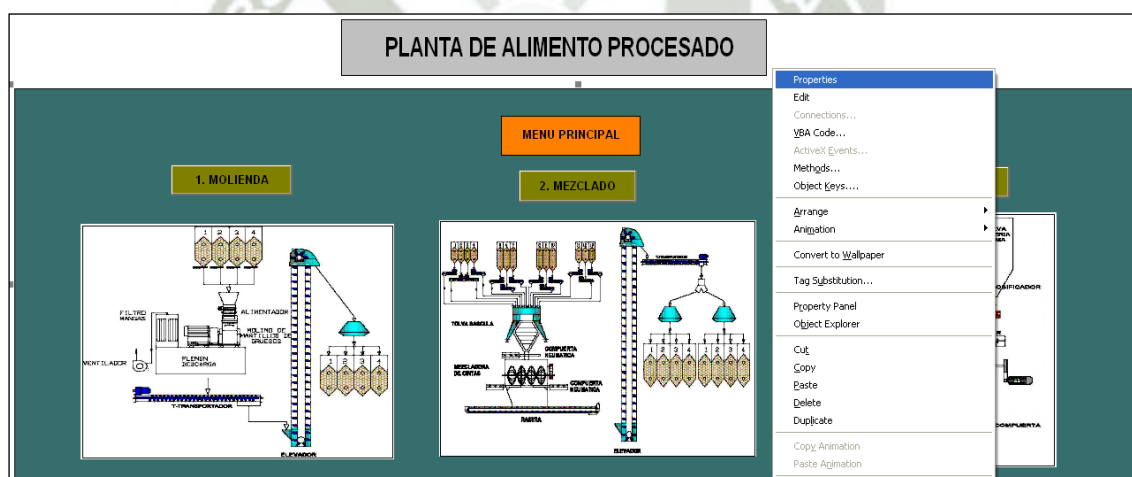


Figura 5. 132: Ingreso a propiedades del botón “Peletizado”.

Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Se muestra la figura 5.132, que es la ventana de configuración de propiedades del botón “Peletizado”, en la pestaña “Action” seleccionamos la opción “Run command”, seguidamente en el campo “Press action” hacemos clic en el símbolo , aparecerá la figura 5.133.

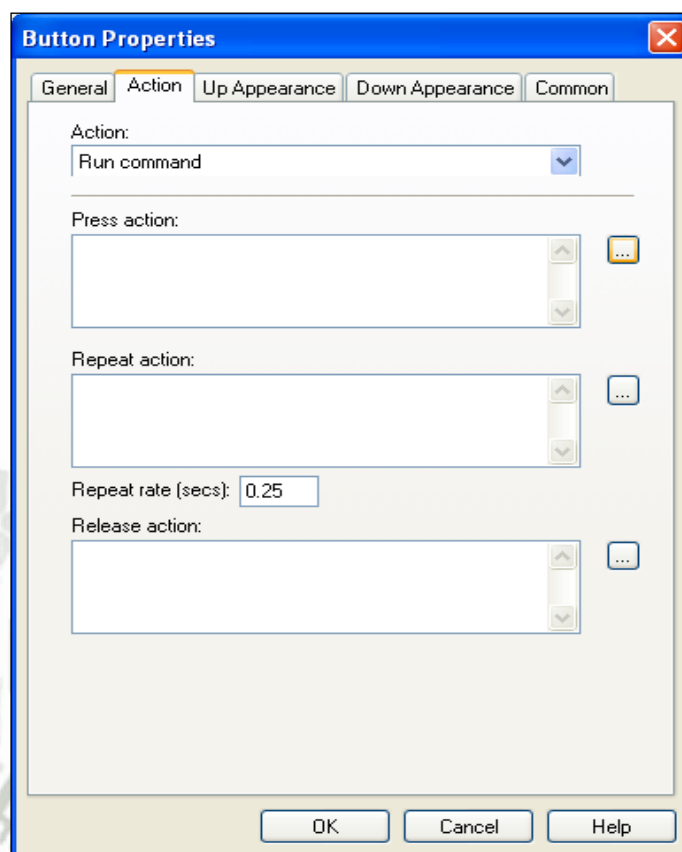


Figura 5. 133: Ventana de configuración de propiedades del botón “Peletizado”.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Elejimos la opcion “Display”, “Next” como se muestra en la figura 5.133.

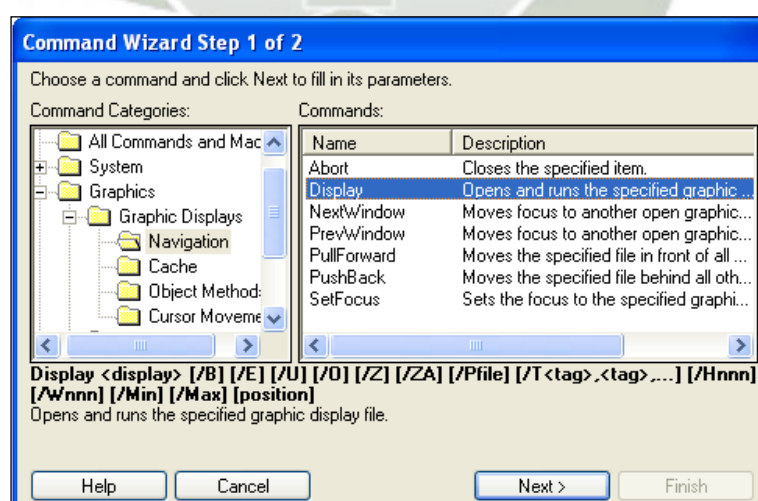


Figura 5. 134: Paso acción a ser ejecutada por el botón “Peletizado”.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

El siguiente paso será elegir la ventana que queremos mostrar con el botón “Peletizado”, como se muestra en la figura 5.134.

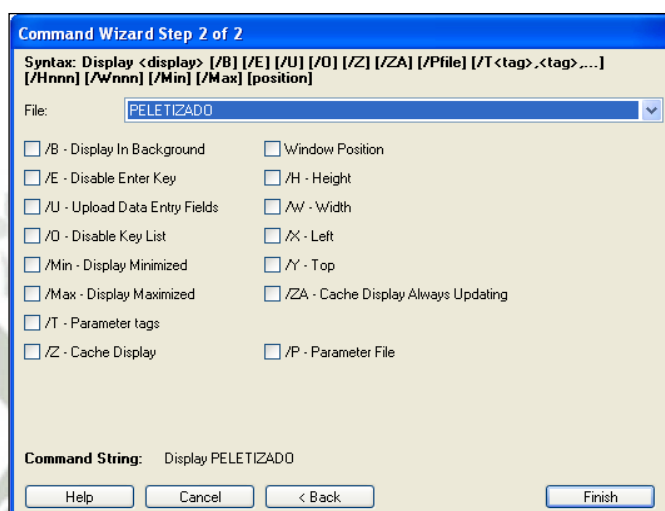


Figura 5. 135: Paso 2 Selección de ventana a mostrar por el botón “Peletizado”.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

La pestaña “Action” queda configurada como se muestra en la figura 5.114

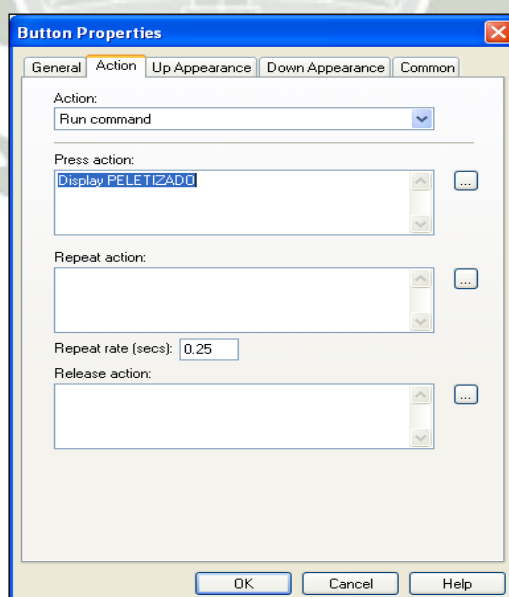


Figura 5. 136: Pestaña de configuración “Action” del botón “Peletizado”.
Fuente. Software FactoryTalk View Studio.

Dentro de la pestaña “Up Appearance” , en el campo “Caption” ingresamos el texto que queremos que se visualice en el boton, mostrado en la figura 5.136, para finalizar hacemos clic en “OK”.

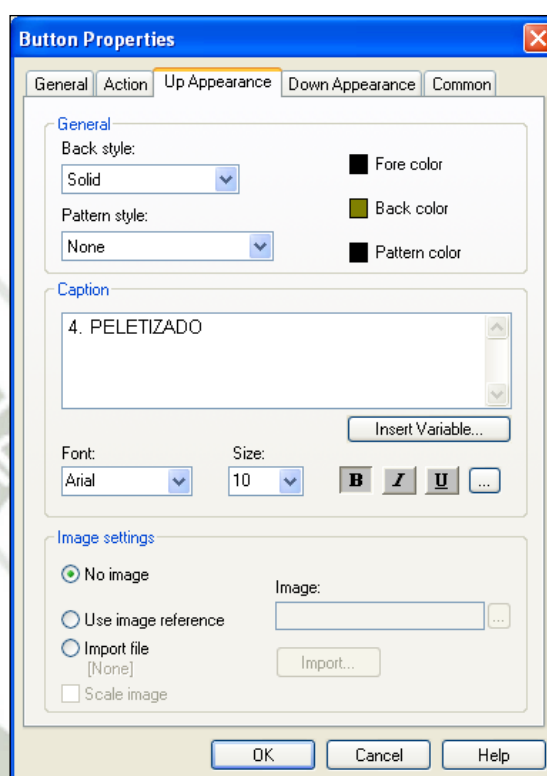


Figura 5. 137: Pestaña de configuración “Up Appearance” del botón “Peletizado”.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Al hacer clic en el boton “Peletizado” configurado en los pasos anteriores, se mostrara la figura 5.116. que es la interfaz principal del proceso de Peletizado.

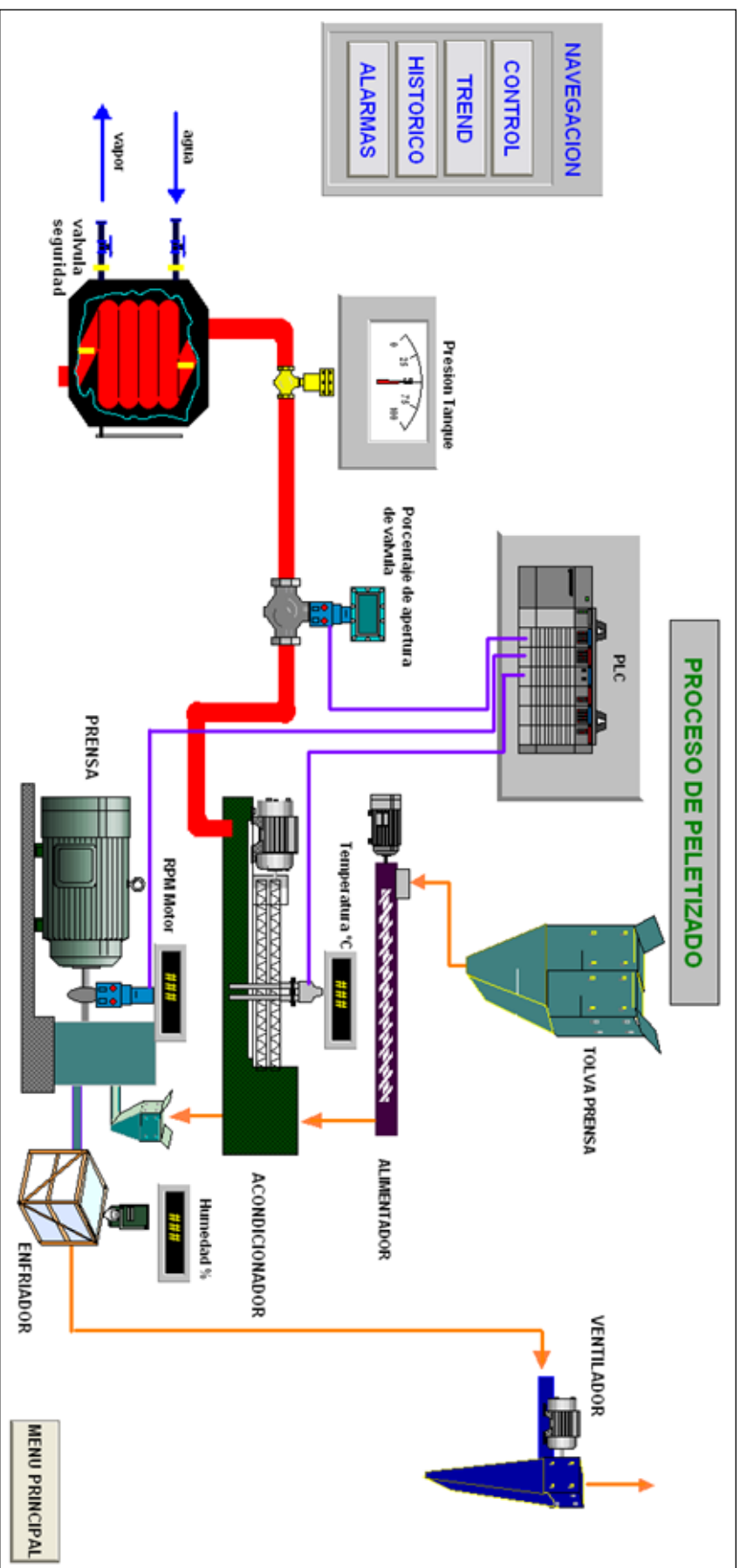


Figura 5. 138: Interfaz principal para el proceso de Peletizado.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

La configuración de la interfaz principal mostrado en el figura 5.137, se detalla a continuación. Para el botón “MENU PRINCIPAL” mostrado en la figura 5.138. Cuya configuración se detalla en la figura 5.139 y 5.140



Figura 5. 139: Figura 5.115. Botón “MENU PRINCIPAL” de interfaz de proceso de Peletizado.

Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

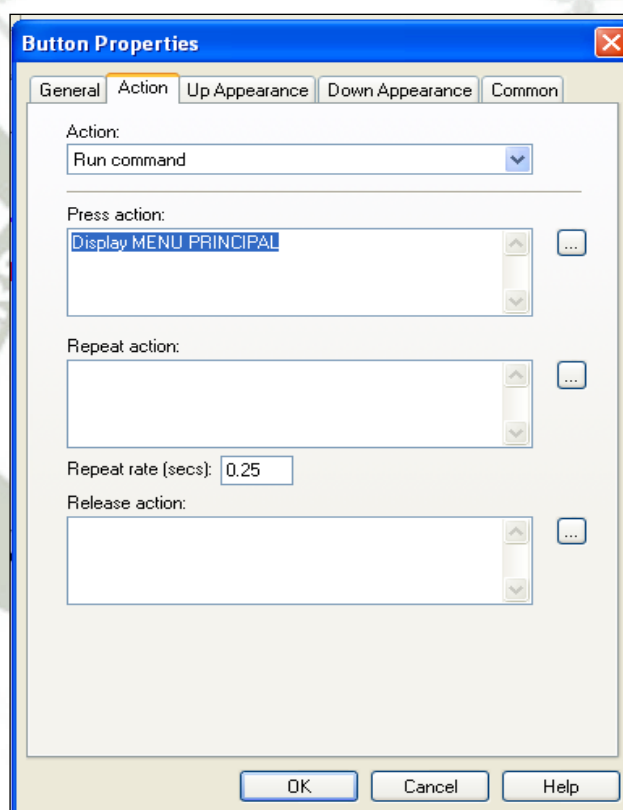


Figura 5. 140: Pestaña se configuración “Action” para botón de “MENU PRINCIPAL”

Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

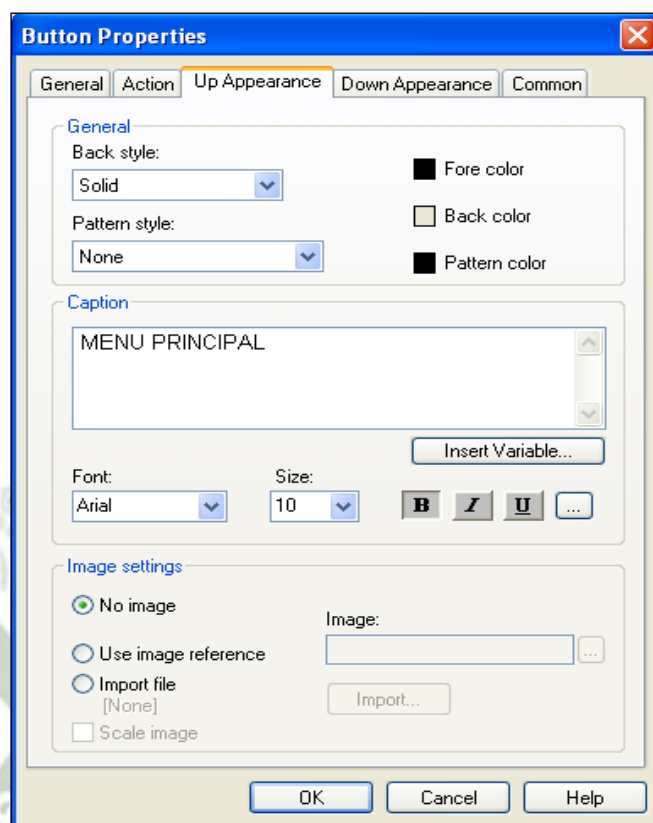


Figura 5. 141: Pestaña de configuración “Action” para botón de “MENU PRINCIPAL”
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

La interfaz principal del proceso de Peletizado, cuenta con una ventana de navegación mostrado en la figura 5.141.



Figura 5. 142: Botones de navegación para interfaz de proceso de Peletizado.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

La configuración del botón “Control” se detalla en las figuras 5.142 y 5.143.

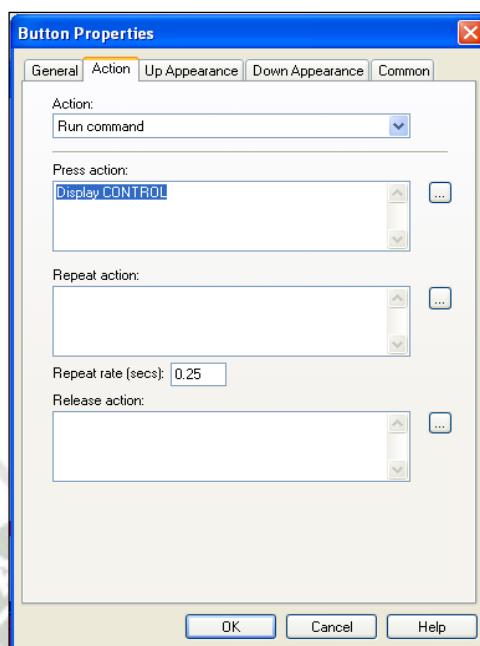


Figura 5. 143: Pestaña se configuración “Action” para botón de “CONTROL”
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

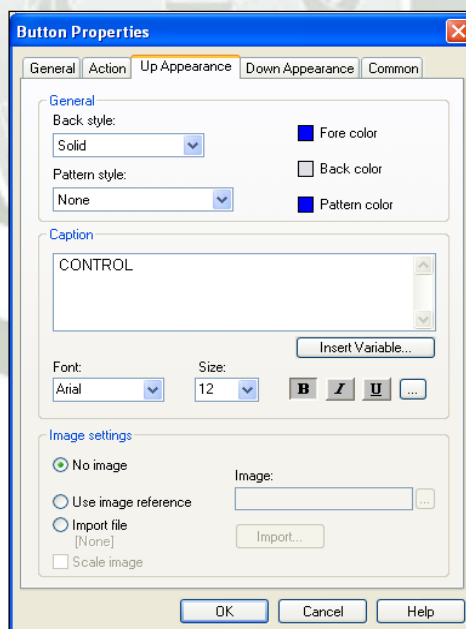


Figura 5. 144: Pestaña se configuración “Up Appearance” para botón de “CONTROL”
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

5.9.4. Creación de tags derivados

Un tag derivado es un tag cuyo valor es el resultado de una expresión. La operación puede estar compuesta de operaciones matemáticas, lógicas, otros tags del Tag Database. Para observar las variables desde el PLC hacia el HMI, usaremos tag derivados que nos permitan escalar de manera sencilla las distintas variables que usaremos en el proceso. Para configurar los tags derivados abrimos la opción “Logic and Control” de la barra “Explorer”, hacemos clic derecho en “Derived Tags”, y seleccionamos la opción “New”, como se muestra en la figura 5.144.

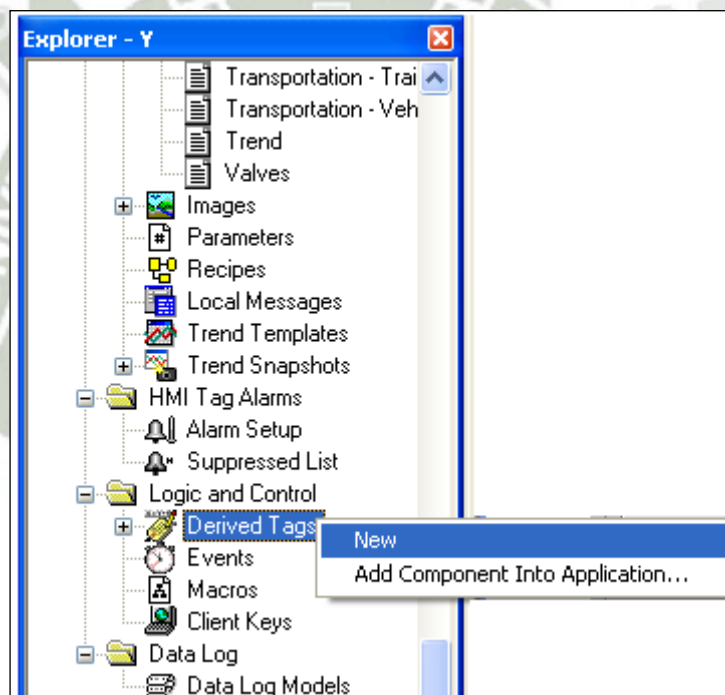


Figura 5. 145: Creación de un nuevo Tag Derivado en el proyecto.
Fuente. Software FactoryTalk View Studio.

A continuación se muestra la figura 5.145, dentro del campo “Tag Name”

hacemos clic en . Y aparece la pantalla mostrada en la figura 5.146.

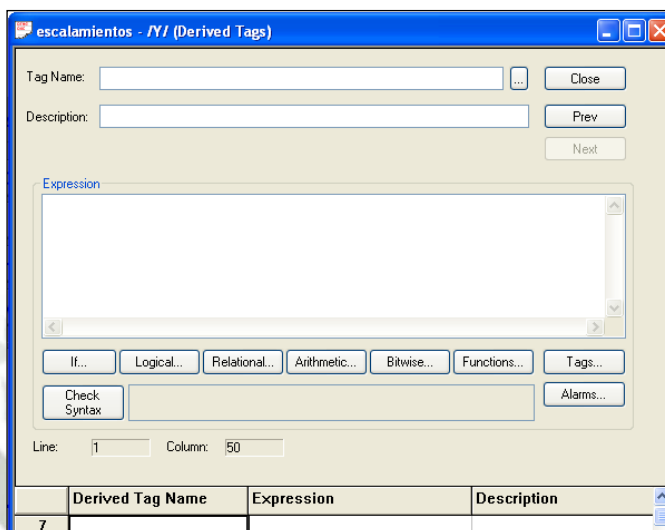


Figura 5. 146: Ventana de configuración de Tag Derivado.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Seleccionamos el tag creado, de la base de datos de tags, como muestra la figura 5.146.

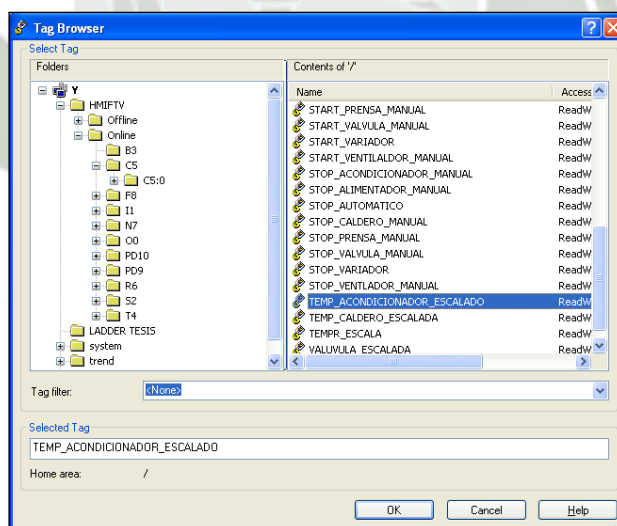


Figura 5. 147: Selección de Tag Derivado.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

En el campo “Expression” de la figura 5.145, se configura la expresión mostrada en la figura 5.147. Dicha expresión permite escalar el sensor de temperatura de 0 a 500° Centígrados.

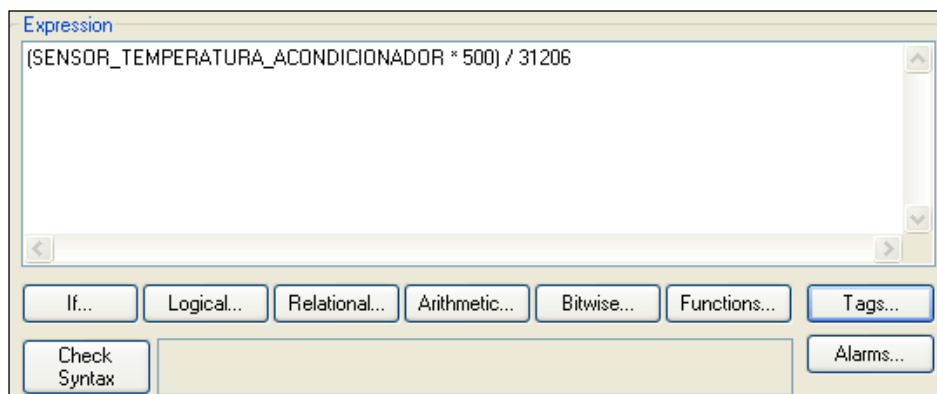


Figura 5. 148: Expresión para escalar el sensor de temperatura en un Tag Derivado.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

La ventana de configuración del tag derivado creado queda como se muestra en la figura 5.148.

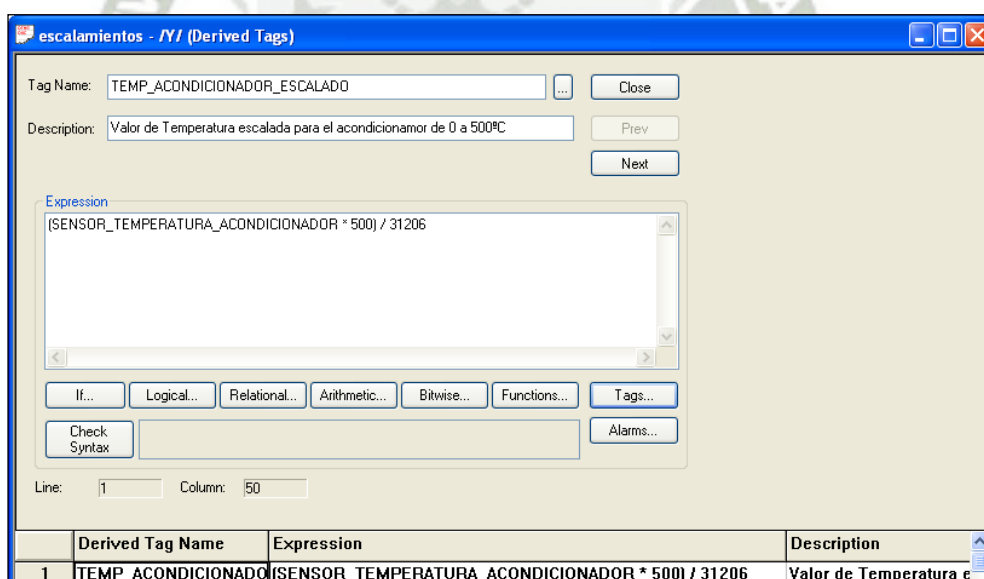


Figura 5. 149: Ventana de configuración final de Tag Derivado.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

De forma similar creamos todos los tags derivados que usaremos en el diseño de HMI, registrándose una cuadro mostrado en la figura 5.149.

	Derived Tag Name	Expression	Description
1	TEMP_ACONDICIONADOR_ESCALADO	(SENSOR_TEMPERATURA_ACONDICIONADOR * 500) / 31206	Valor de Temperatura escalada p
2	TEMP_CALDERO_ESCALADA	(SENSOR_TEMPERATURA_CALDERO * 500) / 31206	Escalamiento de temperatura del
3	SENSOR_CORRIENTE_ESCALADO	(SENSOR_CORRIENTE * 10) / 31206	Escalamiento de sensor de corrie
4	SENSOR_HUMEDAD_ESCALADO	(SENSOR_HUMEDAD * 100) / 31206	Escalamiento de sensor de hume
5	FRECUENCIA_ESCALADA	(FRECUENCIA_VARIADOR * 60) / 31206	Frecuancia de motor escalada de
6	VALUVULA_ESCALADA	(APERTURA_VALVULA * 100) / 31206	valvla de control escalada nos da
7			

Figura 5. 150: Cuadro de Tags Derivados generados
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Para que los Tags Derivados se ejecuten es necesario crear botones que activen y desactiven dicha función. Se crea entonces un botón denominado “Activar tagsderivados”, cuya configuración se muestra en las figura 5.150.

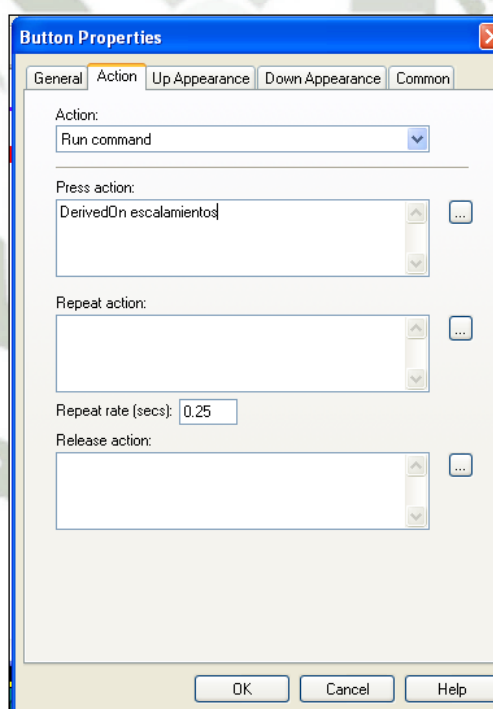


Figura 5. 151: Ventana de configuración para el botón “Activar tagderivados”
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Del mismo modo para el botón “Desactivar tagderivados”, la configuración se muestra en la figura 5.151.

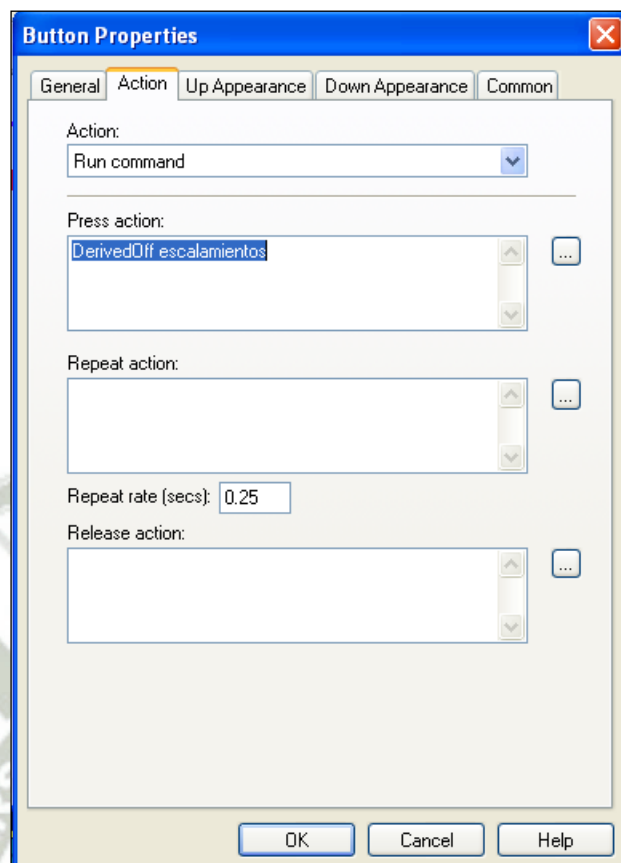


Figura 5. 152: Ventana de configuración para el botón “Desactivar tagderivados”
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Una vez configurados los tags derivados es posible usarlos en el HMI, procederemos de la siguiente manera. Dentro del campo “Numeric Display” hacemos clic derecho y seleccionamos la opción “Properties” como se muestra en la figura 5.152, seguidamente se mostrara la figura 5.153.

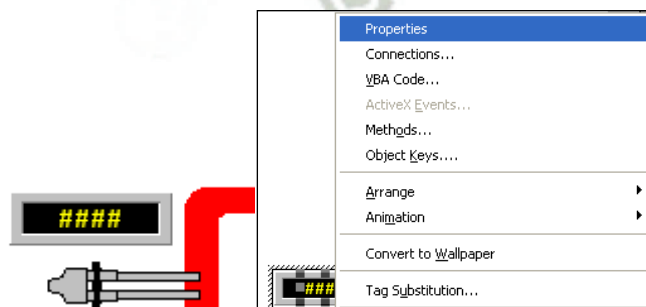


Figura 5. 153: Ingreso a ventana propiedades de un display numérico.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

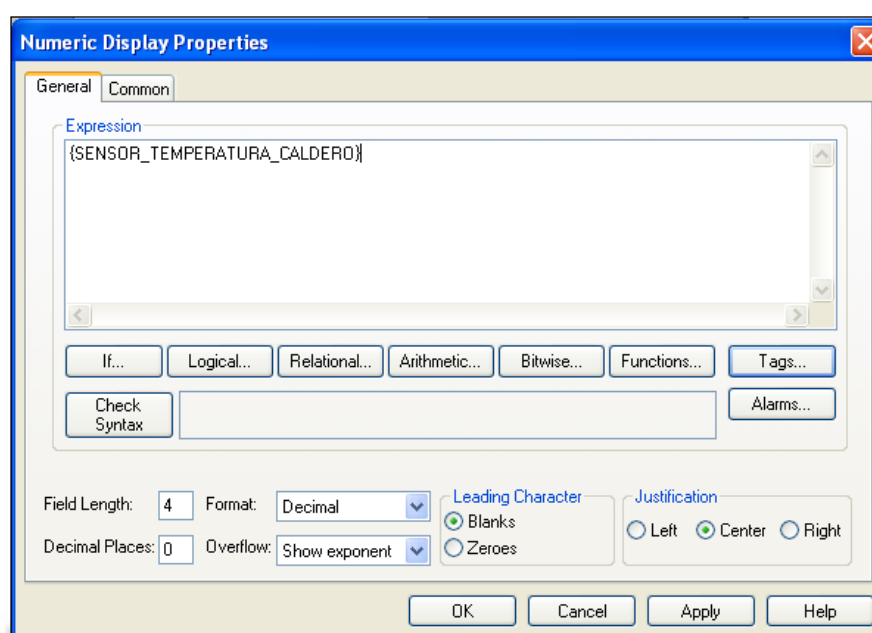
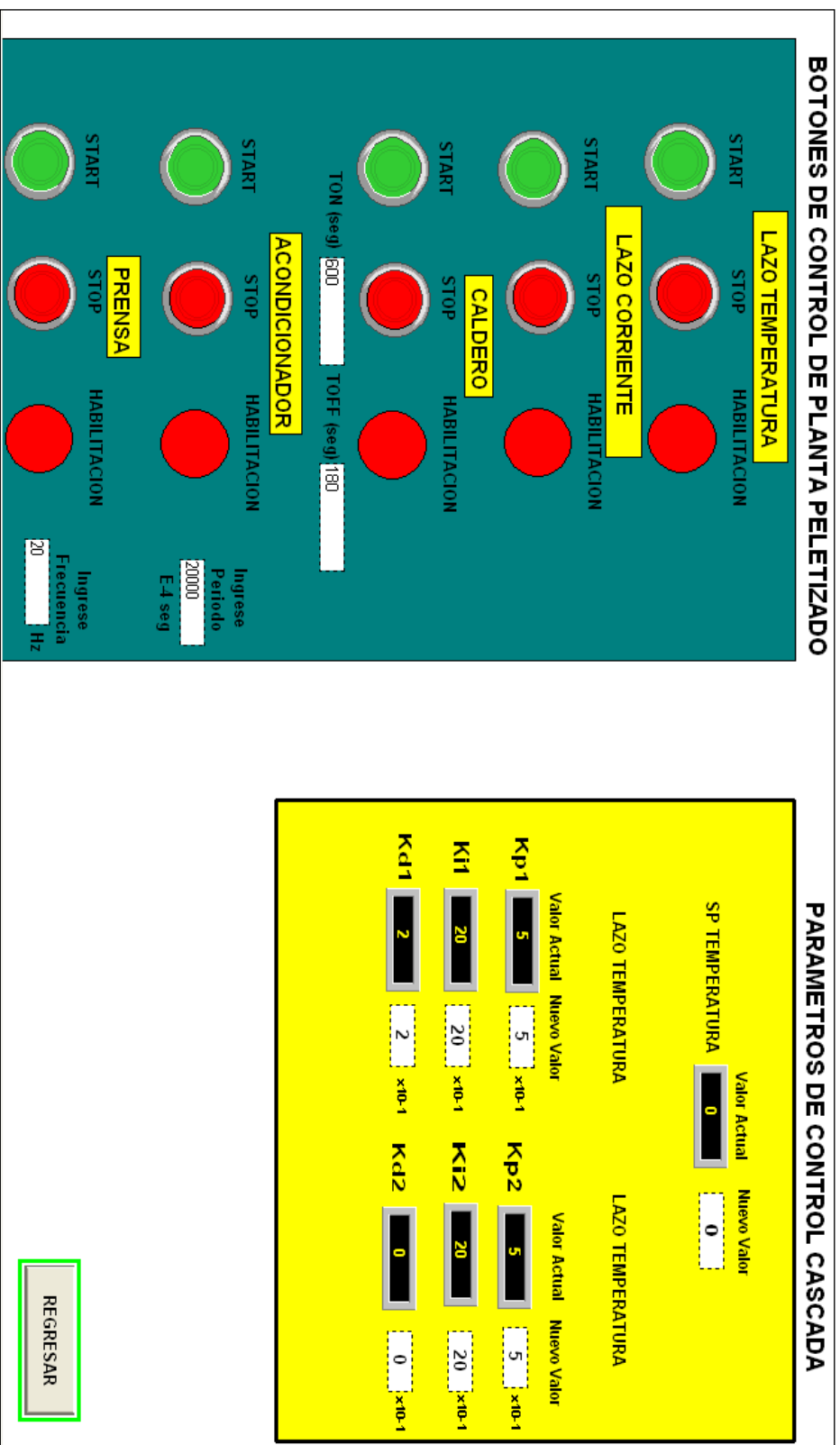


Figura 5. 154: Selección de tag para el display numérico.

Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Dentro de la ventana de navegación la siguiente opción es el botón “CONTROL”, una vez que hacemos clic en el mismo se mostrara la figura 5.154.



*Figura 5. 155: Interfaz de “Control” para el proceso de Peletizado.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.*

A continuación se detalla la configuración de la figura 5.155, para el lazo de temperatura iniciamos configurando el botón “Start”, para ello hacemos clic derecho en el botón, seleccionamos la opción “Animation”, seguidamente “Touch”, como se muestra en la figura 5.156.

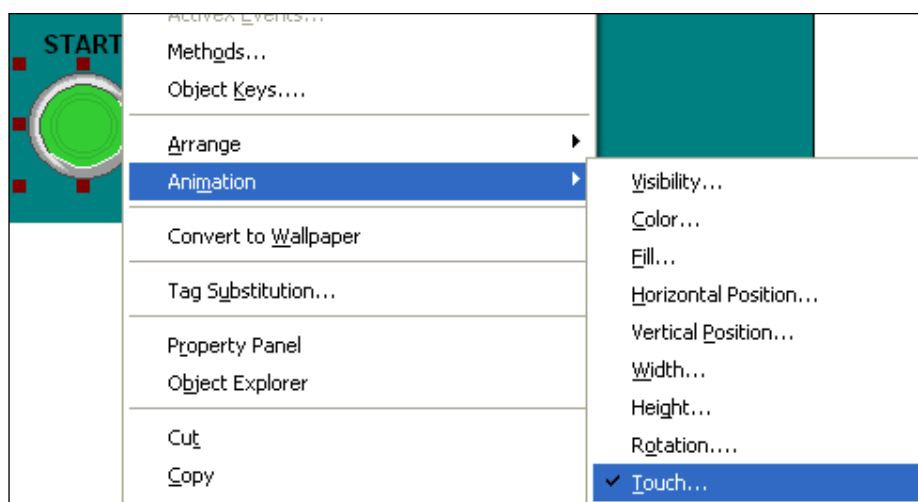


Figura 5. 156: Ingreso a la animación tipo touch para botón Start.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

A continuación se configura la animación como muestra la figura 5.156.

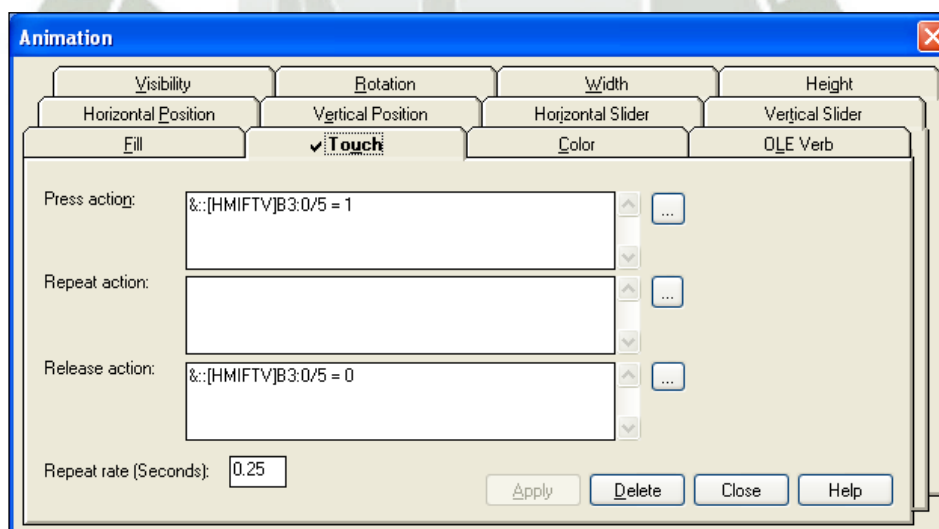


Figura 5. 157: Configuración de animación tipo touch para botón Start.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Al igual que el botón “Start” se configura el botón “Stop”, configurando como se muestra en la figura 5.157.

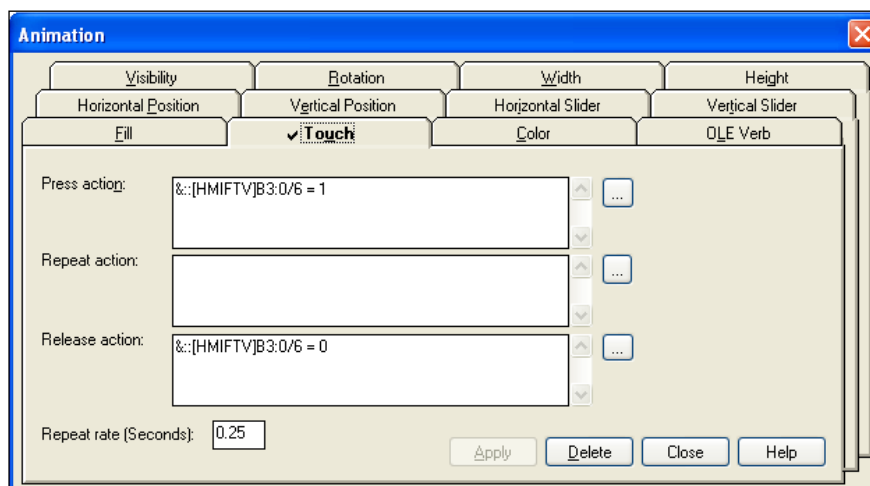


Figura 5. 158: Configuración de animación tipo touch para botón Stop.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Del mismo modo agregamos una animación de tipo color, para el círculo de “HABILITACION”, que servirá de indicativo si el lazo de temperatura se encuentra activo o no. Para ello, hacemos clic derecho en el círculo, seleccionamos “Animation”, y “Color”, como se aprecia en la figura 5.158.

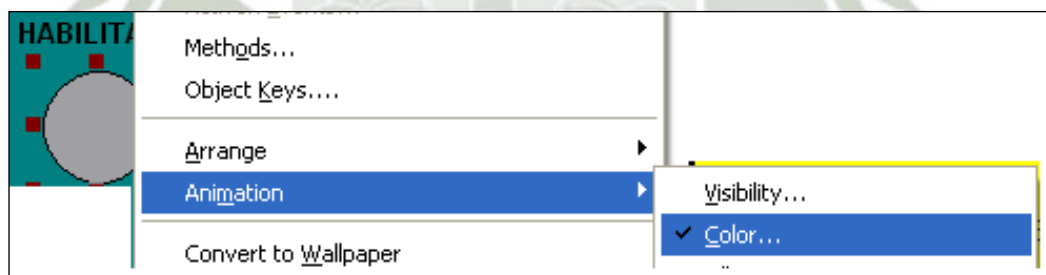


Figura 5. 159: Ingreso a la animación tipo color para un círculo.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Se mostrara la figura 5.159, donde es importante seleccionar el tag que define la variable de PLC que queremos enlazar, también en los estados “0” y “1” configuramos de distinto color para que una vez que haya el cambio de estado se refleje en la animación.

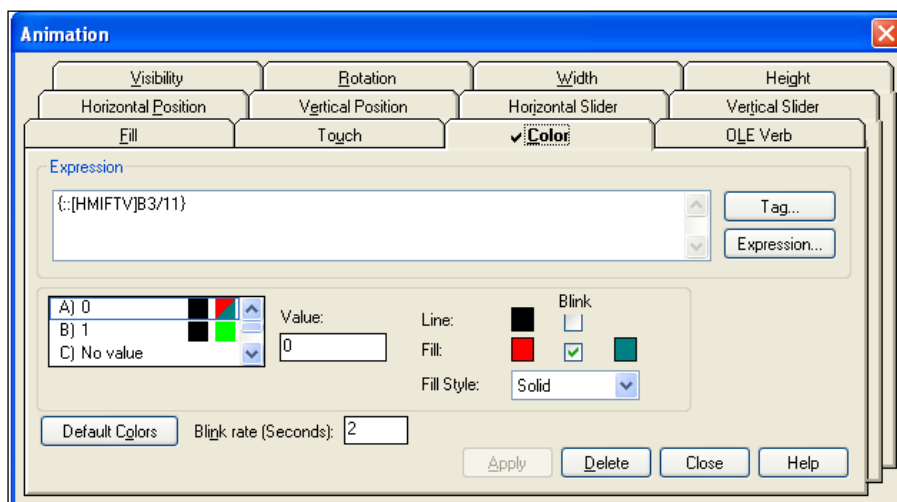


Figura 5. 160: Ingreso a la animación tipo Color para un círculo.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Con las herramientas display numérico  e ingreso numérico  se genera la figura 5.160.



Figura 5. 161: Display numérico e ingreso numérico para el parámetro “Kp” de lazo principal (temperatura).
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Configuramos cada elemento, para ello en el campo ingreso numérico hacemos clic derecho y seleccionamos la opción “Properties” mostrado en la figura 5.161.

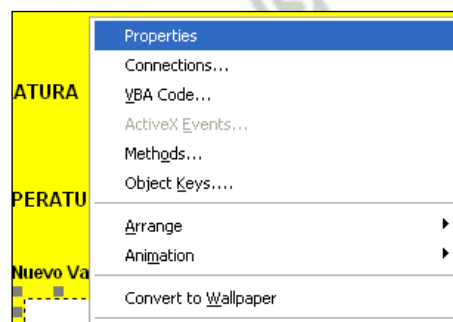


Figura 5. 162: Ingreso a propiedades del campo “ingreso numérico”
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Se mostrara la figura 5.162, donde es importante seleccionar el tag para enlazar el HMI con la variable del PLC.

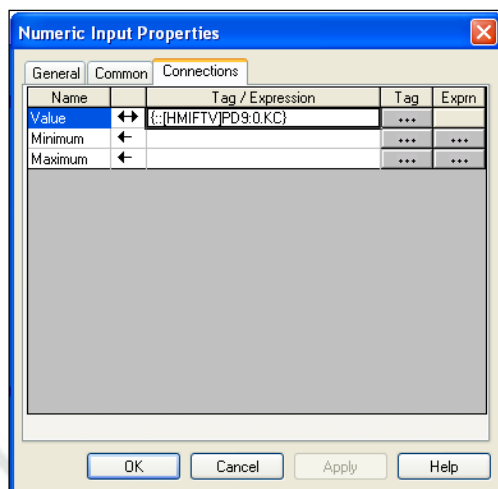


Figura 5. 163: Ventana de propiedades del campo “ingreso numérico”.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

5.9.5. Configuración de grafico de tendencia

Siguiendo el orden de nuestra ventana de navegación tenemos a un botón denominado “TREND”, que al hacer clic mostrara el grafico de la figura 5.163, que representa a un gráfico de tendencia en tiempo real de parámetros importantes para nuestro proceso.

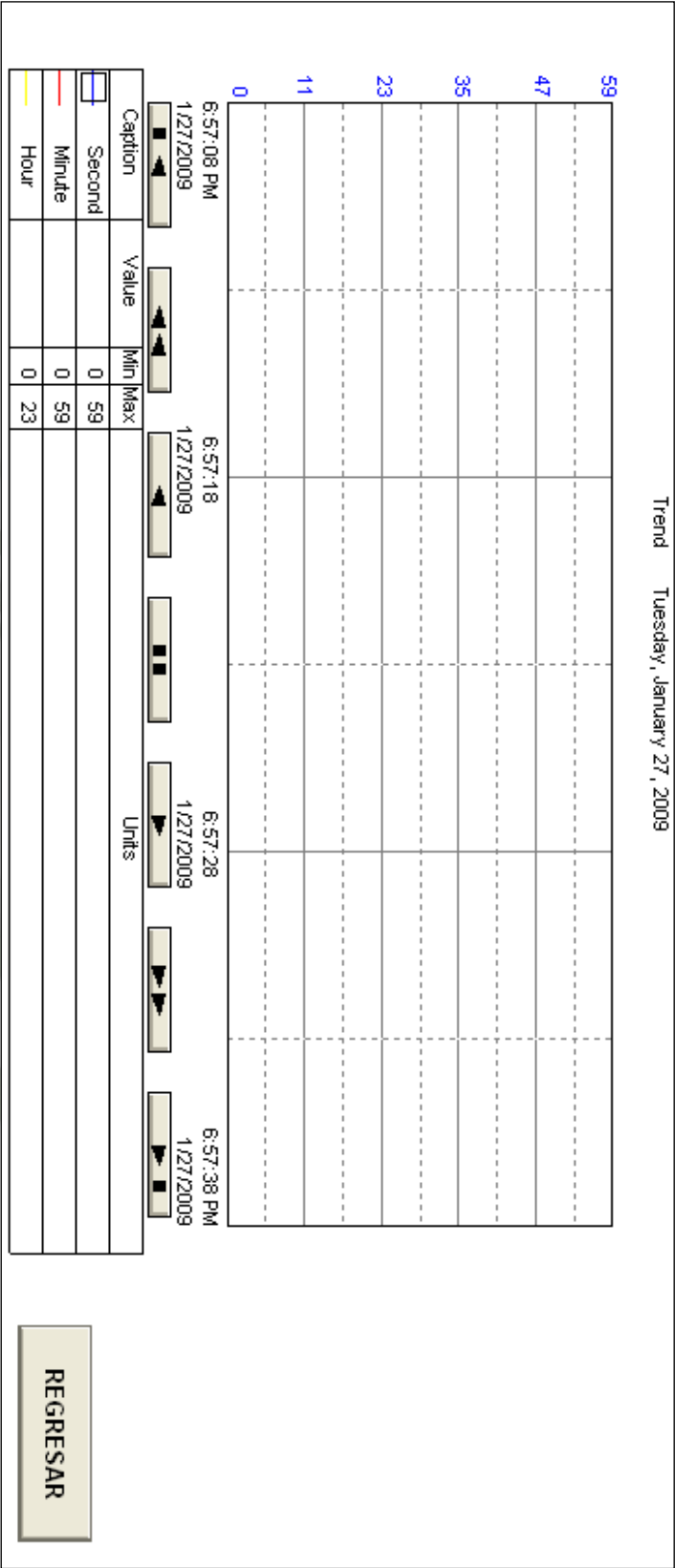


Figura 5. 164: Interfaz de “Trend” para el proceso de Peletizado.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

El desarrollo de la interfaz mostrada en la figura 5.163, se detalla a continuación, de la librería del software FactoryTalk View Studio añadimos un grafico “Trend” como se muestra en la figura 5.164.

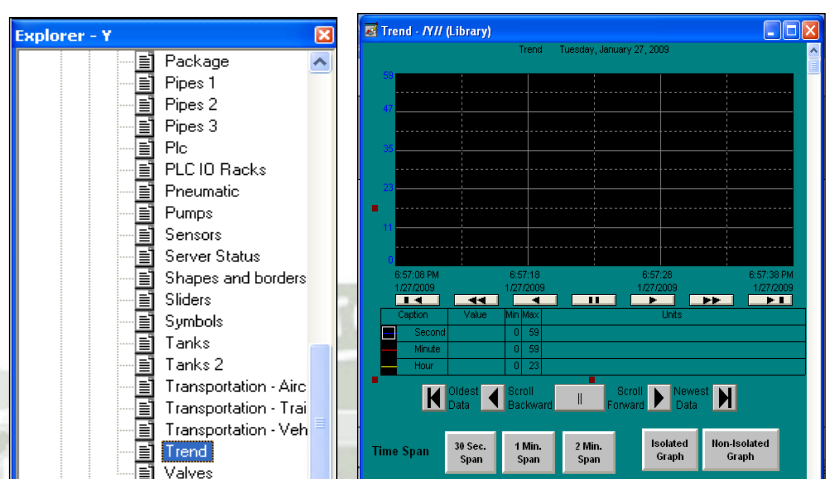


Figura 5. 165: Librería Trend.

Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Agregado el trend, hacemos doble clic en el mismo y configuramos las propiedades, seleccionamos los tags de nuestra variable de control, variable de proceso y set point del lazo externo de temperatura, mostradas en la figura 5.165.

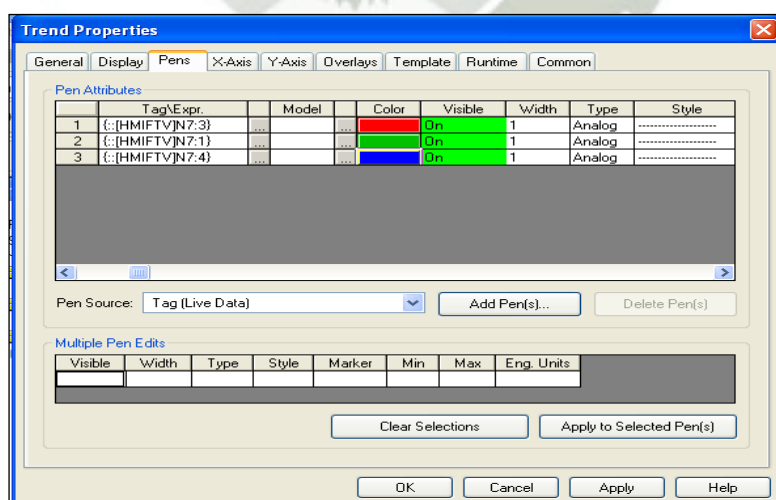


Figura 5. 166: Configuración de propiedades del Trend.

Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

5.9.6. Configuración de base de datos en SQL Server 2005.

En la presente investigación utilizaremos el software SQL Server 2005, como base de datos de nuestro sistema SCADA.

Iniciamos el programa, mediante el botón “Inicio/SQL Server Management Studio”, y aparece la figura 5.166.

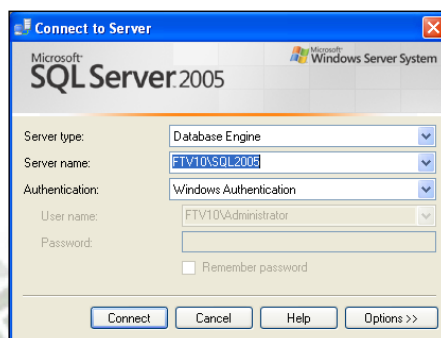


Figura 5. 167: Conexión al Servidor SQL Server 2005.
Fuente: Software SQL Server 2005

En la figura 5. 166, hacemos clic en “connect” y se mostrará la figura 5.167.

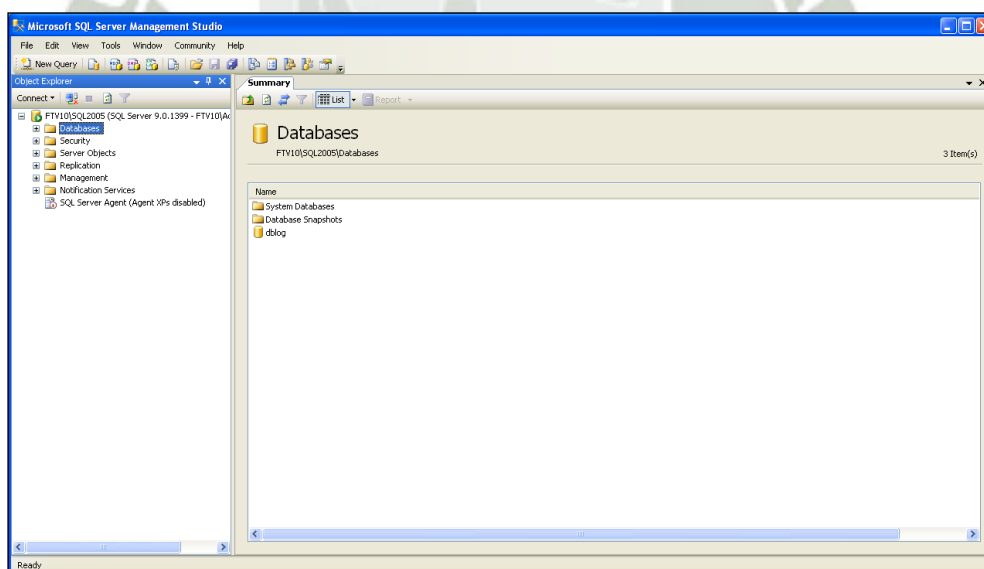


Figura 5. 168: Pantalla principal del servidor.
Fuente: Software SQL Server 2005

El siguiente paso será la creación de una nueva base de datos, para ello hacemos clic derecho en “Database” y Seleccionamos “New Database”, como se muestra en la figura 5.168.

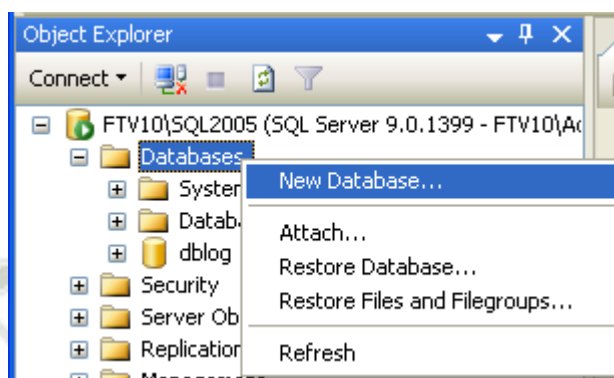


Figura 5. 169: Creación de una nueva base de datos.
Fuente: Software SQL Server 2005.

Definimos el nombre de nuestra base de datos y hacemos clic en “Ok”, ver la figura 5.169

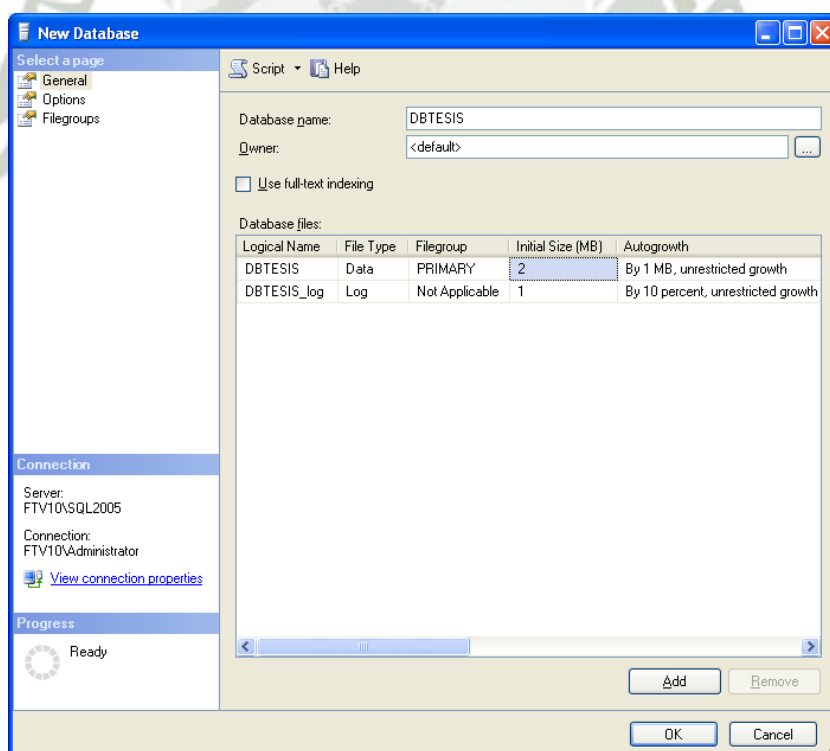


Figura 5. 170: Asignación del nombre de la base de datos.
Fuente: Software SQL Server 2005.

Se observa la nueva base de datos creada, ver figura 5.170

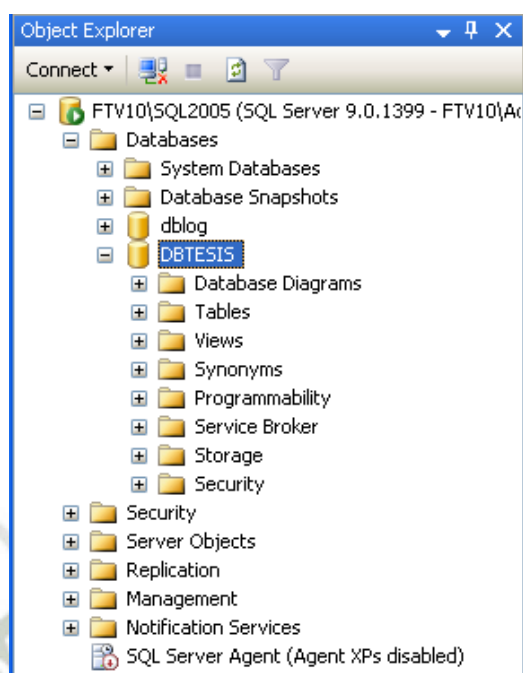


Figura 5. 171:Nueva base de datos creada.

Fuente: Software SQL Server 2005.

El siguiente paso será abrir el “panel de control”, ingresamos a “herramientas administrativas” y seleccionamos “Data Sources (ODBC)”. En la pestaña “System DSN” hacemos clic en “Add...”, como muestra la figura 5.171.

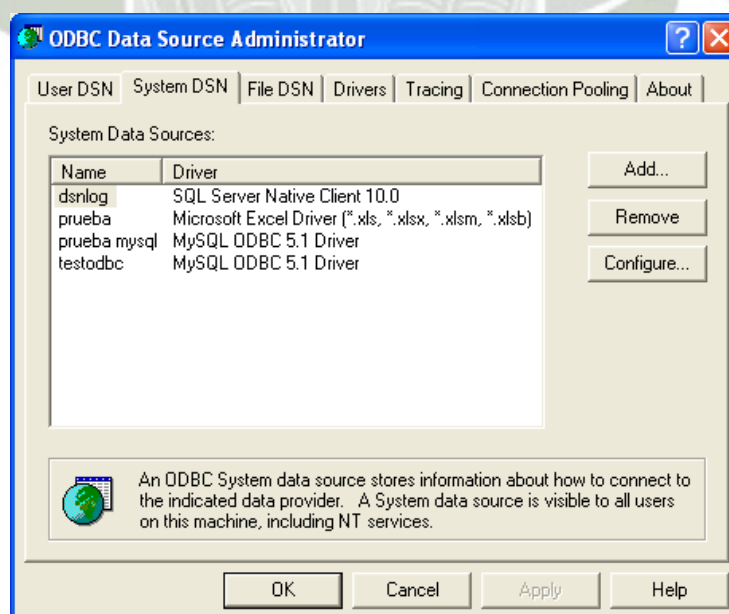


Figura 5. 172:Ventana de administración de fuente de datos ODBC.

Fuente: Microsoft windows XP.

Aparecerá la figura 5.172, donde seleccionaremos la fuente de datos ODBC.

Seleccionamos la opción “SQL Server Native Client 10.0” y hacemos clic en “Finish”.

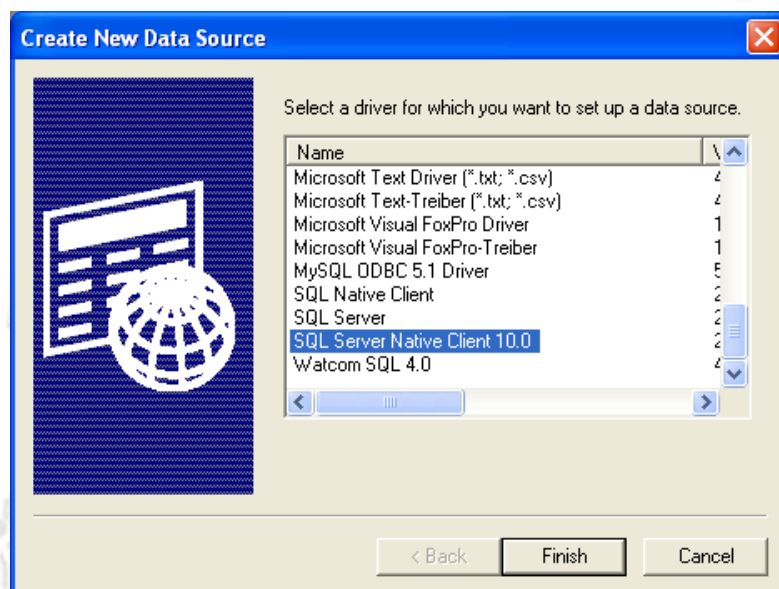


Figura 5. 173: Selección de tipo de fuente de datos ODBC.
Fuente: Microsoft windows XP.

Ingresamos un nombre, y seleccionamos el servidor “FTV10\SQL2005”. Hacemos clic en “Next”. Mostrado en la figura 5. 173.

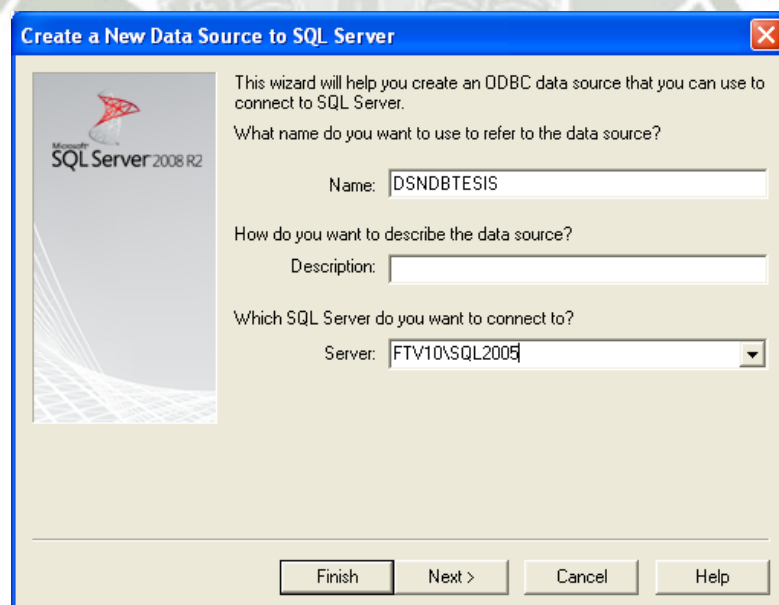


Figura 5. 174: Creación de una nueva fuente de datos para SQL Server (paso 1).
Fuente: Software SQL Server 2005.

Se mostrara la figura 5.174, donde hacemos clic en “Next”.

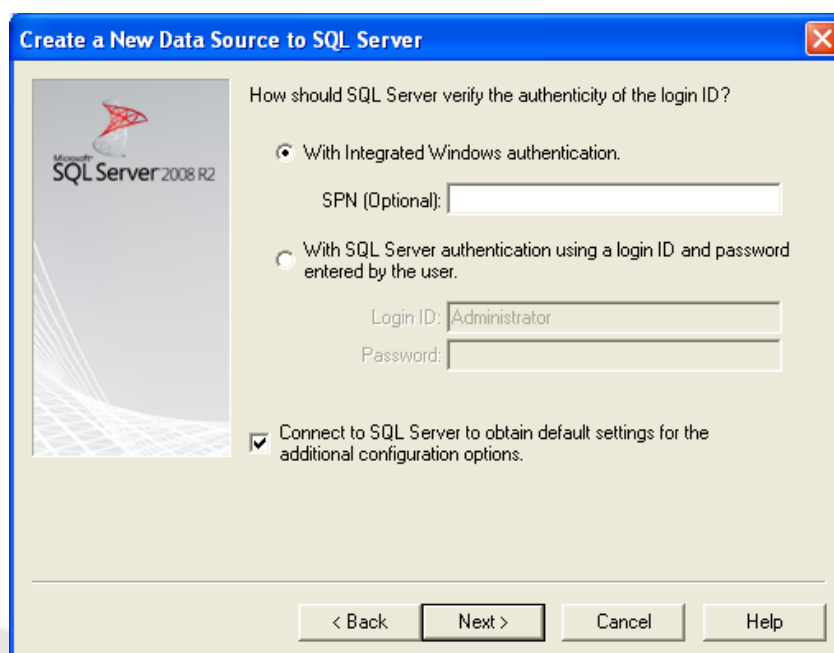


Figura 5. 175: Creación de una nueva fuente de datos para SQL Server (paso 2).
Fuente: Software SQL Server 2005.

Seleccionamos la base de datos creada anteriormente como se muestra en la figura 5.175 y hacemos clic en botón “Next”.

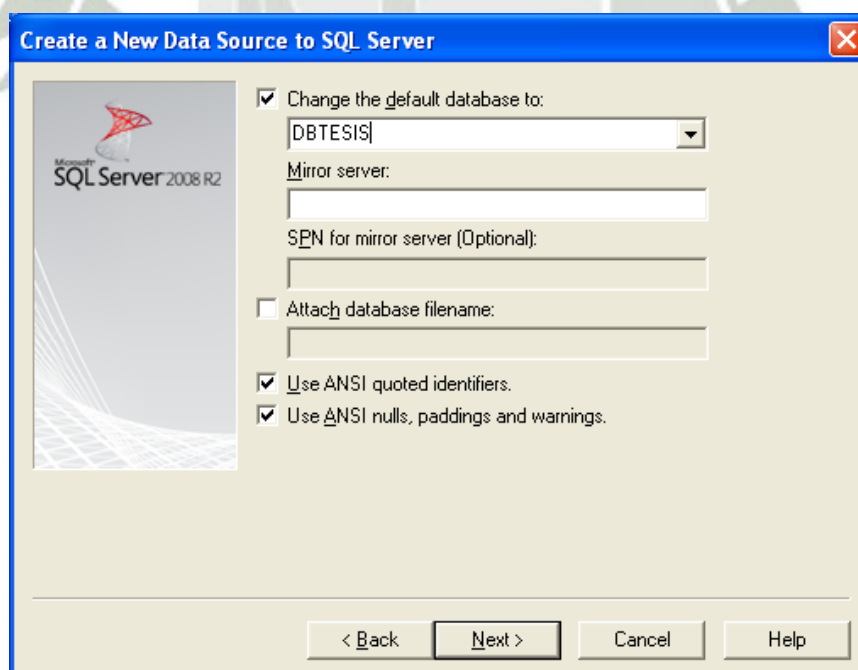


Figura 5. 176: Creación de una nueva fuente de datos para SQL Server (paso 3).
Fuente: Software SQL Server 2005.

Se mostrara la figura 5.176, donde hacemos clic en botón “Finish”.

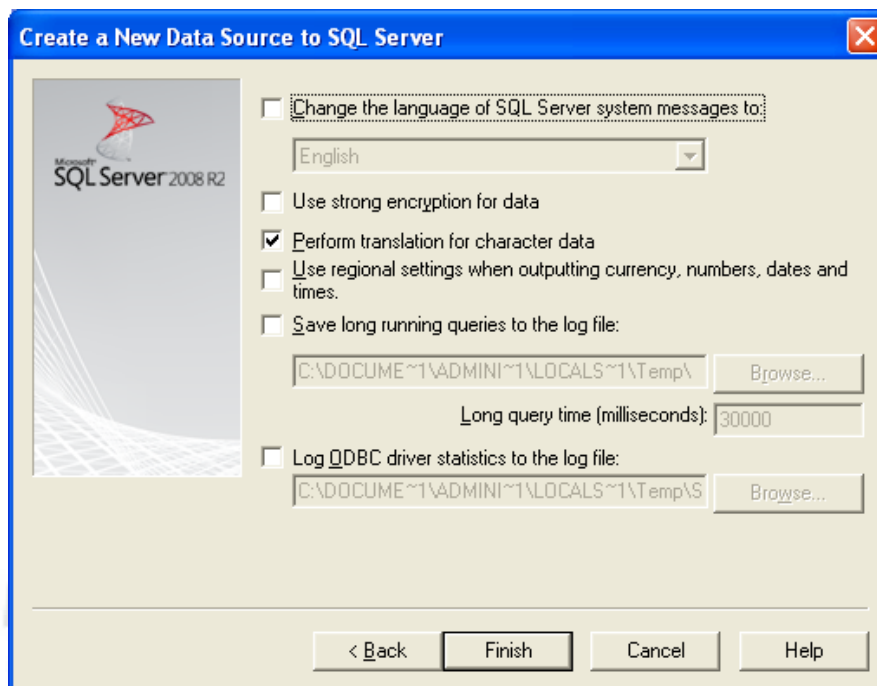


Figura 5. 177: Creación de una nueva fuente de datos para SQL Server (paso 4).
Fuente: Software SQL Server 2005.

Aparece una pantalla resumen (Figura 5.177) de la configuración realiza. Clic en botón “Test Data Source...”.

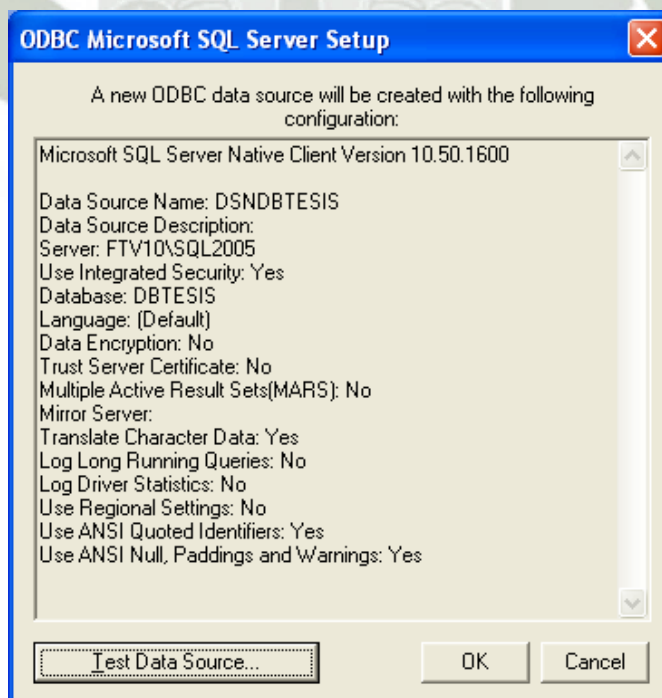


Figura 5. 178: Resumen de configuración de nueva fuente de datos para SQL Server
Fuente: Software SQL Server 2005.

Aparece una ventana de conformidad de configuracion mostrado en la figura 5.178.

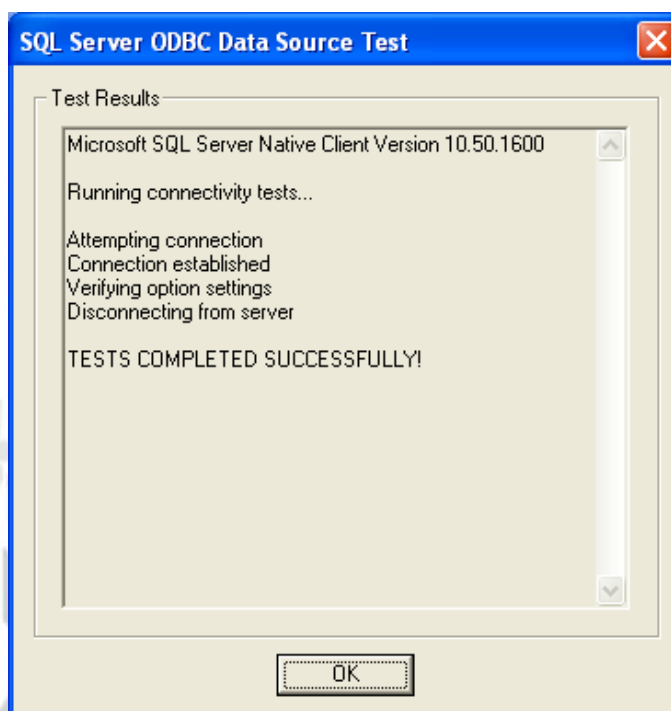


Figura 5. 179: Resultados de prueba de fuente de datos.
Fuente: Software SQL Server 2005.

Seguidamente hacemos clic en “OK” (Figura 5.178), nuevamente “OK” (Figura 5.177) Observamos la nueva fuente de datos ODBC creado (Figura 5.179).

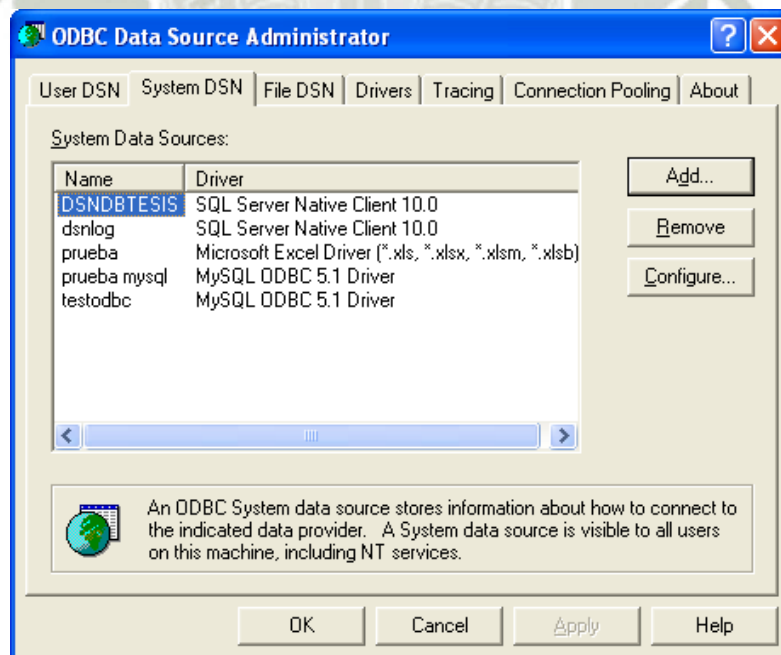


Figura 5. 180: Nuevo enlace DNS creado de nombre “DSNDBTESIS”.
Fuente: Microsoft windows XP.

Desde el software FactoryTalk View creamos una nueva base de datos, ver figura 5.180.



Figura 5. 181: Creación de una nueva base de datos

Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Aparece la ventana de configuración (Figura 5.181). En la pestaña “Setup”, opción “ODBC Data Source” seleccionamos nuestra fuente creada.

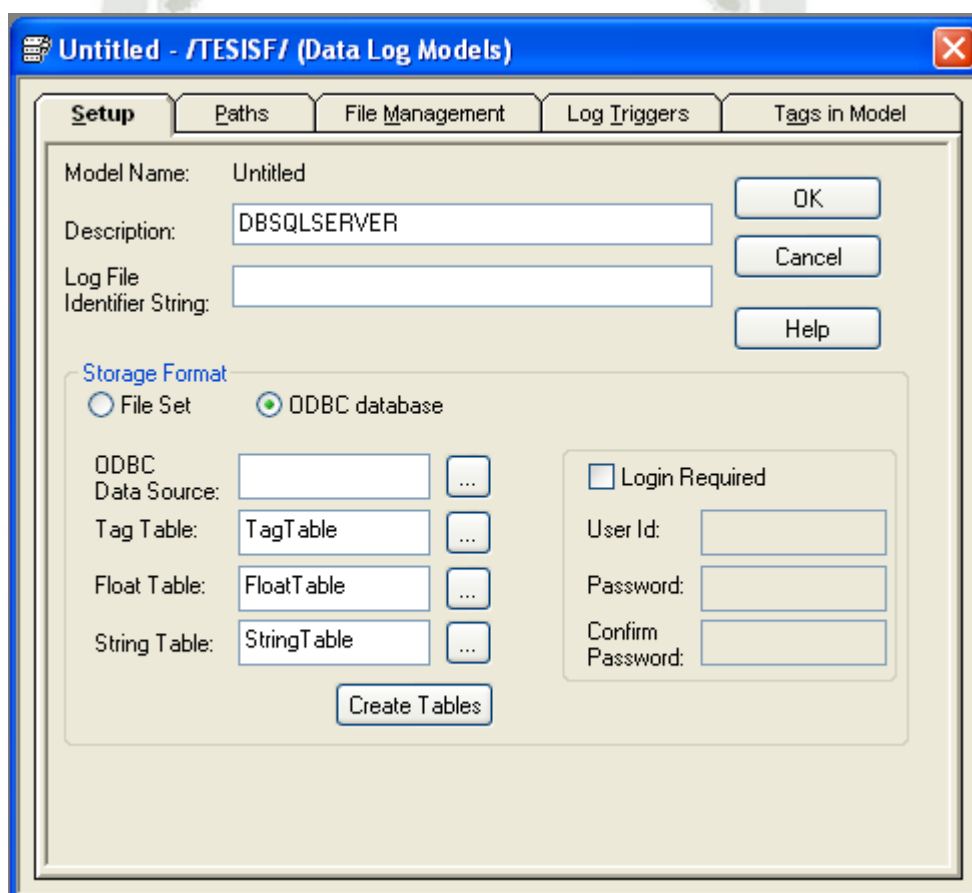


Figura 5. 182: Pestaña “Setup” de ventana de configuración para base de datos.

Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Se mostrara la figura 5.182, donde seleccionamos la base de datos creada de nombre “DSNDBTESIS”.

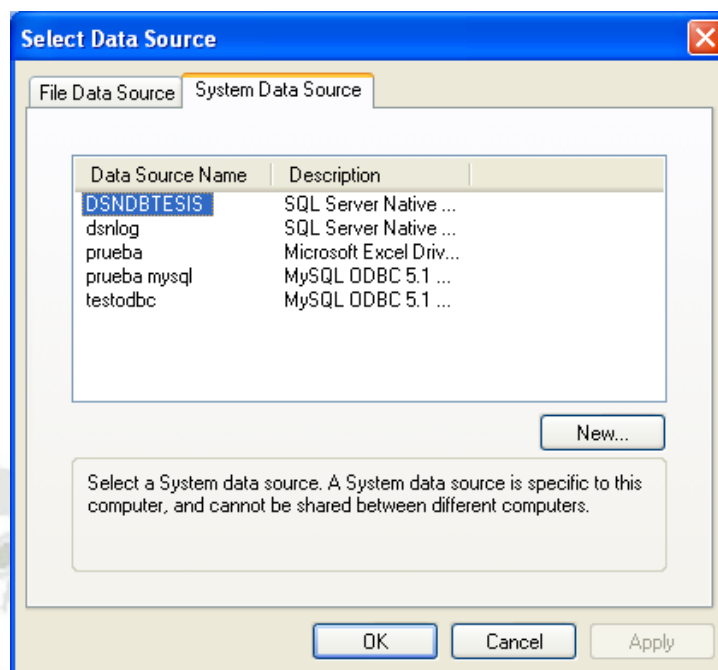


Figura 5. 183: Selección de fuente de base de datos
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Seleccionada la base de datos (Figura 5.183), procedemos a darle clic en la opción “Create Tables”.

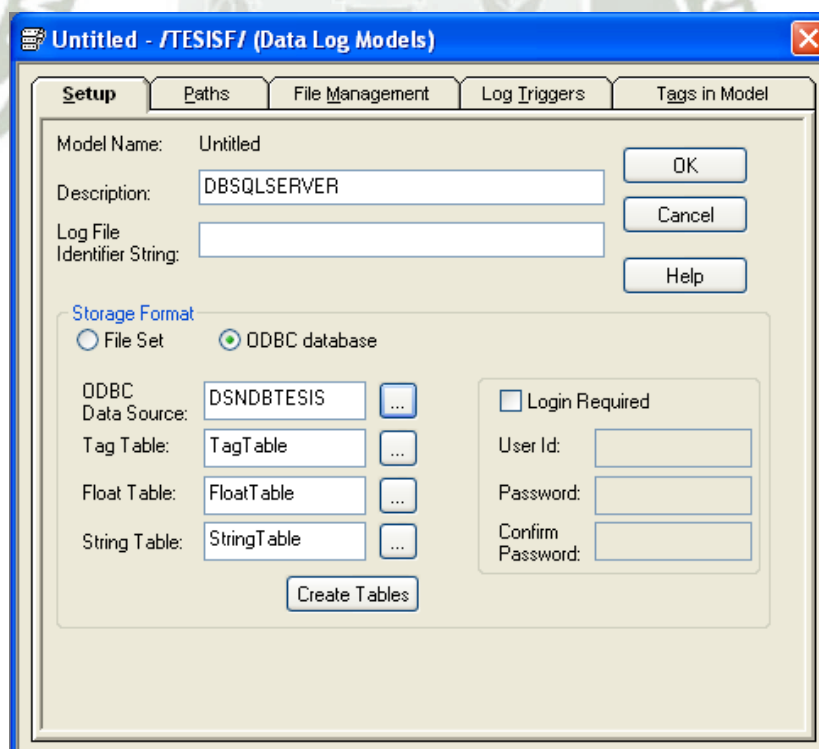


Figura 5. 184: Selección de fuente de datos ODBC
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Al hacer clic en “Create Tables” debe aparecer un aviso mostrado en la figura 5.184.



Figura 5. 185: Ventana de confirmación de creación de tablas para base de datos
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Dentro de la pestaña “Paths” de la ventana de configuración de la base de datos vamos a activar el almacenamiento de datos por defecto (backuitp), habilitamos la pestaña “Enable ODBC Backup Path” y seleccionamos la ruta donde queremos almacenar los datos como se muestra en la figura 5.185.

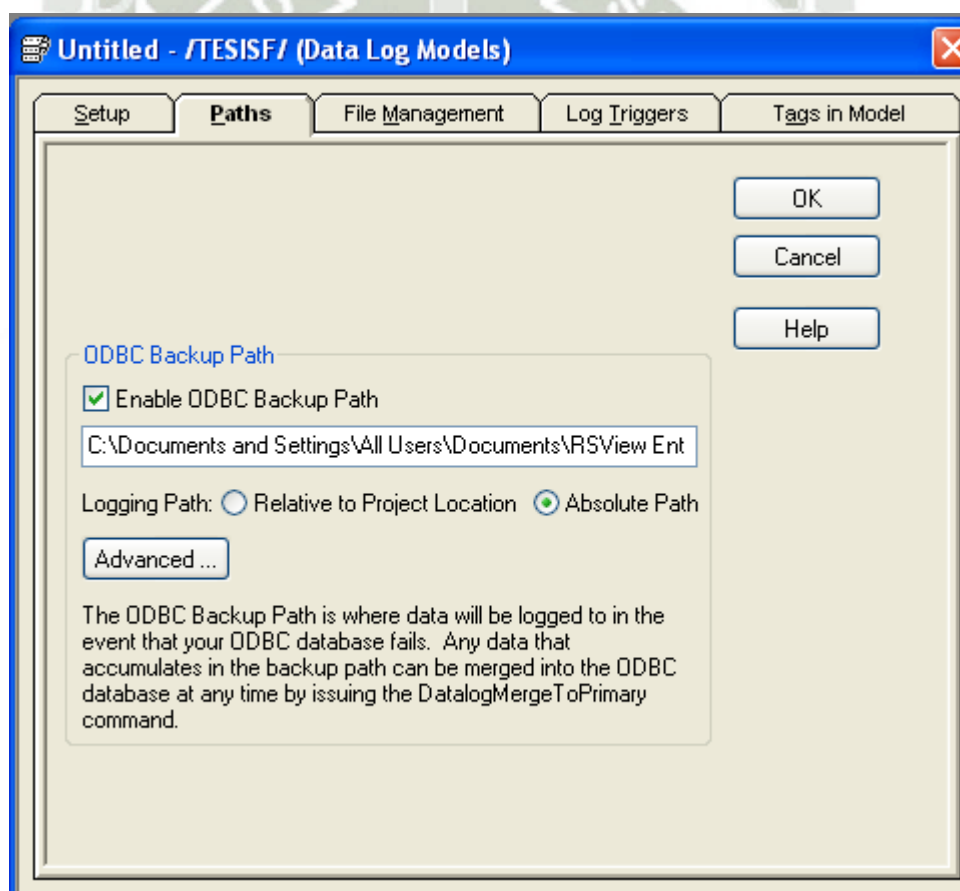


Figura 5. 186: Pestaña “Paths” de ventana de configuración para base de datos.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Es importante configurar la pestaña “Log Triggers” ya que en esta se definirá el intervalo de tiempo que queremos que se almacenen las variables en nuestra base de datos. Se muestra la configuración en la figura 5.186.

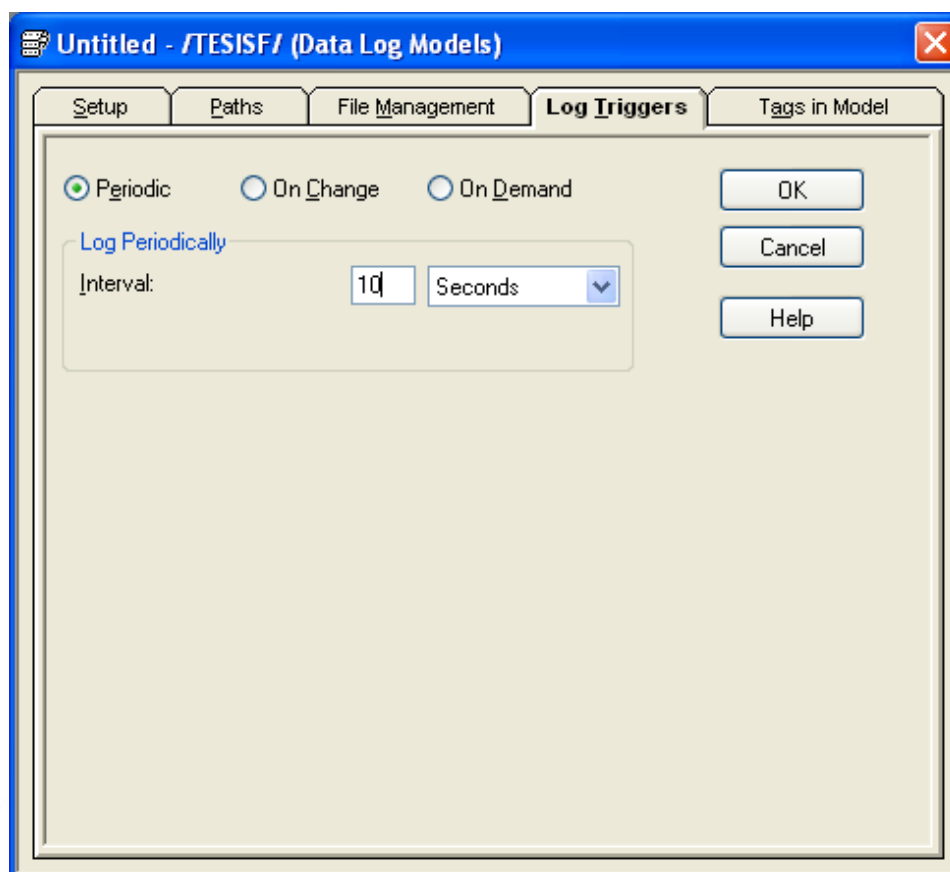


Figura 5. 187: Pestaña “Log Triggers” de ventana de configuración para base de datos.

Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

En la pestaña “Tags in Model” mostrado en la figura 5.187, seleccionaremos las variables de nuestro proceso que serán almacenadas en nuestra base de datos.

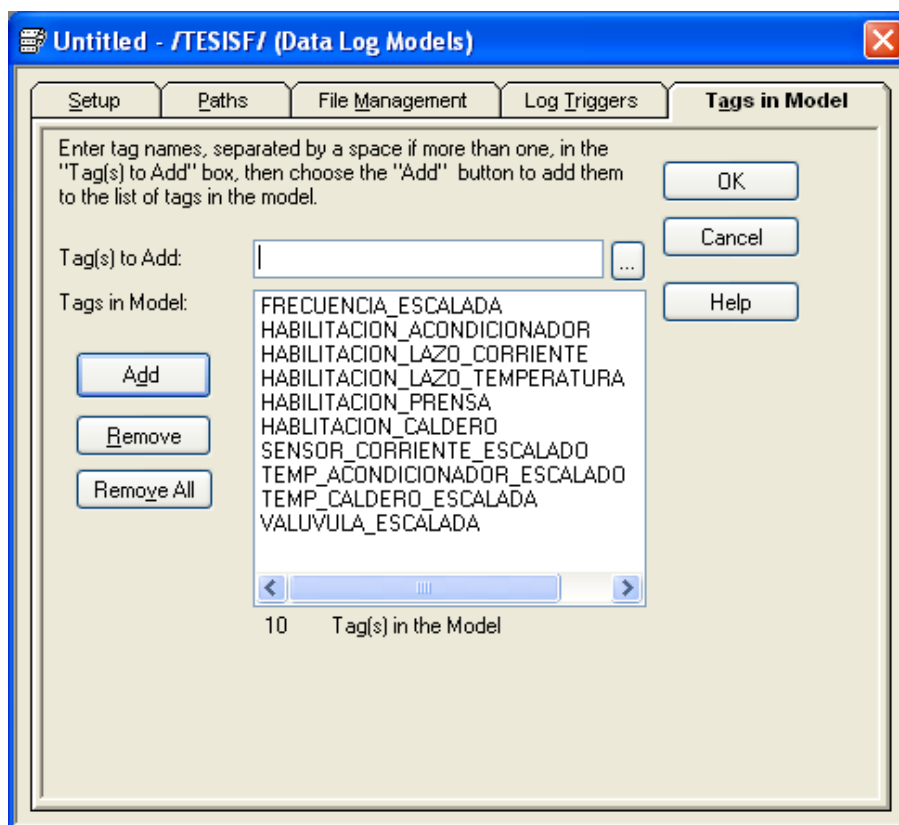


Figura 5. 188: Pestaña “Tags in Model” de ventana de configuración para base de datos.

Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Una vez configurada la base de datos es necesario agregar comandos para el inicio y fin del almacenamiento de datos de nuestra base de datos, para ello configuramos dos botones, el primero denominado “DB SQLSERVER ON” , que servirá para iniciar el almacenamiento de datos, la configuración se muestra en la figura 5.188.

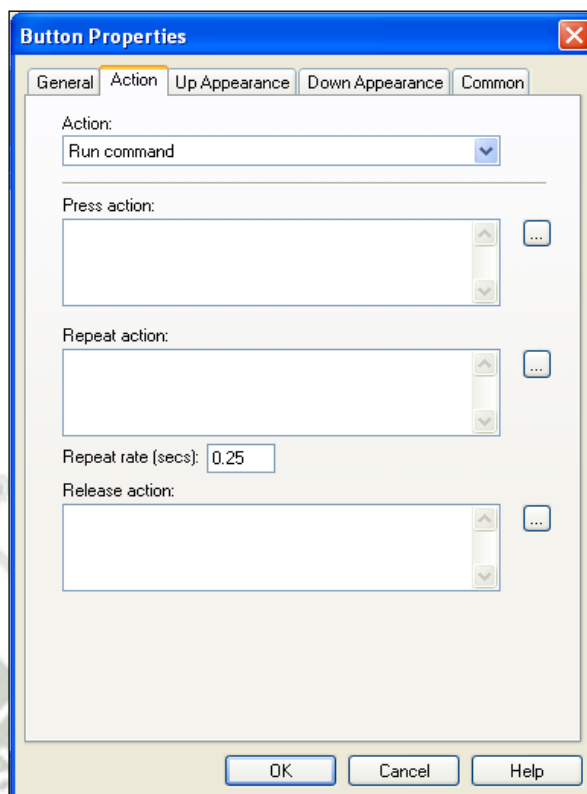


Figura 5. 189: Ventana de configuración de boton para activar el almacenamiento en la base de datos.

Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Dentro del campo “Press action” hacemos clic en la opción  donde se mostrara la figura 5.189, hacemos clic en “Next”.

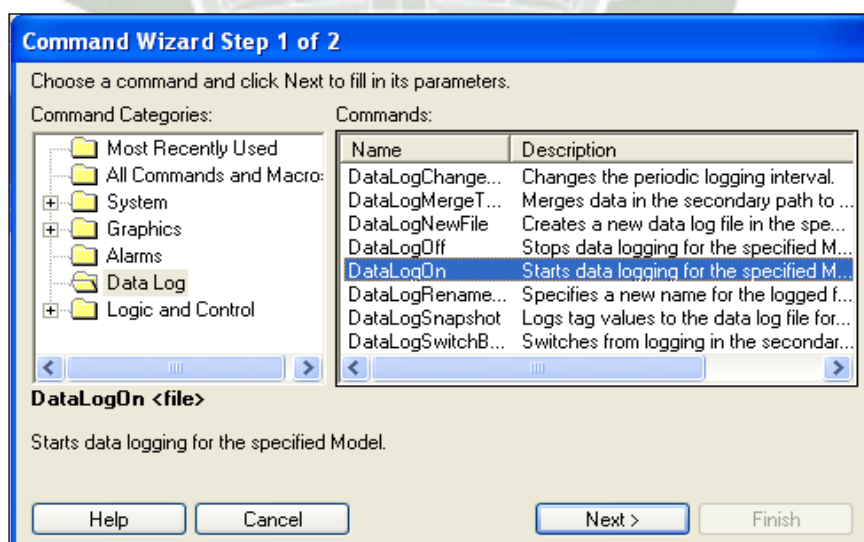


Figura 5. 190: Comando a ejecutar por el botón de activación de base de datos.

Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Se mostrara el segundo paso en la figura 5.190, donde debemos seleccionar la base de datos que se activara.

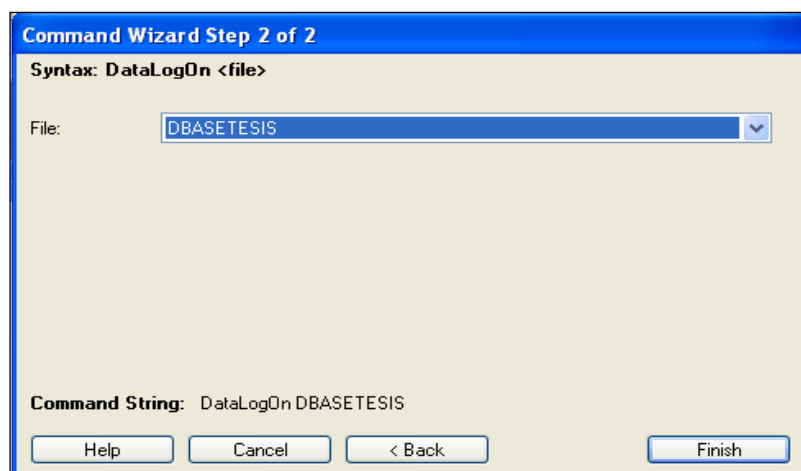


Figura 5. 191: Selección de la base de datos que se activara.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Del mismo modo para desactivar el almacenamiento de base de datos adicionamos un botón “DB SQL SERVER OFF”, cuya configuración se muestra en la figura 5.191.

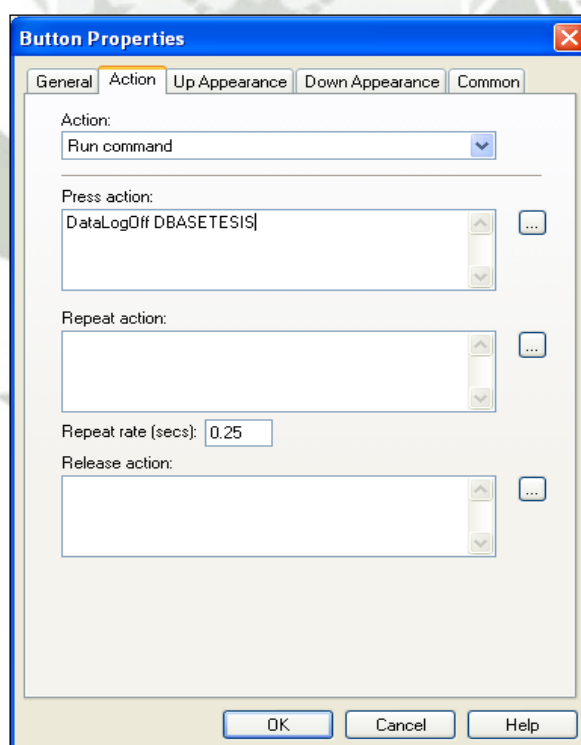


Figura 5. 192: Ventana de configuración de botón para desactivar almacenamiento en la base de datos.

Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Los botones configurados se muestran en la figura 5.192.

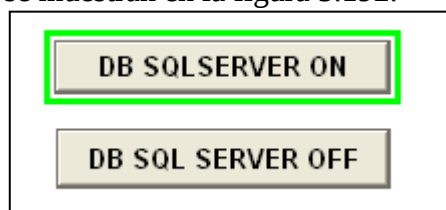


Figura 5. 193: Botones de activación y desactivación de la base de datos
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Regresamos al software SQL Server 2005 para verificar que los datos se estén almacenando de forma correcta, para ello nos dirigimos a la base de datos creada de nombre “DBTESIS”, desplegamos la opción “tablas” y en la tabla “dbo.FloatTable” hacemos clic derecho y seleccionamos la opción “Open Table” como se muestra en la figura 5.193.

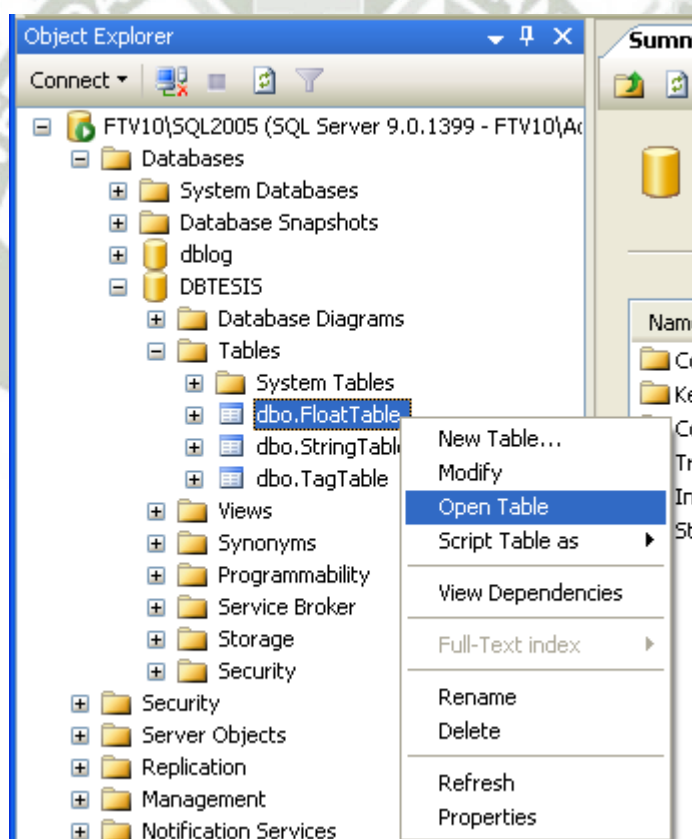


Figura 5. 194: Procedimiento para abrir una tabla de la base de datos.
Fuente: Software SQL Server 2005.

Se abra la tabla “dbo.FloatTable” mostrada en la figura 5.194, donde se observa el valor almacenado de cada uno de los tags de nuestra base de datos.

Table - dbo.TagTable		Table - dbo.FloatTable		Summary		
DateAndTime	Millitm	TagIndex	Val	Status	Marker	
6/12/2014 11:28:12 AM	296	6	0			
6/12/2014 11:28:12 AM	296	7	8.63615989685...			
6/12/2014 11:28:12 AM	296	8	17.9612903594...			
6/12/2014 11:28:12 AM	296	9	0			
6/12/2014 11:28:22 AM	328	0	10			
6/12/2014 11:28:22 AM	328	1	1			
6/12/2014 11:28:22 AM	328	2	0			
6/12/2014 11:28:22 AM	328	3	0			
6/12/2014 11:28:22 AM	328	4	0			
6/12/2014 11:28:22 AM	328	5	0			
6/12/2014 11:28:22 AM	328	6	0			
6/12/2014 11:28:22 AM	328	7	8.62013721466...			
6/12/2014 11:28:22 AM	328	8	17.9612903594...			
6/12/2014 11:28:22 AM	328	9	0			
6/12/2014 11:28:32 AM	359	0	10			
6/12/2014 11:28:32 AM	359	1	1			
6/12/2014 11:28:32 AM	359	2	0			
6/12/2014 11:28:32 AM	359	3	0			
6/12/2014 11:28:32 AM	359	4	0			
6/12/2014 11:28:32 AM	359	5	0			
6/12/2014 11:28:32 AM	359	6	0			
6/12/2014 11:28:32 AM	359	7	8.62013721466...			
6/12/2014 11:28:32 AM	359	8	17.9452667236...			
6/12/2014 11:28:32 AM	359	9	0			
* NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	

Figura 5. 195: Tabla “dbo.FloatTable” de la base de datos “DBTESIS”
Fuente: Software SQL Server 2005.

Del mismo modo abrimos la tabla “dbo.TagTable” donde se observa el “TagIndex” asignado a cada uno de los tags de nuestra base de datos.

Table - dbo.TagTable		Table - dbo.FloatTable		Summary	
TagName	TagIndex	TagType	TagDataType		
FRECUENCIA_ESCALADA	0	2	1		
HABILITACION_ACONDICIONADOR	1	3	-1		
HABILITACION_LAZO_CORRIENTE	2	3	-1		
HABILITACION_LAZO_TEMPERATURA	3	3	-1		
HABILITACION_PRENSA	4	3	-1		
HABILITACION_CALDERO	5	3	-1		
SENSOR_CORRIENTE_ESCALADO	6	2	1		
TEMP_ACONDICIONADOR_ESCALADO	7	2	1		
TEMP_CALDERO_ESCALADA	8	2	1		
VALUVULA_ESCALADA	9	2	1		
►*	NULL	NULL	NULL		

Figura 5. 196: Tabla “dbo.FloatTable” de la base de datos “DBTESIS”
Fuente: Software SQL Server 2005.

5.9.6.1. Importación de datos a Microsoft Excel desde la base de datos SQL Server 2005.

Para poder realizar consultas, informes de acuerdo a lo que necesitemos podemos importar desde Microsoft Excel valores de la base de datos SQL Server 2005. Abrimos una nueva hoja de datos Excel, en la pestaña “Datos” seleccionamos como se muestra en la figura 5.196.

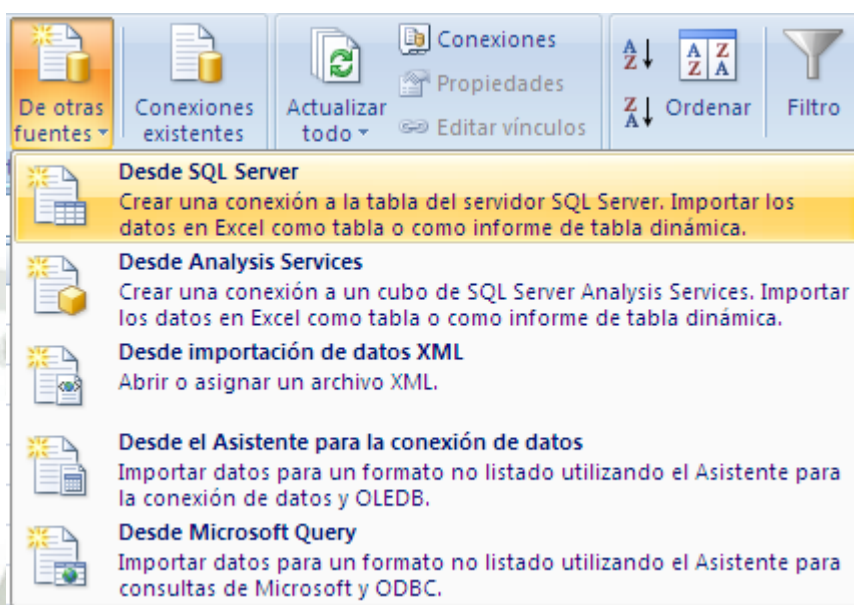


Figura 5. 197: Importación de datos a Microsoft Excel desde la base de datos SQL Server 2005.

Fuente: Microsoft Excel 2010.

A continuación se mostrara la figura 5.197, donde escribimos el nombre del servidor para conectarnos a SQL Server 2005, hacemos clic en “Siguiete”.

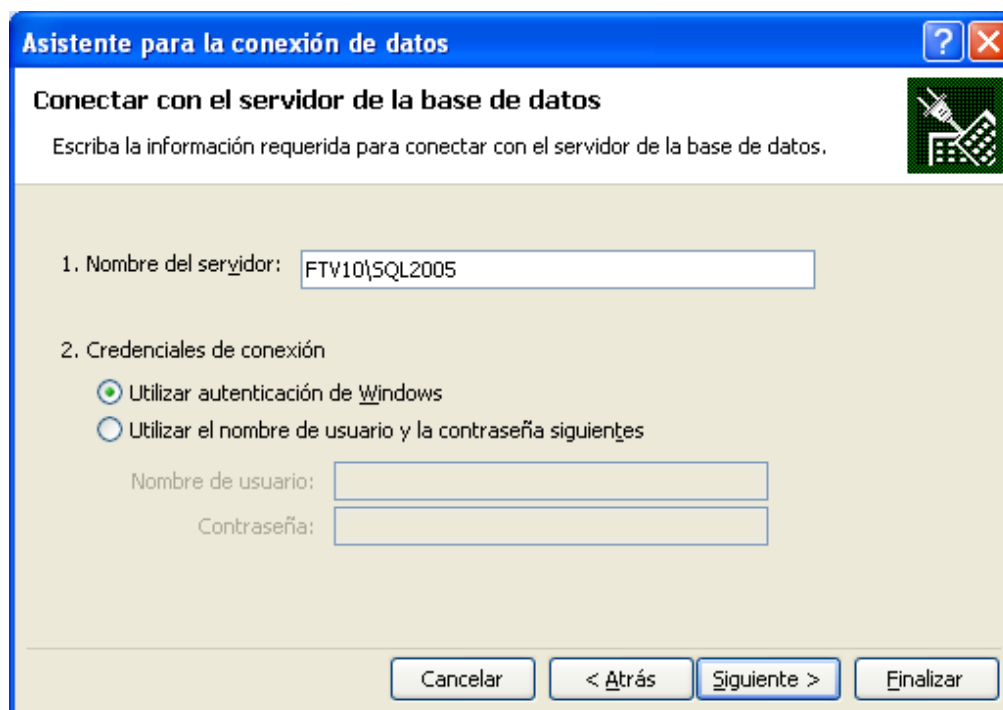


Figura 5. 198: Conexión con el servidor de la base de datos
Fuente: Microsoft Excel 2010.

Mostrara la figura 5.198, donde seleccionamos la base de datos y la tabla que queremos importar.

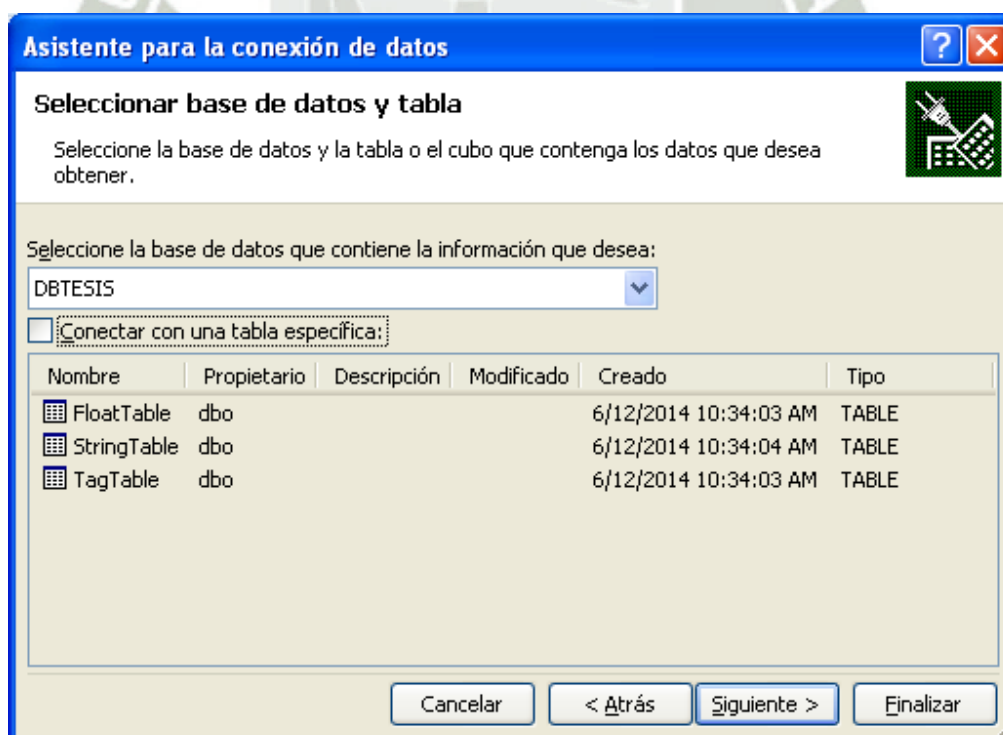


Figura 5. 199: Selección de base de datos y tabla
Fuente: Microsoft Excel 2010.

Mostrara un ventana resumen donde se aprecia la configuración realizada, se muestra en la figura 5.199.

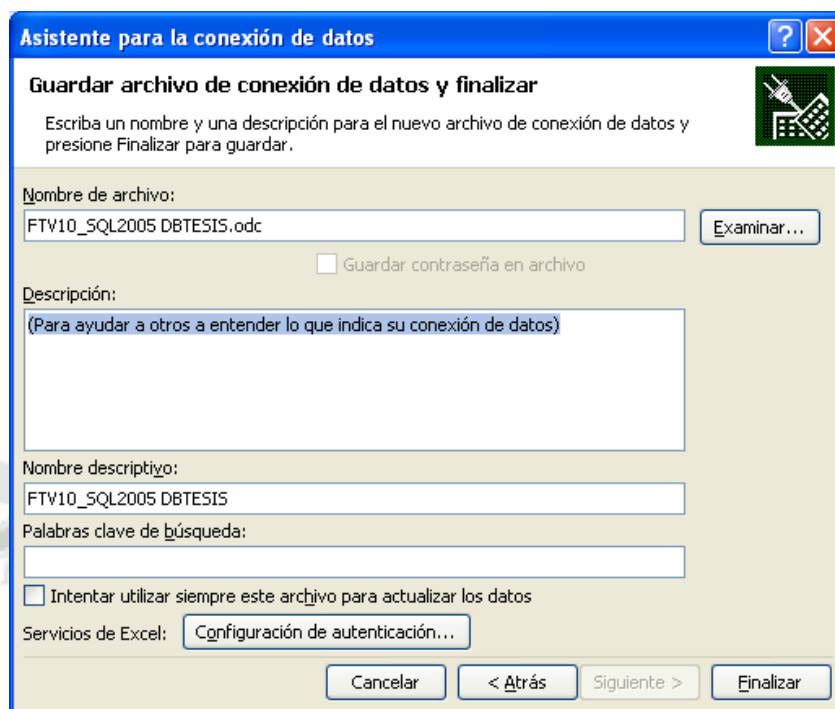
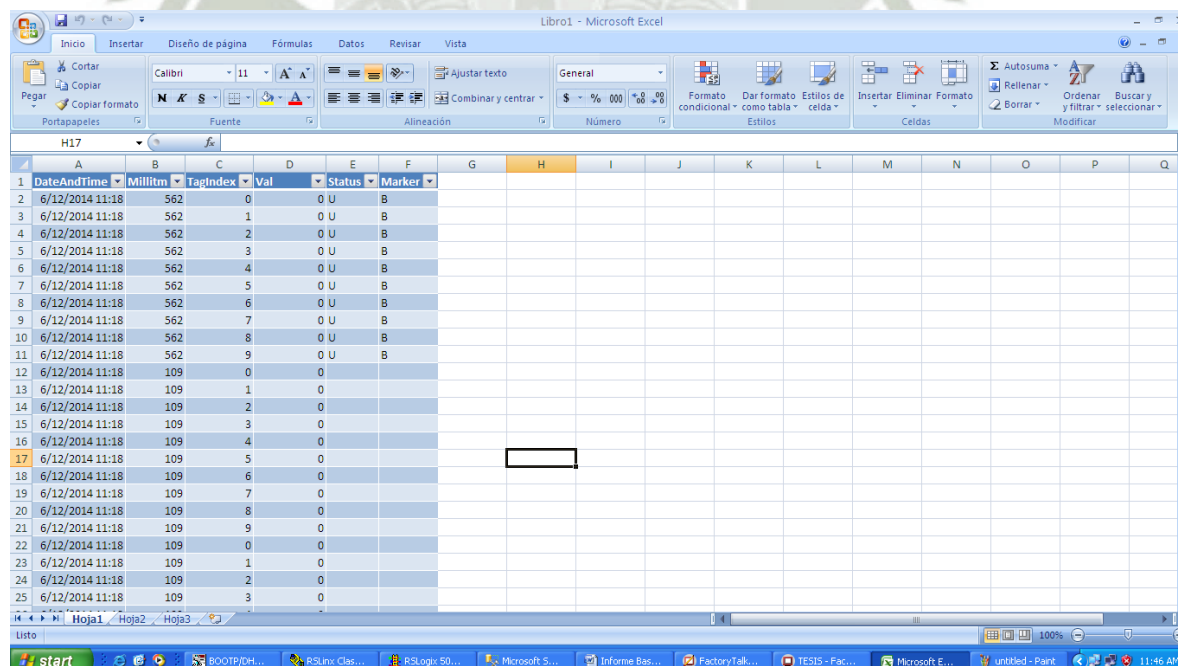


Figura 5. 200: Guardar archivo de conexión de datos y finalizar
Fuente: Microsoft Excel 2010.



	A	B	C	D	E	F
	DateAndTime	Millim	TagIndex	Val	Status	Marker
2	6/12/2014 11:18	562	0	0	U	B
3	6/12/2014 11:18	562	1	0	U	B
4	6/12/2014 11:18	562	2	0	U	B
5	6/12/2014 11:18	562	3	0	U	B
6	6/12/2014 11:18	562	4	0	U	B
7	6/12/2014 11:18	562	5	0	U	B
8	6/12/2014 11:18	562	6	0	U	B
9	6/12/2014 11:18	562	7	0	U	B
10	6/12/2014 11:18	562	8	0	U	B
11	6/12/2014 11:18	562	9	0	U	B
12	6/12/2014 11:18	109	0	0		
13	6/12/2014 11:18	109	1	0		
14	6/12/2014 11:18	109	2	0		
15	6/12/2014 11:18	109	3	0		
16	6/12/2014 11:18	109	4	0		
17	6/12/2014 11:18	109	5	0		
18	6/12/2014 11:18	109	6	0		
19	6/12/2014 11:18	109	7	0		
20	6/12/2014 11:18	109	8	0		
21	6/12/2014 11:18	109	9	0		
22	6/12/2014 11:18	109	0	0		
23	6/12/2014 11:18	109	1	0		
24	6/12/2014 11:18	109	2	0		
25	6/12/2014 11:18	109	3	0		

Figura 5. 201: Visualización de datos de la base de datos.
Fuente: Microsoft Excel 2010.

5.9.7. Configuración de alarmas

Para la configuración de alarmas el primer paso será crear un servidor de eventos y alarmas, para lo cual hacemos clic derecho en nuestro proyecto creado, seleccionamos la opción “Add New Server” y hacemos clic en “Tag Alarm and Event Server...”, como se muestra en la figura 5.201.

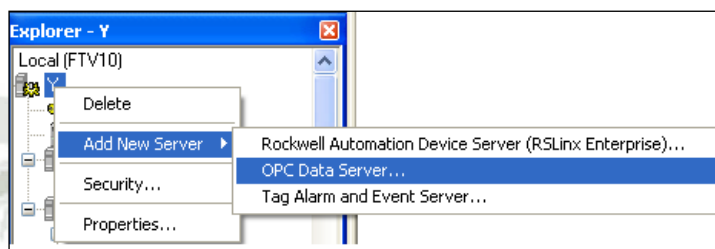


Figura 5. 202: Creación de un nuevo servidor de alarmas y eventos
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Nos aparece la figura 5.202, donde definimos el nombre de nuestro servidor para la generación de alarmas.

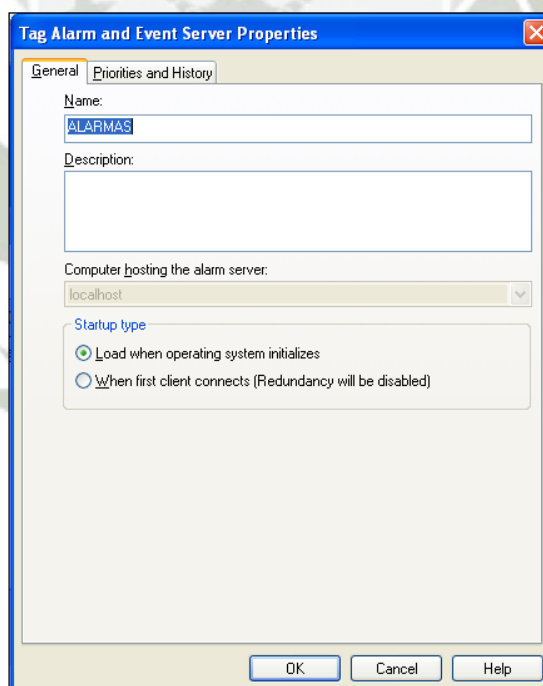


Figura 5. 203: Ventana general para creación de alarmas.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Una vez creado el servidor para la generación de alarmas, el siguiente paso será configurar las alarmas, para lo cual expandimos el nodo “HMI

Tag Alarms”, hacemos clic derecho en “Alarm Setup” y seleccionamos “Open” como muestra la figura 5.203.

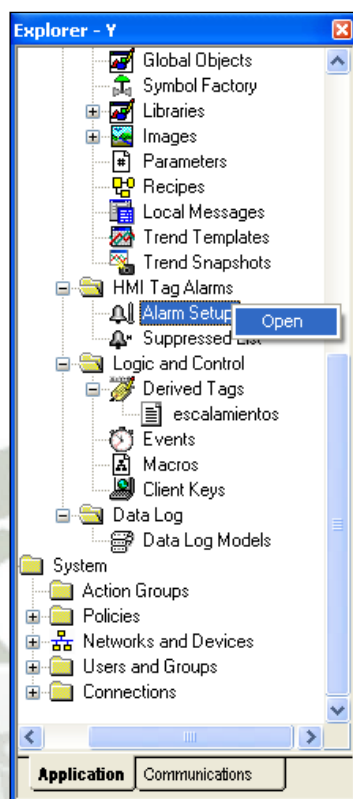


Figura 5. 204: Ingreso para configuración de alarmas.
Fuente. Software FactoryTalk View Studio.

Se abrirá la ventana de configuración de alarmas, dentro de la pestaña “Severities”, donde configuraremos de acuerdo a la severidad de la alarma las acciones que sean pertinentes, las cuales se muestran en las figuras 5.204, figura 5.205, y figura 5.206.

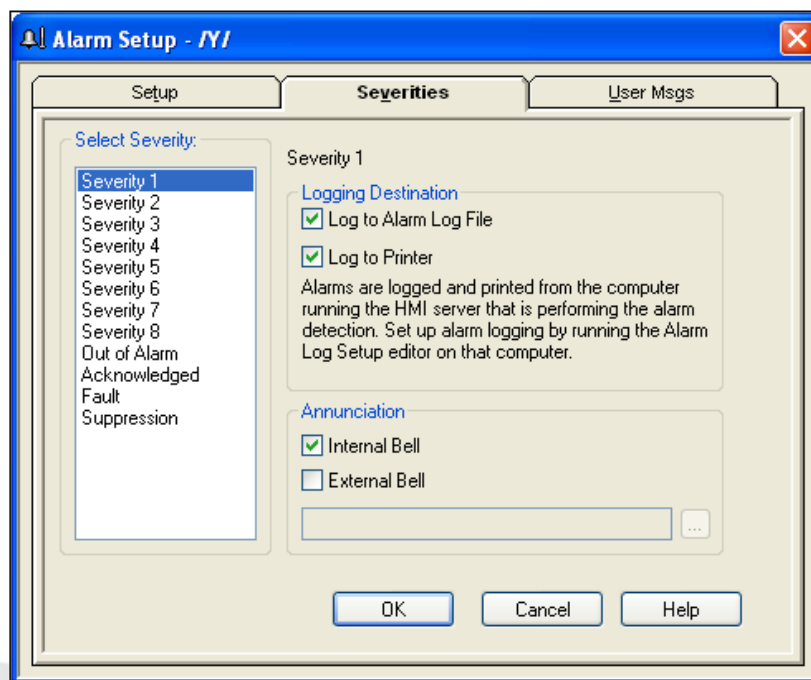


Figura 5. 205: Configuración de alarma con severidad 1.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

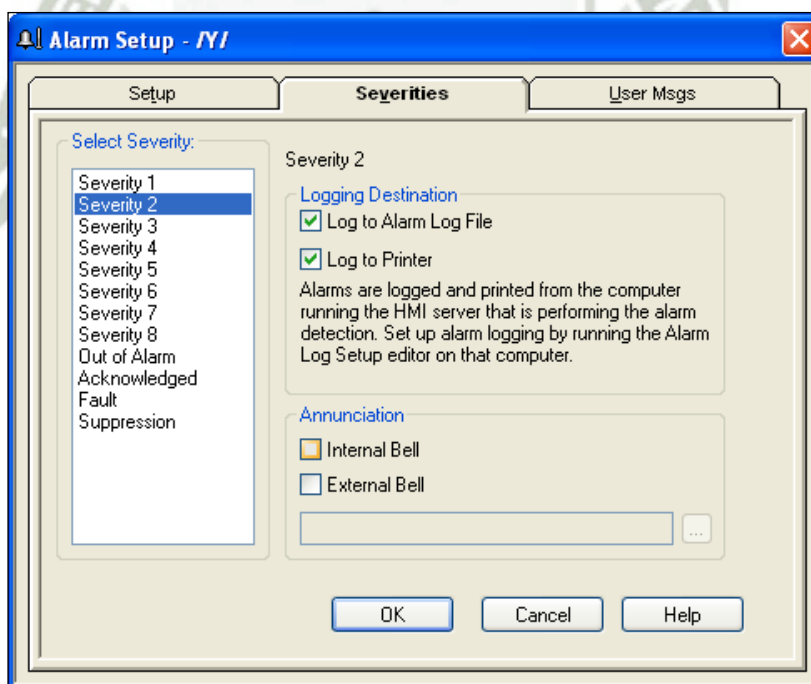


Figura 5. 206: Configuración de alarma con severidad 2.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

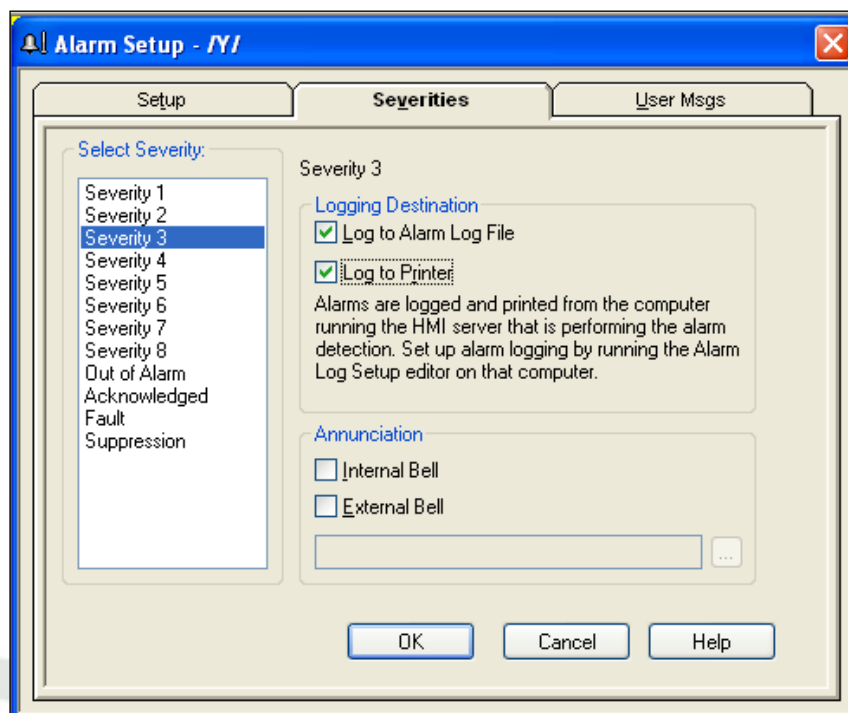


Figura 5. 207: Configuración de alarma con severidad 3.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Seguidamente nos dirigimos a la opción de “Alarm and Event Setup” como muestra la figura 5.207.

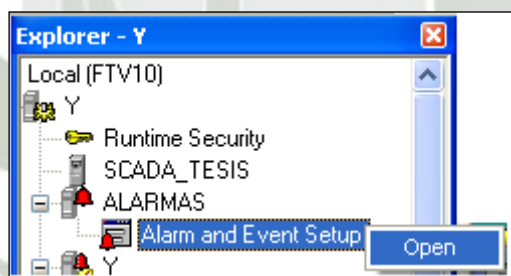


Figura 5. 208: Ingreso a ventana de configuración de alarmas y eventos
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Se abrirá la ventana de configuración de alarmas y eventos mostrado en la figura 5.208.

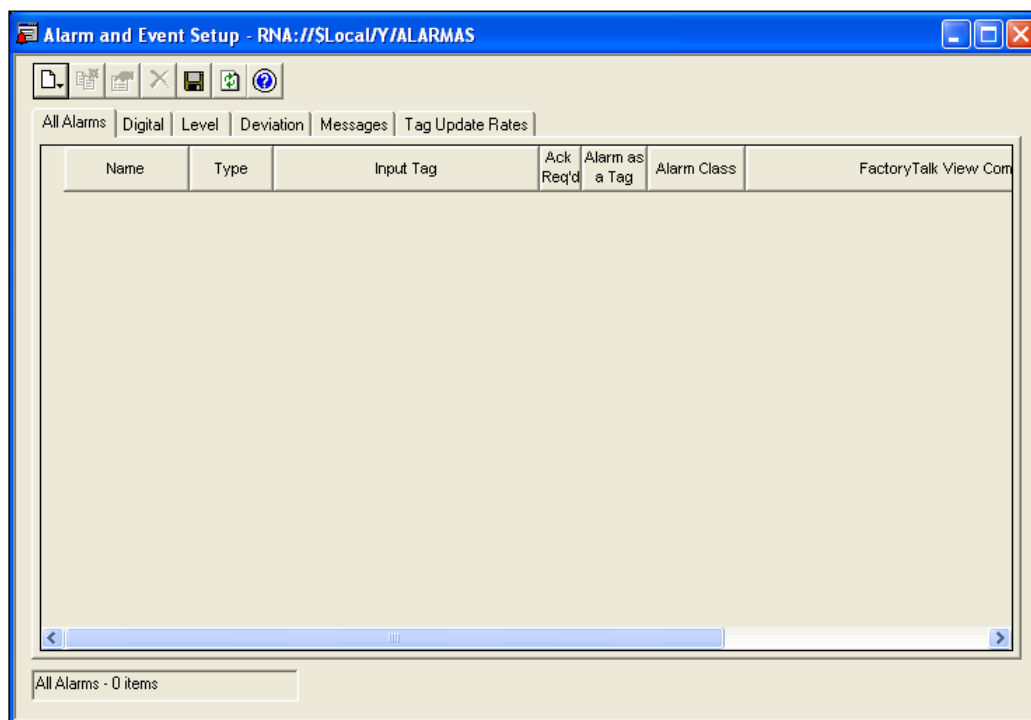


Figura 5. 209: Ventana de configuración de alarmas y eventos.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Para crear una nueva alarma en este caso para la variable de temperatura que es analógica, seguimos como muestra la figura 5.209, donde seleccionamos la opción “Level”.

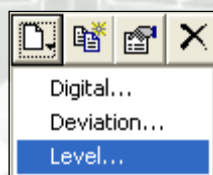
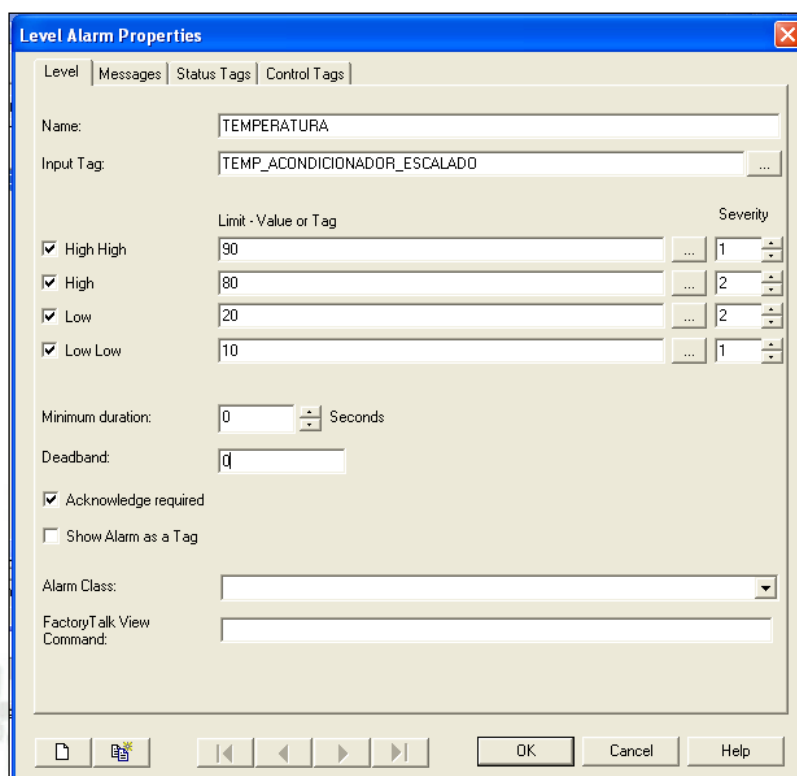


Figura 5. 210: Creación de una nueva alarma tipo analógica
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Se abra una ventana de propiedades de alarmas (figura 5. 210 y figura 5.211), donde se configura el nombre de la alarma, el tag del parametro para generar la alarma, y definimos los limites para generar alarmas que creamos por conveniente para nuestro proceso



Level Alarm Properties

Level | Messages | Status Tags | Control Tags

Name:

Input Tag:

	Limit - Value or Tag	Severity
☒ High High	90	1
☒ High	80	2
☒ Low	20	2
☒ Low Low	10	1

Minimum duration: Seconds

Deadband:

☒ Acknowledge required

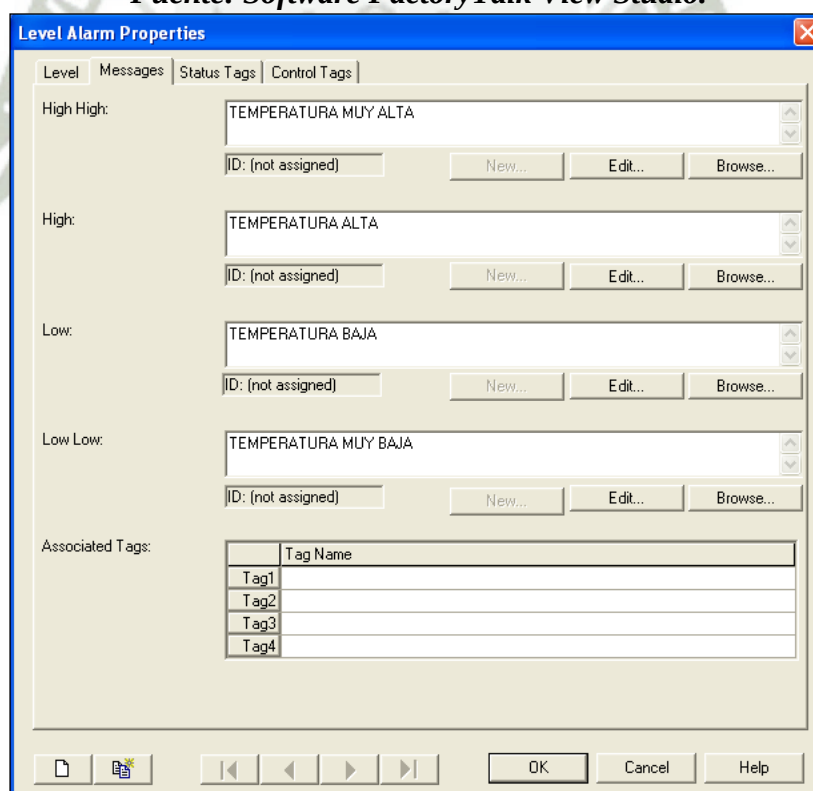
☐ Show Alarm as a Tag

Alarm Class:

FactoryTalk View Command:

OK Cancel Help

Figura 5. 211: Ventana de configuración principal para la alarma de temperatura.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.



Level Alarm Properties

Level | Messages | Status Tags | Control Tags

High High:
ID: (not assigned) New... Edit... Browse...

High:
ID: (not assigned) New... Edit... Browse...

Low:
ID: (not assigned) New... Edit... Browse...

Low Low:
ID: (not assigned) New... Edit... Browse...

Associated Tags:

Tag Name
Tag1
Tag2
Tag3
Tag4

OK Cancel Help

Figura 5. 212: Ventana de configuración mensajes para la alarma de temperatura.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Creamos las alarmas que creamos necesaria en nuestro proyecto, las cuales se muestran en la figura 5.212, y las guardamos haciendo clic en

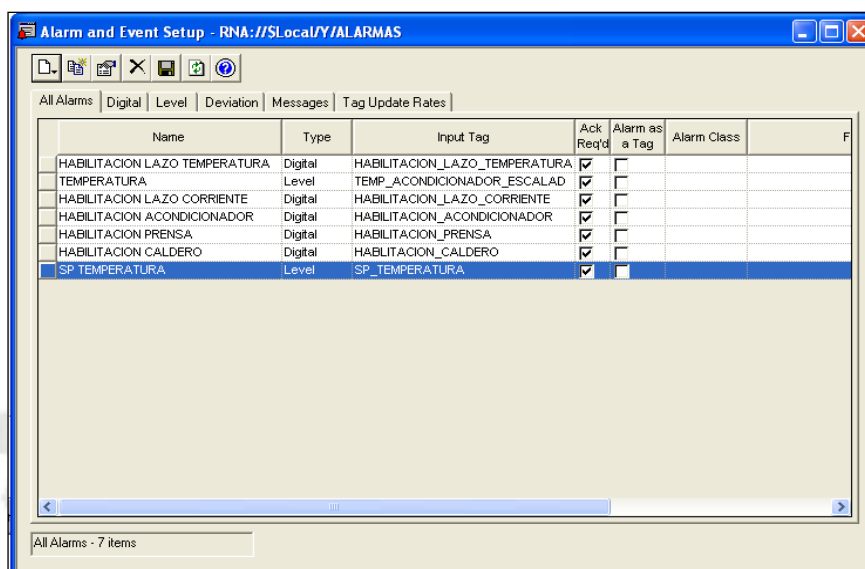


Figura 5. 213: Alarmas configuradas para el proyecto.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Regresando a la interfaz principal para el proceso de Peletizado (Figura 5.141), la última opción de navegación es “Alarmas” que mostrara la figura 5.214, para ello configuramos una nueva pantalla display configurándola de la siguiente manera. De la librería predeterminada del Software FactoryTalk View Studio, hacemos clic derecho en la opción “Alarm and Event” y seleccionamos “Open” como muestra la figura 5.213.

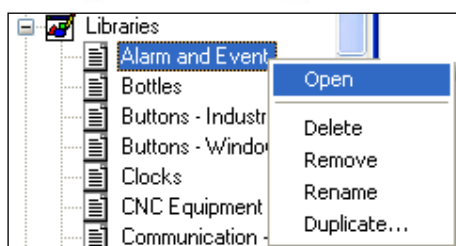


Figura 5. 214: Ingreso a librería predeterminada de alarmas y eventos.
Fuente. Software FactoryTalk View Studio.

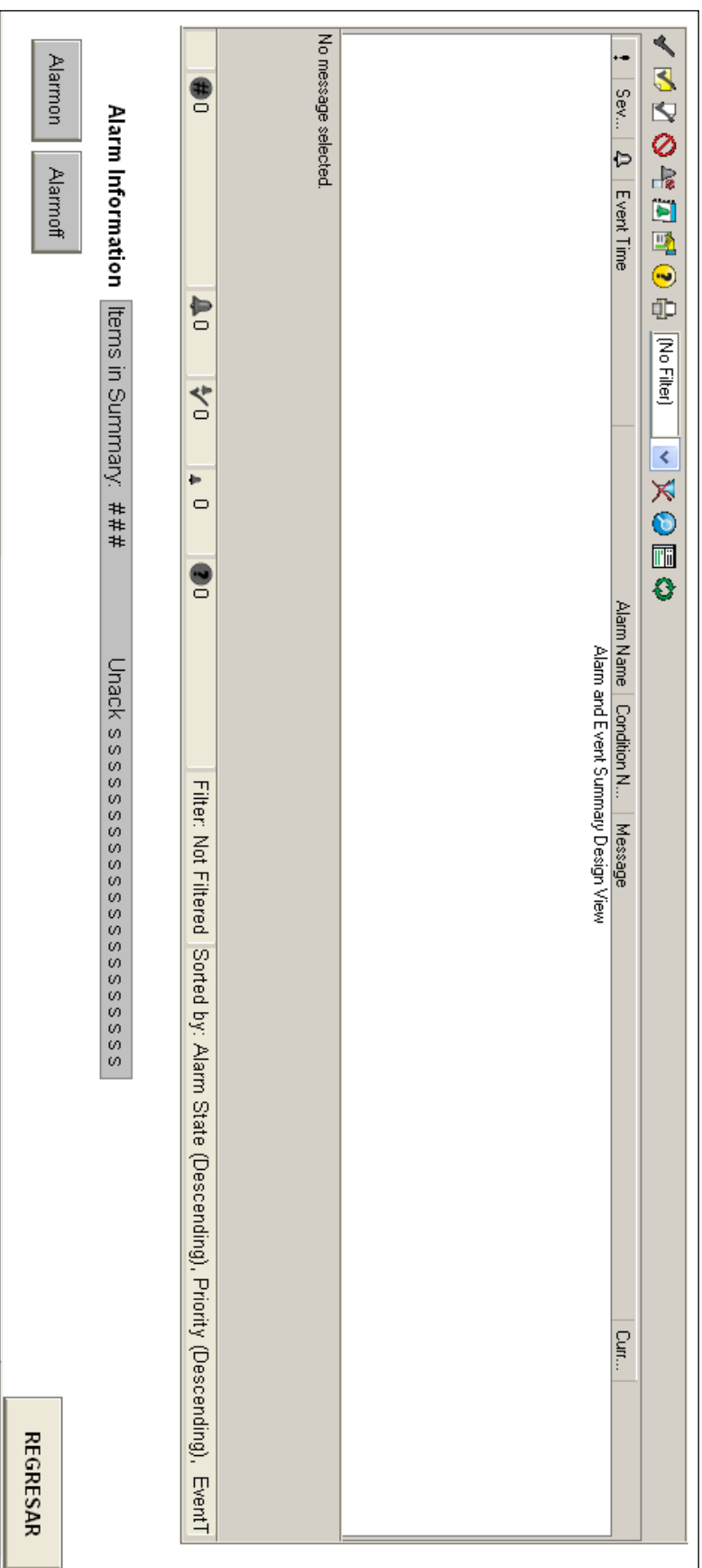


Figura 5. 215: Interfaz “Alarmas” para el proceso de Peletizado..

Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Completado el procedimiento de la figura 5.213, se mostrara la figura 5.166, seleccionamos la pestaña “Event Subscriptions”, y dentro del campo “Event sources” seleccionamos todas las alarmas creadas para su visualización, como se detalla en la figura 5.215.

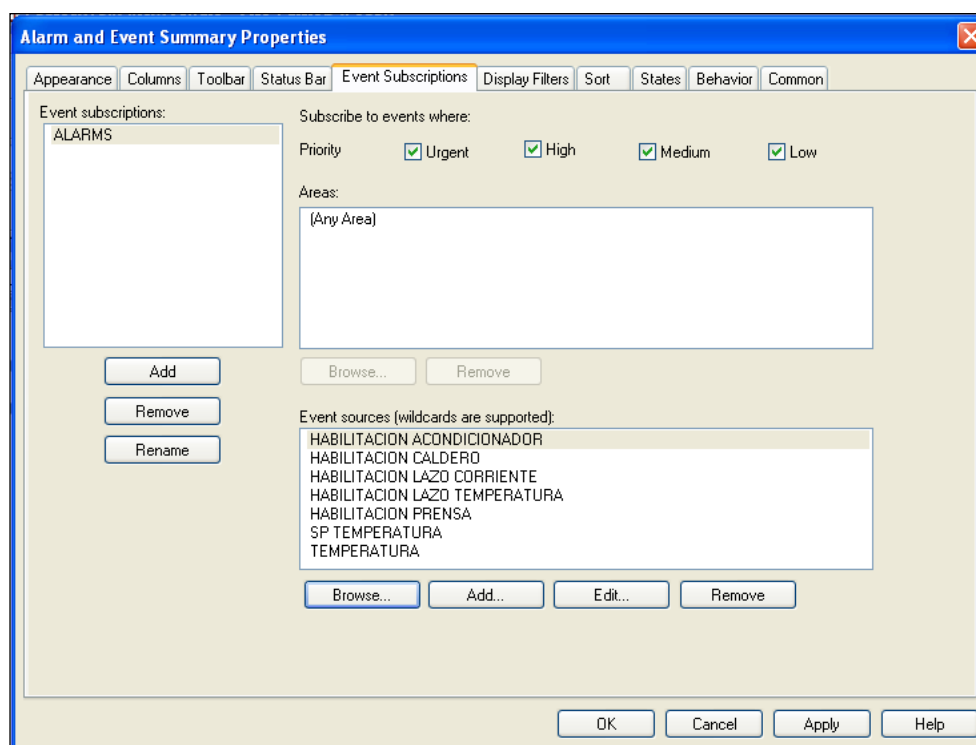


Figura 5. 216: Interfaz “Alarmas” para el proceso de Peletizado..
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

5.9.8. Configuración del arranque del proyecto

Para poder ejecutar el proyecto es necesario crear un archivo de configuración Cliente SE, podemos ingresar a la configuración del Cliente SE mediante el icono  **Launch SE Client**, aparece la ventana de la figura 5.216.

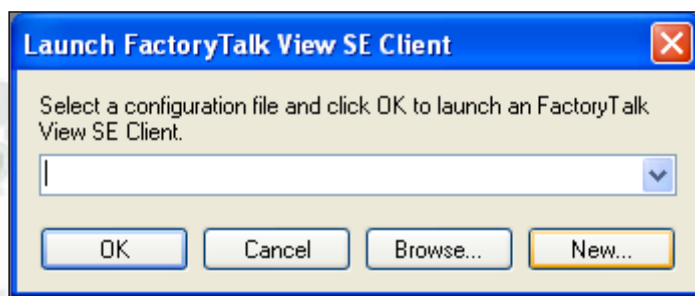


Figura 5. 217: Selección de archivo de configuración de un Cliente SE.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

En la ventana de la figura 5.216, hacemos clic en la opción “New” y se muestra la ventana de la figura 5.217.

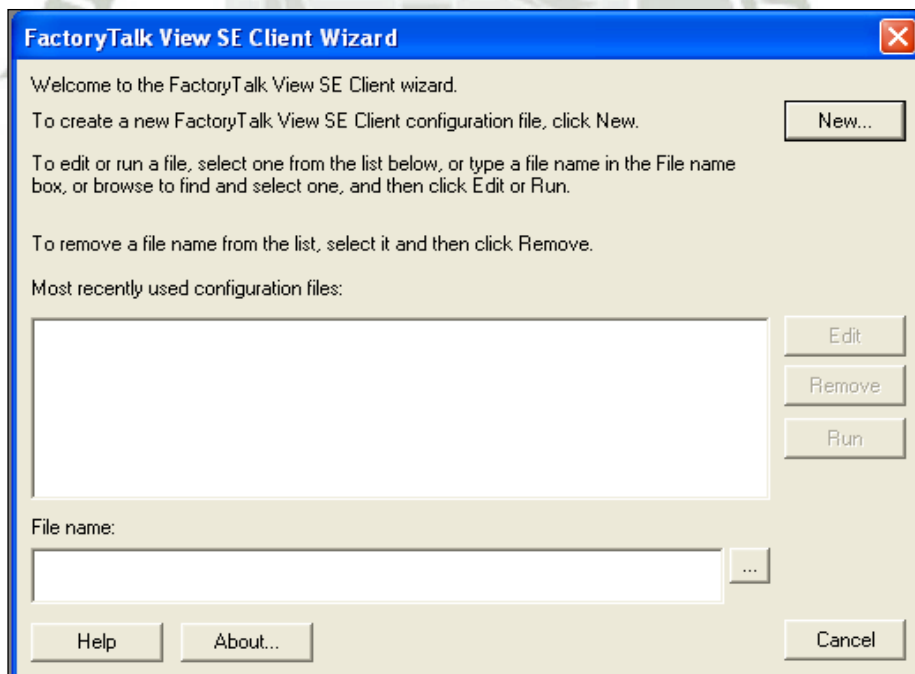


Figura 5. 218: Pantalla de configuración de un Cliente SE.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

En la pantalla de configuración de la figura 5.168, seleccionamos la opción “New”, mostrándose a continuación la ventana de la figura 5.218.

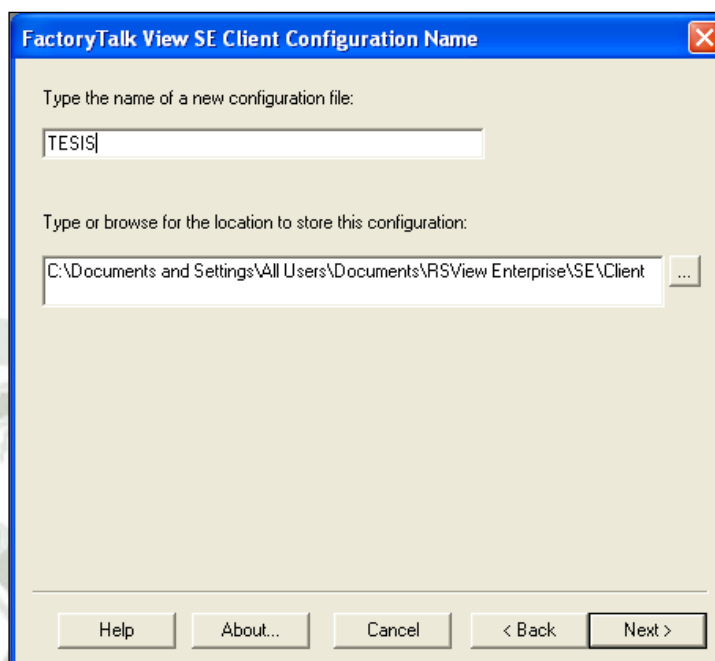


Figura 5. 219: Definición del nombre para el Cliente SE.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

El siguiente paso una vez realizada la configuración mostrada en la figura 5.218 es hacer clic en “Next”, mostrándose la figura 5.219.

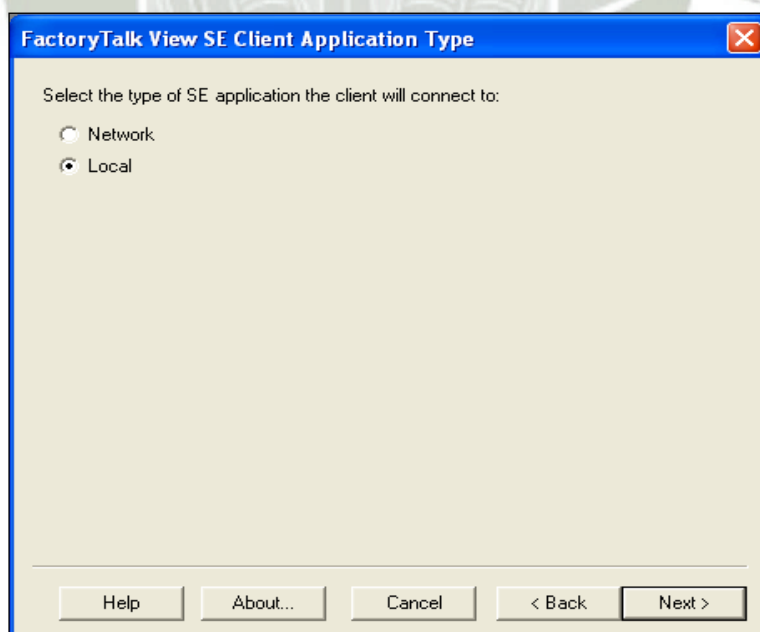


Figura 5. 220: Selección del tipo de aplicación para el Cliente SE.
Fuente: Software FactoryTalk View Studio.

Al haber seleccionado un tipo de conexión local como se muestra en la figura 5.219, proseguimos haciendo clic en la opción “Next”, mostrando la figura 5.220.

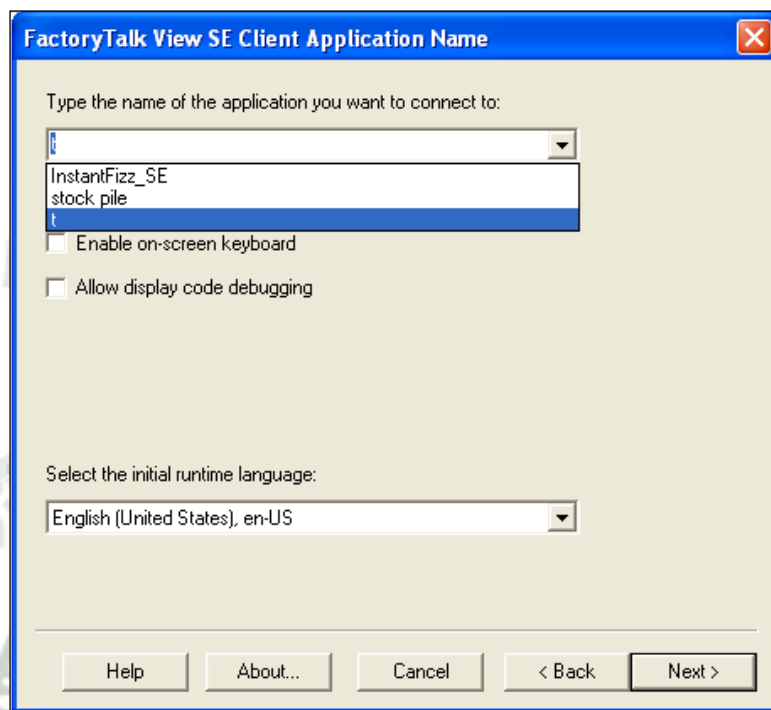


Figura 5. 221: Selección del proyecto a ser ejecutado por el Cliente SE.
Fuente. Software FactoryTalk View Studio.

Seleccionado el proyecto que se ejecutara mostrado en la figura 5.220, procedemos haciendo clic en la opción “Next”, ejecutándose la pantalla mostrada en la figura 5.221.

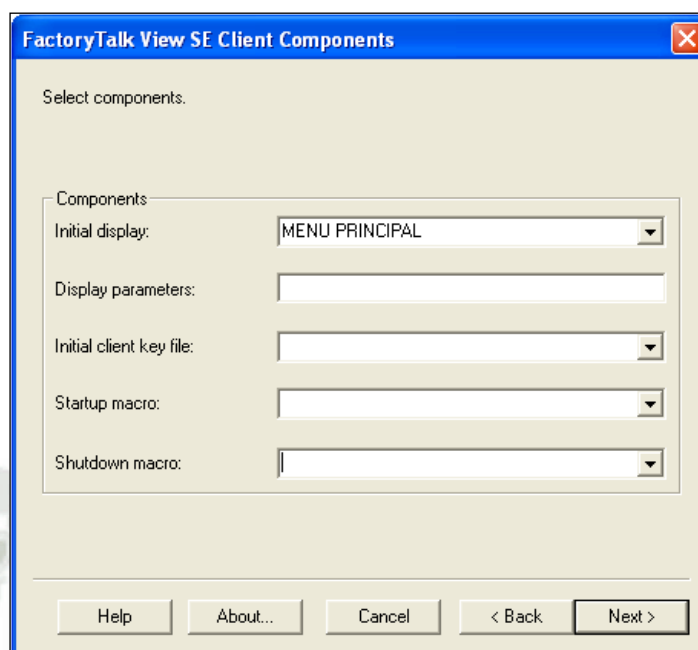


Figura 5. 222: Selección de la pantalla inicial para el proyecto a ser ejecutado por el Cliente SE.

Fuente. Software FactoryTalk View Studio.

Una vez seleccionada la pantalla inicial como se muestra en la figura 5.221, se procede hacer clic en la opción “Next” y aparece la figura 5.222

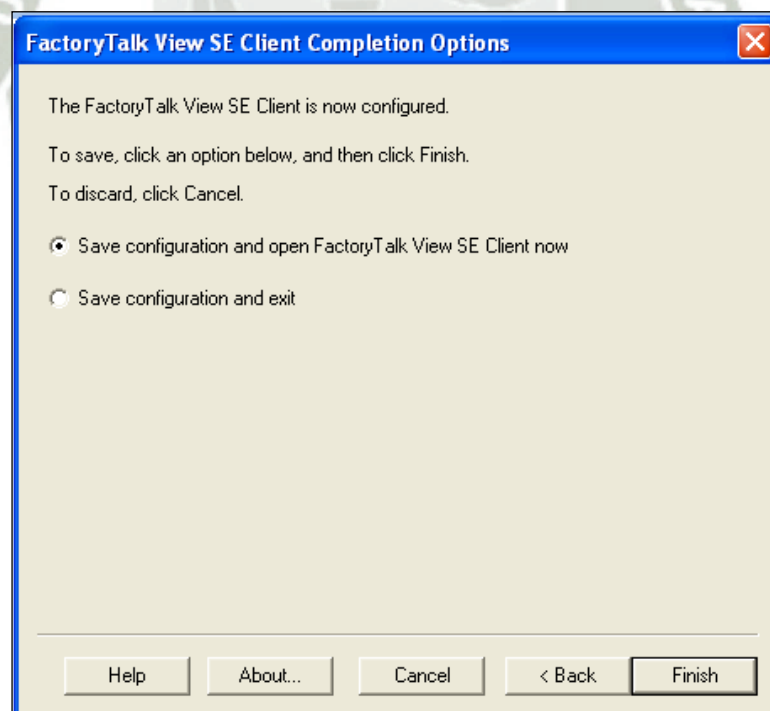


Figura 5. 223: Finalización de configuración Cliente SE.

Fuente. Software FactoryTalk View Studio.

Al hacer clic en “Finish” de la figura 5.222, se mostrara la pantalla principal que se muestra en la figura 5.223.

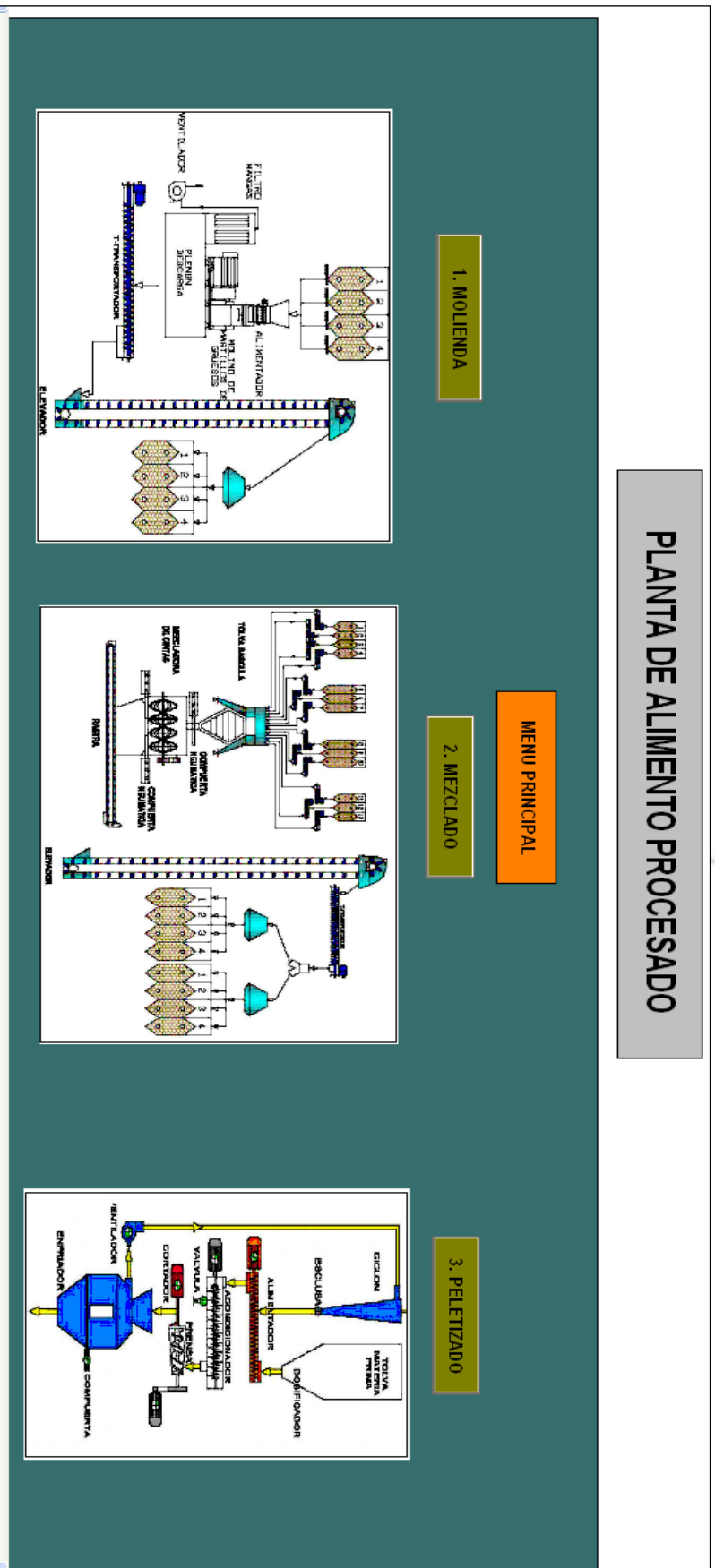


Figura 5. 224.: Pantalla inicial Cliente SE.
Fuente. Software FactoryTalk View Studio.



CAPÍTULO VI
COSTOS DEL PROYECTO

Los costos del prototipo se presentan en las siguientes tablas.

6.1. Costo del diseño y fabricación mecánico

El costo mecánico incluye el desarrollo de ingeniería en el tema de mecánica de molinería y fabricación que se detallan en la tabla 6.1.

Item	Equipo	Costo s/.	Descripción
1	Tolva dosificadora	350	– Capacidad 4Kg – Flujo 12 Kg/hora. – Motor de 24 Vdc. – Dosificación Vertical
2	Tornillo alimentador	250	– Flujo 44Kg/hora. – Motor de 24 Vdc. – Dosificación Horizontal
3	Acondicionador de doble eje	450	– Flujo 21Kg/hora. – Motor de 24 Vdc.
4	Prensa de harina	450	– Motor trifásico 220 Vac.
5	Soporte	200	– Angulo de 2 pulgadas
6	Caldero eléctrico	2000	– Capacidad 10 litros. – Resistencia Eléctrica de 3000 Watts
7	Válvula Reguladora de Presión	550	– Presión mínima 3 PSI. – Presión máxima: 120 PSI
8	Válvula Tipo aguja	70	– Presión mínima 3 PSI. – Presión máxima: 120 PSI
9	Manómetro	25	– Presión mínima 3 PSI. – Presión máxima: 120 PSI
10	Conexiones	50	– Tubería cédula 40 de ½ pulgada.
TOTAL		4395	

Tabla 6. 1: Costos del Diseño Mecánico.

Fuente: Elaboración propia.

6.2. Costo de tarjeta de control, convertidores y sensores

Los costos del diseño de la tarjeta de control de apertura de la válvula, convertidores análogos y sensores se muestran en la siguiente tabla 6.2.

Item	Tarjeta y/o Sensor	Costo s/.	Descripción
1	Convertidor análogo de temperatura	350	- Convertidor de 0 a 10 Vdc - Elaboración propia.
2	Convertidor análogo de Corriente	750	- Convertidor de 0-20 mA, 4-20mA y de 0 a 10 Vdc - Corriente de entrada: 0 a 15 A - Fabricante: Schneider.
3	Termocupla tipo J	200	Temperatura hasta 500°C
4	Tarjeta de control de posición de válvula de vapor	250	Control de 0 a 100% de apertura proporcional al voltaje de 0 a 10 Vdc.
5	Etapa de Potencia	150	Salidas hasta 1.5 A de corriente a 24 Vdc.
TOTAL		1700	

Tabla 6. 2 Costos de tarjeta de control, convertidores y sensores.

Fuente: Elaboración propia.

6.3. Costos de cableado eléctrico

Ítem	Elemento	Costo s/.	Descripción
1	Cableado eléctrico	500	– Cable N° 18
2	Conectores	100	– Cable N° 18
3	Cajas de paso	100	– 15x17x11cm
4	Contactores	250	– 220Vdc
5	Borneras de conexión	150	– Para cable N°18
5	Fuente de Alimentación de control	250	– 24 Voltios – 3A
6	Fuente de Alimentación de Potencia	300	– 24 Voltios – 3A
	Tablero eléctrico	150	– 60x40x25cm
	Canaletas	30	– 2 pulgadas
TOTAL		s/.1830	

Tabla 6. 3: Costos del cableado eléctrico.

Fuente: Elaboración propia.

6.4. Costos de elementos de control

Ítem	Elemento	Costo s/.	Observación
1	Micrologix 1100	2000	– Pertenece a UCSM
2	Tajeta IF4	250	– Pertenece a UCSM
3	Tarjeta OF4	250	– Pertenece a UCSM
4	Variador de Velocidad	1500	– Pertenece a UCSM
5	Software RsLogix 500	6200	– Licencia por un año.
6	Software FactoryTalk View Studio.	6500	– Licencia por un año.
7	Licencia software SQL Server	7000	– Licencia por un año
TOTAL		s/.23700	

Tabla 6. 4: Costos de elementos de control.

Fuente: Elaboración propia.

6.5. Costos de ingeniería

Ítem	Diseño	Costo s/.	Observación
1	Mecánico	3000	– Desarrollo del diseño, fabricación y montaje
2	Eléctrico	1500	– Desarrollo del sistema eléctrico
3	Instrumentación	2000	– Desarrollo del diseño de acondicionamiento de señal
4	Automatización	4000	– Desarrollo de diseño de la lógica de control
TOTAL		s/.10500	

Tabla 6. 5: Costos de ingeniería.
Fuente: Elaboración propia.

6.6. Costos del proyecto

Ítem	Costo	Costo s/.	Observación
1	Mecánico	4395	– Desarrollo del diseño, fabricación y montaje
2	Sensores y actuadores	1700	– Tarjetas de control
3	Eléctrico	1830	– Desarrollo del sistema eléctrico
4	Elementos de control	23700	– Desarrollo del diseño de acondicionamiento de señal
5	Ingeniería	10500	– Desarrollo de diseño de la lógica de control
TOTAL		s/.42125	

Tabla 6. 6: Costos del proyecto.
Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Al finalizar la presente tesis se ha llegado a las siguientes conclusiones

1. Se logró diseñar la automatización de los procesos de molienda, mezclado y peletizado de la planta de balanceados.
2. Se logró Implementar un módulo prototipo de acondicionamiento para el proceso de Peletizado.
3. Se logró diseñar el sistema SCADA del proceso de molienda
4. Se logró diseñar el sistema SCADA del proceso de mezclado.
5. Se logró diseñar el sistema SCADA del proceso de peletizado.
6. El primer requisito para automatizar es conocer a detalle el comportamiento de cada uno de los procesos en nuestro caso de Molienda, Mezclado y Peletizado, así como el correcto uso de las distintas herramientas de control de procesos, de esta manera la automatización se realizó de manera sencilla y eficaz.
7. Con la automatización de los procesos de molienda, mezclado y peletizado comprobamos que la producción de la planta aumentara, reflejándose en mayores ganancias para la empresa, demostrando de esta manera que es una buena opción decidir invertir en la automatización de la planta.
8. Para el diseño del prototipo es necesario en primer lugar realizar el diseño mecánico de la planta, tener definidos los planos eléctricos así como los de instrumentación, en el área de control para el diseño de la automatización seleccionar el controlador a utilizar se hizo imprescindible así como la elección de la parte de instrumentación para un correcto funcionamiento de nuestro sistema de control.

9. Con referencia al diseño de la estrategia de control para el prototipo del proceso de Peletizado, se empezó realizando el modelamiento matemático para posteriormente validar dichos modelos mediante el software MATLAB, para la sintonización del bloque PID se utilizó el primer método de Ziegler-Nichols, basado en la respuesta escalón de la planta, obteniendo una sintonización que cumple los requerimientos para nuestra estrategia de control.
10. Aplicar el control multivariable cascada permitió disminuir las perturbaciones del sistema, del mismo modo obtener una respuesta rápida y eficiente, la variable física de cantidad de producto suministrado en la etapa de abastecimiento influye sobre la otra variable física que es la temperatura en la etapa de acondicionamiento. Esto se da porque a mayor cantidad de producto suministrado por el alimentador la temperatura en la etapa de acondicionamiento disminuirá.
11. Configurar un sistema SCADA de fácil entendimiento para el operador con funcionalidades como generación de base de datos, gráficos de tendencia y desarrollo de alarmas lo convierten en un sistema muy moderno y eficiente.

RECOMENDACIONES

1. Se incentiva a los docentes y alumnos aplicar un procedimiento de operación cuando realicen prácticas en el módulo prototipo.
2. Se recomienda usar equipos de protección y seguridad para un entorno de ruido, polvo y vapor saturado.
3. Se recomienda realizar mantenimiento y limpieza al prototipo después de cada experiencia, para evitar deteriorarlo
4. Se incentiva a los alumnos del Programa Profesional De Ingeniería Electrónica, para que recomienden la aplicación de mejoras en el prototipo de Peletizado como por ejemplo:
 - Cambiar el material de construcción del acondicionador a acero inox, para extender su tiempo de vida útil y facilitar la limpieza.
 - Colocar un separador de gotas en la línea de vapor antes de la entrada al acondicionador para evitar que el condensado llegue al producto.
 - La válvula de control de salida del vapor se puede utilizar para aplicar otra estrategia de control.
 - Aplicar otros tipos de comunicación para el control SCADA, como DiveceNet, DH+, etc.

BIBLIOGRAFIA

LIBROS

1. **Dunn, William C.** *Fundamentals of Industrial Instrumentation and Process Control*.
s.l. : McGraw-Hill Companies, Inc., 2005. pp. 2 - 3.
3. **Sanchez, J. Acedo.** *Control Avanzado de Procesos*. España : Ediciones Diaz de Santos S.A, 2003.
5. **L, Kosow Irving.** *Máquinas Eléctricas y Transformadores*.
6. **Kuo, Benjamín.** *Sistemas de Control Automático*.
7. **Murril, Paul W.** *Fundamentals*. Third Edition. North Carolina : Instrument Society of America, 2000. pp. 21-22.
8. **Acedo, Jose.** *Control Moderno*. Cali : s.n., 2008. pp. 15 - 18.
9. **Bolton, W.** *Controladores Logico Programables*. Quinta Edicion . USA : Elsevier, 2009.
10. **Petruzella, Frank D.** *Controlador Logico Programable*. Tercera Edicion . USA : McGraw- Hill, 2005.
11. **Bradley, Allen.** *Manual Micrologix1100*. USA : Rockwell Automation, 2011.
12. **Castro, Jorge Luis Salazar.** *Montaje y Puesta en Marcha de una Planta de Alimentos Balanceados con capacidad de 3 tn./h*. Lima, Perú : Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingenierías, 2008.
13. **Ogata, Katsuhiko.** *Ingeniería de Control Moderna*. México : Pearson Educación, 1998.

TESIS

2. **Montánchez Faura, Mauricio y Ojeda Portugal, Joseph.** *Diseño e Implementación de un Módulo Educativo de Control de Flujo y Nivel Aplicando Control Multivariable Cascada.* Arequipa : s.n., 2009.

PAGINAS WEB

4. **Valvias.** Valvias. [Online] 2013. [Cited: Febrero 10, 2014.]

<http://www.valvias.com/tipo-valvula-de-aguja.php>.



ANEXOS

1. Prácticas de Laboratorio N° 01 Sistemas SCADA RSLogix 500 y FTV. Ver CD Tesis / Practicas.
2. Prácticas de Laboratorio N° 02 Configuración OPC Micrologix1100. Ver CD Tesis / Practicas.
3. Prácticas de Laboratorio N° 03 Matlab OPCTool. Ver CD Tesis / Practicas.
4. Planos Mecánicos. Ver CD Tesis / Planos.
5. Planos Eléctricos. Ver CD Tesis / Planos.
6. Planos Instrumentación. Ver CD Tesis / Planos.
7. Hojas de Datos. Ver CD Tesis / Planos.

