UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Diseño y elaboración de un banco didáctico para la manufactura integrada por computador.

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO ELECTRÓNICO

Autores:

PAÚL ESTEBAN PATIÑO SOLÍS

ALEXIS XAVIER PATIÑO CALLE

Director:

DANIEL ESTEBAN ITURRALDE PIEDRA

CUENCA-ECUADOR

2015

DEDICATORIA

La presente tesis la dedico a mi familia que gracias a su apoyo pude concluir mi carrera. A mis padres por haberme formado e instruido y por estar siempre a mi lado apoyándome y aconsejándome.

A mis amados esposa e hijos quienes han estado a mi lado todo este tiempo que he trabajado en esta Tesis. Simplemente gracias de todo corazón.

PAÚL PATIÑO

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios. A mis Padres José y Ruth quienes me dieron vida, educación, apoyo, consejos y por ser el pilar fundamental para la persona quien soy.

De la misma manera a mi amada esposa María Fernanda y mis amados hijos Mateo y María Alejandra por ser mi fuente de motivación e inspiración para ser mejor cada día en lo personal y profesional.

XAVIER PATIÑO

AGRADECIMIENTO

Principalmente a Dios por la salud y perseverancia para poder concluir con éxito este proyecto de Graduación y lograr este objetivo tan esperado que nos causa una enorme satisfacción y orgullo.

A la UNIVERSIDAD DEL AZUAY por darnos la oportunidad de estudiar y ser profesionales.

De manera muy especial, el más amplio agradecimiento al Ingeniero Daniel Iturralde por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia y su motivación nos ayudó a desarrollar este trabajo de Titulación.

También queremos expresar nuestro agradecimiento a los Ingenieros Santiago Mora y Bolívar Méndez, integrantes del tribunal, por sus valiosas aportaciones que nos hicieron mejorar el presente proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDOS **Pág.**

DEDICATORIA ii

AGRADECIMIENTO iv

ÍNDICE DE CONTENIDOS v

ÍNDICE DE FIGURAS..... ix

ÍNDICE DE TABLAS..... xiii

ÍNDICE DE ANEXOS xiv

RESUMEN.....xv

ABSTRACT xvi

INTRODUCCIÓN...……...1

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES ……....3

1.1. Motivación De la investigación.....3

1.2. Problemática.....3

1.3. Pregunta de la investigación.....3

1.4. Objetivos 4

1.4.1. Objetivo general 4

1.4.2. Objetivos específicos 4

1.5. Metodología 4

1.5.1. Investigación Exploratoria 4

1.5.2. Investigación Descriptiva.....5

1.5.3. Diseño de una solución.....5

1.6. Alcances y resultados esperados: 5

1.6.1. Alcance: 5

1.6.2. Resultados esperados: 5

1.7. Supuestos y riesgos: 5

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE 7

2.1. Procesos industriales 7

2.1.1. Automatización de procesos industriales 8

2.2. Instrumentación y sistemas de medida 9

2.2.1. Instrumentación 9

1.2.2. Sistemas de Medida 17

2.3. Monitoreo de sistemas industriales 18

2.3.1. Sistemas de adquisición de datos 18

2.3.2. SCADA 20

2.4. Tipos de sensores 21

2.4.1. Sensor de Temperatura 22

2.4.2. Sensores magnéticos 24

2.4.3. Sensores ópticos reflectivos 24

2.4.4. Sensor de nivel ultrasónico 25

2.4.5. Sensor capacitivo 26

2.5. Conexión de sensores 27

2.5.1. Variación 4-20mA 28

2.5.2. Fieldbus 28

2.5.3. HART 30

CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL BANCO DIDÁCTICO 32

3.1. Diseño estructural 32

3.1.1. Descripción del proceso 32

3.1.3. Proceso de construcción 36

3.1.3.1. Soporte del banco 37

3.1.3.2. Banda transportadora 41

3.1.3.3. Horno 43

3.1.3.4. Sujeción del brazo robótico 45

3.1.3.5. Tanque de agua y reservorio 49

3.2. Diseño Eléctrico 50

3.2.1. Ubicación de equipos y sensores 50

3.2.2. Conexiones eléctricas 56

3.3. Resultado final 61

CAPÍTULO 4: IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO 62

4.1. Esquema de conexión 62

4.2. Equipos y Variables de control 63

4.2.1. Sensores y controladores utilizados en el banco didáctico 63

4.2.1.1. Sensor capacitivo 63

4.2.1.2. Sensor inductivo 64

4.2.1.3. Sensor óptico reflectivo 65

4.2.1.4. Sensor ultrasónico 65

4.2.2. Variables de control 67

4.2.2.1. Temperatura 67

4.2.2.2. Nivel 71

4.2.3. Brazo robótico....73

4.2.3.1. Driver de motor de corriente contínua....74

4.2.4. Controlador Lógico Programable....75

4.3. Control con PLC....77

4.3.1. Programa en el PLC....77

4.3.1.1. Bloque principal (Main)....81

4.3.1.2. Secuencia de inicio....85

4.3.1.3. Secuencia banda....86

4.3.1.4. Robot_depósito....88

4.3.1.5. Robot_tanque....89

4.4. Modelo de informe de prácticas realizadas con el banco didáctico....89

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES....91

BIBLIOGRAFÍA....94

ANEXOS....97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Proceso de fabricación de papel.....7
Figura 2.2. Diagrama de bloques de un proceso industrial automatizado 8
Figura 2.3. Diagrama P&ID de un proceso industrial 10
Figura 2.4. Números de identificación de instrumento, lazo o función. 11
Figura 2.5. Identificación de funcionalidad de instrumento.....12
Figura 2.6. Simbología de señales para P&ID 15
Figura 2.7. Simbología de instrumentos. 16
Figura 2.8. Sistema de adquisición de datos. 19
Figura 2.9. CompactDAQ de National Instruments. 19
Figura 2.10. Arquitectura básica de un sistema SCADA.....20
Figura 2.11. Termocupla.....22
Figura 2.12. Termoresistencia.....23
Figura 2.13. Termistores comerciales.....23
Figura 2.14. Sensor magnético.....24
Figura 2.15. Principio de funcionamiento de un sensor óptico.....25
Figura 2.16. Funcionamiento de un sensor de nivel ultrasónico 25
Figura 2.17. Sensor capacitivo utilizado en aplicaciones industriales.....26
Figura 2.18. Principio de funcionamiento de un sensor capacitivo a) líneas de en un sensor capacitivo, b) variación de capacitancia en función del material en un sensor capacitivo 27
Figura 2.19. Logotipo de Fundación Fieldbus 28
Figura 2.20. Red básica con Fieldbus.....29
Figura 2.21. Logotipo HART.....30
Figura 2.22. Modulación de una señal digital sobre una señal analógica en HART. 30
Figura 2.23. Red básica HART 31
Figura 3.1. Esquema general del proceso implementado en el banco didáctico. 32
Figura 3.2. Diagrama P&ID del proceso implementado en el banco didáctico 35
Figura 3.3. Proceso de suelda de perfiles para construcción del banco didáctico.....37
Figura 3.4. Ensamblaje del soporte del banco didáctico.....38
Figura 3.5. Bandeja de terminales de sensores montada en el soporte.....39
Figura 3.6. Superficie de madera para montaje de los elementos del proceso.....39

Figura 3.7. Ubicación de elementos del banco didáctico.....40
Figura 3.8. Corte de secciones en la superficie de madera para ubicar los elementos del banco didáctico 41
Figura 3.9. Mecanizado de tubería PVC 42
Figura 3.10. Rodillos montados en la banda transportadora y el eje del motor 42
Figura 3.11. Montaje de la (tela) de la banda transportadora.....43
Figura 3.12. Lámpara de halógenos utilizada en el horno 44
Figura 3.13. Abertura para montaje del elemento calefactor 44
Figura 3.14. Estructura del horno terminado.....45
Figura 3.15. Ubicación del brazo robótico y los soportes para sensores magnéticos de posición.....46
Figura 3.16. Imán y sensor magnético para ubicación de la base del brazo robótico46
Figura 3.17. Montaje de interruptores para posición inicial del brazo 47
Figura 3.18. Distribución del conector externo para el brazo robótico 48
Figura 3.19. Ubicación del tanque de agua en el banco.....49
Figura 3.20. Ubicación del reservorio de agua en el banco didáctico 50
Figura 3.21. Diseño de plantillas de sensores en Microsoft Visio. 51
Figura 3.22. Plantilla de sensores para el panel frontal del banco didáctico 51
Figura 3.23. Plantilla de actuadores para el panel frontal del banco didáctico. 52
Figura 3.24. Plantilla de breaker de seguridad y Fuentes de alimentación 53
Figura 3.25. Plantilla de PLC y tarjeta de expansión.....53
Figura 3.26. Plantilla del panel frontal de controladores PID 54
Figura 3.27. Placas de aluminio para paneles frontales 54
Figura 3.28. Ubicación de placas para paneles frontales 55
Figura 3.29. Paneles frontales terminados 55
Figura 3.30. Montaje final de las placas frontales de sensores y actuadores 56
Figura 3.31. Ubicación de Fuentes de poder y PLC en el interior del banco didáctico 57
Figura 3.32. Cableado del interior del banco didáctico utilizando canaletas industriales 57
Figura 3.33. Conector de 8 pines de grado automotriz para interconexión entre sensores, fuentes de poder y PLC con el cableado general del banco de sensores. ...58
Figura 3.34. Cableado en el conector automotriz.....59

Figura 3.35. Montaje de conectores hembra tipo banana en el panel frontal del banco didáctico 60
Figura 3.36. Administración de cableado en la parte posterior del panel frontal.....60
Figura 3.37. Banco didáctico de sensores terminado.....61
Figura 4.1. Esquema eléctrico de conexión del banco didáctico.....62
Figura 4.2. Sensor capacitivo SICK CM30-25NPP-KW1 a) aspecto físico del sensor b) Terminales de conexión 63
Figura 4.3. Sensor inductivo SICK IME18-05BPSZC0S a) Aspecto físico del sensor b) Terminales de conexión 64
Figura 4.4. Sensor óptico reflectivo SICK WL170-P132 a) Aspecto óptico del sensor b) Terminales de conexión 65
Figura 4.5. Sensor ultrasónico SICK modelo W30-13113 a) Aspecto físico del sensor b) Terminales de conexión 66
Figura 4.6. Patrón de radiación del sensor ultrasónico UM30 66
Figura 4.7. Controlador PID BTC-9300 67
Figura 4.8. Terminales de conexión del controlador BTC-9300.....68
Figura 4.9. Conexión del elemento calefactor y la termocupla al controlador BTC-9300 69
Figura 4.10. Funcionamiento previsto del controlador de temperatura 71
Figura 4.11. Conexión para el controlador BTC-9300 en la aplicación de control de nivel de agua en el tanque 71
Figura 4.12. Brazo robótico OWI-535 utilizado en el banco didáctico de sensores .73
Figura 4.13. Fin de carrera o microswitch ubicado en los elementos motrices del brazo robot.....74
Figura 4.14. Driver de motor de corriente contínua. a) módulo L298 b) esquema de conexión. 75
Figura 4.15. PLC Siemens S7-1200 76
Figura 4.16. Tarjeta de expansión de entradas y salidas digitales modelo 6ES7 223-3BD30-0XB0 para el PLC S71200.....77
Figura 4.17. Diagrama de flujo del programa de control del proceso en el PLC 78
Figura 4.18. Máquina de estados para el programa principal 79
Figura 4.19. Máquina de estados para movimiento del brazo robótico 80
Figura 4.20. Bloques de programación utilizados. 81

Figura 4.21. Llamada a la secuencia de inicio desde el programa principal.....82
Figura 4.22. Flip Flop de lectura del sensor inductivo para discriminar el elemento metálico o no metálico 83
Figura 4.23. Utilización de la marca M500.1 como seguridad 84
Figura 4.24. Contador principal de la secuencia de inicio 85
Figura 4.25. Ejecución de la secuencia de inicio cuando el contador es igual a uno 86
Figura 4.26. Proceso ejecutado cuando el valor del contador es igual a 1 en la "secuencia_banda".....87
Figura 4.27. Proceso ejecutado cuando el contador es igual a 2 en la secuencia "brazo_depósito" 88
Figura 4.28. Llamada a la secuencia "Robot_tanque" desde el programa principal .89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Letras de identificación 13
Tabla 2.2. Combinaciones típicas para designar instrumentos 14
Tabla 3.1. Relación entre activaciones de sensores para determinar si el elemento es metálico o no metálico 34
Tabla 3.2. Conexión interna en el banco didáctico para el brazo robótico 48
Tabla 3.3. Distribución de los pines en los conectores automotrices para motores y sensors magnéticos 59
Tabla 4.2. Valores de configuración del controlador para control de temperatura ...70
Tabla 4.3. Valores de configuración del controlador para control de nivel 72

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Simbología de válvulas, actuadores.....97
Anexo B: Configuración de conectores del interior del banco 100
Anexo C: Programa completo del PLC 103
Anexo D: Modelo de prácticas.....124
Anexo E: Configuración del PID.....130

RESUMEN

DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO PARA LA MANUFACTURA INTEGRADA POR COMPUTADOR

En el presente trabajo de tesis se detalla el procedimiento de diseño, construcción e implementación de un banco didáctico de sensores en la Universidad del Azuay. El banco diseñado, será utilizado para impartir clases que abarquen los temas de manufactura integrada por computador, permitiendo que el estudiante pueda afianzar sus conocimientos mediante la práctica de configuración de sensores capacitivos, inductivos, magnéticos, ópticos y ultrasónicos. Además permite la automatización de un proceso industrial integral mediante la configuración de un Controlador Lógico Programable (PLC). Se analiza la teoría de automatización industrial, protocolos de comunicación y tipos de sensores para aplicar los más utilizados para el diseño del banco didáctico.

Palabras claves: Automatización Industrial, Controlador Lógico Programable, Banco de prácticas industriales.

Daniel Esteban Iturralde Piedra
Director de Tesis

Hugo Marcelo Torres Salamea
Director de Escuela

Paúl Esteban Patiño Solís

Alexis Xavier Patiño Calle

Autores

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A DIDACTIC BANK FOR COMPUTER-INTEGRATED MANUFACTURING

ABSTRACT

This research paper details the process of design, construction and implementation of a didactic bank of sensors at *Universidad del Azuay*. The designed bank will be used to teach classes on computer-integrated manufacturing topics, in order to enable students to consolidate their knowledge through practice by means of the configuration of capacitive, inductive, magnetic, optical and ultrasonic sensors. Additionally, it allows automation of a comprehensive industrial process by setting a Programmable Logic Controller (PLC). The theory of industrial automation, communication protocols and types of sensors are analyzed so as to implement the most used for the design of a didactic bank.

Keywords: Industrial Automation, Programmable Logic Controller, Bank of Industrial Practices.

Daniel Esteban Iturralde Piedra
Thesis Director

Hugo Marcelo Torres Salamea
School Director

Paúl Esteban Patiño Solís

Alexis Xavier Patiño Calle

Authors

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
Dpto. Idiomas

Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

Patiño Solís Paúl Esteban

Patiño Calle Alexis Xavier

Trabajo de Graduación

Iturralde Piedra Daniel Esteban

Noviembre, 2015

DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO PARA LA MANUFACTURA INTEGRADA POR COMPUTADOR

INTRODUCCIÓN

El banco didáctico diseñado, construido e implementado en este proyecto de graduación tiene como objetivo ser utilizado como una herramienta práctica al impartir cátedras que contengan contenidos de manufactura integrada por computadora para reforzar los conocimientos teóricos de los estudiantes tanto en procesos industriales mediante la utilización del PLC, como en los diferentes tipos de sensores.

En el primer capítulo se realiza una introducción y la presentación del anteproyecto de tesis. En el mismo se especifican los objetivos generales y específicos del proyecto y la metodología de investigación utilizada.

El segundo capítulo recopila la teoría de sensores, controladores, protocolos de comunicación y normativa aplicada a procesos industriales. Este capítulo permite al lector tener una idea general de los conceptos requeridos para la implementación de un proceso industrial integral, así también como las normativas aplicadas al dibujo de diagramas P&ID.

El tercer capítulo presenta el proceso de diseño y construcción del banco didáctico, en el cual se abarca la metodología utilizada en el taller mecánico para obtener el producto final. Además se especifican los diagramas eléctricos internos del banco y la distribución de los elementos constitutivos.

El cuarto capítulo define la implementación del software de control para el proceso determinado en el capítulo 3. Se detallan las conexiones de los sensores, y se explica el software diseñado utilizando como base máquinas de estado. Además se entrega a manera de complemento un modelo de prácticas que servirá como herramienta al docente de la materia.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1. Motivación De la investigación

La Universidad del Azuay actualmente no posee un banco de prácticas apropiado para la enseñanza de procesos industriales y el manejo de sensores, por lo que es necesario diseñar y construir un banco de prácticas que permita al estudiante afianzar sus conocimientos mediante el manejo de sensores utilizados en la industria.

1.2. Problemática

La no existencia de un banco de prácticas de sensores en la Universidad del Azuay, de cierta manera evita que los estudiantes puedan aplicar lo aprendido en las respectivas materias en el laboratorio, por lo que es un requerimiento de la universidad el contar un un banco de pruebas diseñado con el objetivo de realizar las prácticas pertinentes y dotar al estudiante de una herramienta de aprendizaje.

1.3. Pregunta de la investigación

¿El diseño de un banco didáctico pensado para prácticas, permitirá cubrir las necesidades de enseñanza de la Universidad del Azuay en este tema?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar y construir un banco didáctico para el laboratorio de la Universidad del Azuay

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar el proceso industrial que permita utilizar los sensores disponibles en el laboratorio de la Universidad del Azuay
- Diseñar y construir el proceso industrial en un banco de prácticas
- Diseñar y construir los circuitos de acople de señal requeridos por los sensores y equipos
- Realizar las pruebas de funcionamiento del banco didáctico con el proceso completo

1.5. Metodología

Para el desarrollo del presente trabajo final de grado se procederá con la siguiente metodología de investigación:

1.5.1. Investigación Exploratoria

Se analizarán las características de los sensores y equipos existentes en el laboratorio de la Universidad del Azuay para determinar adecuadamente el proceso industrial que se acople más a las necesidades de enseñanza planteadas por el director de tesis.

1.5.2. Investigación Descriptiva

Se realizará la descripción de los sensores utilizados, así también como del sistema industrial diseñado.

1.5.3. Diseño de una solución

Se realizará el diseño estructural del banco didáctico, el diseño del software de control en el PLC.

1.6. Alcances y resultados esperados:

1.6.1. Alcance:

Se realizará el diseño, construcción e implementación del banco didáctico aplicado a un proceso industrial para la Universidad del Azuay. El proceso utilizará los sensores y equipos existentes en el laboratorio.

1.6.2. Resultados esperados:

Se tendrá un banco didáctico acorde a las necesidades de la Universidad del Azuay. Se presentará el funcionamiento de dicho sistema.

1.7. Supuestos y riesgos:

Se supone la integración total de los sensores existentes que intervienen en el proceso industrial propuesto. En el caso de que dichos sensores no cumplan con las necesidades académicas del laboratorio, se modificará el proceso de producción previa aprobación del director de tesis.

El riesgo de incumplimiento del cronograma en el tiempo establecido está dado por el financiamiento de la Universidad del Azuay en el proyecto. En el caso de presentarse inconvenientes en el desembolso del financiamiento se realizarán los cambios pertinentes en el proceso de industrial planteado previa aprobación del director de tesis.

CAPÍTULO 2

ESTADO DEL ARTE

2.1. Procesos industriales

"Un proceso industrial es un conjunto de procedimientos que involucran etapas químicas o mecánicas, que tienen como objetivo la construcción o producción de un ítem o ítems en gran escala". (Universidad de San Carlos de Guatemala, 2015)

Como ejemplo, en la figura 2.1 se muestra el proceso de fabricación de papel, en el cual se pueden observar los pasos que sigue la materia prima desde su ingreso hasta la obtención del producto terminado.

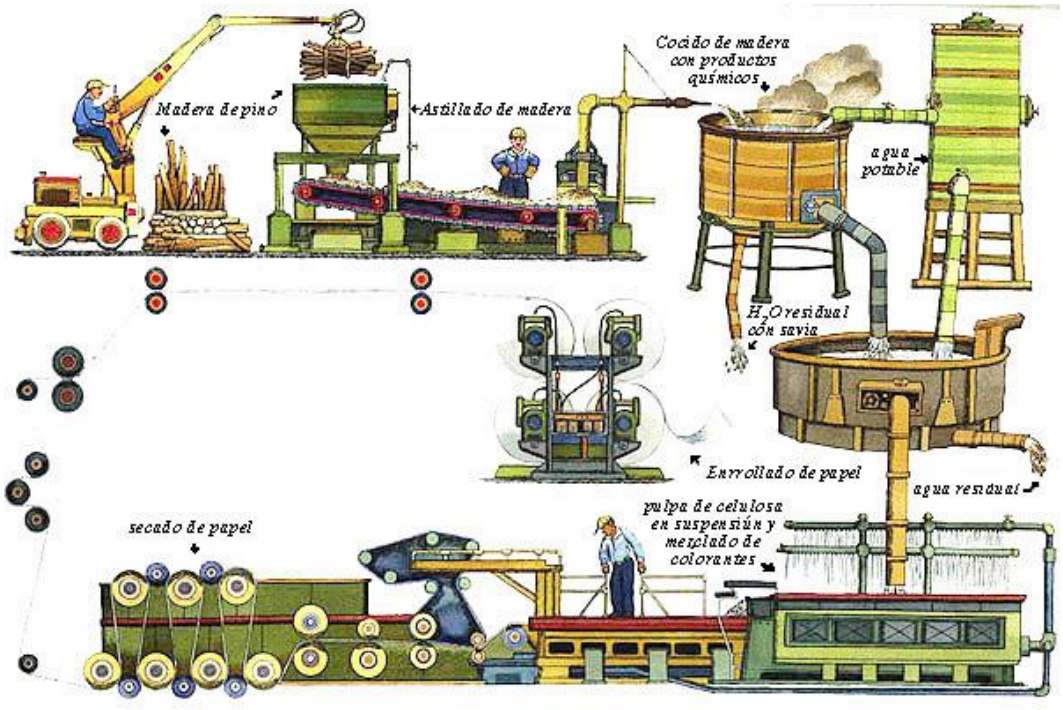


Figura 2.1. Proceso de fabricación de papel

Fuente: (Rivera, 2015)

2.1.1. Automatización de procesos industriales

Existen una infinidad de procesos industriales, cada uno con diferentes características y subprocesos de manufactura, pero todos mantienen cierta similitud en función de los equipos y maquinaria utilizados para su desempeño.

Si se hace referencia al control involucrado en los procesos industriales actuales, se pueden identificar similitudes en la arquitectura utilizada para realizar el monitoreo de variables del proceso y el control del mismo. Estas similitudes son:

- Se tienen etapas de ingreso y proceso de materia prima
- Se monitorean variables como presión, temperatura, nivel, etc.
- Se controlan actuadores como bombas, cilindros neumáticos e hidráulicos, etc.

Es decir, existe un control del proceso, tomando datos de equipos captadores de información (sensores), y realizando las acciones de control mediante actuadores (accionadores). Este control de proceso se conoce como automatización industrial.

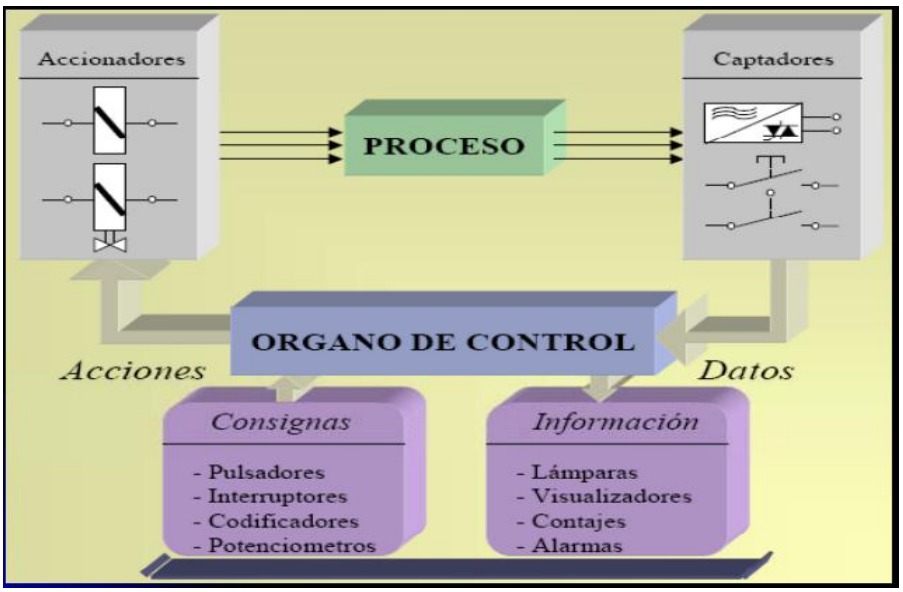


Figura 2.2. Diagrama de bloques de un proceso industrial automatizado

Fuente: (Román, 2010)

En la figura 2.2 se muestra un diagrama de bloques de las actividades básicas de un sistema de automatización de un proceso industrial. Se observa que el órgano de control o controlador del proceso es el encargado de tomar los datos de los captadores, cuya información es obtenida de los sensores ubicados en el proceso. El controlador también realiza las acciones de control sobre los accionadores, basándose en las consignas de control dadas por el operario.

2.2. Instrumentación y sistemas de medida

2.2.1. Instrumentación

La instrumentación industrial hace referencia a los sistemas de medición utilizados para convertir variables físicas como caudal, presión, nivel, etc., en variables que puedan ser procesadas por un computador, sistema SCADA o directamente por el operador.

En general, la instrumentación industrial abarca la utilización de controladores, sensores y transductores en un proceso industrial, con el objetivo de monitorear las variables físicas anteriormente mencionadas y así mantener un control adecuado en la maquinaria y en el proceso de producción.

La instrumentación de un proceso está delimitada por los equipos utilizados para su monitoreo y control, para lo cual se utilizan diagramas P&ID (Piping and Instrumentation Diagrams o Diagramas de instrumentación y tuberías).

Los P&ID (figura 2.3) especifican las conexiones entre sensores, controladores, transmisores, actuadores y su interconexión mediante tuberías neumáticas, hidráulicas o cableado eléctrico dentro de un proceso de producción.

La norma que rige el diseño y dibujo de los diagramas P&ID es la ANSI/ISA-S5.1 la cual determina directivas de simbología utilizada para dichos diagramas. A continuación se revisarán los aspectos más relevantes de esta norma.

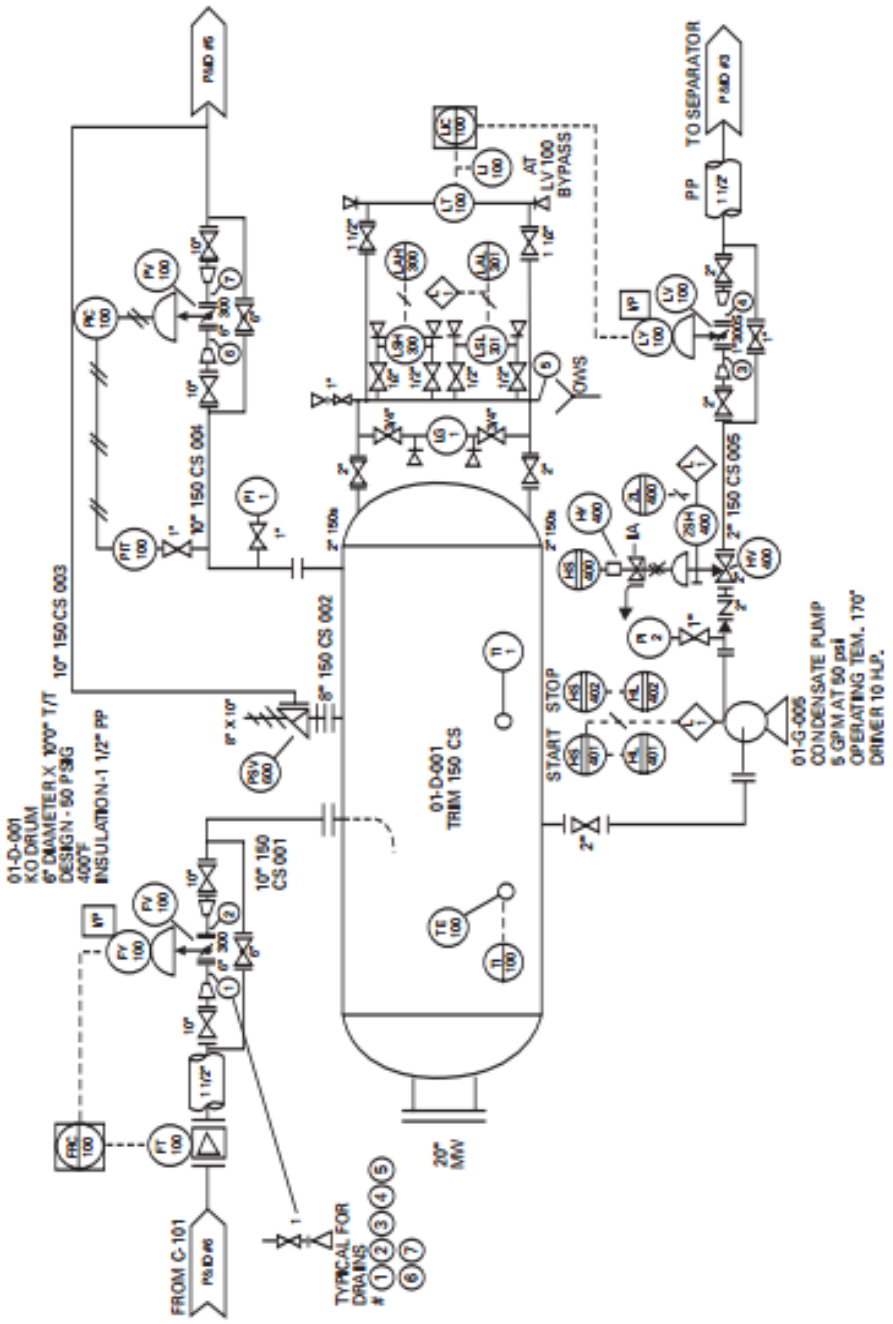


Figura 2.3. Diagrama P&ID de un proceso industrial

Fuente: (Syafiie, 2012)

Identificación de equipos y lazos de control.- Los instrumentos utilizados en un proceso industrial, así también como los lazos de control y funciones que realizan deben estar identificados con un número secuencial. En la figura 2.4 se muestra la identificación típica utilizada por un instrumento y un lazo de control.

	TYPICAL TAG NUMBER
TIC 103	- Instrument Identification or Tag Number
T 103	- Loop Identification
103	- Loop Number
TIC	- Functional Identification
T	- First-letter
IC	- Succeeding-Letters
	EXPANDED TAG NUMBER
10-PAH-5A	- Tag Number
10	- Optional Prefix
A	- Optional Suffix
Note: Hyphens are optional as separators	

Figura 2.4. Números de identificación de instrumento, lazo o función.

Fuente: (ISA, 1992)

La identificación de lazos de control debe ser tal que tenga un significado dentro del proceso, es decir, debe proveer información como área de planta, ubicación, maquinaria, etc.

Identificación de funcionalidad de instrumento.- Los instrumentos utilizados en el proceso de producción deben ser identificados con letras, las cuales deben dar información sobre el tipo de instrumento y las variables de entrada y salida que entrega al controlador. En la figura 2.5 se muestra un instrumento identificado según su funcionalidad y su lazo de control.

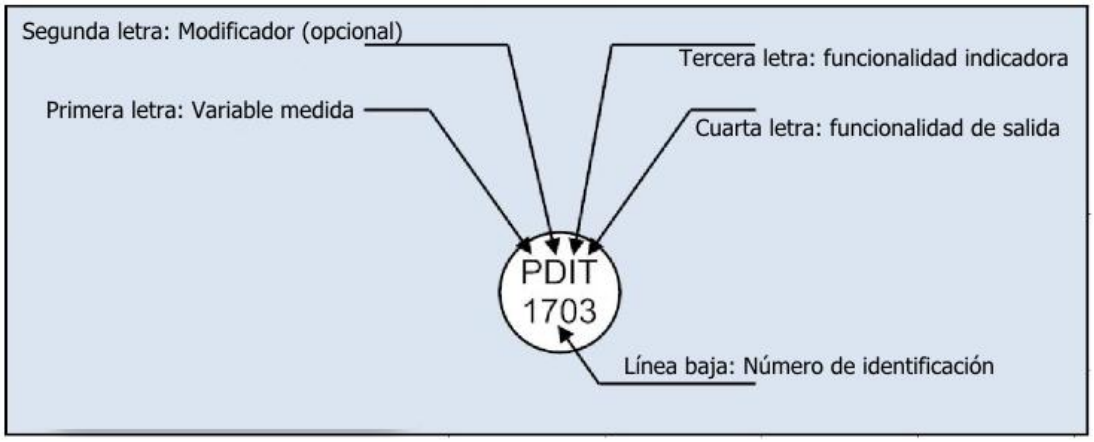


Figura 2.5. Identificación de funcionalidad de instrumento

Fuente: (ISA, 1992)

Donde:

- Primera letra: Identifica la variable medida por el instrumento o el tipo de función que realiza. Como por ejemplo medición de nivel, voltaje, flujo, velocidad, temperatura, etc.
- Segunda letra: Realiza una modificación a lo expresado por la primera letra, por ejemplo, en el caso de un instrumento que mida la posición de un elemento, ésta puede ser tomada en cualquiera de los ejes X, Y, Z, por lo que se puede modificar la información del tipo de sensor y hacerla más específica indicando el eje en el que se toma la medición. Esta letra es opcional
- Tercera letra: Indica la funcionalidad del instrumento de indicar su medida de manera visual, ya sea mediante alarma, dispositivo de visualización, grabación de datos, etc.
- Cuarta letra: Describe la funcionalidad de salida del instrumento, es decir, especifica si el instrumento puede utilizar su salida para controlar otra variable u otro instrumento del proceso.
- Línea baja: Hace referencia al número de identificación del lazo de control descrito anteriormente.

La identificación de funcionalidad del instrumento debe realizarse utilizando las letras mostradas en la tabla 2.1. Se debe tomar en cuenta el significado de cada letra como primera letra o subsiguiente.

Tabla 2.1. Letras de identificación

	FIRST-LETTER (4)		SUCCEEDING-LETTERS (3)		
	MEASURED OR INITIATING VARIABLE	MODIFIER	READOUT OR PASSIVE FUNCTION	OUTPUT FUNCTION	MODIFIER
A	Analysis (5,19)		Alarm		
B	Burner, Combustion		User's Choice (1)	User's Choice (1)	User's Choice (1)
C	User's Choice (1)			Control (13)	
D	User's Choice (1)	Differential (4)			
E	Voltage		Sensor (Primary Element)		
F	Flow Rate	Ratio (Fraction) (4)			
G	User's Choice (1)		Glass, Viewing Device (9)		
H	Hand				High (7, 15, 16)
I	Current (Electrical)		Indicate (10)		
J	Power	Scan (7)			
K	Time, Time Schedule	Time Rate of Change (4, 21)		Control Station (22)	
L	Level		Light (11)		Low (7, 15, 16)
M	User's Choice (1)	Momentary (4)			Middle, Intermediate (7,15)
N	User's Choice (1)		User's Choice (1)	User's Choice (1)	User's Choice (1)
O	User's Choice (1)		Orifice, Restriction		
P	Pressure, Vacuum		Point (Test) Connection		
Q	Quantity	Integrate, Totalize (4)			
R	Radiation		Record (17)		
S	Speed, Frequency	Safety (8)		Switch (13)	
T	Temperature			Transmit (18)	
U	Multivariable (6)		Multifunction (12)	Multifunction (12)	Multifunction (12)
V	Vibration, Mechanical Analysis (19)			Valve, Damper, Louver (13)	
W	Weight, Force		Well		
X	Unclassified (2)	X Axis	Unclassified (2)	Unclassified (2)	Unclassified (2)
Y	Event, State or Presence (20)	Y Axis		Relay, Compute, Convert (13, 14, 18)	
Z	Position, Dimension	Z Axis		Driver, Actuator, Unclassified Final Control Element	

Fuente: (ANSI/ISA-S5.1, 1984)

De esta forma, a manera de ejemplo, si se supone la utilización de un sensor de flujo con visualización luminosa y salida de control, su identificación sería “FLC”. De esta manera, en la tabla 2.2 se pueden observar combinaciones típicas de letras para designar instrumentos en procesos industriales comunes.

Tabla 2.2. Combinaciones típicas para designar instrumentos

First-Letters	Initiating or Measured Valable	Controllers			Self-Actuated Control Valves	Readout Devices		Switches and Alarm Devices*			Transmitters			Solenoids, Relays, Computing Devices	Primary Element	Test Point	Well or Probe	Viewing Device, Glass	Safety Device	Final Element
		Recording	Indicating	Blind		Recording	Indicating	High**	Low	Comb	Recording	Indicating	Blind							
A	Analysis	ARC	AIC	AC		AR	AI	ASH	ASL	ASHL	ART	AIT	AT	AY	AE	AP	AW			AV
B	Burner/Combustion	BRC	BIC	BC		BR	BI	BSH	BSL	BSHL	BRT	BIT	BT	BY	BE		BW	BG		BZ
C	User's Choice																			
D	User's Choice																			
E	Voltage	ERC	EIC	EC		ER	EI	ESH	ESL	ESHL	ERT	EIT	ET	EY	EE					EZ
F	Flow Rate	FRC	FIC	FC	FCV, FICV	FR	FI	FSH	FSL	FSHL	FRT	FIT	FT	FY	FE	FP		FG		FV
FQ	Flow Quantity	FQRC	FQIC			FQR	FQI	FQSH	FQSL			FQIT	FQT	FQY	FQE					FQV
FF	Flow Ratio	FFRC	FFIC	FFC		FFR	FFI	FFSH	FFSL						FFE					FFV
G	User's Choice																			
H	Hand		HIC	HC						HS										HV
I	Current	IRC	IIC			IR	II	ISH	ISL	ISHL	IRT	IIT	IT	IY	IE					IZ
J	Power	JRC	JIC			JR	JI	JSH	JSL	JSHL	JRT	JIT	JT	JY	JE					JV
K	Time	KRC	KIC	KC	KCV	KR	KI	KSH	KSL	KSHL	KRT	KIT	KT	KY	KE					KV
L	Level	LRC	LIC	LC	LCV	LR	LI	LSH	LSL	LSHL	LRT	LIT	LT	LY	LE		LW	LG		LV
M	User's Choice																			
N	User's Choice																			
O	User's Choice																			
P	Pressure/ Vacuum	PRC	PIC	PC	PCV	PR	PI	PSH	PSL	PSHL	PRT	PIT	PT	PY	PE	PP			PSV, PSE	PV
PD	Pressure, Differential	PDRC	PDIC	PDC	PDCV	PDR	PDI	PDSH	PDSL		PDRT	PDIT	PDT	PDY	PE	PP				PDV
Q	Quantity	QRC	QIC			QR	QI	QSH	QSL	QSHL	QRT	QIT	QT	QY	QE					QZ
R	Radiation	RRC	RIC	RC		RR	RI	RSH	RSL	RSHL	RRT	RIT	RT	RY	RE		RW			RZ
S	Speed/Frequency	SRC	SIC	SC	SCV	SR	SI	SSH	SSL	SSHL	SRT	SIT	ST	SY	SE					SV
T	Temperature	TRC	TIC	TC	TCV	TR	TI	TSH	TSL	TSHL	TRT	TIT	TT	TY	TE	TP	TW		TSE	TV
TD	Temperature, Differential	TDRC	TDIC	TDC	TDCV	TDR	TDI	TDSH	TDSL		TDRT	TDIT	TDT	TDY	TE	TP	TW			TDV
U	Multivariable					UR	UI							UY						UV
V	Vibration/Machinery Analysis					VR	VI	VSH	VSL	VSHL	VRT	VIT	VT	VY	VE					VZ
W	Weight/Force	WRC	WIC	WC	WCV	WR	WI	WSH	WSL	WSHL	WRT	WIT	WT	WY	WE					WZ
WD	Weight/Force, Differential	WDRC	WDIC	WDC	WDCV	WDR	WDI	WDSH	WDSL		WDRT	WDIT	WDT	WDY	WE					WDZ
X	Unclassified																			
Y	Event/State/Presence		YIC	YC		YR	YI	YSH	YSL				YT	YY	YE					YZ
Z	Position/Dimension	ZRC	ZIC	ZC	ZCV	ZR	ZI	ZSH	ZSL	ZSHL	ZRT	ZIT	ZT	ZY	ZE					ZV
ZD	Gauging/Deviation	ZDRC	ZDIC	ZDC	ZDCV	ZDR	ZDI	ZDSH	ZDSL		ZDRT	ZDIT	ZDT	ZDY	ZDE					ZDV

Note: This table is not all-inclusive.
*A, alarm, the annunciating device, may be used in the same fashion as S, switch, the actuating device.

**The letters H and L may be omitted in the undefined case. T,R

Other Possible Combinations:
FO (Restriction Orifice)
FRK, HK (Control Stations)
FX (Accessories)
LLH (Pilot Light)
PFR (Ratio)
KOI (Running Time Indicator)
QOI (Indicating Counter)
(Rate-of-Weight-Loss Controller)
HMS (Hand Momentary Switch)

Fuente: (ANSI/ISA-S5.1, 1984)

Líneas de alimentación, conexión y señal.- Para definir el tipo de señal que circula por las tuberías en un diagrama P&ID se debe utilizar la simbología mostrada en la figura 2.6. Donde:

- AS: fuente de aire
- IA.- aire de instrumento:
- PA: aire de planta
- ES: Fuente eléctrica
- GS.- fuente de gas
- HS, Fuente hidráulica
- NS: Fuente de vapor
- WS: fuente de agua
- **: la señal neumática se aplica a cualquier señal con un gas como medio
- ***: Se incluyen señales electromagnéticas

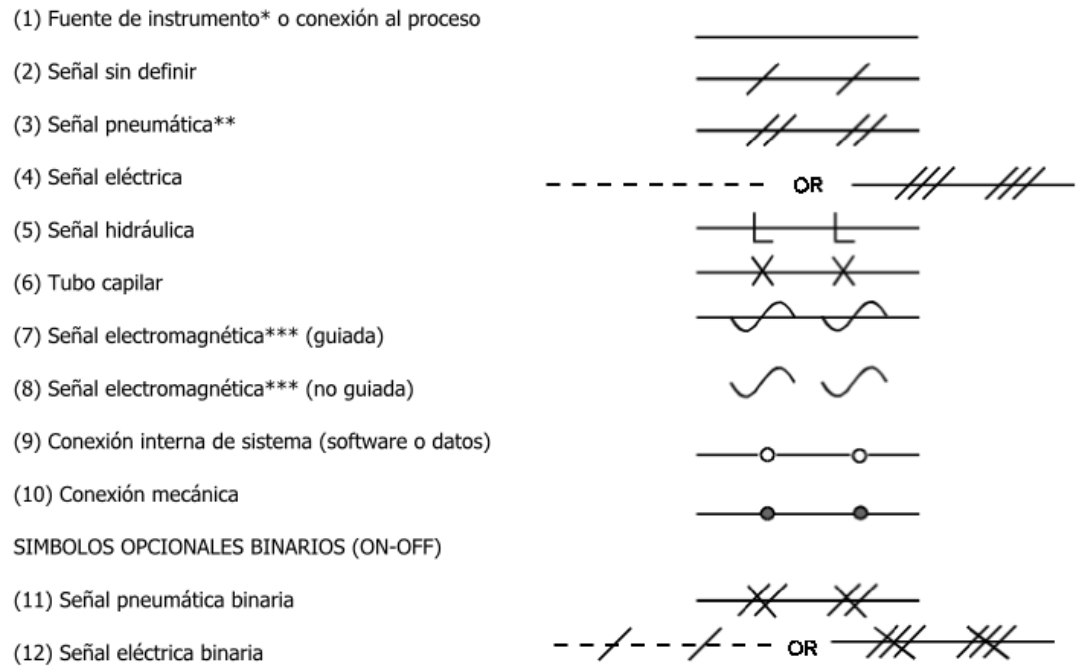


Figura 2.6. Simbología de señales para P&ID

Fuente (ISA, 1992)

Simbología general de instrumentos.- Para designar un instrumento en el diagrama P&ID se debe seguir la simbología mostrada en la figura 2.7. Se observa que la línea que divide el símbolo se utiliza en función del tipo de montaje de del instrumento y de su accesibilidad al operario. El tamaño de los símbolos depende del documento utilizado para su visualización. También, se pueden utilizar abreviaciones como IP1 (Instrumento Panel 1). Por último, los equipos normalmente inaccesibles utilizarán símbolos con línea cortada.

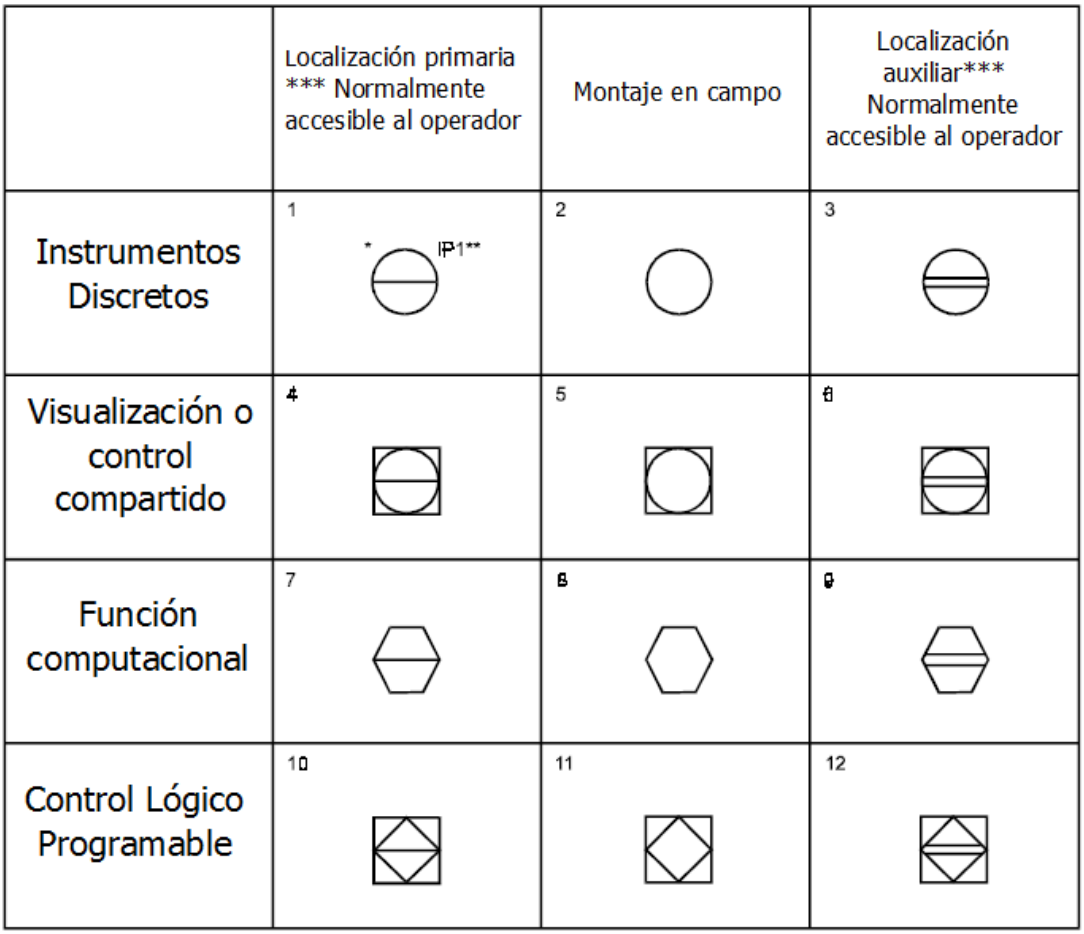


Figura 2.7. Simbología de instrumentos.

Fuente: (ISA, 1992)

La simbología utilizada para bombas y actuadores se la puede encontrar directamente en la norma. Se muestra una copia de esta simbología en el anexo A.

1.2.2. Sistemas de Medida

"Un sistema es un conjunto de elementos o partes simples relacionadas entre sí con una función o acción determinadas. En el caso de los sistemas de medida esta función es medir". (Ramírez, 2014)

"Un sistema de medición, es aquel conjunto de elementos que forma un instrumento, capaz de convertir una variable física en una señal o indicación a ser interpretada por el hombre con mayor facilidad". (Departamento de Diseño Mecánico, 2015)

Los sistemas de medida deben tener los siguientes elementos principales:

- **Sensado**: En un sistema de medida, la función de sensado permite extraer la información del sistema físico y transformarla a una señal que tiene una relación de transferencia respecto a la propiedad (nivel, presión, temperatura, etc.) a medir.

- **Acondicionamiento de señal:** Permite transformar la señal de los sensores en otro tipo de señal que pueda ser entendida y procesada por el sistema de control, generalmente es una señal eléctrica (corriente, tensión, frecuencia).

- **Transmisión:** Función del sistema de medida que permite la interconexión entre las diferentes etapas de dicho sistema. Es el encargado de gestionar adecuadamente la comunicación entre los elementos del sistema.

- **Adquisición:** Es la función del sistema de medida que permite retener y codificar la información proveniente de los sensores con el objetivo de almacenarla y permitir su acceso y tratamiento posteriormente.

- **Procesamiento:** Función que extrae la señal adquirida de los sensores y permite el tratamiento de dicha señal. Generalmente consiste en procesamiento analógico y digital.

- **Registro:** Función de almacenamiento de datos para su tratamiento inmediato o posterior.

- **Representación**: Función del sistema de medida encargada de la visualización de datos. Consiste en la interfaz hombre-máquina (HMI) mediante representaciones visuales, analógicas o digitales.

- **Alimentación energética:** Función encargada del suministro energético y de las protecciones eléctricas.

2.3. Monitoreo de sistemas industriales

El monitoreo de sistemas industriales es un área de ingeniería que abarca la adquisición de datos, control y mantenimiento de equipos, en la cual se utilizan técnicas de muestreo de datos en función del tipo de variable medida dentro del proceso.

El monitoreo de sistemas se puede dividir en dos grupos:

- Adquisición de datos
- Administración de datos

En sí, la adquisición de datos es el corazón del sistema de monitoreo, pues es encargada de adquirir información de sensores y almacenarla para su futuro procesamiento.

2.3.1. Sistemas de adquisición de datos

La adquisición de datos o DAQ (Data Acquisition por sus siglas en inglés) es el proceso utilizado para obtener mediciones de sensores (los cuales entregan los

parámetros de medida en forma de voltaje, corriente o frecuencia) mediante un computador y almacenarlo en el mismo.

El sistema de adquisición de datos es el conjunto de sensores, equipos de DAQ y computadores involucrados en el proceso de medición. Consiste en un sistema de medida que utiliza al computador para el análisis y visualización de los datos medidos de los sensores (figura 2.8).

Figura 2.8. Sistema de adquisición de datos.

Fuente: (National Instruments, 2015)

Uno de los sistemas más utilizados de adquisición de datos es el de National Instruments por su facilidad de uso y de programación. La solución de National Instruments para la adquisición de datos es el sistema CompactDAQ (figura 2.9), el cual consiste en un chasis en el cual se instalan módulos de entrada y salida basados en los requerimientos del sistema.

Figura 2.9. CompactDAQ de National Instruments.

Fuente: (National Instrumets, 2009)

2.3.2. SCADA

En instrumentación, los sistemas de monitoreo se conocen como sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*, o control supervisorio y adquisición de datos por sus siglas en inglés). En la figura 2.10 se muestra la estructura de un sistema SCADA

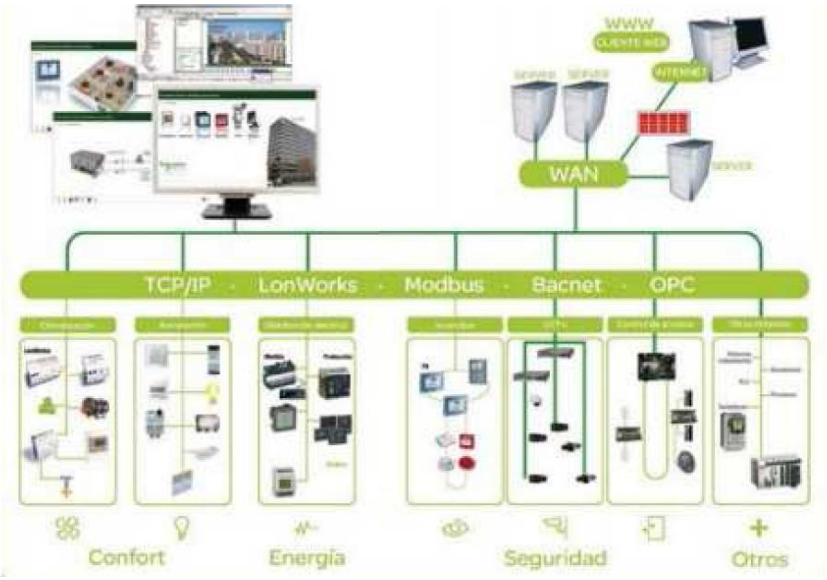


Figura 2.10. Arquitectura básica de un sistema SCADA

Fuente: (Schneider Electric Inc, 2015)

Los sistemas SCADA permiten monitorear y controlar dispositivos de campo ya sea de ubicaciones locales o remotas, tales como:

- Sensores
- Transmisores
- Switches
- Actuadores
- Válvulas
- Motores, etc.

Como uno de los puntos de partida dentro de un sistema SCADA, está el hecho de identificar las señales de entrada/salida que se quiere automatizar, con miras de contar con un eficiente control y monitoreo del proceso.

Tan importante es este punto, ya que de ello depende posteriormente comenzar con la elección o adaptación si fuese el caso de los distintos controladores que se necesitarán, así como las redes, y el software de gestión, que en el mejor de los casos se debe elegir equipos que usen medios de comunicación genéricos o equipos de la misma marca, con el objetivo de no tener futuros problemas en el aspecto de comunicación y poder así realizar un HMI que permita contar con un manejo eficaz de alarmas, históricos y base de datos.

2.4. Tipos de sensores

“Un sensor es un convertidor que transforma una variable física o química (por ejemplo temperatura, distancia o presión) en otra variable diferente, generalmente una señal eléctrica.” (Barragán, 2010)

Los sensores se utilizan en varias actividades pero su mayor aplicación se da en los sistemas de producción, en los cuales se necesita la utilización de componentes que puedan adquirir y transmitir información relacionada con dicho proceso. Los sensores pueden clasificarse en función del contacto físico con el elemento a medir:

- Con contacto físico: como fines de carrera o sensores de fuerza
- Sin contacto físico: como sensores infrarrojos, ultrasónicos, magnéticos, etc.

Mediante la utilización de sensores se pueden obtener datos de variables de proceso como:

- Temperatura
- Presión
- Fuerza

- Longitud
- Posición angular
- Nivel
- Caudal, etc.

2.4.1. Sensor de Temperatura

Son equipos que convierten el fenómeno físico del cambio de temperatura en un cuerpo y lo convierten en una señal eléctrica para que pueda ser procesada por el sistema de medición.
Para la selección adecuada de sensores de temperatura dentro de un proceso industrial, se deben tener en consideración siguientes parámetros (Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 2015):

- Temperatura máxima
- Rango de temperatura a medir
- Exactitud
- Velocidad de respuesta
- Costo
- Requerimiento de mantenimiento

En el mercado se pueden encontrar los siguientes sensores de temperatura:

Termocuplas.- Diseñadas para trabajos en los cuales se tengan temperaturas entre los -220°C y los 2800°C. Consisten en dos conductores que generan una diferencia de potencial en sus terminales (figura 2.11), el cual es función de la diferencia de temperatura en la unión de los mismos.

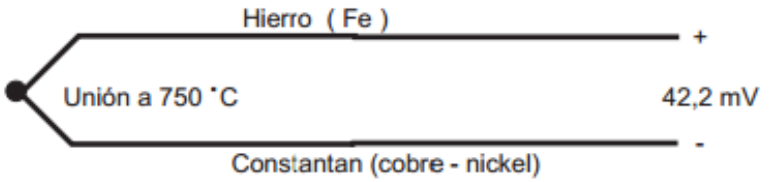


Figura 2.11. Termocupla

Fuente: (ARIAN Control & Instrumentación, 2015)

Termoresistencias.- Son sensores que basan su funcionamiento en que un resistor varía su resistencia en función de la temperatura (figura 2.12). Se utilizan para temperaturas que varían entre los -250°C y los 850°C.

Figura 2.12. Termoresistencia

Fuente: (Rücken Precisao & Controle, 2015)

Termistores.- Utilizados en aplicaciones que tienen variaciones de temperatura entre los -195°C y los 450°C. Son elementos semiconductores (figura 2.13) con principios de funcionamiento similares a los resistores térmicos, pero con un coeficiente de temperatura negativo de un valor muy elevado. (U.S. Sensor Corp, 2015).

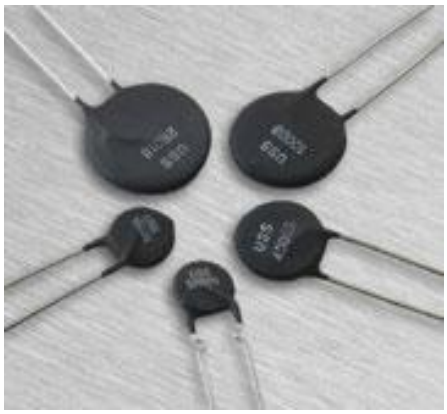


Figura 2.13. Termistores comerciales

Fuente: (Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 2015)

2.4.2. Sensores magnéticos

Los sensores magnéticos (figura 2.14) permiten la detección de elementos metálicos sin la necesidad de realizar un contacto físico entre el elemento y el sensor. Esta característica permite que no exista desgaste del sensor al momento de detectar el elemento requerido.

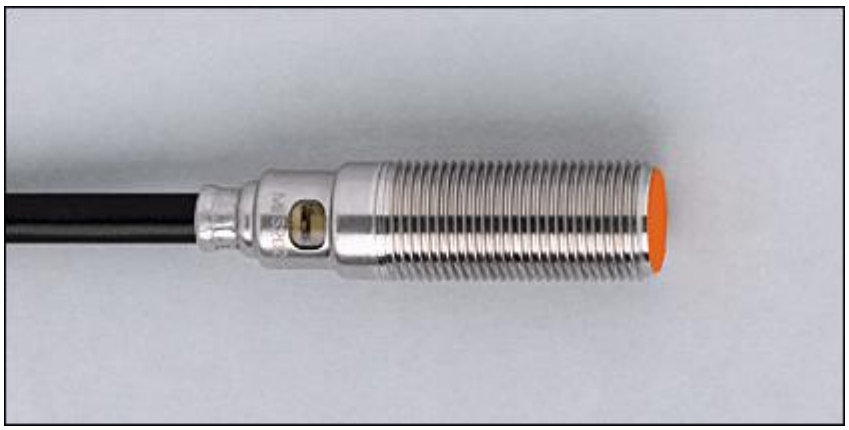


Figura 2.14. Sensor magnético

Fuente: (IFM Inc., 2015)

Su principio de funcionamiento se basa en el cierre de un contacto mecánico, el cual tiene un imán en uno de sus terminales y se activa cuando un elemento metálico se aproxima al sensor.

2.4.3. Sensores ópticos reflectivos

Un sensor óptico reflectivo es un tipo de sensor que funciona como interruptor o sensor de proximidad que basa su funcionamiento en la detección de un rayo de luz que intercepta el sensor (figura 2.15). Cuando el rayo de luz es bloqueado por un objeto, el sensor emite una señal eléctrica acorde a su funcionamiento.

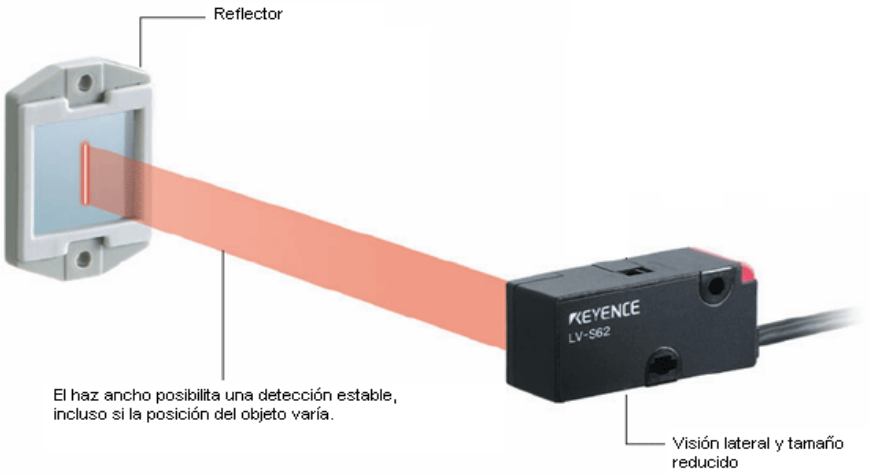


Figura 2.15. Principio de funcionamiento de un sensor óptico

Fuente: (Keyence International, 2015)

2.4.4. Sensor de nivel ultrasónico

Un sensor de nivel ultrasónico es básicamente un sensor de distancia. Este sensor basa su funcionamiento en la reflexión de ondas acústicas y el tiempo de vuelo de las mismas. El sensor emite ondas de ultrasonido, las cuales se reflejan en una superficie y regresan al equipo, con lo que el equipo calcula el tiempo de vuelo de la onda, o en otros casos la distorsión de la frecuencia de la onda generada, con lo cual determina la distancia recorrida por dicha onda (figura 2.16).

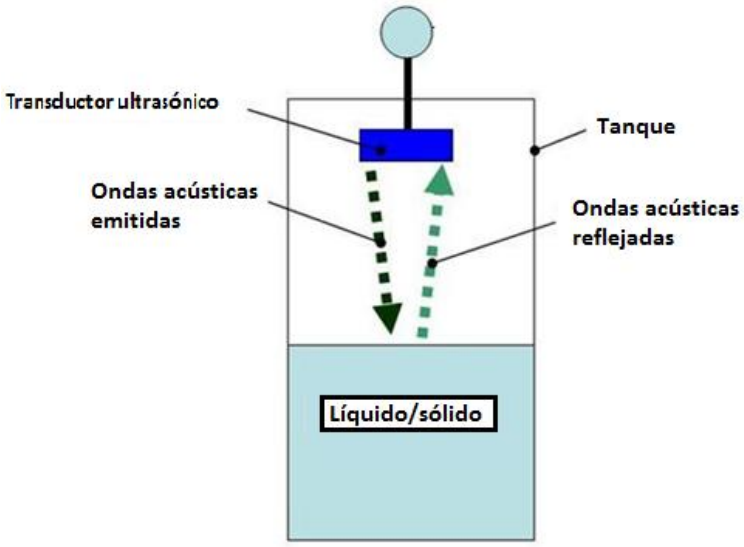


Figura 2.16. Funcionamiento de un sensor de nivel ultrasónico

Fuente: (Brighthubengineering, 2015)

2.4.5. Sensor capacitivo

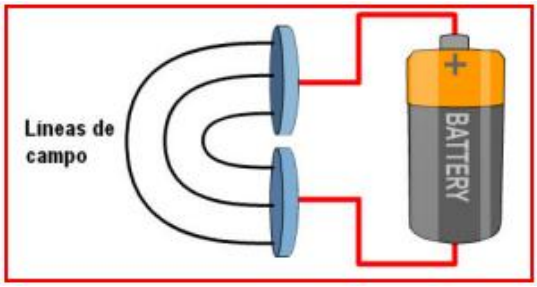
El sensor capacitivo funciona de manera similar al sensor inductivo, es decir, permite detectar la presencia de elementos cerrando un contacto. El sensor capacitivo permite detectar una variedad de materiales como papel, vidrio, plástico, aceite, agua, etc.

Industrialmente se los puede encontrar con el mismo factor de forma que los inductivos. Un sensor capacitivo industrial se muestra en la figura 2.17.

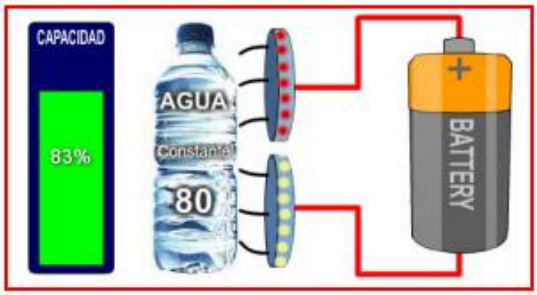
Figura 2.17. Sensor capacitivo utilizado en aplicaciones industriales

Fuente: (EcuRed, 2015)

El sensor capacitivo utiliza el principio de un capacitor eléctrico, utilizando como dieléctrico el material que se necesita detectar. Este principio permite que el sensor pueda calibrarse para detectar cualquier material, pues mide la capacitancia generada a partir de la constante dieléctrica. Así, cuando un sensor capacitivo no tiene un objeto en su área de detección, se comporta como un capacitor abierto, pues el dieléctrico es el aire. Para esto se establecen líneas de campo entre los electrodos del sensor (figura 2.18a). Cuando un material entra en el área de sensado, el sensor polariza el material y calcula la constante dielétrica (figura 2.18b).



(a)



(b)

Figura 2.18. Principio de funcionamiento de un sensor capacitivo a) líneas de en un sensor capacitivo, b) variación de capacitancia en función del material en un sensor capacitivo

Fuente: (Skillten, 2014)

Una de las principales ventajas del sensor capacitivo es que puede configurarse para detectar materiales a diferentes distancias, es decir, se puede colocar el sensor en la pared de un tanque de metal y medir el nivel de agua en el interior de dicho tanque, sin que las paredes de metal interfieran en la detección.

2.5. Conexión de sensores

Los sensores que intervienen en un sistema de medida, pueden conectarse al sistema de adquisición de datos de varias maneras. El tipo de conexión utilizada depende del modelo en particular del sensor, y de las opciones de comunicación del sistema de adquisición.

2.5.1. Variación 4-20mA

Los sensores pueden tener una salida analógica que entrega una variación de voltaje de 1 a 5 voltios en sus terminales. Los sistemas de medición tienen entradas con impedancias de 250 ohmios, por lo que se obtiene una variación de 4 a 20 mA en función de la variable medida por el sensor.

Esta variación está estandarizada según la norma ANSI/ISA 50.00.01 la cual hace referencia a la compatibilidad de señales entre instrumentos eléctricos. La utilización de esta norma permite la selección de equipos que no posean módulos de comunicación, por lo que los costos de implementación son menores.

La variación analógica del sensor es directamente proporcional al valor de voltaje (luego leído como corriente), por lo que no se puede transmitir otro tipo de información en la línea de conexión. La transmisión de datos sobre la línea analógica es posible utilizando HART, el cual será revisado en los siguientes subcapítulos.

2.5.2. Fieldbus

Fieldbus (figura 2.19) es un protocolo de red industrial creado por la fundación Fieldbus (*Fieldbus Foundation*), que tiene como objetivo mantener un protocolo abierto de comunicación entre sensores de campo.

Figura 2.19. Logotipo de Fundación Fieldbus

Fuente: (Fieldbus Foundation, 2015)

Fieldbus determina la comunicación entre sensores conectados en red. La ventaja de Fieldbus sobre ISA 50 es que su estructura de red de comunicaciones simplifica el cableado requerido a nivel de planta. Una red Fieldbus básica se puede observar en la figura 2.20.

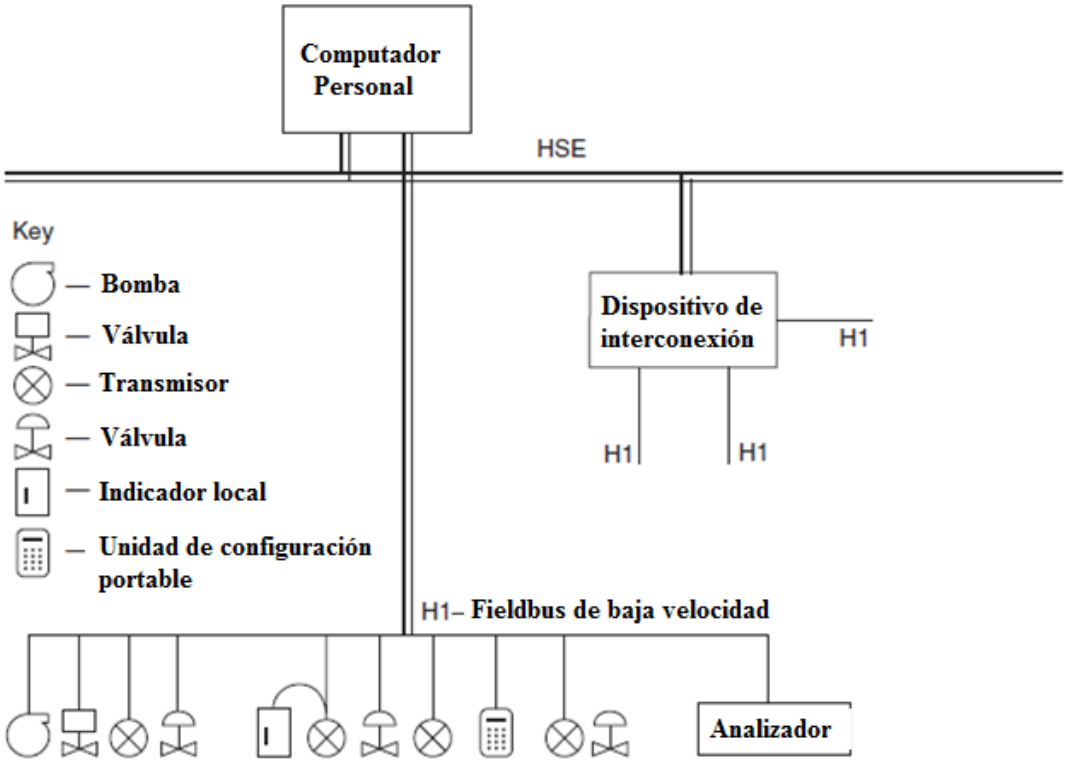


Figura 2.20. Red básica con Fieldbus

Fuente: (National Instruments, 2014)

Fieldbus es una Red de Área Local (LAN o Local Area Network por sus siglas en inglés), y además es un sistema de control distribuido, es decir, el control se realiza por los dispositivos en campo, mientras que los computadores sirven para análisis de datos y administración.

Fieldbus utiliza los siguientes protocolos de comunicación:

- H1: comunicación serial digital a 31.25 Kb/s
- HSE: basada en Ethernet TCP/IP con velocidades de 10/100Mbps

2.5.3. HART

HART (“Highway Addressable Remote Transducter”, o “Transductor Remoto altamente direccionable” por sus siglas en inglés) es un protocolo de comunicación industrial entre equipos de campo mantenido por la HART Communication Foundation (figura 2.21).

Figura 2.21. Logotipo HART

Fuente: (HART Communication Foundation, 2015)

El principio de funcionamiento de HART se basa en la utilización de la línea analógica 4-20mA para transmitir información, por esto se le conoce como un protocolo híbrido. En la figura se puede observar una explicación simple de HART. El protocolo además de transmitir la señal analógica del sensor, sobrepone una señal portadora para transmitir datos (figura 2.22), esto se logra utilizando FSK (“*Frequency Shift Keying*” o “Modulación por Desplazamiento de Frecuencia” por sus siglas en inglés.

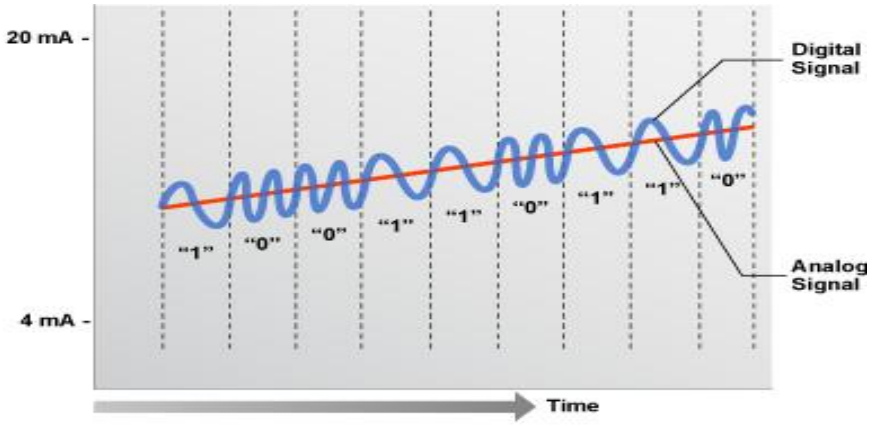


Figura 2.22. Modulación de una señal digital sobre una señal analógica en HART.

Fuente: (HART Communication Foundation, 2015)

La diferencia entre HART y Fieldbus es que HART requiere un computador para realizar el control, es decir, no es un sistema de control distribuido. La ventaja de utilizar HART es que se puede reutilizar el cableado de las antiguas líneas industriales de 4-20mA.

En la figura 2.23 se observa un sistema HART básico, en el cual se muestra que se pueden conectar dos equipos master para pedir información a los equipos de campo, pero se observa que se requiere la utilización de un sistema de entradas y salidas (el sistema modulador y demodulador de señal).

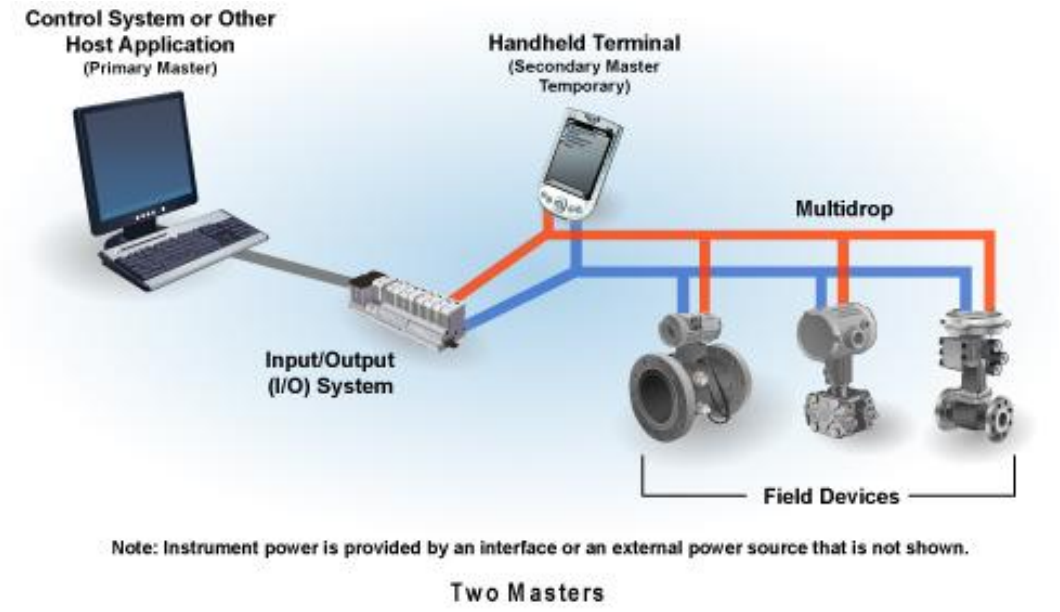


Figura 2.23. Red básica HART

Fuente: (HART Communication Foundation, 2015)

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL BANCO DIDÁCTICO

3.1. Diseño estructural

El diseño del banco didáctico de sensores intenta representar la configuración de equipos y sensores utilizados en la industria con el objetivo de que el estudiante pueda familiarizarse de mejor manera con la conexión y configuración de Controladores Lógicos Programables (PLCs), sensores industriales capacitivos, inductivos, ópticos, magnéticos, ultrasónicos, y controladores PID.

3.1.1. Descripción del proceso

El proceso para el banco didáctico se diseñó con el objetivo de utilizar varios tipos de sensores existentes en el laboratorio de automatización de la Universidad del Azuay, persiguiendo como meta permitir la realización de varias prácticas en el mismo. El diagrama general del proceso se muestra en la figura 3.1:

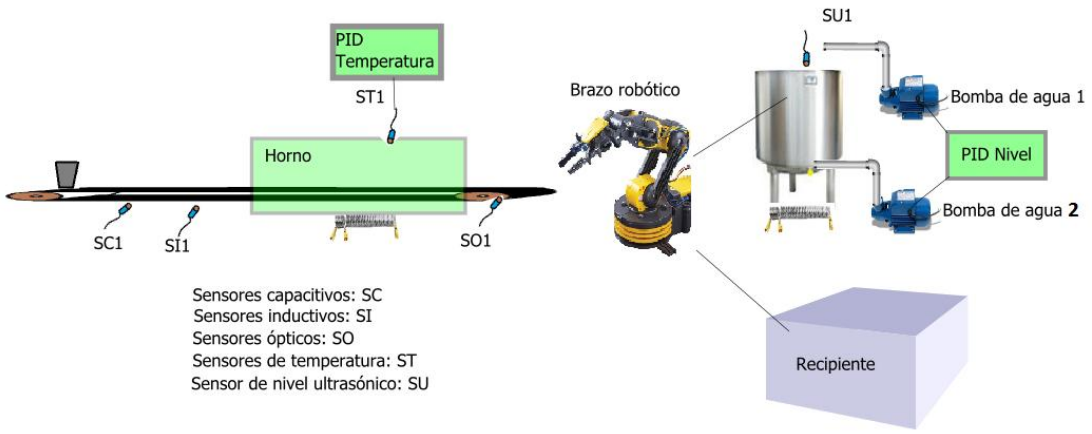


Figura 3.1. Esquema general del proceso implementado en el banco didáctico.

Fuente: Autores

El proceso está constituido por los siguientes elementos:

- 1 Sensor capacitivo
- 1 sensor inductivo
- 1 sensor óptico reflectante
- 1 sensor ultrasónico
- 1 sensor-controlador de temperatura PID
- 1 controlador PID de nivel
- 1 horno
- 1 banda transportadora
- 1 brazo robótico
- 1 tanque de agua
- 1 recipiente (depósito)
- 2 bombas de agua

El proceso empieza cuando se coloca un elemento metálico o no metálico, el cual es identificado por el sensor capacitivo. En ese instante el PLC detecta la señal proveniente del sensor y energiza el motor que hace girar la banda.

El elemento atraviesa el campo del sensor inductivo, el cual en el caso de que dicho elemento sea metálico enviará la señal al PLC.

Luego el elemento ingresa al horno, donde se detiene durante un tiempo determinado. La temperatura del horno es controlada automáticamente por el controlador de temperatura, el cual funciona independientemente del PLC.Al culminar el tiempo de espera, el motor que mueve la banda vuelve a ser energizado durante un tiempo determinado, hasta atravesar el sensor óptico.

En ese momento el PLC puede determinar si el objeto es metálico o no, según la relación mostrada en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Relación entre activaciones de sensores para determinar si el elemento es metálico o no metálico

Sensor inductivo	**Sensor óptico**	**Resultado**
Desactivado	Desactivado	No hay elemento
Desactivado	Activado	No metálico
Activado	Desactivado	Condición “no es posible” o sensor óptico dañado
Activado	Activado	Metálico

Fuente: Autores

Una vez determinado el tipo de material, el PLC envía una señal mediante un bit en el PLC al programa controlador del brazo robótico, el cual mediante la movilización de sus elementos motrices deposita el elemento en el recipiente o en el tanque, dependiendo si es no metálico o metálico respectivamente.El nivel de agua existente en el tanque se mantiene mediante un controlador PID, el cual activa o desactiva bombas de llenado y vaciado. Así, en el caso de que un elemento metálico ingrese al tanque, el controlador PID vacía el agua para mantener un nivel constante.

3.1.2. Diagrama P&ID del proceso

Una vez determinado el proceso requerido en el banco, se diseñó el diagrama P&ID, el cual permite al operario conocer los sensores y controladores utilizados en el proceso. El diagrama P&ID del proceso se muestra en la figura 3.2:

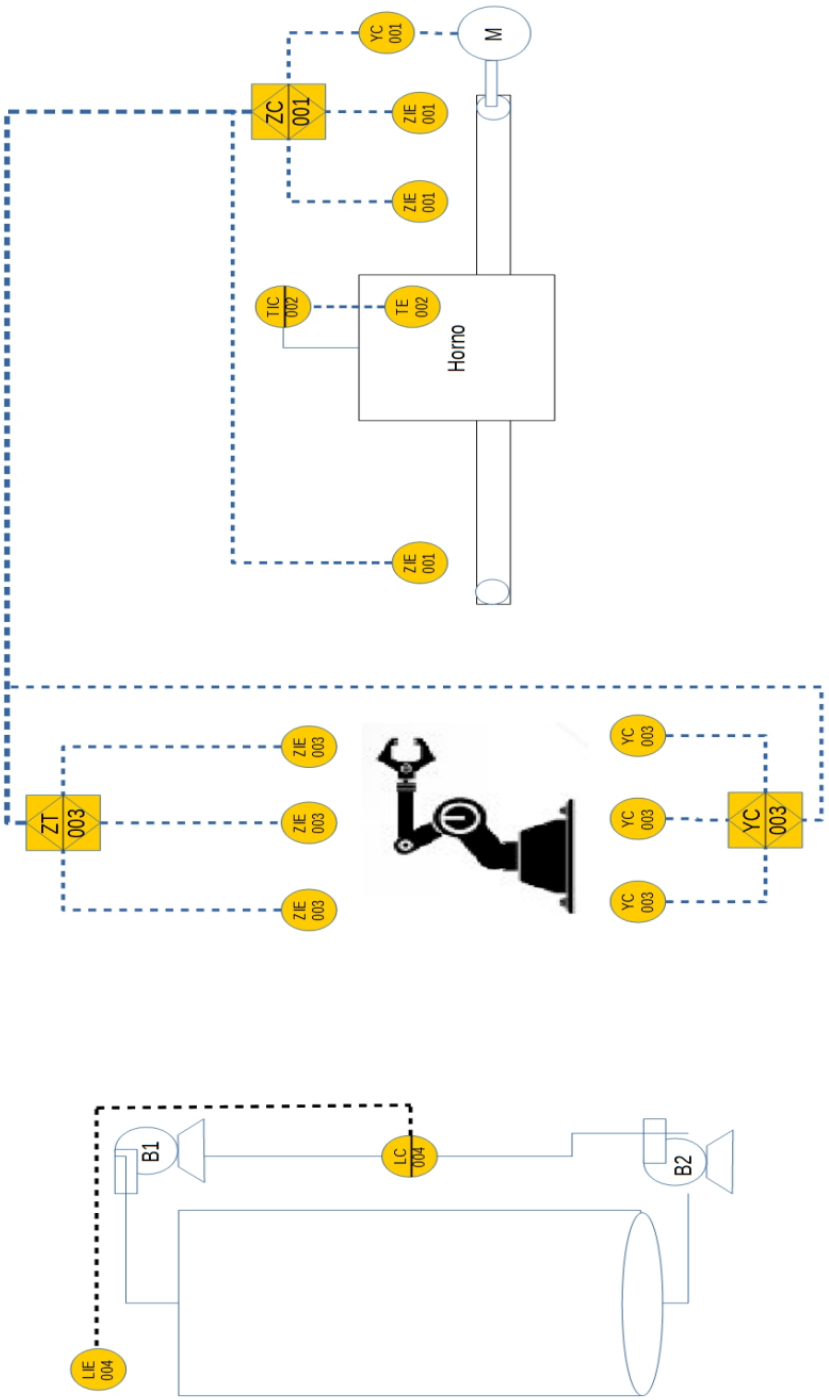


Figura 3.2. Diagrama P&ID del proceso implementado en el banco didáctico

Fuente: Autores

En el diagrama se pueden apreciar los siguientes elementos:

- YC.- Controlador de estado para el motor

- ZIE.- Sensor indicador de posición
- ZC.- Controladores de posición implementados en PLC
- TE.- Sensores de temperatura
- TIC.- Controladores indicadores de temperatura
- ZT.- Transmisor de posición
- LC.- Controlador de nivel
- LIE.- Sensor Indicador de nivel

Para esto se determinaron 4 lazos de control, determinados como 001, 002, 003 y 004, utilizados de la siguiente manera:

- Lazo 001.- Control de activación del motor, el cual está a cargo del PLC. Requiere de las señales de los sensores inductivo, capacitivo y óptico.
- Lazo 002.- Control de temperatura. Se realiza mediante el sensor de temperatura y el controlador. Es independiente del funcionamiento del PLC.
- Lazo 003.- Control del brazo robótico, el cual está a cargo de un integrado en el PLC. Requiere de la utilización de 3 sensores magnéticos para determinar la posición del robot y de tres controladores de potencia (drivers).
- Lazo 004.- Control de nivel de agua en el tanque. Se realiza mediante el sensor ultrasónico y el controlador PID. Es independiente del funcionamiento del PLC.

3.1.3. Proceso de construcción

En los siguientes subcapítulos se describirá el proceso de construcción para del banco didáctico de sensores. El proceso se basa en la construcción de los siguientes elementos constitutivos:

- Soporte (mesa)
- Banda transportadora
- Horno

- Montaje del brazo robótico
- Tanque y reservorio de agua

3.1.3.1. Soporte del banco

El soporte del banco didáctico está construido con perfiles cuadrados de hierro de 35x35x2mm permitiendo colocar los elementos en un factor de forma de escritorio. Los perfiles fueron cortados según las medidas requeridas y unidos mediante suelda eléctrica (figura3.3).

Figura 3.3. Proceso de suelda de perfiles para construcción del banco didáctico

Fuente: Autores

El diseño del banco tiene estructuras internas de soporte para asegurar la rigidez y durabilidad del mismo. Además, se utilizaron perfiles en “L” o ángulos de 12x12x2mm para unir la estructura superior del banco. En la figura 3.4 se muestra el ensamblaje del soporte banco.

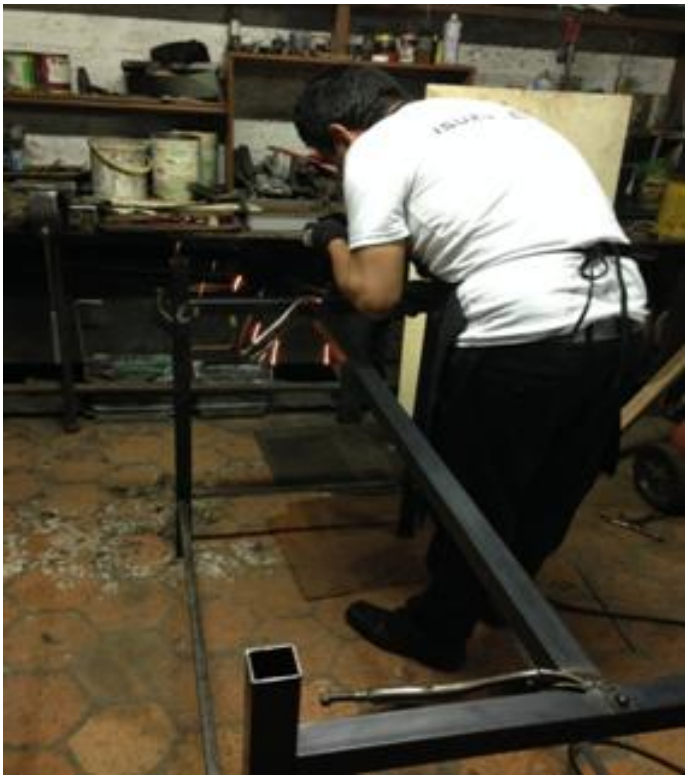


Figura 3.4. Ensamblaje del soporte del banco didáctico

Fuente: Autores

Debido a que en el diseño del banco didáctico se tiene como prioridad el acceso a los sensores y sus conexiones, los mismos deben ubicarse en la parte frontal del banco con el objetivo de facilitar al operador el acceso a las conexiones eléctricas de los equipos y sensores. Por lo tanto, ya que la superficie frontal del banco no permite el montaje de todos los sensores, se diseñó una bandeja inferior en la cual se ubican los terminales de conexión de sensores, bombas y actuadores. En la figura 3.5 se muestra el montaje de dicha bandeja.

Figura 3.5. Bandeja de terminales de sensores montada en el soporte

Fuente: Autores.

Para la sujeción de la banda transportadora, el brazo robótico y los sensores, la parte superior del banco didáctico posee una superficie de madera de aglomerado de 610x1310mm. El montaje de dicha superficie se muestra en la figura 3.6.

Figura 3.6. Superficie de madera para montaje de los elementos del proceso

Fuente: Autores.

La superficie de madera permitirá la sujeción de los elementos antes mencionados ubicados según se muestra en la figura 3.7. El diseño considera zonas de seguridad alrededor de los elementos constitutivos del proceso, con el objeto de introducir al estudiante a las normas de seguridad que se siguen en la industria.

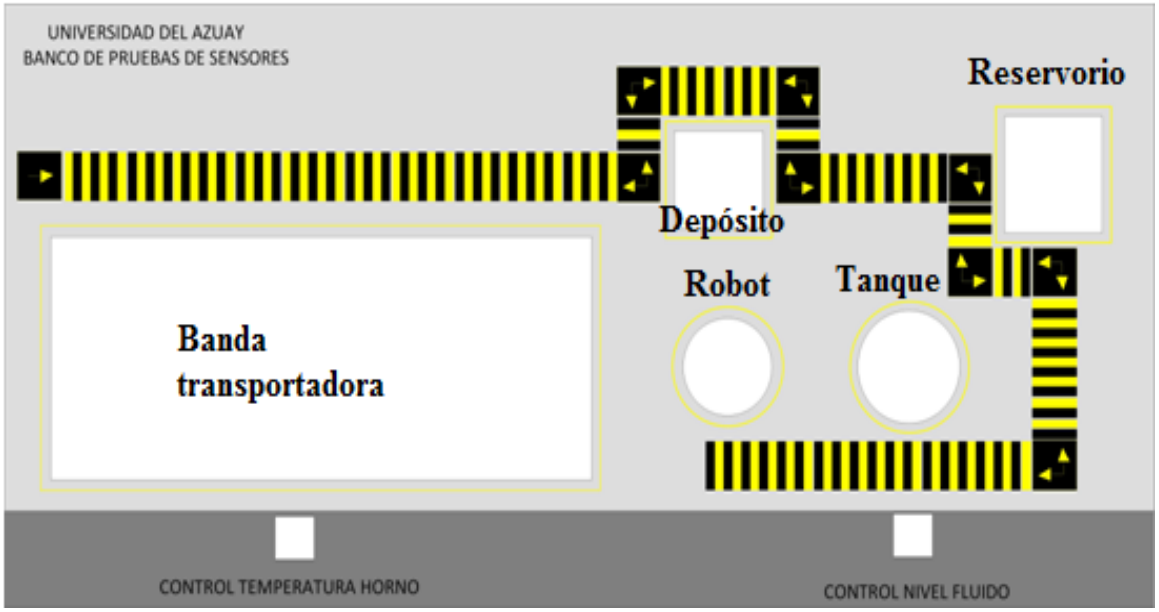


Figura 3.7. Ubicación de elementos del banco didáctico

Fuente: Autores.

Con el diseño anterior, se realizaron los cortes requeridos en la superficie de madera para ubicar adecuadamente todos los elementos constitutivos del banco. En la figura 3.8 se muestra el proceso de corte utilizado para el montaje de los elementos:

Figura 3.8. Corte de secciones en la superficie de madera para ubicar los elementos del banco didáctico

Fuente: Autores.

3.1.3.2. Banda transportadora

Para la construcción de la banda transportadora se utilizaron los siguientes materiales:

- 140cm de perfil cuadrado de aluminio de 40x40mm
- 40cm de tubería de plástico PVC de diámetro 1 ½ pulgada para los rodillos
- Elástico de 100mm de espesor
- 1 motor con caja de reducción por engranajes metálicos de 12VDC

Para realizar adecuadamente el montaje de la tubería en el eje del motor y para mantener el ancho de los perfiles de aluminio utilizados, se mecanizó dicha tubería mediante un torno. El proceso de mecanizado se muestra en la figura 3.9.

Figura 3.9. Mecanizado de tubería PVC

Fuente: Autores.

El mecanizado de la tubería da como resultado la obtención de los rodillos requeridos para el funcionamiento de la banda transportadora. El montaje de los rodillos se muestra en la figura 3.10.

Figura 3.10. Rodillos montados en la banda transportadora y el eje del motor

Fuente: Autores.

Por último, se realizó el montaje del elástico en los rodillos. El montaje del mismo se muestra en la figura 3.11.

Figura 3.11. Montaje de la (tela) de la banda transportadora

Fuente: Autores.

En la banda transportadora se montaron los sensores capacitivos, inductivos y ópticos, para los cuales se construyeron soportes que permiten la calibración de su posición a lo largo de la banda transportadora.

3.1.3.3. Horno

El horno requerido dentro del proceso se construyó utilizando como elemento calefactor una lámpara de halógeno de 150W. Según las pruebas realizadas, esta lámpara permite elevar la temperatura dentro del horno hasta unos 80°C. La lámpara utilizada se muestra en la figura 3.12.

Figura 3.12. Lámpara de halógenos utilizada en el horno

Fuente: Autores.

Para la construcción del exterior del horno se utilizaron planchas de latón, dobladas y remachadas. El exterior tiene un agujero superior que permite el montaje y desmontaje del elemento calefactor (figura 3.13).

Figura 3.13. Abertura para montaje del elemento calefactor

Fuente: Autores.

La estructura final del horno se muestra en la figura 3.14.

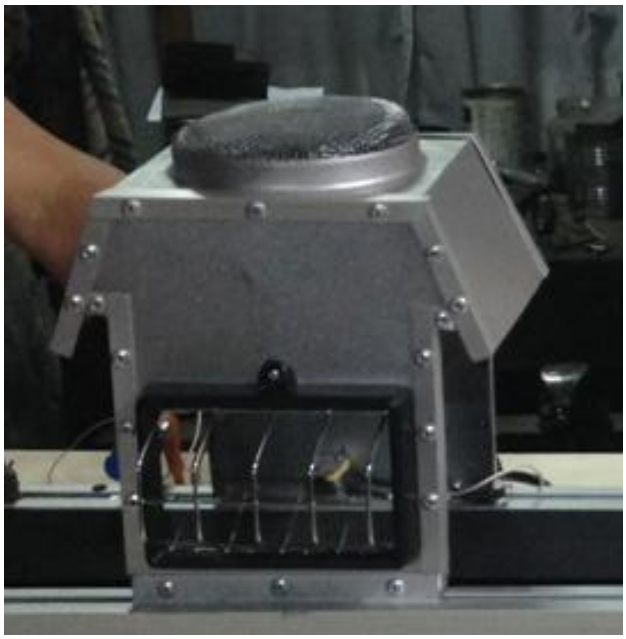


Figura 3.14. Estructura del horno terminado

Fuente: Autores.

3.1.3.4. Sujeción del brazo robótico

El brazo robótico requerido en el banco didáctico fue ubicado a continuación de la banda transportadora. La sujeción del brazo se realizó en la parte interna del banco para disminuir la diferencia de alturas entre los elementos.

Alrededor del brazo robótico se ubican los soportes para los sensores magnéticos que permiten al controlador conocer la ubicación de la base del brazo. Los sensores se montaron según muestra la figura 3.15.

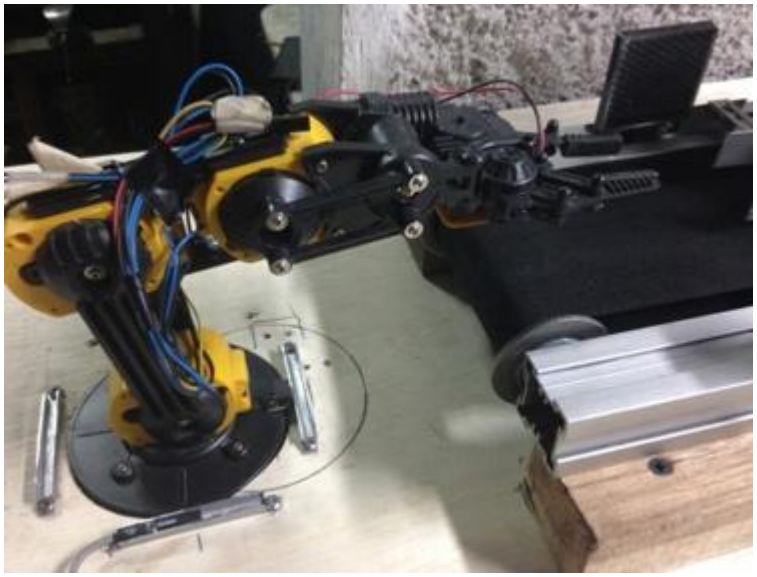


Figura 3.15. Ubicación del brazo robótico y los soportes para sensores magnéticos de posición

Fuente: Autores.

La ubicación de estos sensores es tal que coincide adecuadamente con un imán montado en la base del robot. El imán permite que el sensor cierre su contacto con lo que el controlador puede identificar la ubicación de la base. El montaje del imán se muestra en la figura 3.16.

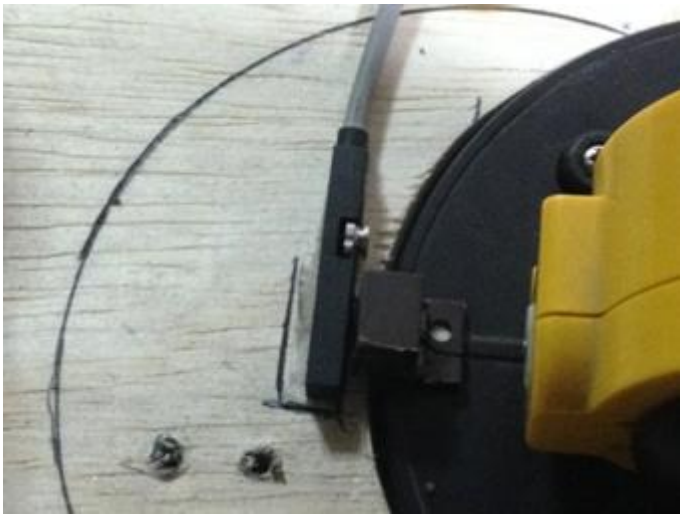


Figura 3.16. Imán y sensor magnético para ubicación de la base del brazo robótico

Fuente: Autores.

Debido a que el brazo robótico no posee ningún sistema de retroalimentación de posición en los elementos motrices, se colocaron interruptores que cierran cuando el elemento motriz (pinza o cuerpo) llega a su posición inicial. La ubicación de estos interruptores se muestra en la figura 3.17.

Figura 3.17. Montaje de interruptores para posición inicial del brazo

Fuente: Autores.

Para facilitar el cableado de los motores e interruptores del brazo robótico hacia el panel frontal del banco didáctico se diseñó un conector ubicado en la parte posterior del brazo, el cual permite el acceso del operario para modificar las conexiones requeridas. El conector está construido según se muestra en la figura 3.18.

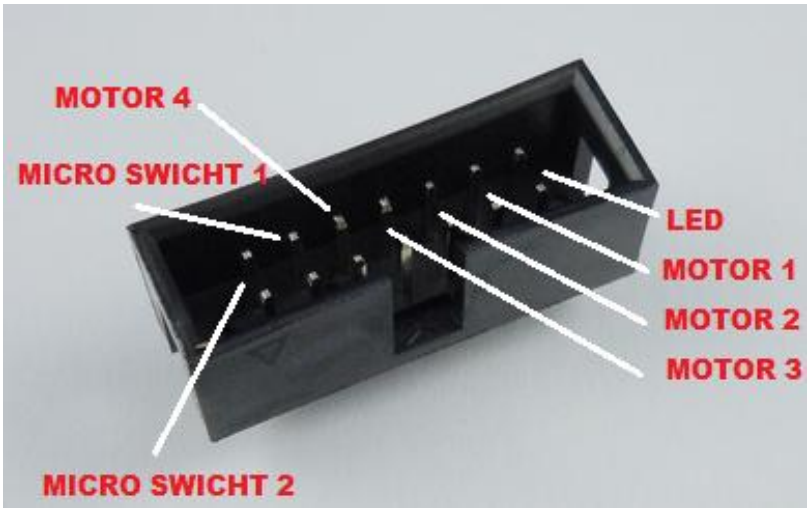


Figura 3.18. Distribución del conector externo para el brazo robótico

Fuente: Autores.

La distribución de pines se puede observar también en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Conexión interna en el banco didáctico para el brazo robótico

CONECTOR BRAZO		
PIN SOCKET	**COLOR**	**ELEMENTO**
1	ROJO	LED
8	NEGRO	
2	AMARILLO	MOTOR 1
9	NEGRO	
3	AZUL	MOTOR 2
10	NEGRO	
4	AZUL	MOTOR 3
11	NEGRO	
5	TOMATE	MOTOR 4
12	NEGRO	
6	GRIS	MICRO SWICHT 1
13	GRIS/NEGRO	
4	GRIS	MICRO SWICHT 2
14	GRIS/NEGRO	

Fuente: Autores

3.1.3.5. Tanque de agua y reservorio

El tanque de agua donde el brazo depositará los elementos metálicos se ubica a continuación del brazo robótico (figura 3.19). El tanque está construido de latón y alberga aproximadamente 3 litros de líquido en su interior. El tanque tiene en su interior una bomba de agua que envía el líquido al reservorio mediante tuberías de cobre.

Figura 3.19. Ubicación del tanque de agua en el banco

Fuente: Autores.

El reservorio está ubicado a continuación del tanque de agua (figura 3.20). Está construido de latón y posee una compuerta para que el operario ingrese el líquido. El reservorio tiene en su interior una bomba de agua que envía el líquido hacia el tanque.

Figura 3.20. Ubicación del reservorio de agua en el banco didáctico

Fuente: Autores.

3.2. Diseño Eléctrico

Una vez concluida la construcción del banco didáctico, se prosigue con la construcción del sistema eléctrico de conexión. El cual está constituido por los siguientes elementos:

- Terminales de conexión de sensores
- Terminales de conexión de actuadores
- Fuentes de alimentación
- Terminales de conexión de controladores (PLC y PID)
- Drivers para motores

3.2.1. Ubicación de equipos y sensores

Los terminales de conexión se ubicaron en la parte frontal del banco, para facilitar el acceso a los mismos por parte de los operarios. El diseño de las plantillas de conexión se realizó en Microsoft Visio (figura 3.21). Las plantillas permiten al

operador del banco identificar los terminales de conexión de todos los elementos del banco sin la necesidad de buscarlos en las hojas de datos de los fabricantes.

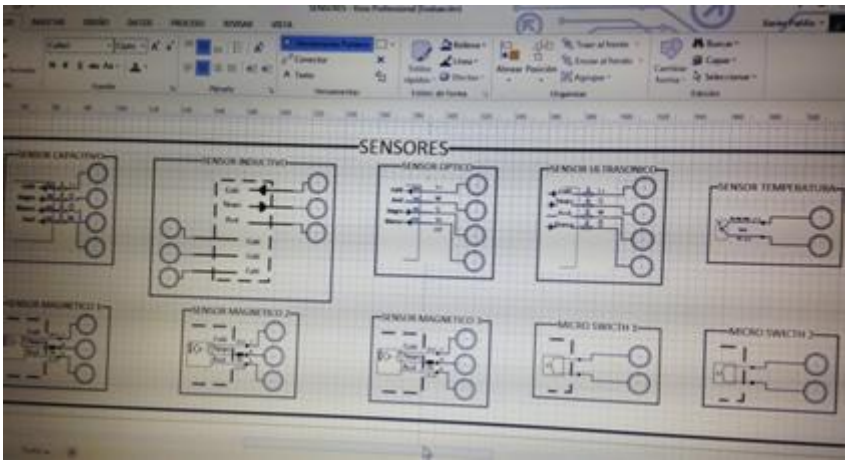


Figura 3.21. Diseño de plantillas de sensores en Microsoft Visio.

Fuente: Autores.

El diseño final de las plantillas para sensores se muestra en la figura 3.22. Como se puede observar, todos los conectores indican el número de cable del sensor, el color del cable y la función del terminal en particular.

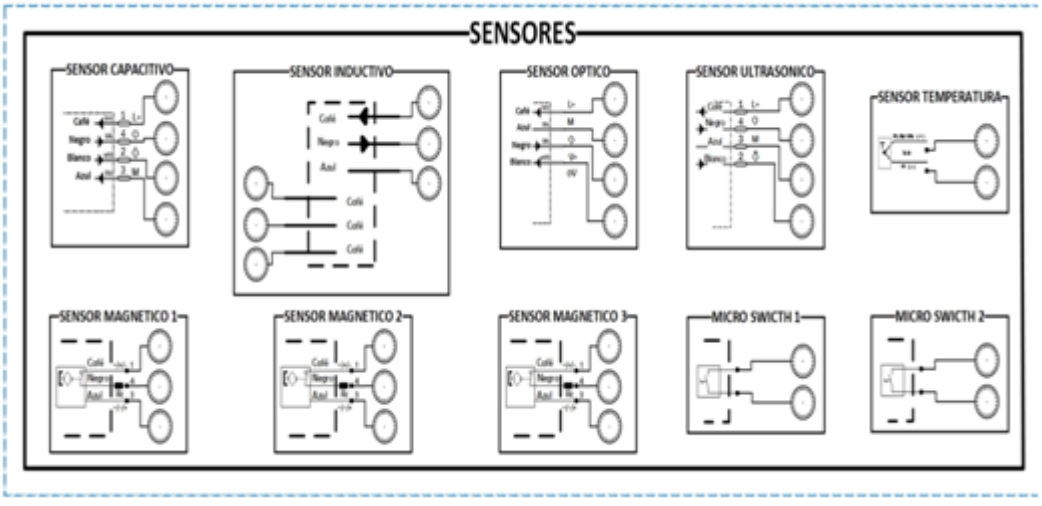


Figura 3.22. Plantilla de sensores para el panel frontal del banco didáctico

Fuente: Autores.

En la figura 3.23 se muestra el panel de actuadores. Se tienen conectores para todos los motores del brazo robot y de la banda transportadora, como así también se cuenta con conectores para el elemento calefactor del horno y las bombas de agua.

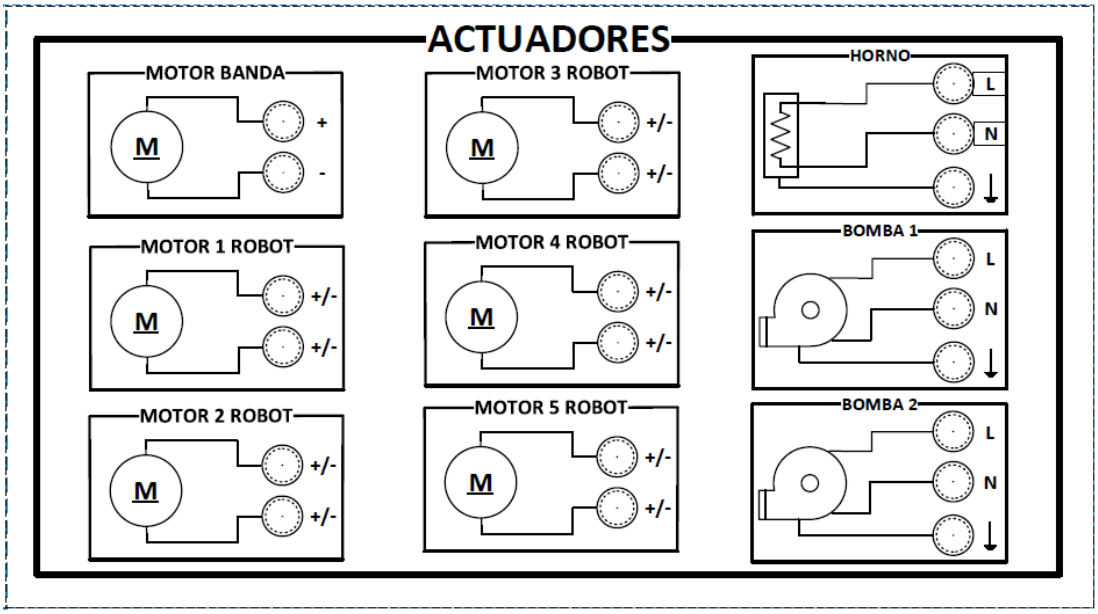


Figura 3.23. Plantilla de actuadores para el panel frontal del banco didáctico.

Fuente: Autores.

En la figura 3.24 se muestra la plantilla para las fuentes de alimentación y el interruptor termomagnético (breaker) de seguridad. Además se colocó un pulsante que puede ser conectado a una entrada del PLC como paro general del proceso.

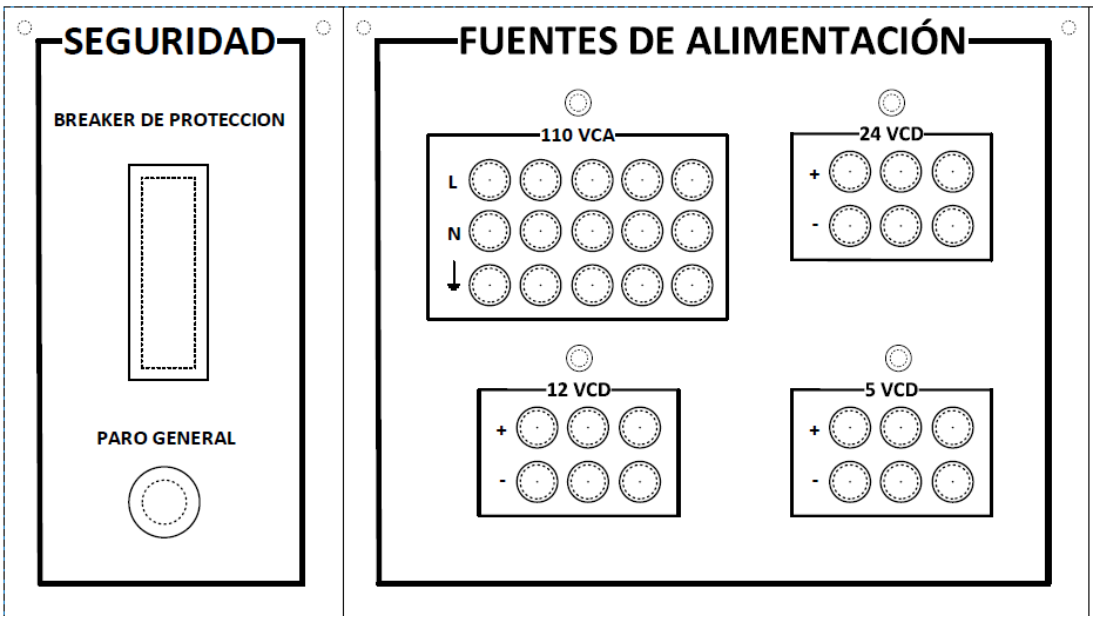


Figura 3.24. Plantilla de breaker de seguridad y Fuentes de alimentación

Fuente: Autores.

En la figura 3.25 se muestra el diseño del panel frontal de conexión del PLC y del módulo de expansión de entradas y salidas. El panel frontal del PLC cuenta con el puerto Ethernet de programación.

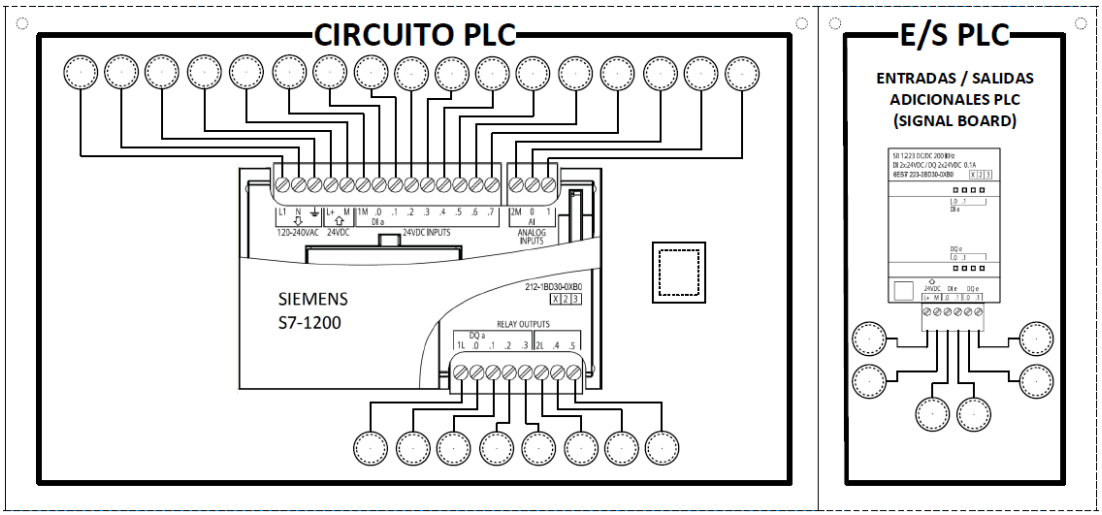


Figura 3.25. Plantilla de PLC y tarjeta de expansión

Fuente: Autores.

En la figura 3.26 se muestra el diseño del panel frontal de los controladores PID. Para referencia del operador del banco, se colocó el circuito de conexión en la parte interior del gráfico con el objetivo de facilitar la conexión de los controladores.

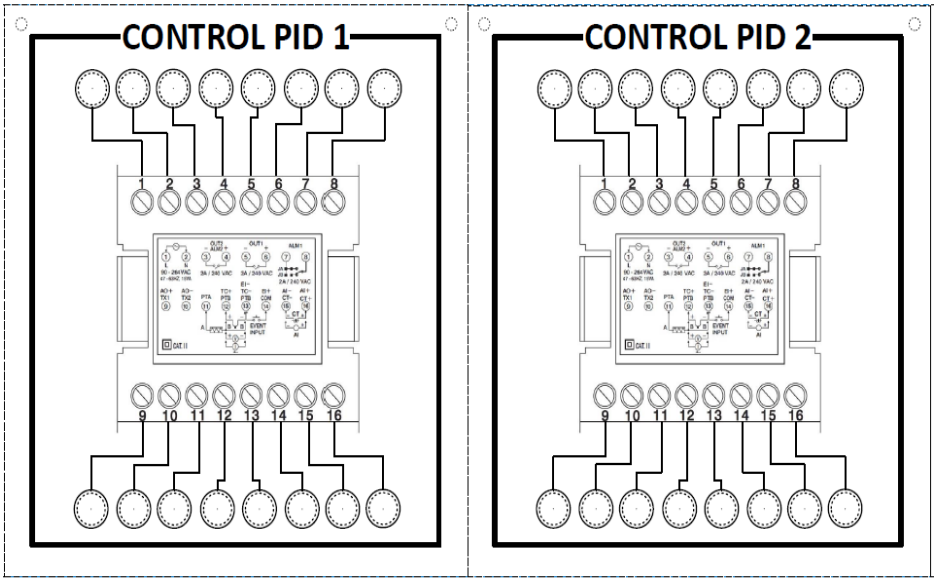


Figura 3.26. Plantilla del panel frontal de controladores PID

Fuente: Autores.

Cada panel diseñado está construido de placas de tol como se muestra en la figura 3.27.

Figura 3.27. Placas de aluminio para paneles frontales

Fuente: Autores.

Las placas de los paneles para conexiones se ubican en la parte frontal del banco didáctico. Cada placa tiene bisagras para el mantenimiento de las conexiones. La ubicación de las placas de paneles se muestra en la figura 3.28.

Figura 3.28. Ubicación de placas para paneles frontales

Fuente: Autores.

Las plantillas para los paneles frontales se imprimieron en adhesivos, los cuales están protegidos por una resina resistente a rayones y líquidos. Los paneles frontales impresos y sellados se muestran en la figura 3.29.

Figura 3.29. Paneles frontales terminados

Fuente: Autores.

El resultado final del montaje de los paneles frontales con las bisagras para mantenimiento se observa en la figura 3.30. La impresión realizada es de alta calidad, asegurando una fácil lectura de cada función de los sensores y actuadores utilizados en el banco didáctico.

Figura 3.30. Montaje final de las placas frontales de sensores y actuadores

Fuente: Autores.

3.2.2. Conexiones eléctricas

El primer paso para realizar las conexiones eléctricas en el interior del banco fue la ubicación de las fuentes de poder y el PLC. Los elementos de control y poder está fijados al interior del banco asegurando que no puedan ser removidos por vibraciones o transporte del banco. La ubicación de las fuentes de poder y el PLC se puede observar en la figura 3.31.

Figura 3.31. Ubicación de Fuentes de poder y PLC en el interior del banco didáctico

Fuente: Autores.

Para la administración adecuada de los cables en el interior del banco, se utilizaron canaletas industriales con el objetivo de facilitar el mantenimiento del sistema eléctrico del banco didáctico. El cableado mediante las canaletas se puede observar en la figura 3.32.

Figura 3.32. Cableado del interior del banco didáctico utilizando canaletas industriales

Fuente: Autores.

El cableado desde los sensores, fuentes y controladores hasta los paneles frontales es directo, no existe ningún circuito intermedio. Para la ampliación de los cables de los sensores, y para permitir el cambio de cualquier elemento en caso de una falla sin tener que remover todo el cableado, se utilizaron conectores entre los elementos y el cableado general del banco. Los conectores utilizados son de grado automotriz para evitar falsos contactos y deterioro de las conexiones. Los conectores utilizados se pueden observar en la figura 3.33.

Figura 3.33. Conector de 8 pines de grado automotriz para interconexión entre sensores, fuentes de poder y PLC con el cableado general del banco de sensores.

Fuente: (ZS Motor, 2015)

El cableado del conector posee un conductor de color negro, el cual marca el pin 1 (figura 3.34). A manera de ejemplo, en la tabla 3.3 se muestra la distribución de pines de los conectores utilizados en el cableado interno del banco didáctico para motores y sensores magnéticos.

La distribución de los conectores restantes se puede observar en el anexo B.

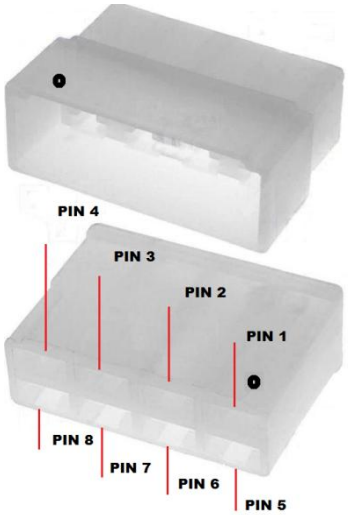


Figura 3.34. Cableado en el conector automotriz

Fuente: Autores.

Tabla 3.3. Distribución de los pines en los conectores automotrices para motores y sensores magnéticos

CONECTOR 1		
PIN SOCKET	**COLOR**	**ELEMENTO**
1	AMARILLO	MOTOR 1
5	NEGRO	
2	AZUL	MOTOR 2
6	NEGRO	
3	AZUL	MOTOR 3
7	NEGRO	
4	TOMATE	MOTOR 4
8	NEGRO	

CONECTOR 2		
PIN SOCKET	**COLOR**	**ELEMENTO**
1	TOMATE	MOTOR 5
5	NEGRO	
2	CAFÉ	SENSOR MAGNÉTICO 1
3	NEGRO	
4	AZUL	
6	CAFÉ	SENSOR MAGNÉTICO 2
7	NEGRO	
8	AZUL	

Fuente: Autores

Los paneles frontales del banco didáctico están provistos de conectores hembra tipo banana de 4mm. El proceso de montaje de los conectores se puede observar en la figura 3.35.

Figura 3.35. Montaje de conectores hembra tipo banana en el panel frontal del banco didáctico

Fuente: Autores.

Para asegurar una adecuada administración y presentación del cableado interno en los paneles frontales se utilizó tubería helicoidal como se muestra en la figura 3.36.

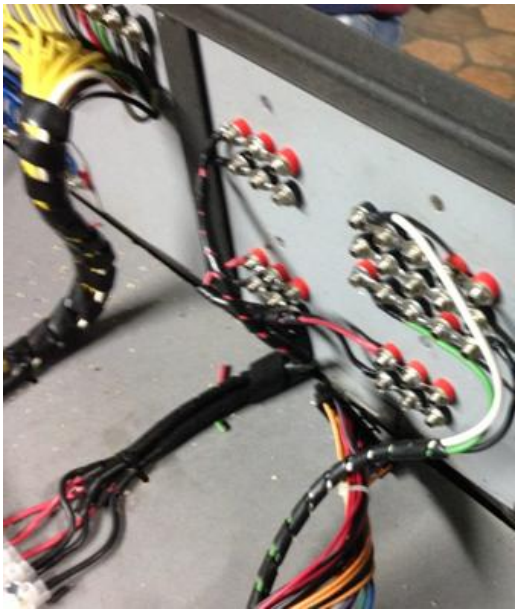


Figura 3.36. Administración de cableado en la parte posterior del panel frontal

Fuente: Autores.

3.3. Resultado final

Una vez ubicados todos los sensores, equipos y cableado eléctrico requerido, se concluyó con la construcción del banco de sensores. El resultado final se puede observar en la figura 3.37.

Figura 3.37. Banco didáctico de sensores terminado.

Fuente: Autores.

CAPÍTULO 4

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

4.1. Esquema de conexión

En la figura 4.1 se puede observar el diagrama eléctrico de conexión para el programa de ejemplo de funcionamiento del banco didáctico. Los bloques definidos como “Drivers” se explicarán en los siguientes subcapítulos.

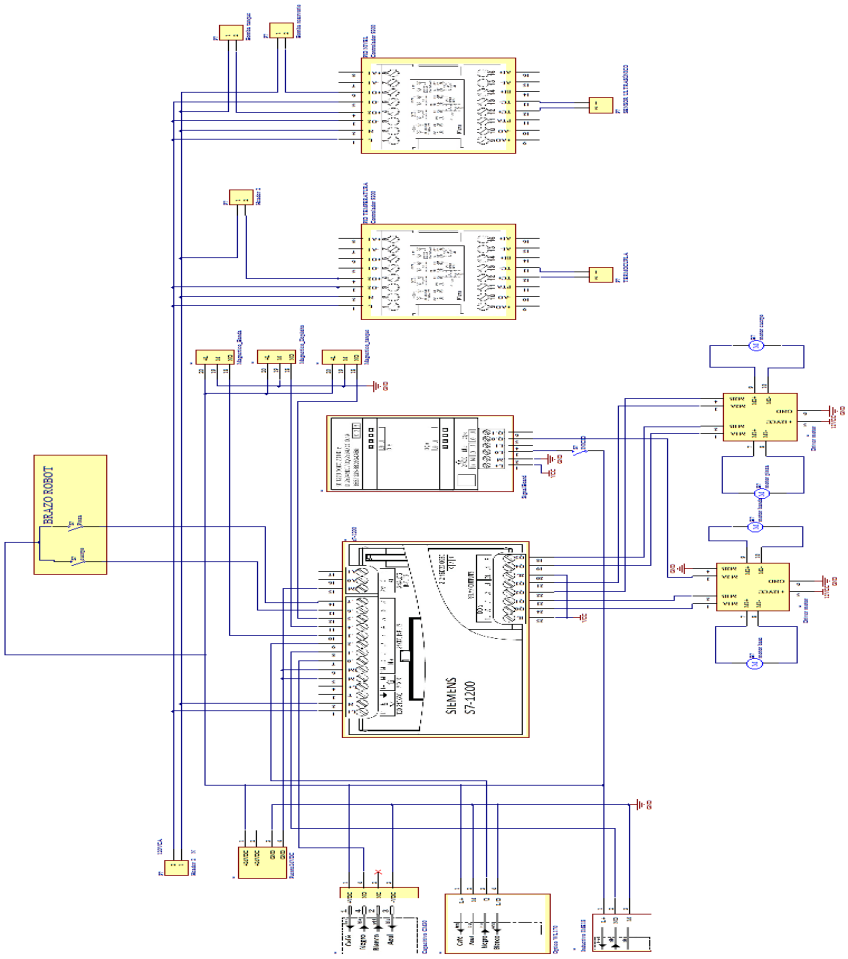


Figura 4.1. Esquema eléctrico de conexión del banco didáctico

Fuente: Autores.

4.2. Equipos y Variables de control

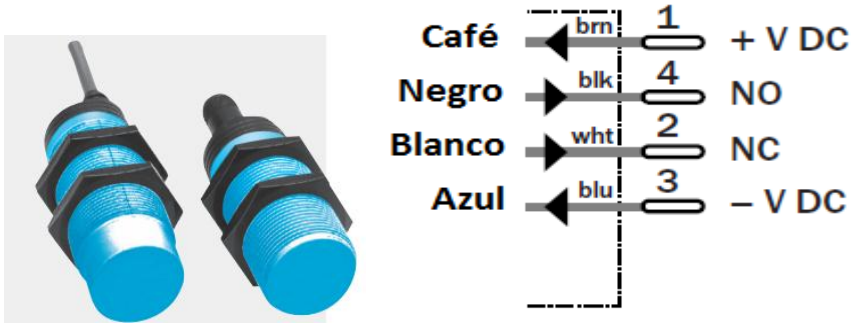
La implementación del sistema mostrado en el diagrama P&ID se realizó utilizando sensores que cumplan con los requerimientos expresados en dicho diagrama, es decir, su selección depende del tipo de elemento (Controlador, Sensor, Indicador, etc.). Los sensores y equipos fueron suministrados por la Universidad del Azuay, y se realizó su montaje y programación según las especificaciones de cada fabricante.

4.2.1. Sensores y controladores utilizados en el banco didáctico

4.2.1.1. Sensor capacitivo

Se utiliza un sensor capacitivo marca SICK, modelo CM30-25NPP-KW1 (figura 4.2a). El sensor funciona como detector (switch), cerrando un contacto (figura 4.2b) interno cuando detecta un elemento. Tiene las siguientes características:

- Rango de sensado: 25mm
- Voltaje de alimentación: 10 a 40 VDC
- Corriente de consumo: <200mA
- Tipo de conexión: PNP
- Histéresis: 4 a 20%



(a) (b)

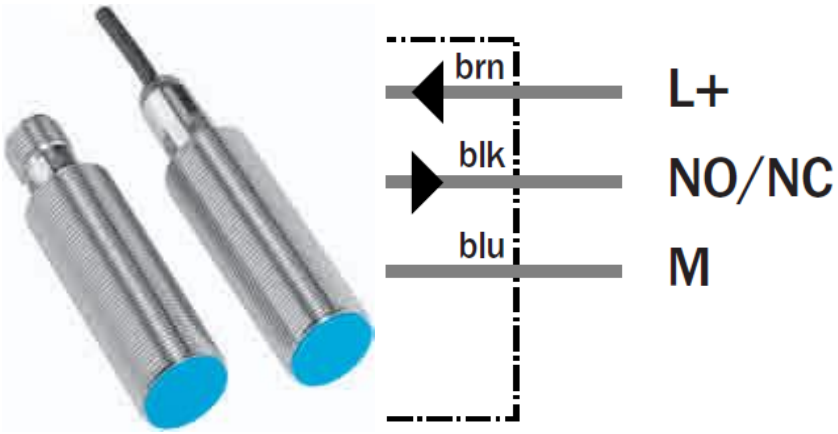
Figura 4.2. Sensor capacitivo SICK CM30-25NPP-KW1 a) aspecto físico del sensor b) Terminales de conexión

Fuente: (SICK Inc, 2015)

4.2.1.2. Sensor inductivo

Se utiliza un sensor marca SICK modelo IME18-05BPSZC0S (figura 4.3a). El sensor funciona como detector (switch), cerrando un contacto (figura 4.3b) interno cuando detecta un elemento metálico. Tiene las siguientes características relevantes:

- Rango de sensado: 5mm
- Voltaje de alimentación: 10 a 30 VDC
- Corriente de consumo: <200mA
- Tipo de conexión: PNP
- Histéresis: 5 a 15%



(a) (b)

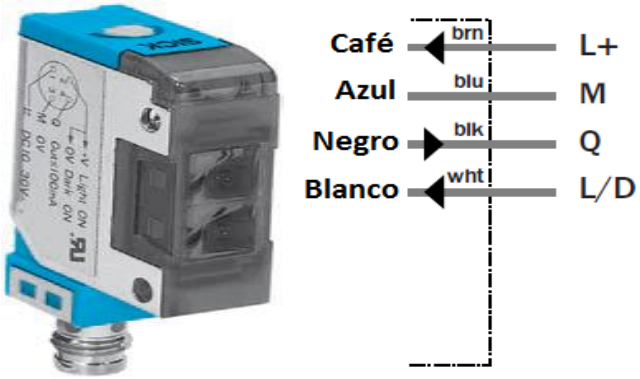
Figura 4.3. Sensor inductivo SICK IME18-05BPSZC0S a) Aspecto físico del sensor b) Terminales de conexión

Fuente: (Sick Inc., 2015)

4.2.1.3. Sensor óptico reflectivo

Se utiliza un sensor marca SICK modelo WL170-P132 (figura 4.4a). El sensor funciona como detector (switch), cerrando un contacto (figura 4.4b) interno cuando detecta un elemento. Tiene las siguientes características relevantes:

- Rango de sensado: 10 a 550mm
- Voltaje de alimentación: 10 a 30 VDC
- Corriente de consumo: <200mA
- Tipo de conexión: PNP de colector abierto



(a) **(b)**

Figura 4.4. Sensor óptico reflectivo SICK WL170-P132 a) Aspecto óptico del sensor b) Terminales de conexión

Fuente: (Sick Inc., 2015)

4.2.1.4. Sensor ultrasónico

Se utiliza un sensor marca SICK modelo W30-13113 (figura 4.5a). El sensor varía el nivel de voltaje de su salida en función de la distancia entre el transmisor y el elemento sensado (figura 4.5b). Tiene las siguientes características relevantes:

- Rango de sensado: 200 a 1300mm
- Voltaje de alimentación: 9 a 30 VDC
- Voltaje de salida: 0 a 10VDC
- Corriente de consumo: <60mA

- Resolución: 0.36mm
- Exactitud: <2% del valor final

(a) **(b)**

Figura 4.5. Sensor ultrasónico SICK modelo W30-13113 a) Aspecto físico del sensor b) Terminales de conexión

Fuente: (Sensors Incorporated, 2014)

El sensor ultrasónico permite la detección de elementos que se encuentren dentro del rango impuesto por el patrón de radiación del sensor (figura 4.6). Por esta razón el sensor será ubicado lo más alto posible en el banco didáctico, evitando pérdidas de reflexión.

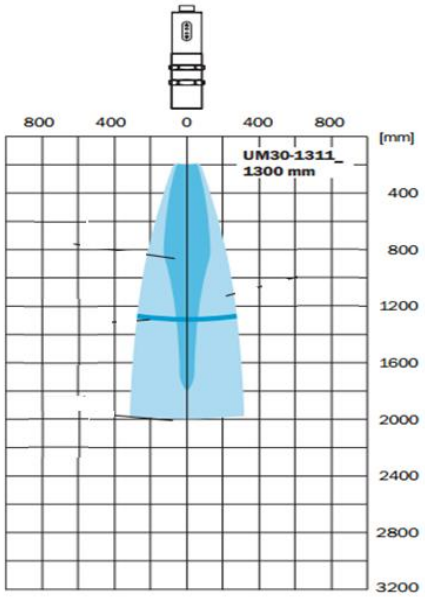


Figura 4.6. Patrón de radiación del sensor ultrasónico UM30

Fuente: (Sensors Incorporated, 2014)

4.2.2. Variables de control

Como se explicó anteriormente, el proceso se basa en el control de temperatura en el interior del horno, y el nivel de líquido en el tanque. Por lo tanto las variables de control son: Temperatura y Nivel. Para el control de estas variables se utilizan controladores PID independientes del PLC, los cuales pueden ser configurados para diferentes valores de control.

4.2.2.1. Temperatura

Para el control de temperatura se utiliza un controlador BTC-9300 (figura 4.7). Este controlador brinda las siguientes características relevantes:

- Control PID y difuso.
- Voltaje de alimentación: 90-264VCA
- Sensores de ingreso: Termocuplas (tipos J, K, T, E B, R, S, N, L), variación analógica de -8mV a 70mV, -3mA a 27mA, o -1.3VCC a 11.5VCC
- Salidas: tipo relé (2A/240VCA), pulsos (5VCC), analógica (4-20mA, 0-10VCC), control de triac
- Alarmas: tipo relé.
- Comunicación: RS-232, RS-485, Modbus RTU

Figura 4.7. Controlador PID BTC-9300

Fuente: (BrainChild Electronic Co., 2014)

Como elemento de sensado se seleccionó la termocupla tipo J ya que entrega una mejor linealidad para aplicaciones de baja temperatura y consiste en una termocupla de propósito general.

El controlador tiene los terminales de conexión mostrados en la figura 4.8:

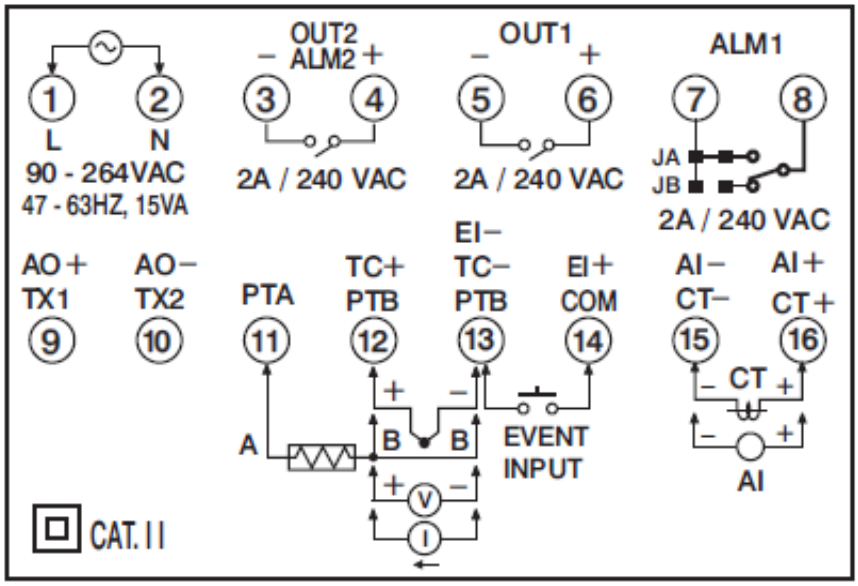


Figura 4.8. Terminales de conexión del controlador BTC-9300

Fuente: (BrainChild Electronic Co., 2014)

En el banco didáctico se configuró el controlador para realizar el proceso de calefacción únicamente.

Para lo cual tanto el elemento calefactor (reflector incandescente) y la termocupla se conectan según lo mostrado en la figura 4.9.

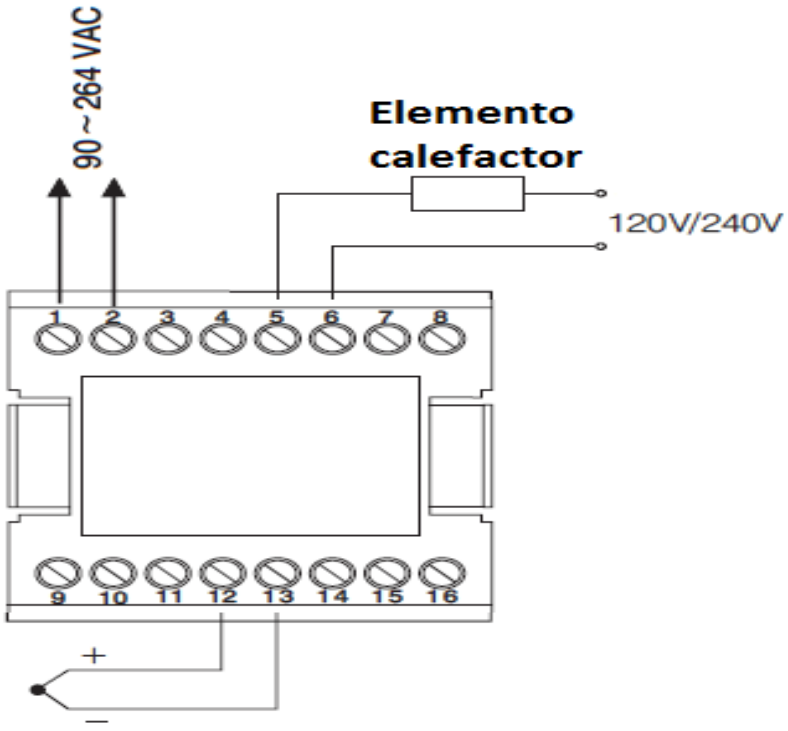


Figura 4.9. Conexión del elemento calefactor y la termocupla al controlador BTC-9300

Fuente: (BrainChild Electronic Co., 2014)

La configuración del controlador se realiza de manera manual, utilizando los pulsantes integrados en el mismo. Esta configuración debe realizarse según lo mostrado en la tabla 4.2, asegurando el funcionamiento de dicho controlador como PID.

El procedimiento para ingresar las variables de la tabla 4.2 se tomó de la hoja de datos del fabricante, el cual se puede observar en el anexo E.

Tabla 4.1. Valores de configuración del controlador para control de temperatura

Descripción	**Parámetro**	**Valor**
Nivel de complejidad de función	FUNC	BASC
Tipo de ingreso	In1	J_tc
Unidad de medida del ingreso	In1.u	Grados celcius
Cantidad de decimales	dP1	1-dp
Configuración de salida 1	Out 1	Revr
Tipo de salida 1	o1.ty	0-20
Tiempo de ciclo salida 1	CYC 1	2
Modo de transferencia en falla salida 1	o1.ft	0.0
Configuración de salida 2	Out2	-AL2
Función de alarma 1	A1.Fn	none
Función de alarma 2	A2.Fn	dE.Lo
Modo de operación alarma 2	A2.md	norm
Función de transferencia en falla alarma 2	A2.Ft	on
Selección de función de ajuste automático	SELF	yes
Valor objetivo mínimo	SP1.L	5.0
Valor objetivo máximo	SP1.H	80.0
Valor seleccionable por el usuario	SEL 1	none
Valor seleccionable por el usuario	SEL 2	none
Valor seleccionable por el usuario	SEL 3	A2.dv
Valor seleccionable por el usuario	SEL 4	none
Valor seleccionable por el usuario	SEL 5	none

Fuente: Autores

El funcionamiento del controlador utilizando los parámetros anteriormente descritos debería asemejarse a la gráfica mostrada en la figura 4.10.

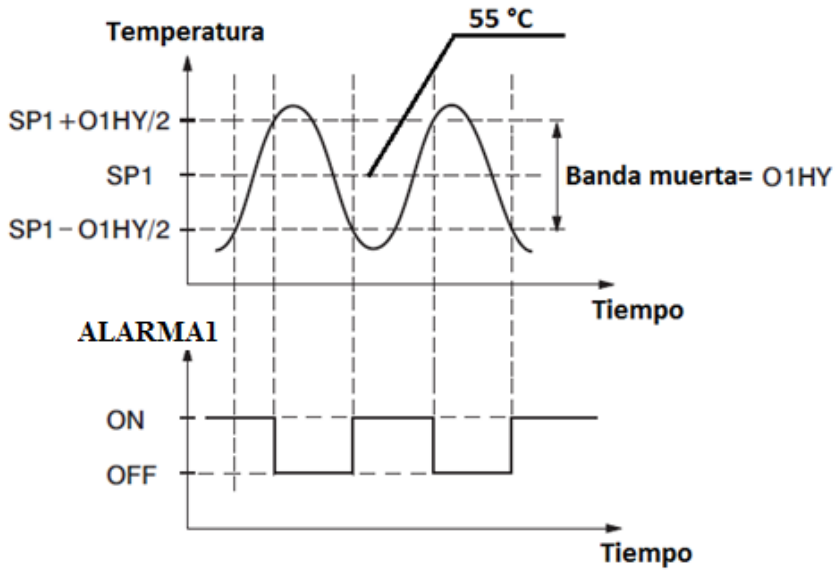


Figura 4.10. Funcionamiento previsto del controlador de temperatura

Fuente: (BrainChild Electronic Co., 2014)

4.2.2.2. Nivel

Para el control de nivel se utiliza el mismo controlador BTC-9300, realizando los cambios requeridos para su funcionamiento como un controlador genérico. La conexión que se realizó para este tipo de control se muestra en la figura 4.11.

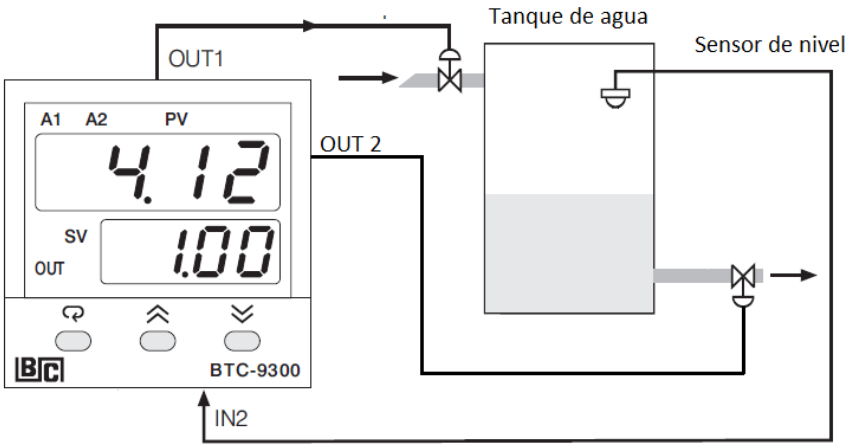


Figura 4.11. Conexión para el controlador BTC-9300 en la aplicación de control de nivel de agua en el tanque

Fuente: Autores.

La configuración del controlador se realiza de manera manual, utilizando los pulsantes integrados en el mismo. Esta configuración debe realizarse según lo mostrado en la tabla 4.2:

Tabla 4.2. Valores de configuración del controlador para control de nivel

Descripción	**Parámetro**	**Valor**
Nivel de complejidad de función	FUNC	BASC
Tipo de ingreso	In1	0-10
Unidad de medida del ingreso	In1.u	pu
Cantidad de decimales	dP1	2-dp
Valor mínimo ingreso 1	in1.L	0.00
Valor máximo ingreso 1	in1.H	50.00
Configuración de salida 1	Out 1	revr
Tipo de salida 1	o1.ty	rely
Tiempo de ciclo salida 1	CYC 1	1
Modo de transferencia en falla salida 1	o1.ft	bpls
Configuración de salida 2	Out2	Cool
Tipo de salida 2	O2.ty	rely
Tiempo de ciclo salida2	CyC2	1.0
Modo de transferencia en falla salida 2	O2.ft	Bpls
Función de alarma 1	A1.Fn	none
Función de alarma 2	A2.Fn	none
Selección de función de ajuste automático	SELF	yes
Valor objetivo mínimo	SP1.L	30.0
Valor objetivo máximo	SP1.H	45.28
Valor seleccionable por el usuario	SEL 1	none
Valor seleccionable por el usuario	SEL 2	none
Valor seleccionable por el usuario	SEL 3	none
Valor seleccionable por el usuario	SEL 4	None
Valor seleccionable por el usuario	SEL 5	None

Fuente: Autores

4.2.3. Brazo robótico

En el proceso se utiliza un brazo robótico marca OWI modelo OWI-535, el cual se observa en la figura 4.12. El brazo robótico utilizado cuenta con las siguientes características:

- 4 grados de libertad para movimiento
- 1 actuador tipo pinza
- Motores de corriente contínua (5VDC) con caja de reducción por engranajes de plástico
- Capacidad: 100g

Figura 4.12. Brazo robótico OWI-535 utilizado en el banco didáctico de sensores

Fuente: (RobotShop Inc, 2014)

El brazo robótico no cuenta con retroalimentación de posición en ninguno de los ejes, por lo que se realizó el montaje de fines de carrera (figura 4.13) en los elementos motrices del mismo. Los fines de carrera (micro switch) permiten al controlador identificar la posición inicial o final de los elementos motrices.

Figura 4.13. Fin de carrera o microswitch ubicado en los elementos motrices del brazo robot

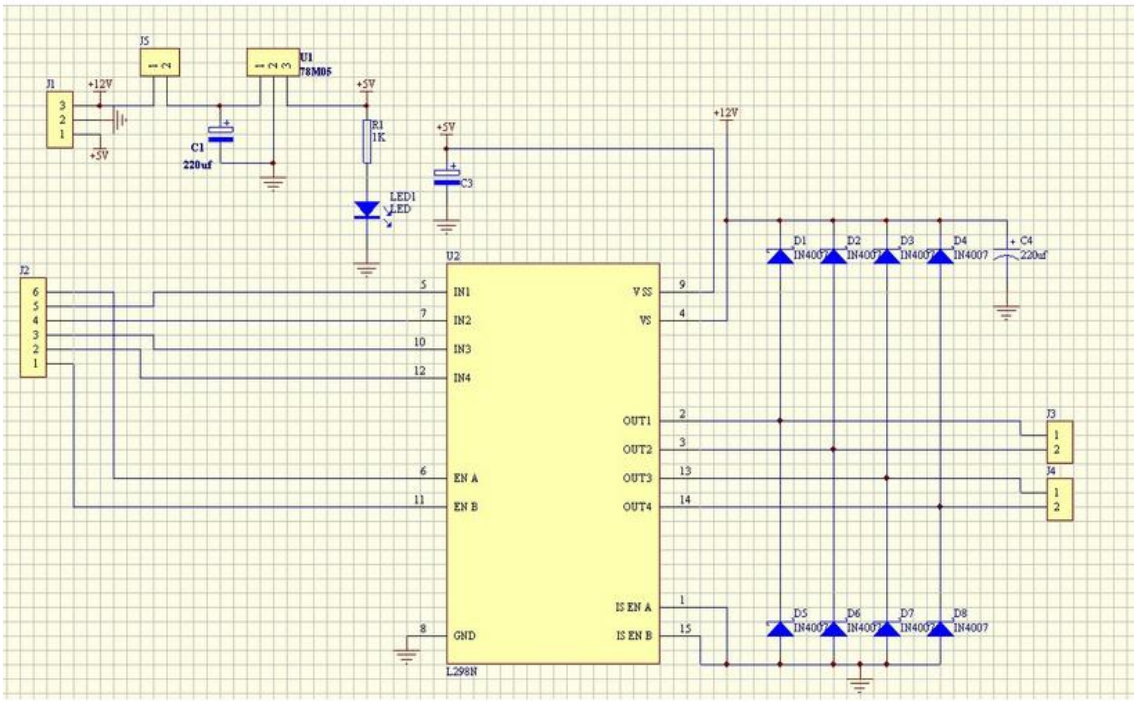
Fuente: (KLS Electronic, 2013)

El sistema de control del brazo robótico se integra en el programa del PLC, el cual se explicará en los siguientes subcapítulos. La etapa de potencia del controlador se basa en drivers de motores de corriente contínua utilizando circuitos integrados L298.

4.2.3.1. Driver de motor de corriente contínua

El PLC requiere de una interfaz de potencia para poder manejar adecuadamente la inversión de giro de los motores que componen el brazo robótico. Para esto se utiliza un circuito integrado L298, el cual lee las señales enviadas por el PLC y realiza la inversión de giro de los motores conectados en sus terminales. En la figura 4.14ª se muestra el módulo utilizado y en la figura 4.14b el esquema de conexión.

(a)



(b)

Figura 4.14. Driver de motor de corriente contínua. a) módulo L298 b) esquema de conexión.

Fuente: (Arduino Wiki, 2014)

4.2.4. Controlador Lógico Programable

El controlador principal del proceso es un PLC (Programmable Logical Controller o Controlador Lógico Programable por sus siglas en inglés), el cual se encarga de leer el estado de los sensores dispuestos a lo largo de la banda transportadora y mantener al elemento en la etapa adecuada del proceso. Además, como se mencionó anteriormente, el PLC se encarga del control del brazo robótico para clasificar el elemento ingresado en el proceso y ubicarlo en el depósito o en el tanque de agua.

El PLC utilizado es de marca Siemens modelo S7-1200 (figura 4.15) con las siguientes características

- 8 entradas de 24VDC
- 6 salidas tipo relé 120V/2A

- 2 entradas analógicas 0-10VDC
- Fuente interna de 24VDC
- Memoria de 1024 bytes para entradas y 1024 bytes para salidas
- 4096 bytes para marcas
- 4 contadores rápidos
- 2 salidas de impulsos
- 1 puerto de comunicación Ethernet (PROFINET)

Figura 4.15. PLC Siemens S7-1200

Fuente: (Siemens Inc., 2009)

Ya que el proceso requiere un número superior de salidas para controlar las activaciones de los drivers de los motores para el brazo robótico, se utiliza una tarjeta de expansión de entradas y salidas Signal Board modelo 6ES7 223-3BD30-0XB0 (figura 4.16). Esta tarjeta de expansión tiene las siguientes características:

- Dos entradas digitales de 24VDC
- Dos salidas digitales de 24VDC
- Frecuencia de conmutación de 200KHz
- Corriente máxima de 0.1A en modo fuente
- Corriente máxima de 7mA en modo sumidero
- Conexión directa en el puerto SM de expansión del PLC S7-1200

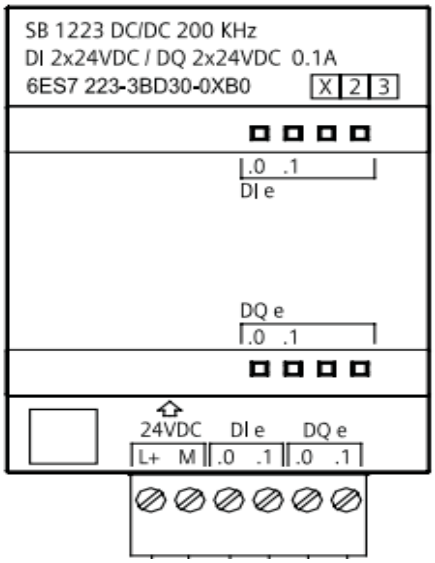


Figura 4.16. Tarjeta de expansión de entradas y salidas digitales modelo 6ES7 223-3BD30-0XB0 para el PLC S71200

Fuente: (Siemens Inc., 2009)

4.3. Control con PLC

El proceso implementado en el banco está automatizado por un PLC Siemens modelo S7-1200, el cual controla el movimiento del elemento a lo largo de la banda transportadora, discrimina el material del mismo y lo ubica mediante el control de un brazo robótico.

4.3.1. Programa en el PLC

El PLC Siemens S7-1200 está programado para realizar la función de trasladar un elemento metálico o no metálico por la banda transportadora, ingresarlo al horno para un proceso de calentado, caracteriza el elemento, y lo envía al final de la banda para que el brazo robótico lo deposite según su clasificación. Para programar el PLC se utiliza el software TIA Portal mediante diagramas de contactos.

En la figura 4.17 se muestra el diagrama de flujo del programa implementado en el PLC.

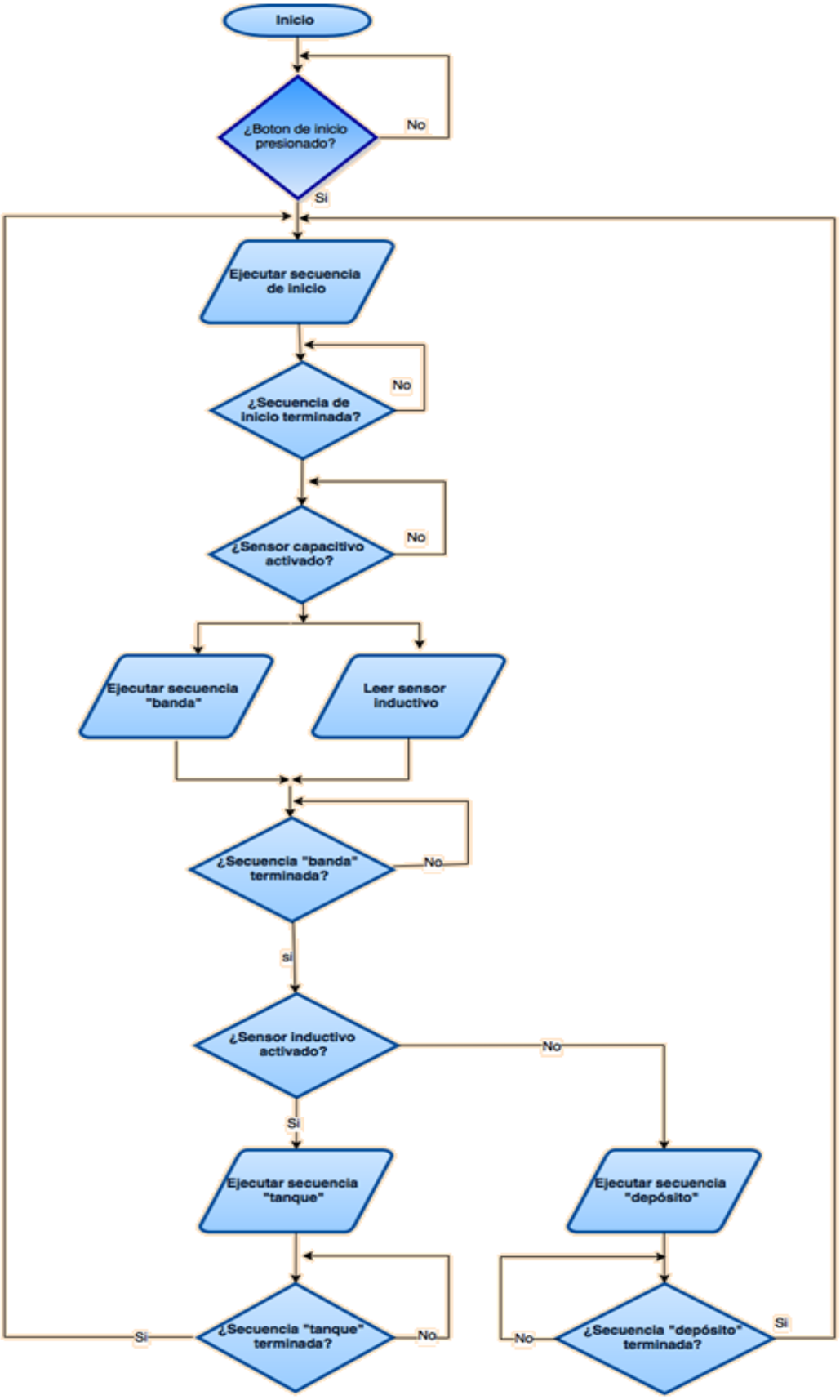


Figura 4.17. Diagrama de flujo del programa de control del proceso en el PLC

Fuente: Autores

La estructura del programa se basa en la ejecución de varias etapas del proceso mediante contadores y temporizadores. Esta estructura es similar a una máquina de estados, en la cual el PLC espera a que una etapa de control termine para continuar a la siguiente.

La primera máquina de estados se encarga de ejecutar el programa principal, en el cual se colocan los elementos motrices del brazo robot en la posición inicial, y mediante la lectura de los sensores, se da inicio a la secuencia de la banda transportadora, y luego al movimiento del brazo robot en función del valor del sensor magnético. En la figura 4.18 se observa el modelado de la máquina de estados requerida para el proceso.

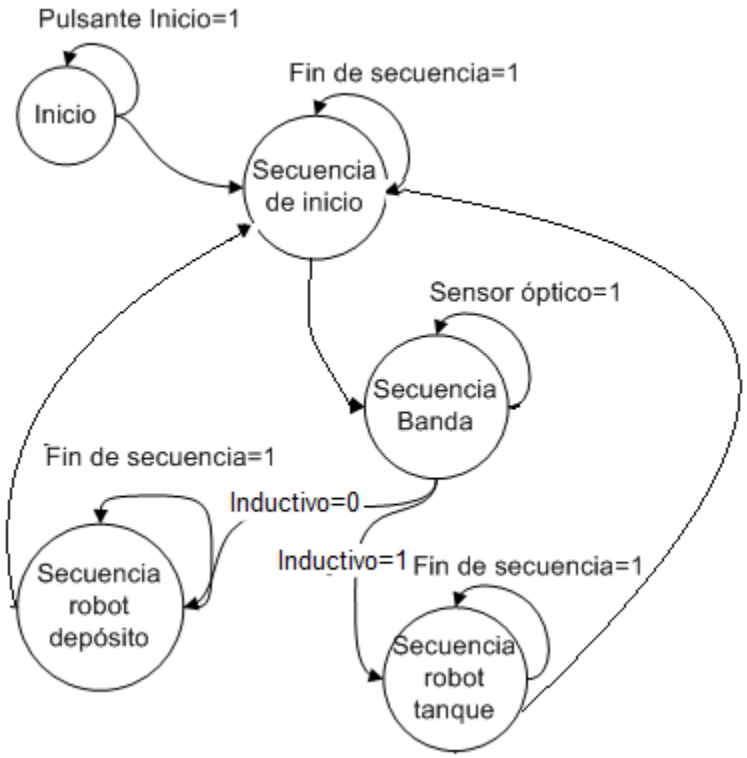


Figura 4.18. Máquina de estados para el programa principal

Fuente: Autores

Cada secuencia del brazo robótico requiere realizar los siguientes movimientos:

- Bajar el cuerpo del robot hasta el nivel del elemento.
- Cerrar el actuador (pinza) para aferrar el elemento.
- Subir el cuerpo del robot para evitar la colisión del elemento con el sensor óptico.
- Girar la base del robot al depósito o al tanque en función del valor del sensor inductivo.
- Bajar el cuerpo del robot para centrar el elemento en el depósito o el tanque
- Abrir la pinza para liberar el elemento.

En la figura 4.19 se muestra la máquina de estados requerida para realizar este subproceso:

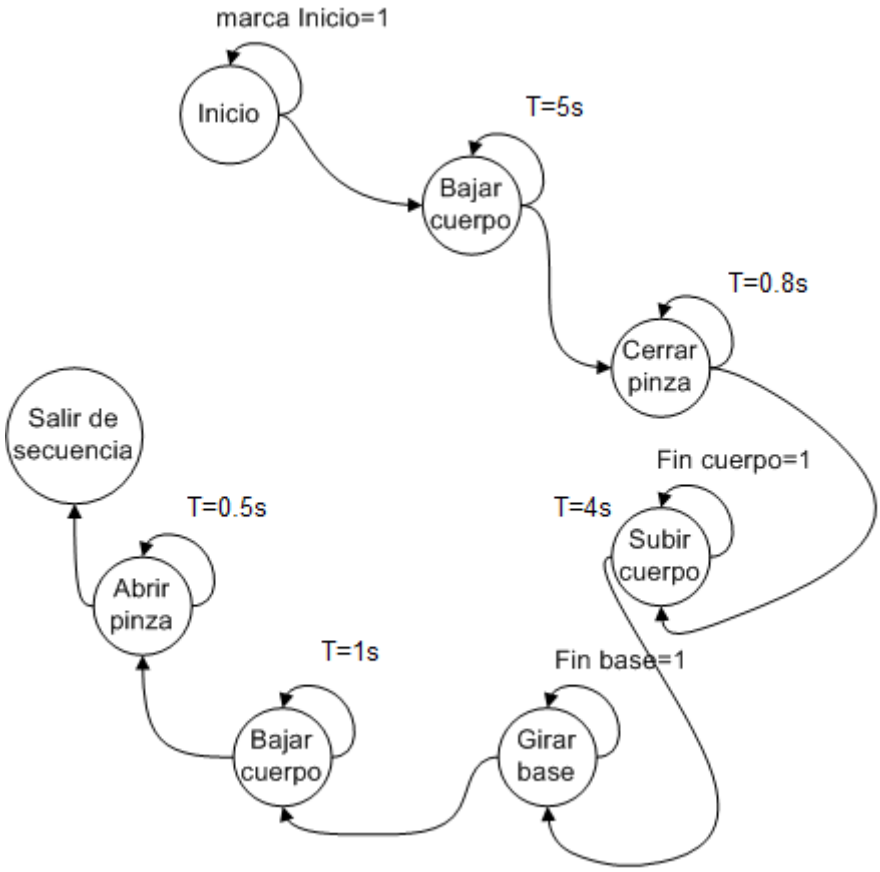


Figura 4.19. Máquina de estados para movimiento del brazo robótico

Fuente: Autores

Cada una de estas máquinas de estados debe implementarse en el proceso general en el PLC utilizando, como se mencionó anteriormente, contadores y temporizadores.

El programa completo utilizado en el PLC se puede observar en el anexo B. A continuación se explica brevemente el funcionamiento general de cada bloque de programación (figura 4.20).

Figura 4.20. Bloques de programación utilizados.

Fuente: Autores

4.3.1.1. Bloque principal (Main)

Es el bloque de programación encargado de realizar las siguientes tareas:

- Llamar a la secuencia de inicio cuando se presione el pulsante de inicio.
- Monitorear el estado del sensor capacitivo para llamar a la secuencia "banda".

- Monitorear el estado del sensor inductivo y almacenarlo en memoria utilizando un flipflop.
- Monitorear el estado del sensor óptico para llamar a las secuencias “brazo_tanque” o “brazo_depósito”

Cada secuencia se habilita utilizando los estados de marcas, las cuales son activadas o desactivadas en función del sensor o proceso al que hacen referencia. A manera de ejemplo, en la figura 4.21 se observa la llamada a la secuencia de inicio, la cual tiene como objetivo girar el brazo robótico a una posición inicial para que el PLC pueda controlarlo.

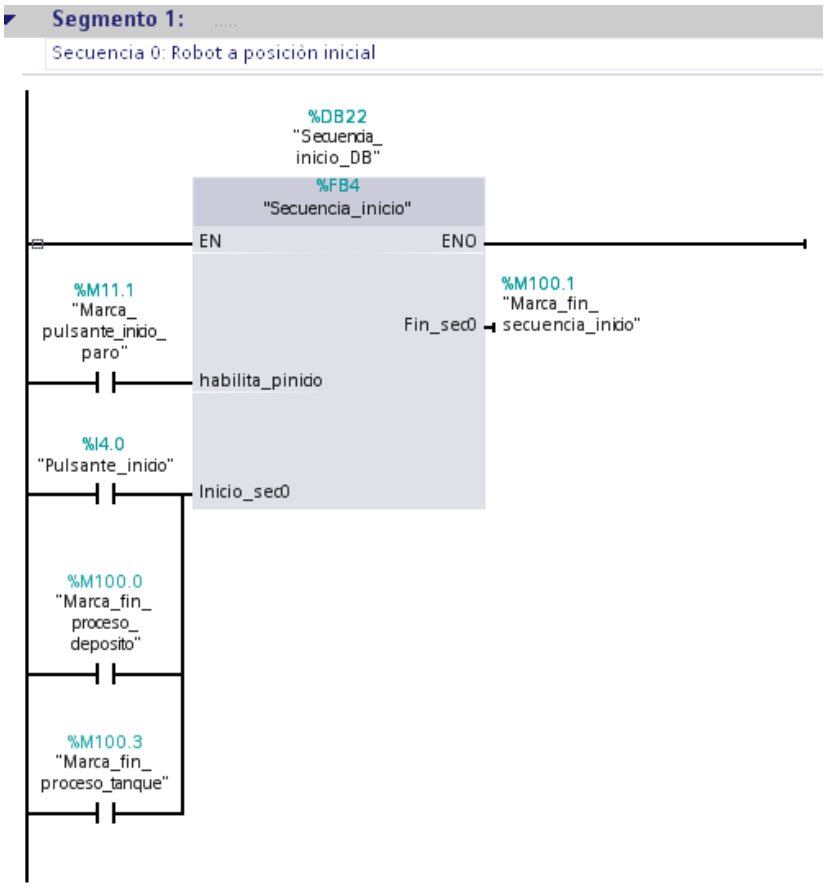


Figura 4.21. Llamada a la secuencia de inicio desde el programa principal

Fuente: Autores

Se observa que la secuencia tiene una marca de habilitación “habilita_pinicio” la cual permite habilitar el bloque cuando el pulsante de inicio ha sido presionado, y además puede desactivar el bloque cuando se presiona el pulsante de paro general.

El ingreso “Inicio_sec0” entrega el pulso necesario para que el proceso interno de la secuencia se ejecute, el cual puede ser activado por el pulsante de inicio o por las marcas que indican que el proceso en el que el brazo lleva al elemento al depósito o al tanque de agua ha finalizado.

Otro parámetro importante controlado por el proceso principal es el monitoreo del sensor inductivo, el cual discrimina si el objeto ingresado al proceso es metálico o no metálico. En la figura 4.22 se muestra el segmento que controla la lectura del sensor inductivo.

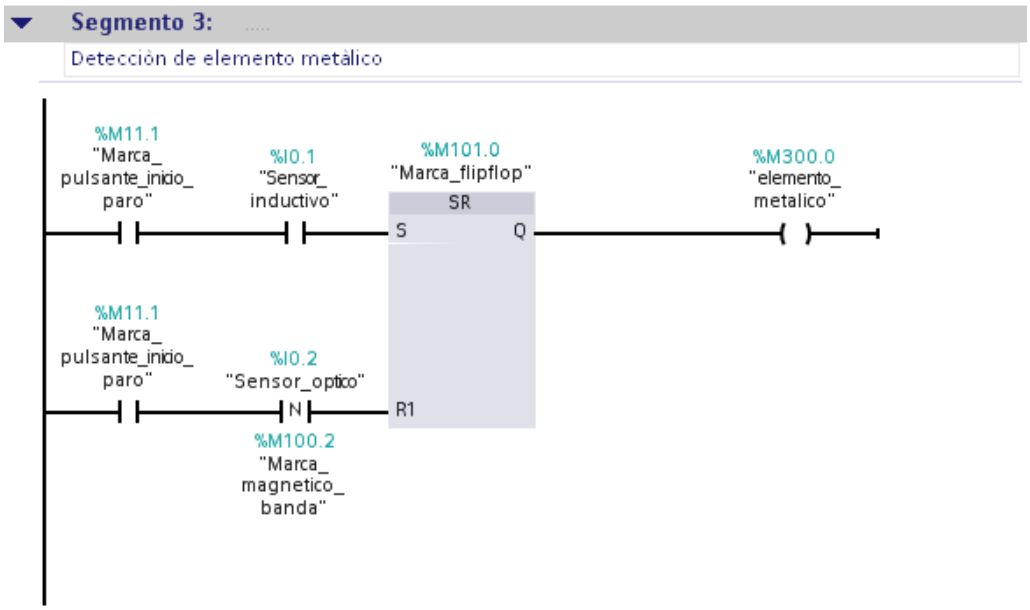


Figura 4.22. Flip Flop de lectura del sensor inductivo para discriminar el elemento metálico o no metálico

Fuente: Autores

La lectura del sensor inductivo se la realiza mediante un flip flop tipo SR, el cual habilita la marca “elemento_metálico” (M300.0) cuando recibe un pulso en la entrada SET, la cual puede activarse únicamente cuando el pulsante de inicio ha

sido presionado. También se observa que la marca “elemento_metálico” se desactiva cuando se presenta un flanco de bajada en el sensor óptico, es decir, una vez que el brazo levante el objeto de la banda para trasladarlo al depósito o al tanque de agua.

Por último, esta secuencia implementa seguridades básicas del proceso, con lo que se evita que el usuario pueda activar ingresos (sensores) mientras las secuencias internas se ejecutan. Esto se logra mediante la utilización de una marca “M500.1” que indica el inicio y el fin de secuencias, y desactiva las lecturas de sensores.

En la figura 4.23 se muestra la utilización de la marca “M500.1” para realizar dos funciones: primero resetea la marca cuando “Marca_fin_proceso_banda” está activada, es decir, cuando el proceso de la banda finaliza, desactiva la marca 500.1 para permitir la lectura del sensor capacitivo.

Segundo, cuando se detecta un flanco de bajada en el sensor óptico, la marca 500.1 se activa, con lo que se bloquea la lectura del sensor capacitivo en otros procesos.

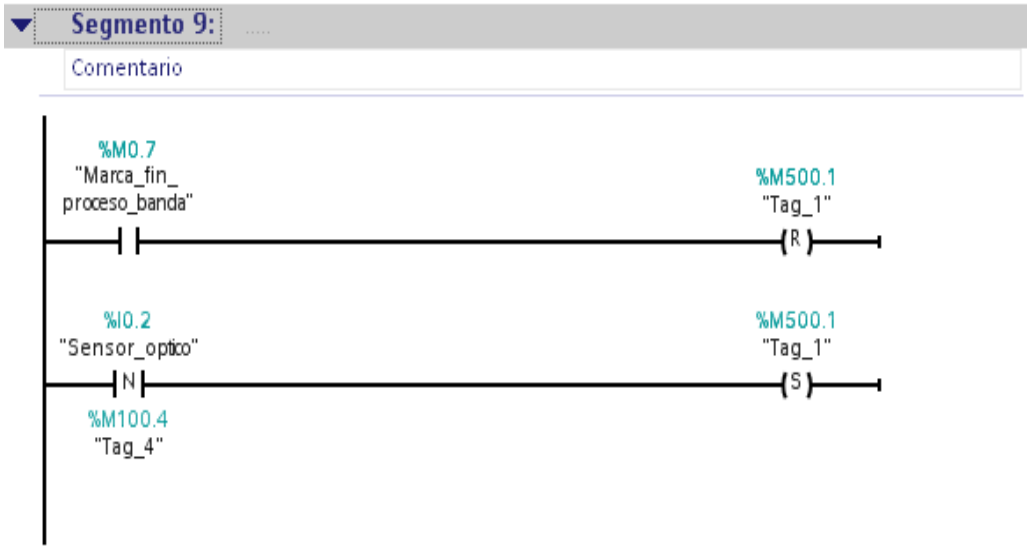


Figura 4.23. Utilización de la marca M500.1 como seguridad

Fuente: Autores

4.3.1.2. Secuencia de inicio

La secuencia de inicio asegura que el brazo robótico se mueva hasta la posición inicial desde la cual recibirá las órdenes del PLC para su desplazamiento. Para esto, se debe implementar el diagrama de máquina de estados anteriormente descrito para asegurar un funcionamiento en serie de los movimientos del robot.

Este funcionamiento en serie se implementa mediante la utilización de contadores, los cuales fuerzan al PLC a ejecutar una tarea específica en cada valor del contador. En la figura 4.24 se muestra el contador general para la secuencia de inicio.

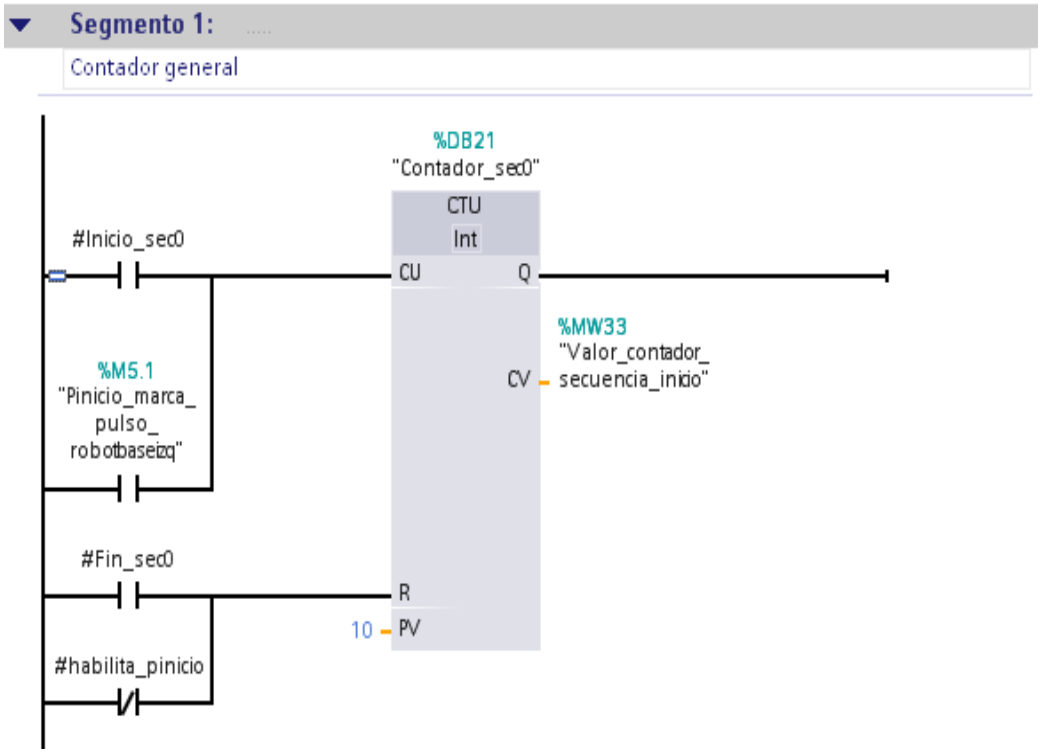


Figura 4.24. Contador principal de la secuencia de inicio

Fuente: Autores

En la figura 4.25 se muestra un extracto del proceso que se ejecuta cuando el valor del contador general es igual a uno, en el cual se envía un valor de “01” al driver

del motor de la pinza del robot, lo cual controla la apertura de la pinza hasta que el interruptor de fin de carrera se active.

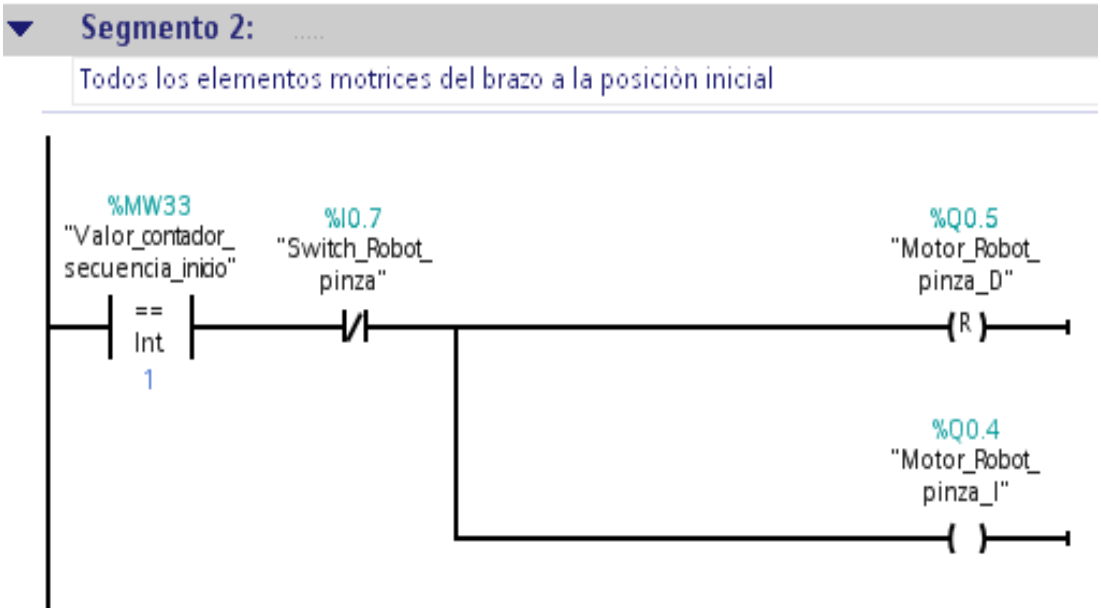


Figura 4.25. Ejecución de la secuencia de inicio cuando el contador es igual a uno

Fuente: Autores

4.3.1.3. Secuencia banda

Es la secuencia encargada de trasladar al elemento a lo largo del proceso de calentamiento en el horno. Esta secuencia es activada por el sensor capacitivo, y se ejecuta utilizando temporizadores, los cuales determinan el tiempo de ingreso, y salida del horno.

De igual manera que en la secuencia de inicio, la “secuencia_banda” se ejecuta utilizando un contador general, el cual dicta el proceso que el PLC debe ejecutar. En la figura 4.26 se muestra el proceso que se ejecuta cuando el contador es igual a uno.

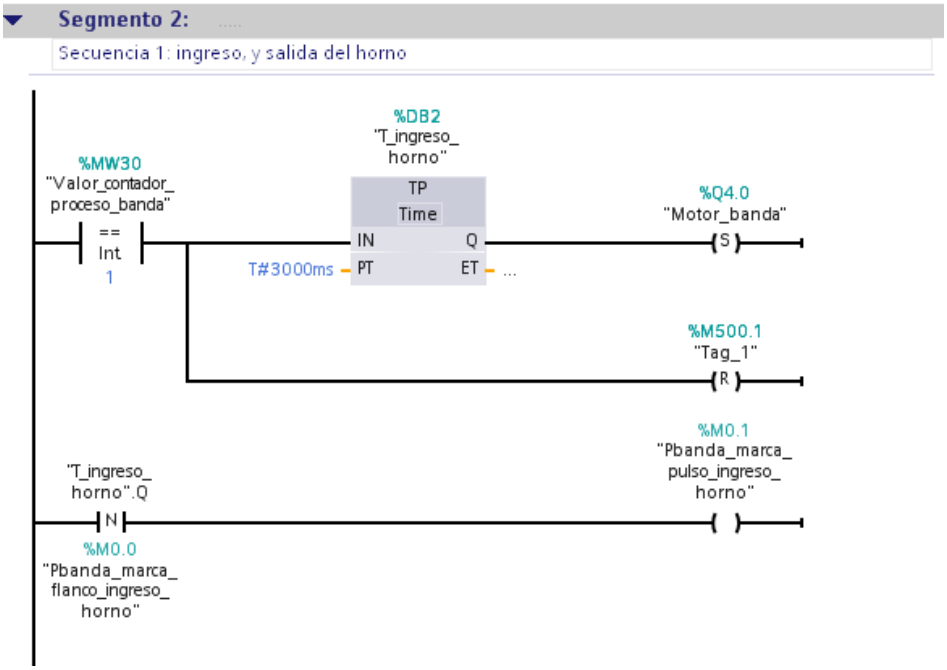


Figura 4.26. Proceso ejecutado cuando el valor del contador es igual a 1 en la "secuencia_banda"

Fuente: Autores

Se observa que cuando "valor_contador_proceso_banda"=1, el temporizador "T_ingreso_horno" activa el motor de la banda transportadora durante 3 segundos. Este tiempo es el necesario para trasladar el elemento desde el sensor capacitivo hasta el interior del horno. Además se desactiva la marca M500.1 la cual es una marca de seguridad que evita que se intervenga en la activación de la secuencia, es decir, si otro elemento activa el sensor capacitivo, no reinicia el tiempo de ingreso al horno.

Una vez concluidos los 3 segundos, se monitorea un flanco de bajada en la salida del temporizador ("Pbanda_marca_flanco_ingreso_horno"), la cual activa la marca "Pbanda_marca_pulso_ingreso_horno" que a su vez aumenta el valor del contador general para realizar el siguiente proceso.

4.3.1.4. Robot_depósito

Esta secuencia lee la marca que indica si el elemento es metálico o no metálico, y ejecuta las activaciones y desactivaciones de salidas para lograr el movimiento del brazo robótico hacia el depósito. Sigue la misma estructura que la "secuencia_banda", es decir, utiliza un contador general y cambia su valor con flancos de bajada. En la figura 4.27 se muestra el proceso que ejecuta el PLC cuando el contador es igual a 2.

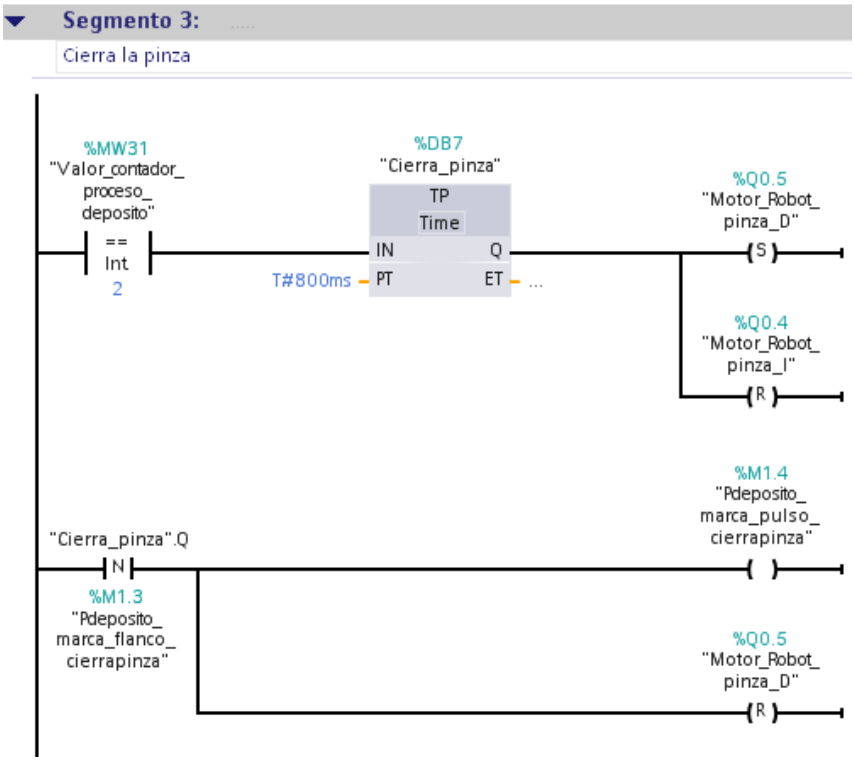


Figura 4.27. Proceso ejecutado cuando el contador es igual a 2 en la secuencia "brazo_depósito"

Fuente: Autores

Se observa que cuando la marca "Valor_contador_proceso_depósito"=2, el PLC ejecuta un temporizador durante 800ms, el cual envía el valor de "10" al driver del motor de la pinza del robot para cerrarla y aferrar el objeto. Una vez terminado el

tiempo del temporizador, se lee el flanco de bajada de su salida y se realizan dos acciones: se para el motor de la pinza, y se aumenta el valor del contador.

4.3.1.5. Robot_tanque

La secuencia “Robot_tanque” es similar a la secuencia “Robot_depósito” con la diferencia de que su ejecución traslada el elemento al tanque de agua y no al depósito. Esto se logra mediante la lectura de la marca “elemento_metálico” entregada por el flip flop y el sensor inductivo.

En la figura 4.28 se muestra la llamada a la secuencia “Robot_tanque” en el programa principal. Se observa que la entrada “Inicio_probot_tanque” se habilita con la marca “Marca_flipflop”.

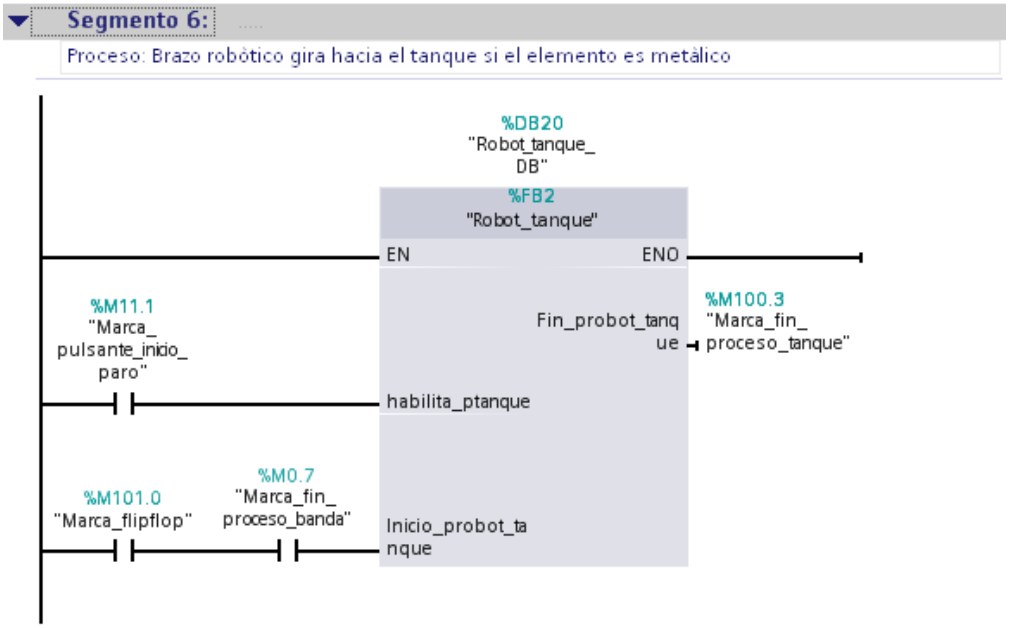


Figura 4.28. Llamada a la secuencia “Robot_tanque” desde el programa principal

Fuente: Autores

4.4. Modelo de informe de prácticas realizadas con el banco didáctico

El banco didáctico diseñado en el presente trabajo de tesis, constituye una herramienta muy adecuada para la impartición de conocimientos en el ámbito de la

utilización de sensores en la industria y la automatización de procesos. Permite al estudiante tener un contacto directo con los equipos que se utilizan en las aplicaciones industriales, permitiendo un acelerado proceso de aprendizaje.

Como complemento para el docente que utilice este banco didáctico para sus clases, en el anexo C se adjunta el modelo de informe de prácticas que acompañan las tareas de laboratorio.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- La utilización de un banco de sensores y controladores pensado para prácticas de procesos de manufactura computarizada permite al estudiante afianzar los conocimientos impartidos por el docente en el aula de clases, mediante el contacto directo con elementos comunes en la industria, permitiendo plasmar la información teórica en un componente práctico. Si bien el conocimiento teórico de los temas de automatización industrial son necesarios para la formación profesional del estudiante, las prácticas que pueden realizarse en el banco didáctico motivo del presente tema de tesis son un complemento de suma importancia para la vida profesional.

- Se comprobó que los conocimientos adquiridos por los autores durante los años de estudio fueron la piedra angular que permitió el desarrollo del diseño planteado. Se requirieron conocimientos en el área de electrónica industrial, electrónica analógica, electrónica digital, acondicionamiento de señal, instalaciones eléctricas civiles e industriales, teoría de control y configuración de controladores lógicos programables o PLCs. Con esto se concluyó que el área de automatización industrial abarca múltiples disciplinas de la electrónica para la implementación de un proyecto integral.

- El diseño de bancos didácticos aplicables a la enseñanza de procesos industriales requiere de un conocimiento medio-avanzado de construcción mecánica, pues se debe tomar en consideración las capacidades de medición y las condiciones óptimas de funcionamiento de los sensores para planificar la construcción física del proceso industrial en el que van a desempeñar su trabajo. Es así que se comprobó que el sensor ultrasónico de distancia entregado por la Universidad del Azuay para el banco didáctico está dimensionado para aplicaciones a gran escala, lo que

dificulta su funcionamiento en un componente físico de dimensiones reducidas.

- Para la caracterización de los sensores en el banco, y la flexibilidad del proceso industrial del mismo, el diseño mecánico permite el ajuste de la posición de los elementos constitutivos, lo cual permite al estudiante experimentar con configuraciones especiales de funcionamiento, determinar curvas de histéresis, etc. De igual manera el diseño eléctrico del banco está pensado para que los sensores y actuadores sean completamente independientes, es decir, todas sus entradas y salidas están directamente conectadas a las borneras del panel frontal, con lo que se permite la conexión de los sensores a circuitos externos y la integración de otros elementos de control.

- Como conclusión específica a la realidad de los autores, la actualización tecnológica en la vida profesional de un ingeniero electrónico es de vital importancia, pues se experimentó que la metodología de programación de PLCs ha cambiado en los últimos años, mejorando de manera exponencial las interfaces de programación y la potencialidad de los equipos.

- La utilización de controladores proporcionales, integrales y derivativos (PID) permite al usuario final configurar perfiles de funcionamiento de variables como temperatura o nivel asegurando un valor constante de la variable controlada. Se evidenció que los controladores utilizados en el banco permiten configuraciones muy avanzadas en cuanto a parámetros de tiempos de asentamiento, sobresaltos, variables de ingreso y tipos de salida. El equipo utilizado se configuró en sus parámetros básicos pero puede entregar una capacidad mayor a la detallada en el capítulo pertinente.

Recomendaciones:

- El diseño flexible de las conexiones eléctricas de sensores y actuadores supone la ventaja de utilización de elementos externos, pero a su vez constituyen un riesgo pues no se implementaron protecciones adicionales. En el caso de que la utilización del banco didáctico se defina como un único proceso, se recomienda la integración de protecciones mediante relés para las salidas, y fusibles para las entradas de los elementos del banco.

- Las prácticas que se pueden realizar en el banco didáctico diseñado pueden abarcar el pensum completo de automatización industrial, en tal virtud se pueden separar en las siguientes categorías:

    - Configuración de lazo PID de control simple
    - Configuración de lazo PID de control avanzado
    - Contadores, temporizadores y programación general del PLC S7-1200
    - Configuración y caracterización del sensor capacitivo
    - Configuración y caracterización del sensor inductivo
    - Configuración y caracterización del sensor óptico
    - Configuración y caracterización del sensor ultrasónico

- Por último se recomienda que el banco didáctico no caiga en desuso, pues la implementación de prácticas en el mismo es un componente necesario para la aplicación de conocimientos teóricos por parte del estudiante y permitirá que las futuras promociones de ingenieros tengan una formación práctica en cuanto a configuración de elementos industriales.

BIBLIOGRAFÍA

ARDUINO Wiki. (2014). *Motor drivers.* Retrieved Junio 01, 2015, from https://arduino-info.wikispaces.com/MotorDrivers.

ARIAN Control & Instrumentación. (2015, Enero 16). *¿Qué son y cómo funcionan las termocuplas?* Retrieved Enero 16, 2015, from http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf

BARRAGÁN, C. (2010). *Introducción a la técnica de sensores de proximidad SP-1110.* México: Festo Didactic.

BRAINCHILD ELECTRONIC CO. (2014). *BTC-9300 Self-Tune Fuzzy/PID Process/Temperature Controller User's Guide.* Taipei: BrainChild Electronic.

BRIGHTHUBENGINEERING. (2015, Enero 16). *Ultrasonic Level Sensors Surveyed – Design and Selection.* Retrieved Enero 16, 2015, from http://www.brighthubengineering.com/manufacturing-technology/88692-ultrasonic-level-sensors-surveyed-design-and-selection/#imgn_0

DEPARTAMENTO DE DISEÑO MECÁNICO. (2015, Enero 11). *Introducción a la instrumentación industrial.* Retrieved Enero 11, 2015, from http://www.tav.net/transductores/instrumentacion-industrial.pdf

ECURED. (2015, Febrero 04). *Sensor capacitivo.* Retrieved Febrero 04, 2015, from http://www.ecured.cu/index.php/Sensor_capacitivo

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, Físicas y Naturales. (2015). *Elementos y Equipos Eléctricos: Sensores de Temperatura.* Universidad Nacional de Córdoba.

FIELDBUS Foundation. (2015, Enero 17). *Fieldbus Foundation: Freedom to Choose. Power to Integrate.* Retrieved Enero 17, 2015, from http://www.fieldbus.org/index.html

HART Communication Foundation. (2015, Enero 17). *HART Communication Protocol.* Retrieved Enero 17, 2015, from http://en.hartcomm.org/

HART Communication Foundation. (2015, Enero 17). *How HART Works?* Retrieved Enero 17, 2015, from http://en.hartcomm.org/hcp/tech/aboutprotocol/aboutprotocol_how.html

IFM Inc. (2015, Enero 17). *MFS202: Detectores magnéticos, Detectores para cilindros.* Retrieved Enero 17, 2015, from http://www.ifm.com/products/es/ds/MFS202.htm

ISA. (1992). *ANSI/ISA-S5.1-1984 (R 1992): Instrumentation Symbols and Identification.* Carolina del Norte, EEUU.

KEYENCE International. (2015, Marzo 10). *LV-S62 Haz de Punto Pequeño Retro-Reflectivo.* Retrieved Marzo 10, 2015, from http://www.keyence.com.mx/products/sensor/laser/lv-s/variations/variation-05.jsp

KLS Electronic. (2013). *Mini Micro Switch KLS7-KW10.* Retrieved Junio 01, 2014, from http://www.klsele.com/admin/product_upload/20121016124659KLS7-KW10-Z1P.jpg

NATIONAL Instruments. (2015, 11 Enero). *"¿Qué es Adquisición de Datos?* Retrieved 11 Enero, 2015, from http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/.

NATIONAL Instruments. (2014). *Foundation Fieldbus Overview.* Texas, EEUU: National Instruments Inc.

NATIONAL Instrumets. (2009, Agosto). *Demos presentados durante NIWeek 2009 de Pruebas Automatizadas y Adquisición de Datos.* Retrieved Enero 15, 2015, from http://www.ni.com/white-paper/10069/es/

RAMÍREZ, D. (2014). *Instrumentación Electrónica. Material docente de la asignatura.* Valencia: Universidad de Valencia.

RIVERA, A. (2015, Enero 09). *Industria del papel.* Retrieved Enero 09, 2015, from http://turismosistemasproductivos.wordpress.com/2011/05/31/industria-del-papel/.

ROBOTSHOP Inc. (2014). *OWI-535 Robotic Arme Edge.* Retrieved Junio 01, 2015, from http://www.robotshop.com/en/owi-535-robotic-arm-edge.html

ROMÁN, A. (2010). *Automatización Industrial.* (U. N. Cusco, Ed.) Retrieved Enero 20, 2012, from http://www.avid-romangonzalez.com/Teaching/AUTOMATIZACION_INDUSTRIAL.pdf.

Rücken Precisao & Controle. (2015, Enero 16). *Termoresistencia.* Retrieved Enero 16, 2015, from http://www.rucken.com.br/transmissor-de-temperatura/termoresistencia.html

SCHNEIDER Electric Inc. (2015, Enero 15). *StruxureWare SCADA Expert ClearSCADA.* Retrieved Enero 15, 2015, from http://www.schneider-electric.com/.

SENSORS Incorporated. (2014). *Ultrasonic Sensors: Detection Irrespective of Material, Colour and Ilumination.* Retrieved Mayo 28, 2015, from http://www.sensorsincorporated.com/uploaded/Doc/Sick%20Ultrasonic%20Data%20Sheet.pdf

SICK Inc. (2015). *Capacitive sensor, CM30, DC 4-wire, Plastic.* Retrieved Mayo 22, 2015, from http://www.tme.eu/en/Document/e327b3193eb27cc3051225d260183516/CM30.pdf

SICK Inc. (2015). *Inductive sensor, IME series, IME18, DC3-wire, Standard series, Flush.* Retrieved Mayo 23, 2015, from http://www.alfacomponent.com/r_sick/PDF/IME18_en.pdf

SICK Inc. (2015). *W170:Miniature photo-electric switches – robust, functional, complete.* Retrieved Mayo 2015, from http://www.lpc-uk.com/sick/W170.pdf

SIEMENS Inc. (2009). *Siemens Simatic s7-1200 1221, 1222, and 1223 Signal Boards.* Alemania: Siemens.

SIEMENS Inc. (2009). *SIMATIC S7. Controlador programable S7-1200. Manual del sistema.* Alemania: Siemens.

SKILLTEN. (2014). *Sensores capacitivos: Principios de funcionamiento.* Retrieved Febrero 04, 2015, from http://www.skillten.com/cursos/sens002/semana2/capacitivos_funcionamiento.pdf.

SYAFIIE, S. (2012). *P&ID and Symbols.* Universiti Putra Malaysia.

U.S. Sensor Corp. (2015, Enero 16). *NTC Thermistor Products.* Retrieved Enero 16, 2015, from http://www.ussensor.com/products/ntc-thermistors

UNIVERSIDAD de San Carlos de Guatemala. (2015, Enero 09). *Technical English: EnvironmentalEngineering*. Retrieved Enero 09, 2015, from Área de Idioma Técnico: http://dingles.ingenieria.usac.edu.gt/docs/projects_te_4.pdf

ZS Motor. (2015, Mayo 20). *Conector 8P Hembra P/Auto APM903025.* Retrieved Mayo 20, 2015, from http://www.zsmotor.cl/enchufes/5345-conector-8p-hembra-p-auto-apm903025.html.

ANEXOS

Anexo A: Simbología de válvulas, actuadores

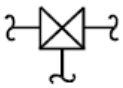
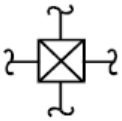
Válvulas:

<table>
<tr><td>1

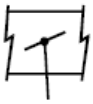
GENERAL SYMBOL</td><td>2

ANGLE</td><td>3

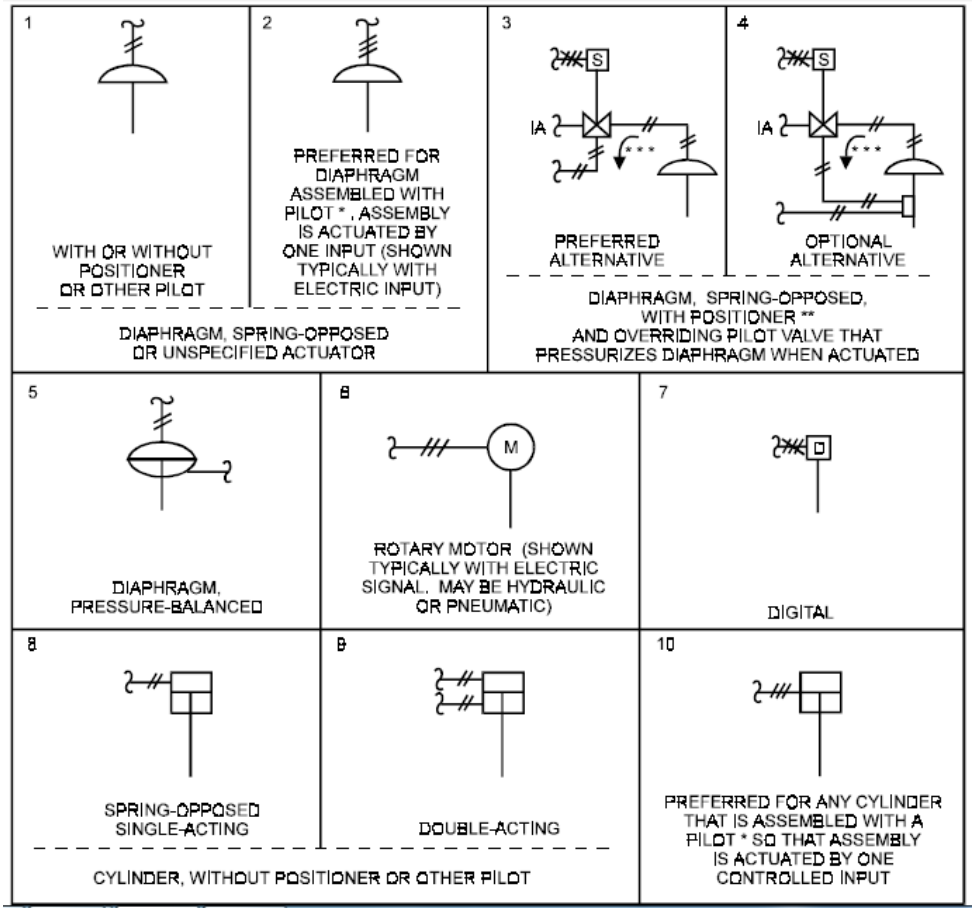
BUTTERFLY</td><td>4

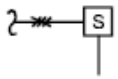
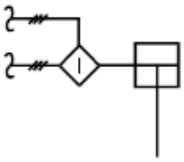
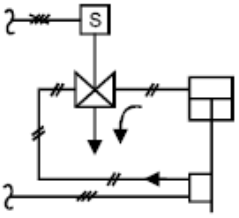
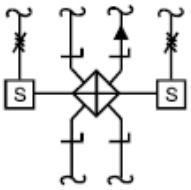
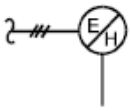
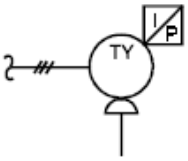
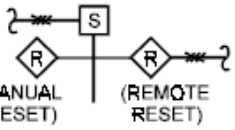
ROTARY VALVE</td></tr>
<tr><td>5
 
THREE-WAY</td><td>6
 
FOUR-WAY</td><td>7

GLOBE</td><td>8</td></tr>
<tr><td rowspan="2">9

DIAPHRAGM</td><td>10
 </td><td>11
 </td><td>12
  </td></tr>
<tr><td colspan="3">DAMPER OR LOUVER</td></tr>
</table>

Actuadores:


1
WITH OR WITHOUT POSITIONER OR OTHER PILOT
2
PREFERRED FOR DIAPHRAGM ASSEMBLED WITH PILOT * , ASSEMBLY IS ACTUATED BY ONE INPUT (SHOWN TYPICALLY WITH ELECTRIC INPUT)
DIAPHRAGM, SPRING-OPPOSED OR UNSPECIFIED ACTUATOR
3
S
IA
PREFERRED ALTERNATIVE
4
S
IA
OPTIONAL ALTERNATIVE
DIAPHRAGM, SPRING-OPPOSED, WITH POSITIONER ** AND OVERRIDING PILOT VALVE THAT PRESSURIZES DIAPHRAGM WHEN ACTUATED
5
DIAPHRAGM, PRESSURE-BALANCED
6
M
ROTARY MOTOR (SHOWN TYPICALLY WITH ELECTRIC SIGNAL. MAY BE HYDRAULIC OR PNEUMATIC)
7
D
DIGITAL
8
SPRING-OPPOSED SINGLE-ACTING
9
DOUBLE-ACTING
CYLINDER, WITHOUT POSITIONER OR OTHER PILOT
10
PREFERRED FOR ANY CYLINDER THAT IS ASSEMBLED WITH A PILOT * SO THAT ASSEMBLY IS ACTUATED BY ONE CONTROLLED INPUT

11  SOLENOID	12  PREFERRED ALTERNATIVE. A BUBBLE WITH INSTRUMENT TAGGING, E.G., TY-I, MAY BE USED INSTEAD OF THE INTERLOCK SYMBOL CYLINDER WITH POSITIONER AND OVERRIDING PILOT VALVE	13  SINGLE-ACTING CYLINDER (IMPLIED I/P)
14  DUAL SOLENOIDS SWITCHING 4-WAY HYDRAULIC VALVE	15  ELECTROHYDRAULIC	16  VALVE ACTUATOR WITH ATTACHED ELECTRO-PNEUMATIC CONVERTER
17  LATCH-TYPE ACTUATOR WITH RESET (SHOWN TYPICALLY FOR SOLENOID ACTUATOR AND TYPICALLY WITH ELECTRIC SIGNAL FOR REMOTE RESET, WITH MANUAL RESET ALTERNATIVE)	18 FOR PRESSURE RELIEF OR SAFETY VALVES ONLY: DENOTES A SPRING, WEIGHT, OR INTEGRAL PILOT	19 HAND ACTUATOR OR HANDWHEEL

Anexo B: Configuración de conectores del interior del banco

CONECTOR 1		
PIN SOCKET	**COLOR**	**ELEMENTO**
1	AMARILLO	MOTOR 1
5	NEGRO	
2	AZUL	MOTOR 2
6	NEGRO	
3	AZUL	MOTOR 3
7	NEGRO	
4	TOMATE	MOTOR 4
8	NEGRO	

CONECTOR 2		
PIN SOCKET	**COLOR**	**ELEMENTO**
1	TOMATE	MOTOR 5
5	NEGRO	
2	CAFÉ	SENSOR MAGNÉTICO 1
3	NEGRO	
4	AZUL	
6	CAFÉ	SENSOR MAGNÉTICO 2
7	NEGRO	
8	AZUL	

CONECTOR 3		
PIN SOCKET	**COLOR**	**ELEMENTO**
1	CAFÉ	SENSOR ULTRASÓNICO
2	NEGRO	
3	AZUL	
4	BLANCO	
5	VERDE	BOMBA 1
6	CAFÉ	MAGNÉTICO 3
7	NEGRO	
8	AZUL	

CONECTOR 4		
PIN SOCKET	**COLOR**	**ELEMENTO**
1	NEGRO	BOMBA 1
5	BLANCO	
2	NEGRO	BOMBA 2
6	BLANCO	
3	GRIS	MICRO SWICHT 1
7	GRIS/NEGRO	
4	GRIS	MICRO SWICHT 2
8	GRIS/NEGRO	

CONECTOR 5		
PIN SOCKET	**TERMINAL PID**	**ELEMENTO**
1	1	CONTROL PID 2
2	2	
3	3	

4	4	CONTROL PID 2
5	5	
6	6	
7	7	
8	8	

CONECTOR 6		
PIN SOCKET	**TERMINAL PID**	**ELEMENTO**
1	9	CONTROL PID 2
2	10	
3	11	
4	12	
5	13	
6	14	
7	15	
8	16	

CONECTOR 7		
PIN SOCKET	**TERMINAL PID**	**ELEMENTO**
1	1	CONTROL PID 1
2	2	
3	3	
4	4	
5	5	
6	6	
7	7	
8	8	

CONECTOR 8		
PIN SOCKET	**TERMINAL PID**	**ELEMENTO**
1	9	CONTROL PID 1
2	10	
3	11	
4	12	
5	13	
6	14	
7	15	
8	16	

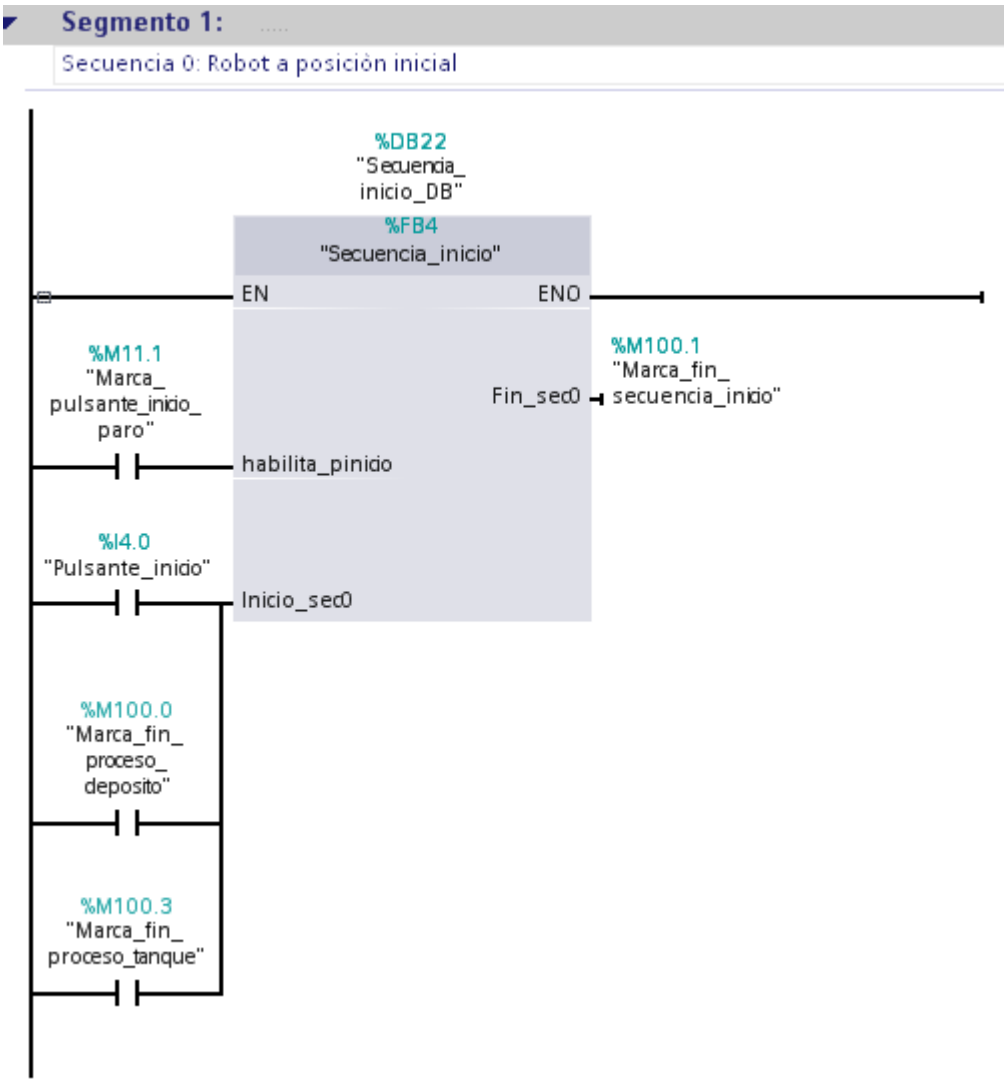
CONECTOR 9		
PIN SOCKET	**COLOR**	**ELEMENTO**
1	ROJO	MOTOR BANDA
5	NEGRO	
2	CAFÉ	SENSOR INDUCTIVO
3	NEGRO	
4	AZUL	
6	BLANCO	
7	GRIS	
8	VERDE	HORNO

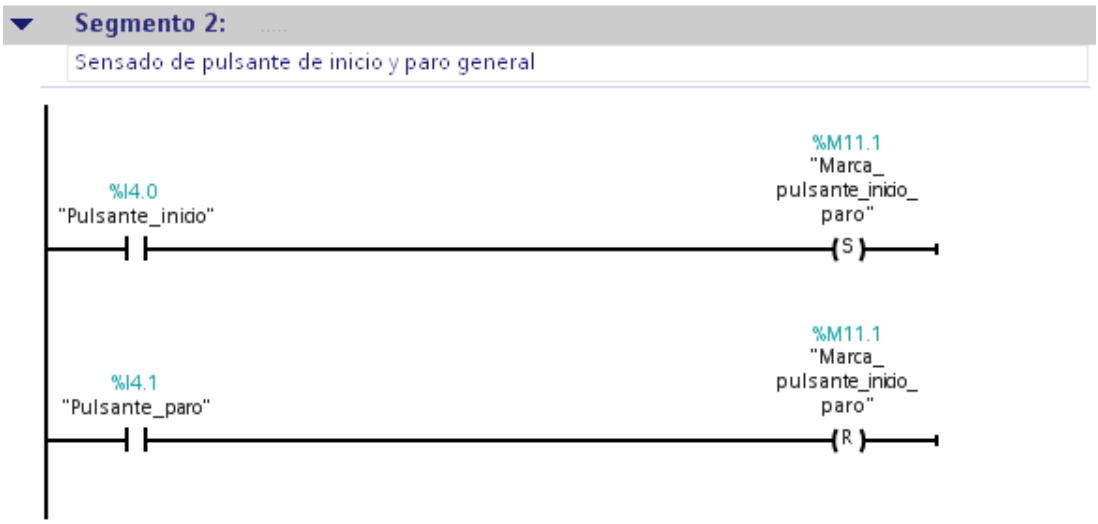
CONECTOR 10		
PIN SOCKET	**COLOR**	**ELEMENTO**
1	CAFÉ	SENSOR CAPACITIVO
2	NEGRO	
3	AZUL	
4	BLANCO	
5	NEGRO	HORNO
6	BLANCO	
7	BLANCO	TERMOCUPLA
8	BLANCO	

CONECTOR 11		
PIN SOCKET	**COLOR**	**ELEMENTO**
1	CAFÉ	SENSOR ÓPTICO
2	NEGRO	
3	AZUL	
4	BLANCO	

Anexo C: Programa completo del PLC

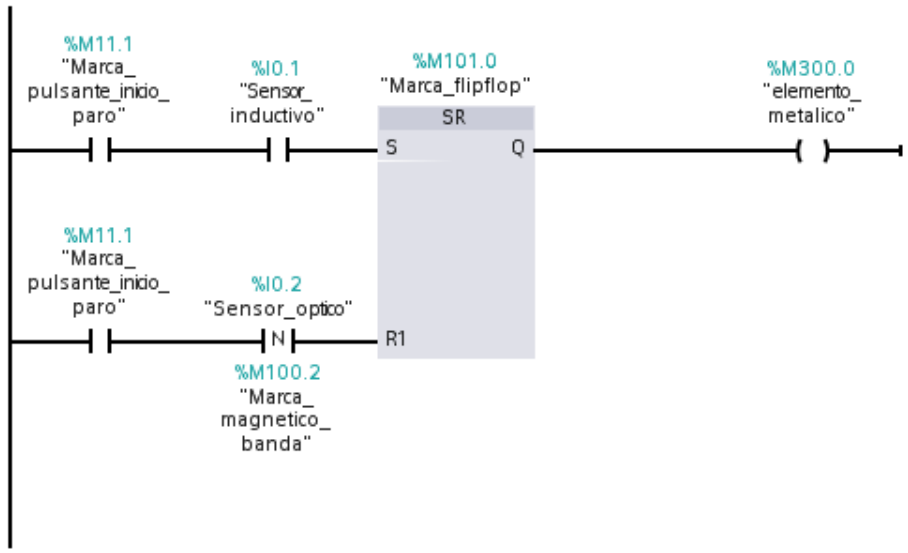
Main





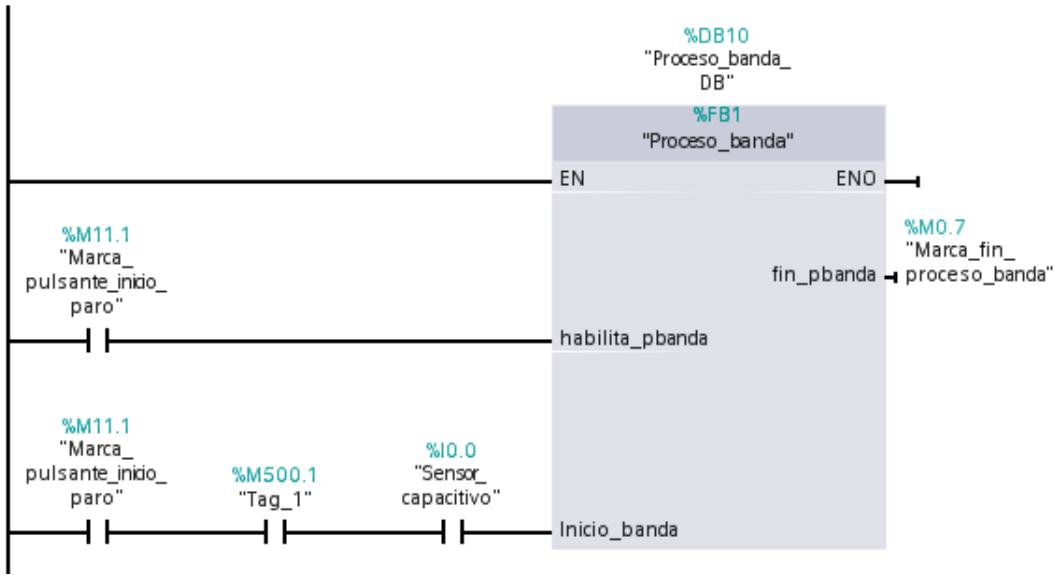
Segmento 3:

Detección de elemento metálico



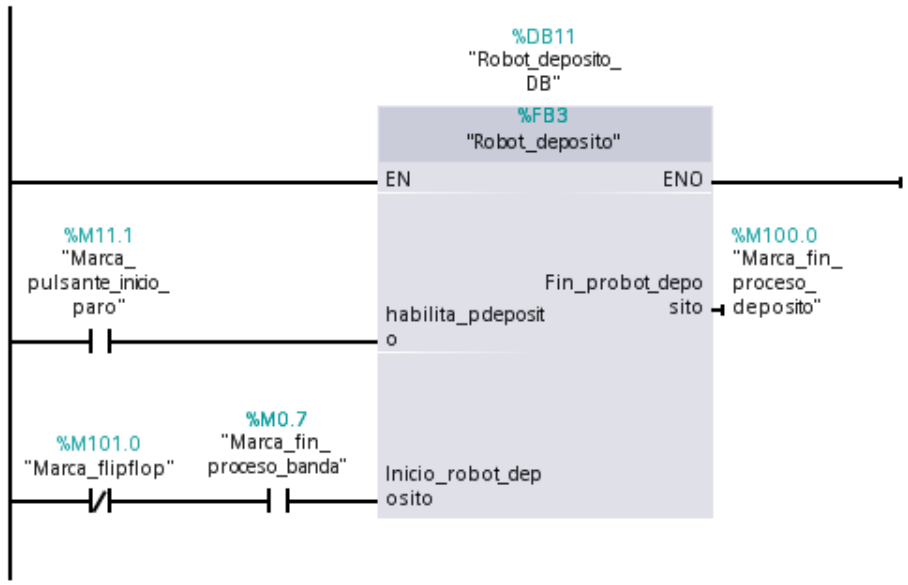
Segmento 4:

Proceso en la banda: ingreso y salida del horno



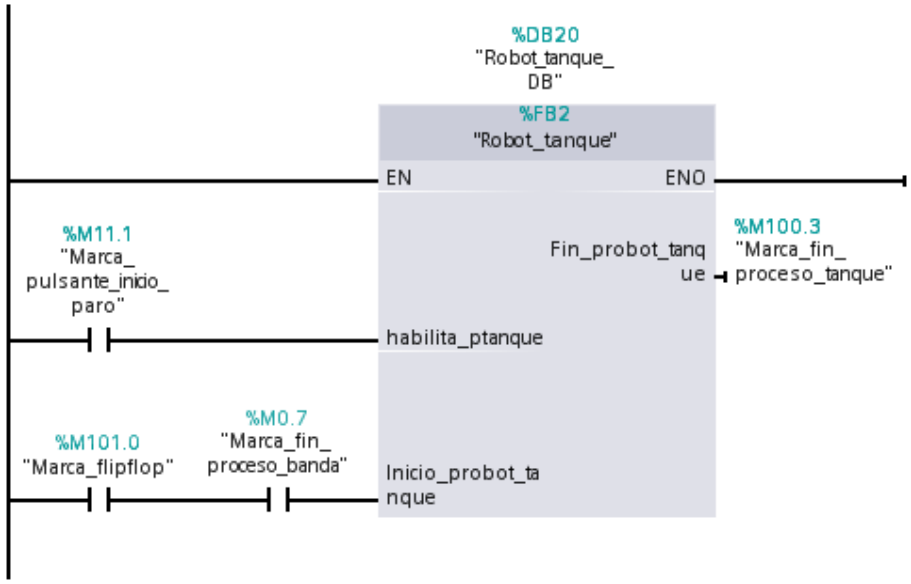
Segmento 5:

Proceso: Brazo robot gira hacia el depòsito si el elemento es no-metálico



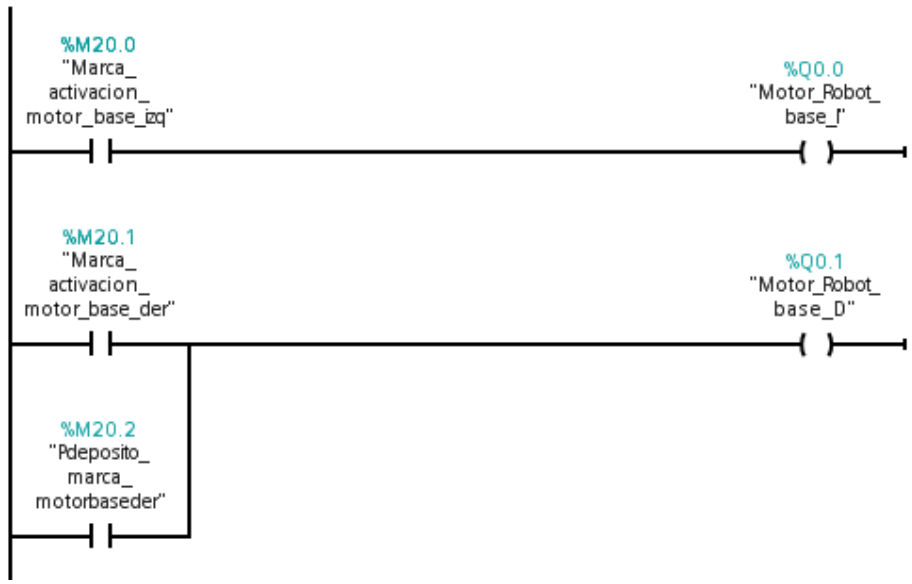
Segmento 6:

Proceso: Brazo robòtico gira hacia el tanque si el elemento es metálico



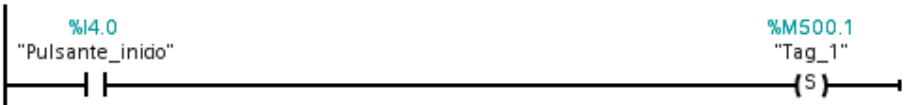
Segmento 7:

Activación del motor de la base en función de las marcas en las subrutinas



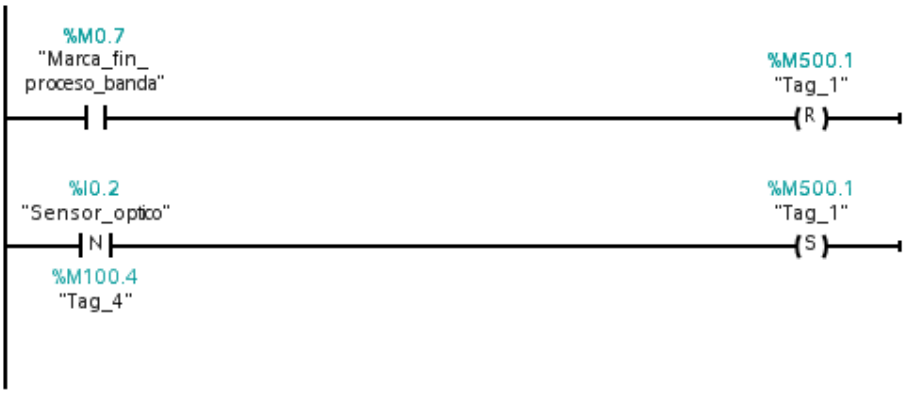
Segmento 8:

Comentario

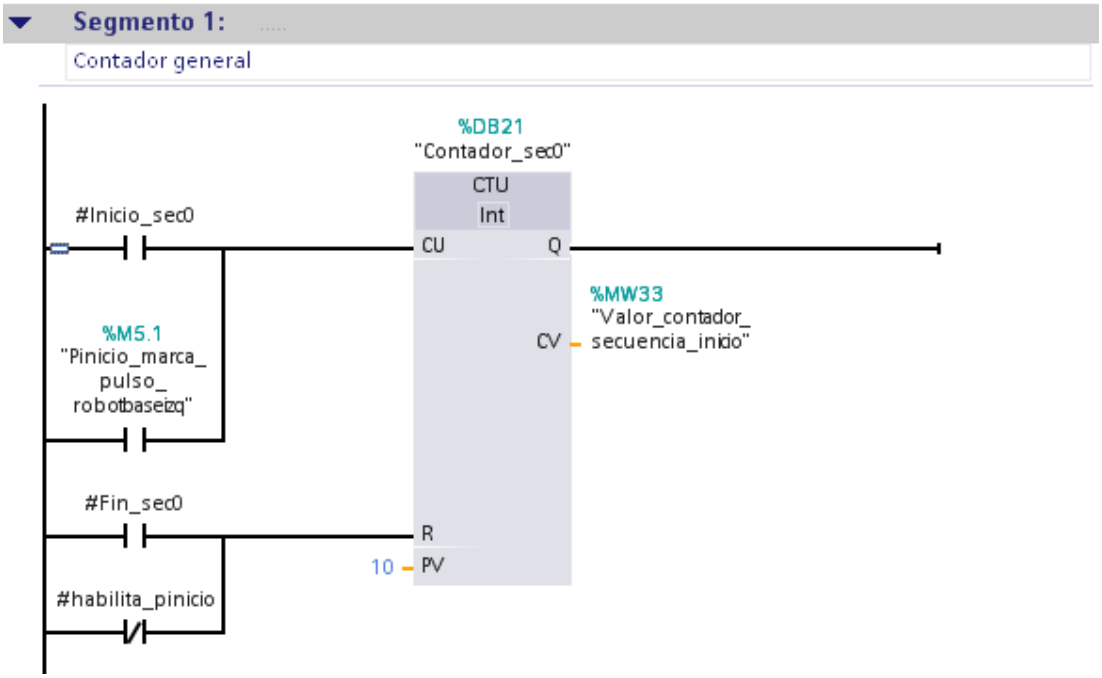


Segmento 9:

Comentario

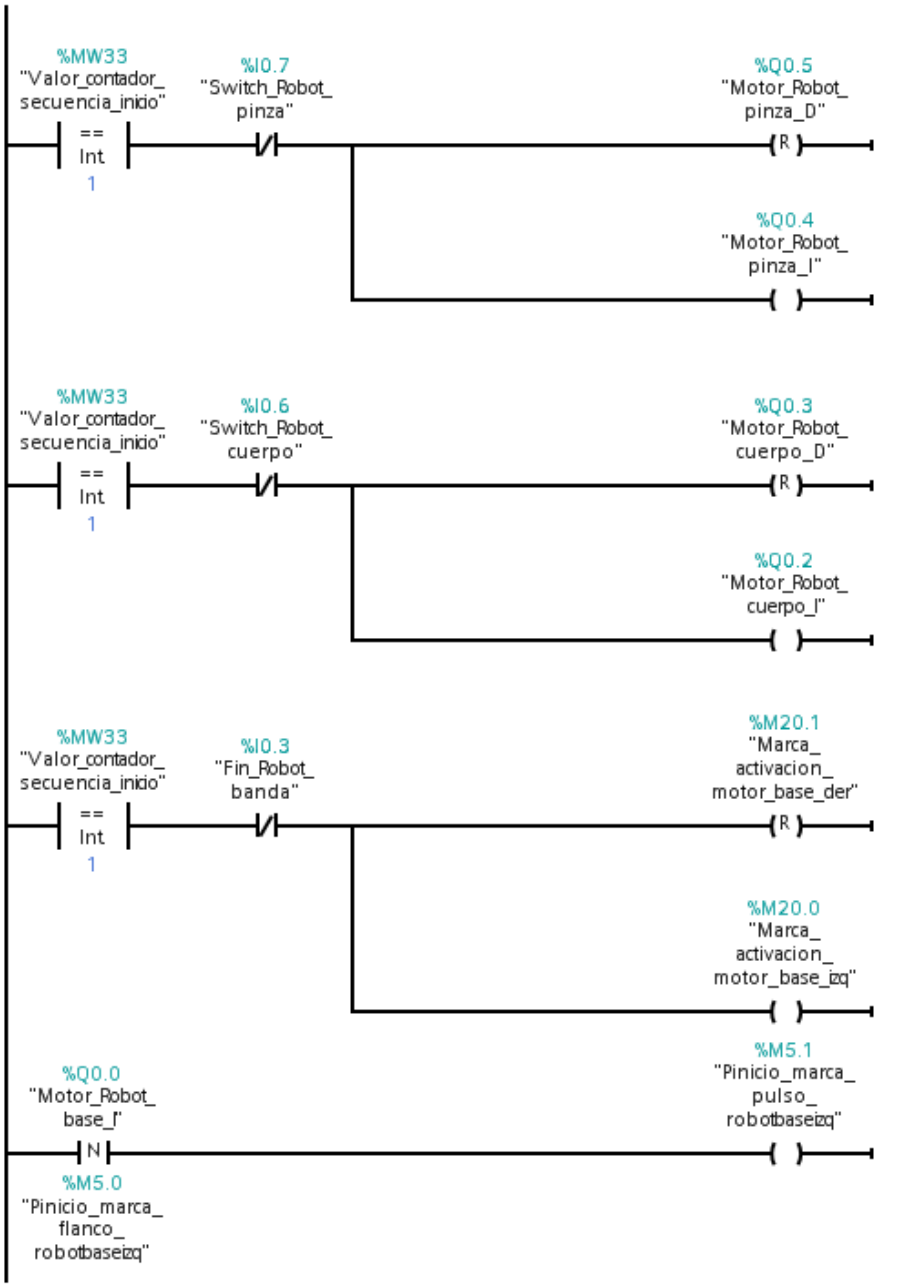


Secuencia_inicio



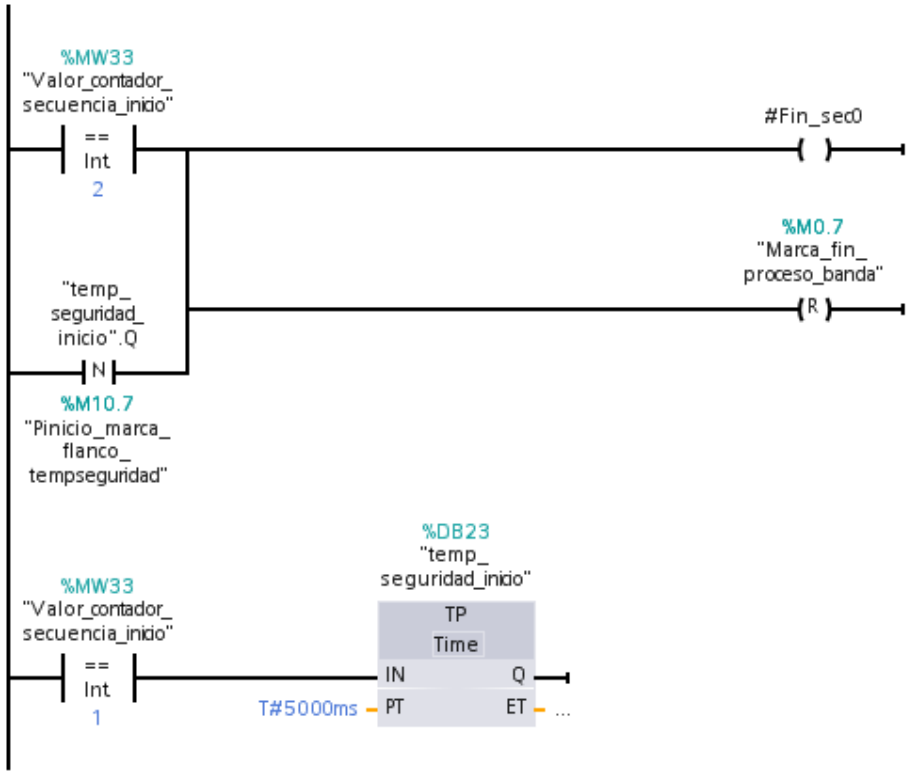
Segmento 2:

Todos los elementos motrices del brazo a la posición inicial

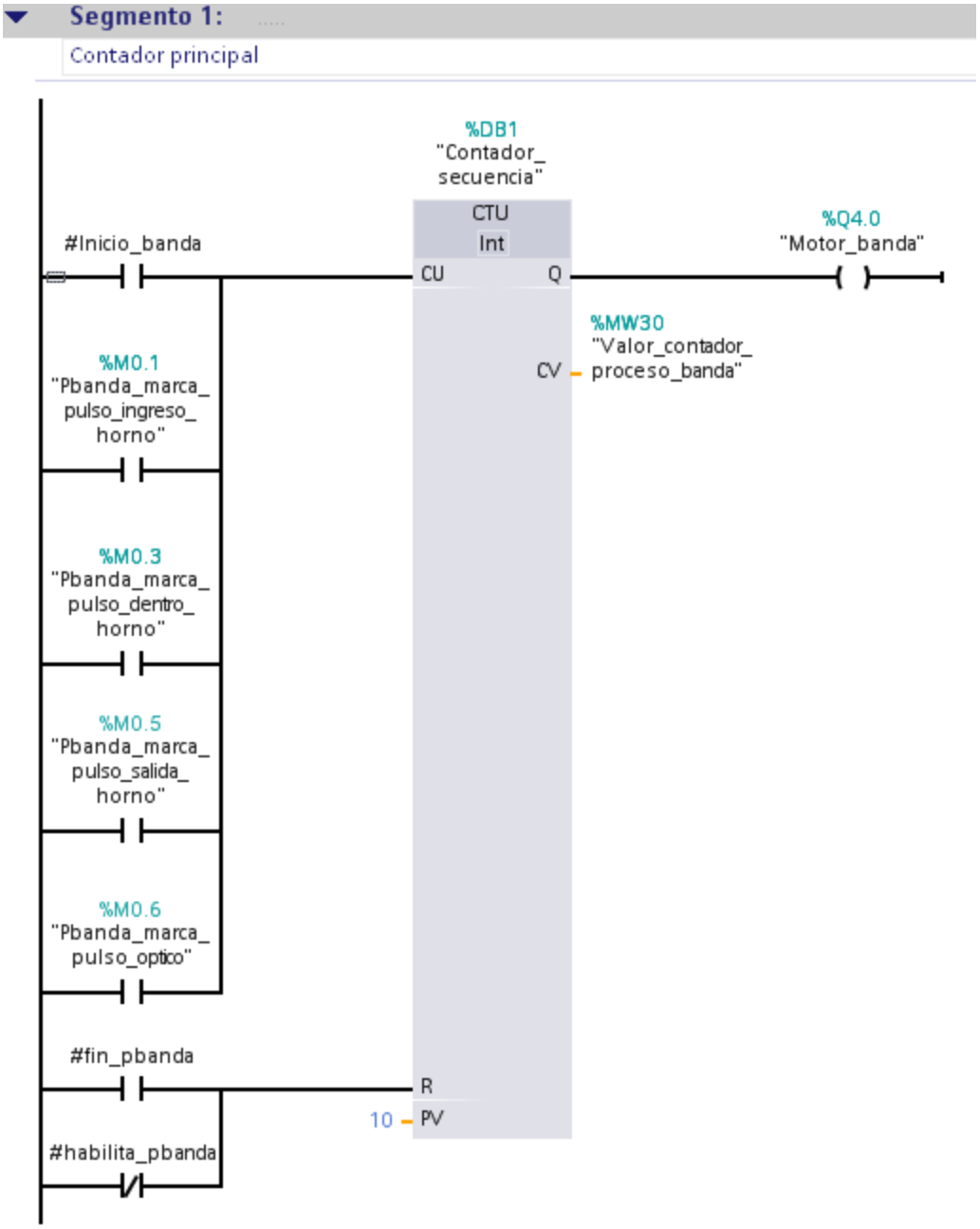


Segmento 3:

Cuando todos los motores llegan a la posición inicial, envia pulso de fin de secuencia. Se agrega

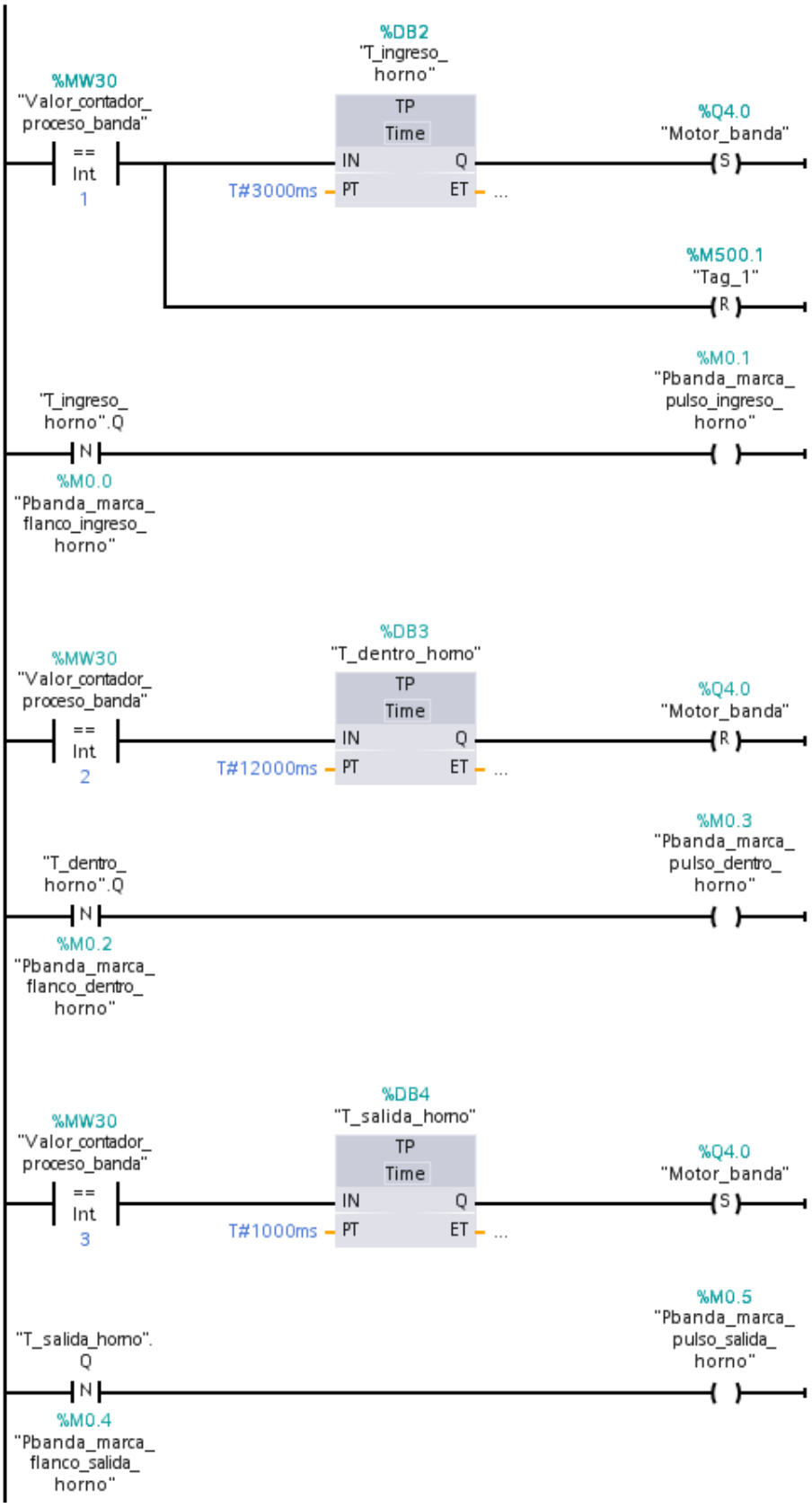


Proceso_banda



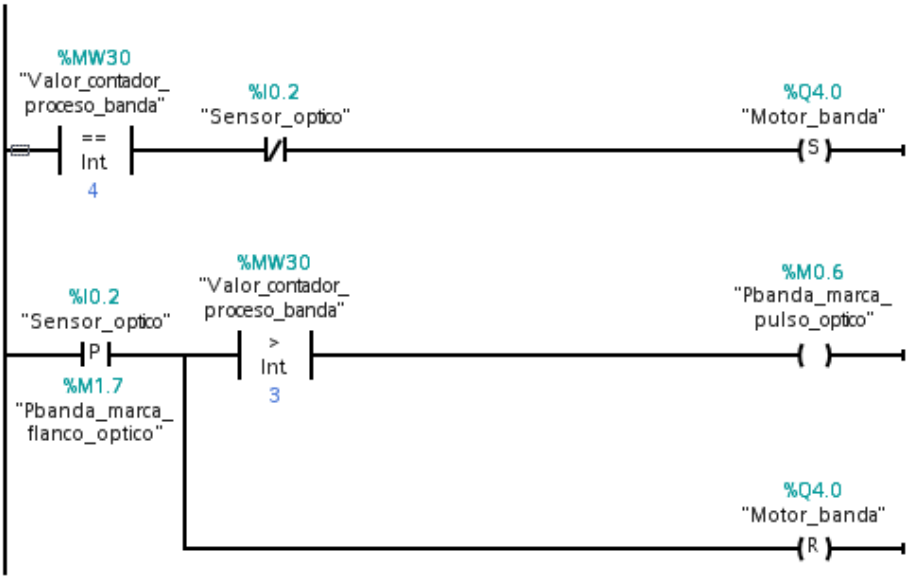
Segmento 2:

Secuencia 1: ingreso, y salida del horno



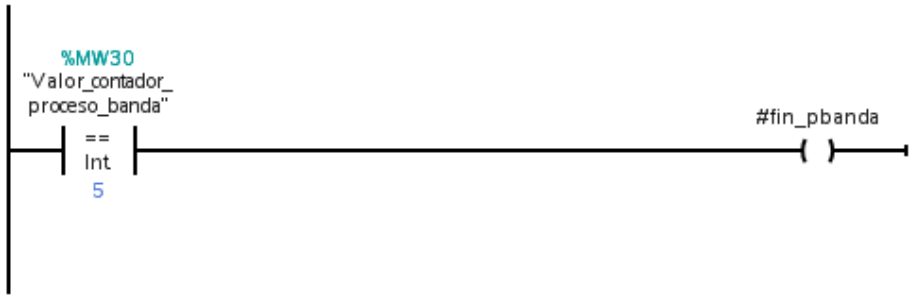
Segmento 3:

Gira la base hasta el sensor de fin deposito



Segmento 4:

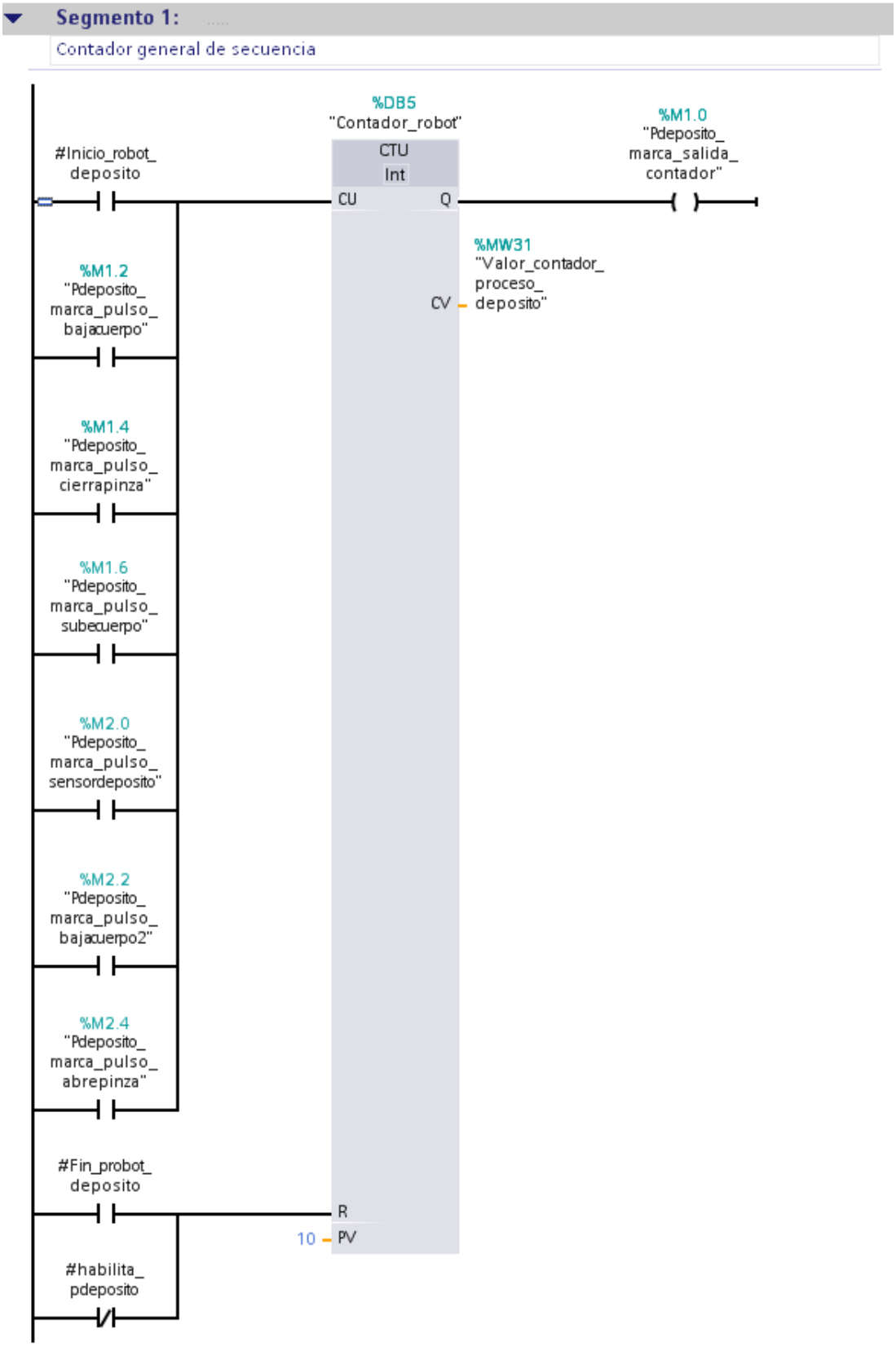
Reinicio del proceso



Segmento 5:

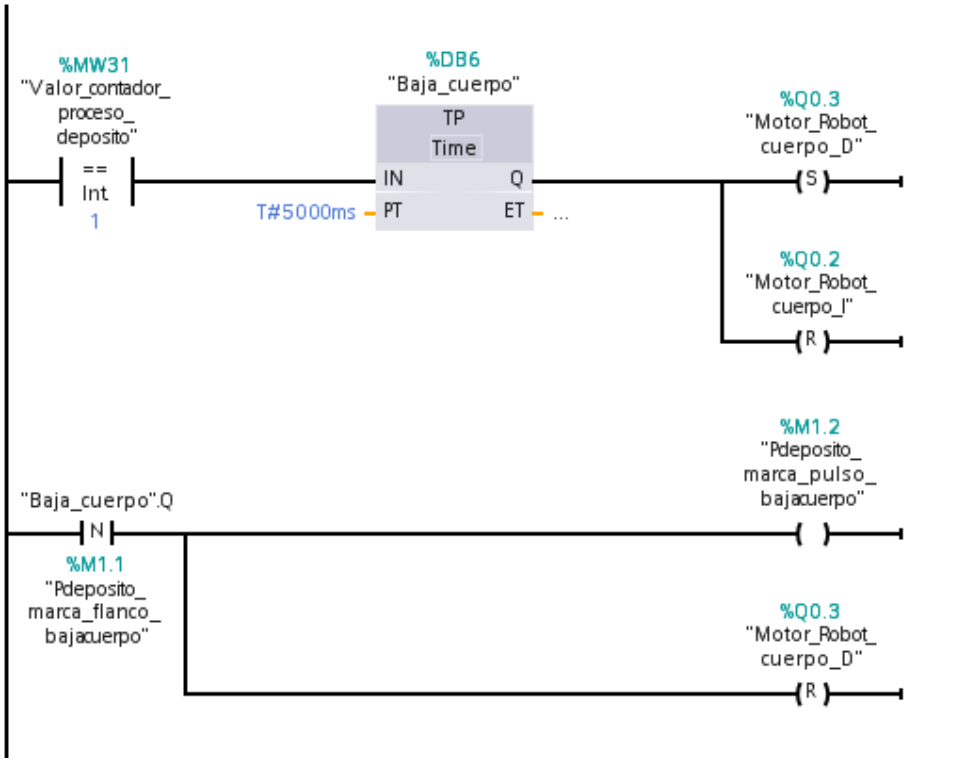
Comentario

Robot_depósito



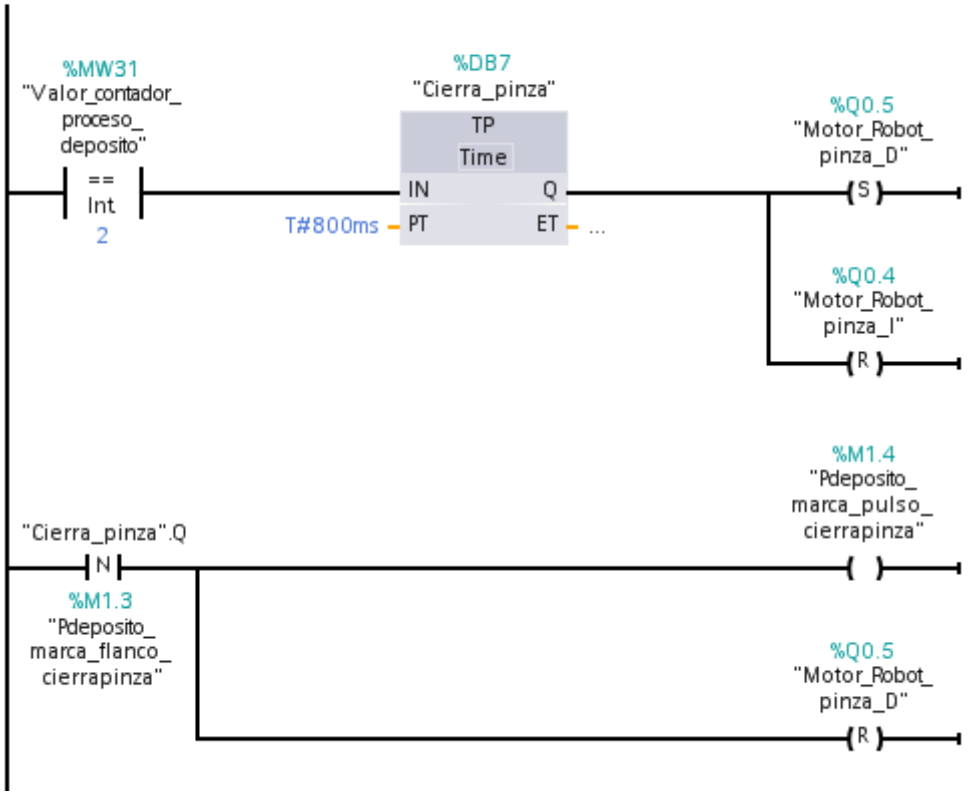
Segmento 2:

Baja el cuerpo del robot



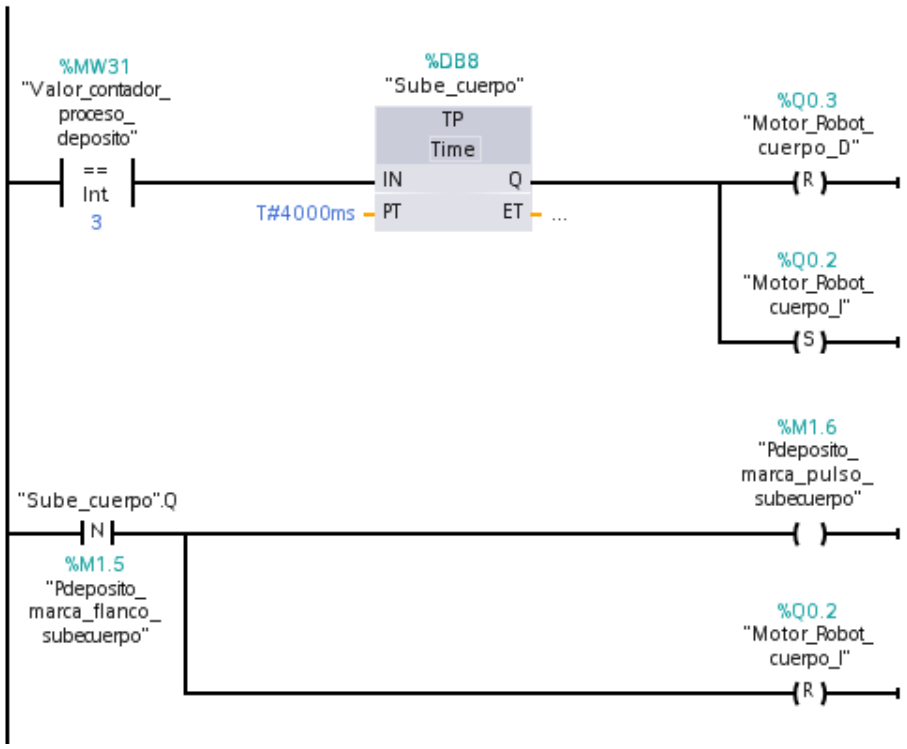
Segmento 3:

Cierra la pinza



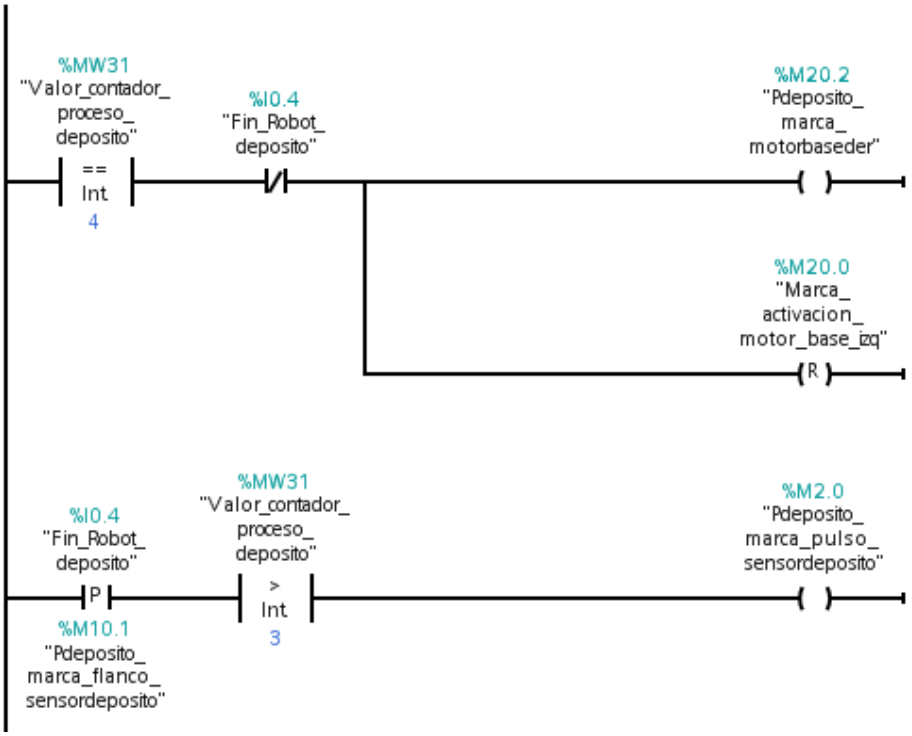
Segmento 4:

Sube el cuerpo del robot



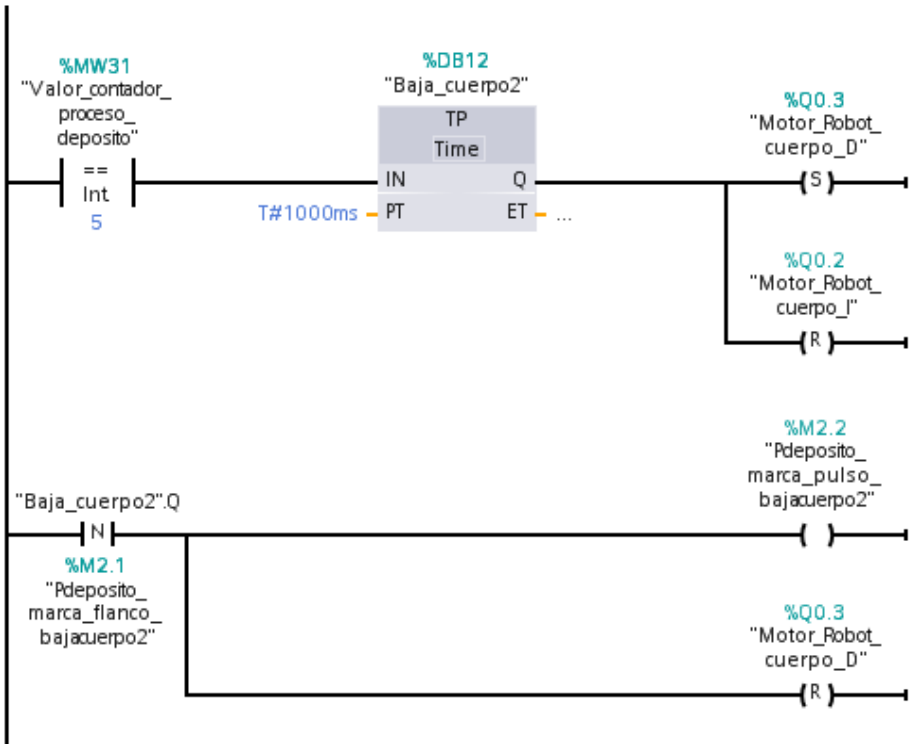
Segmento 5:

Gira la base hasta el sensor de fin deposito



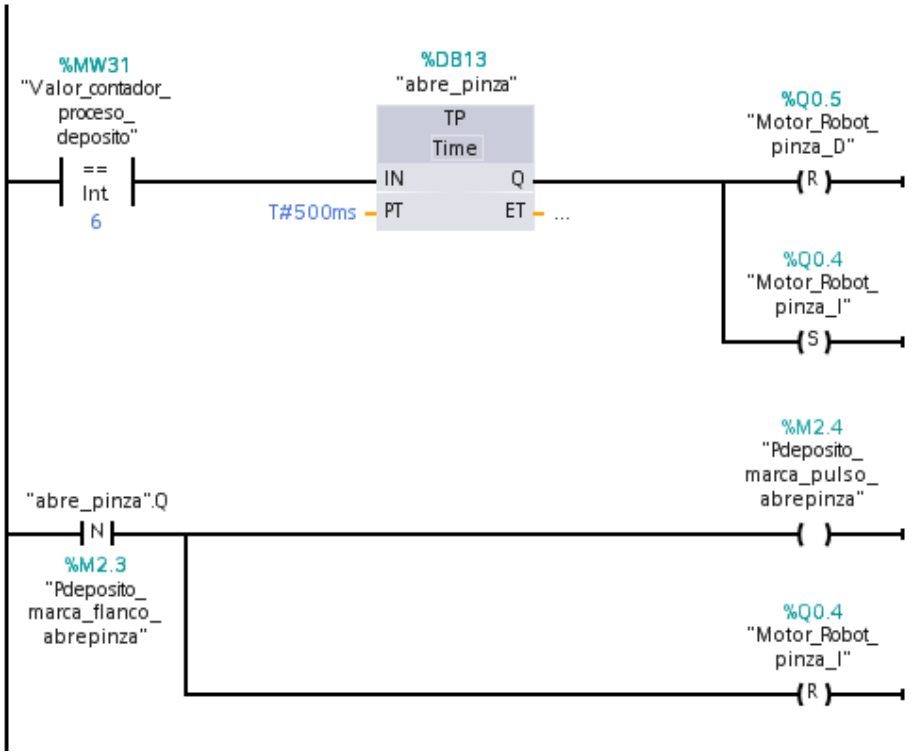
Segmento 6:

Baja el cuerpo del robot



Segmento 7:

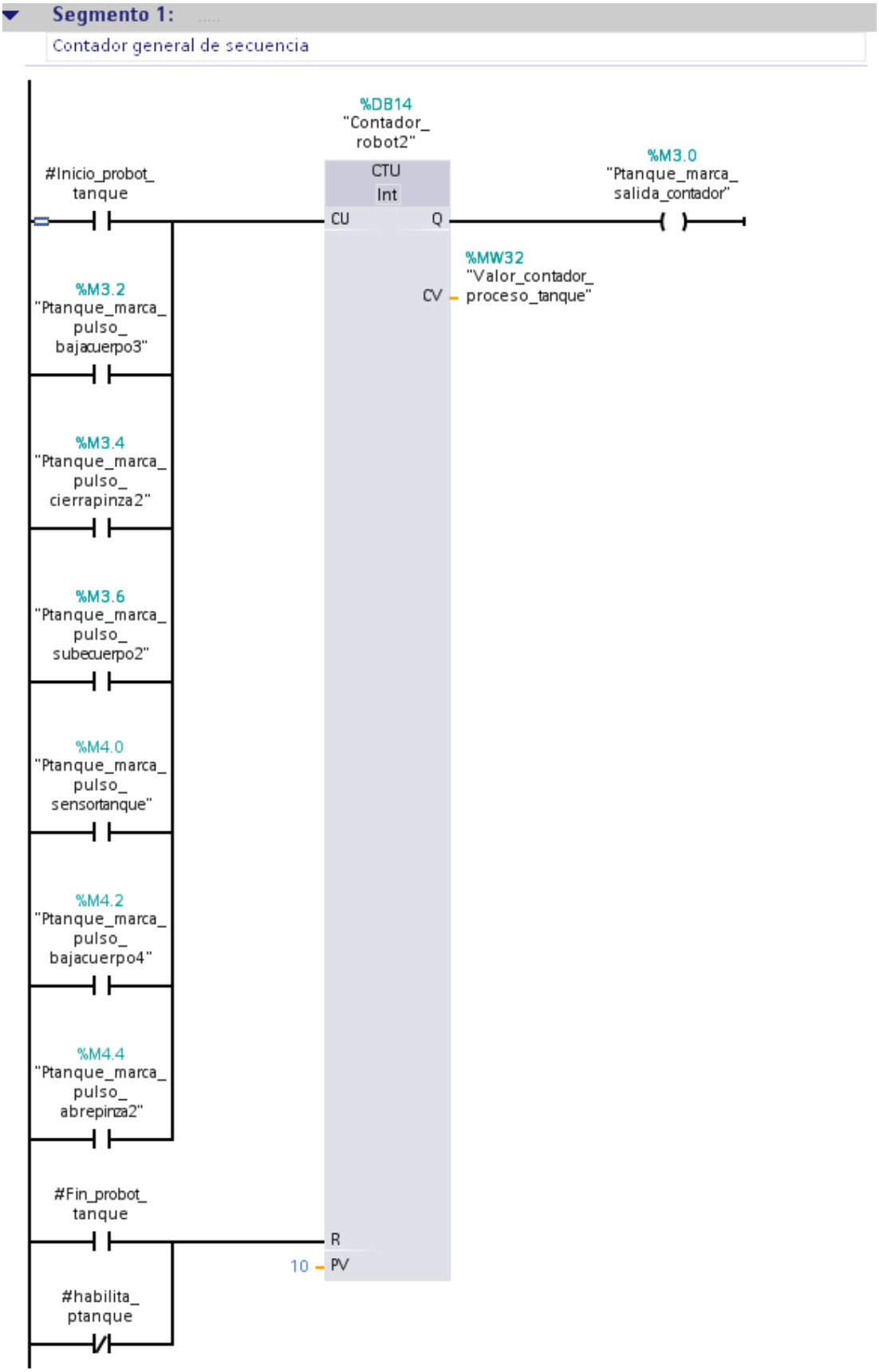
Abre la pinza



Segmento 8:

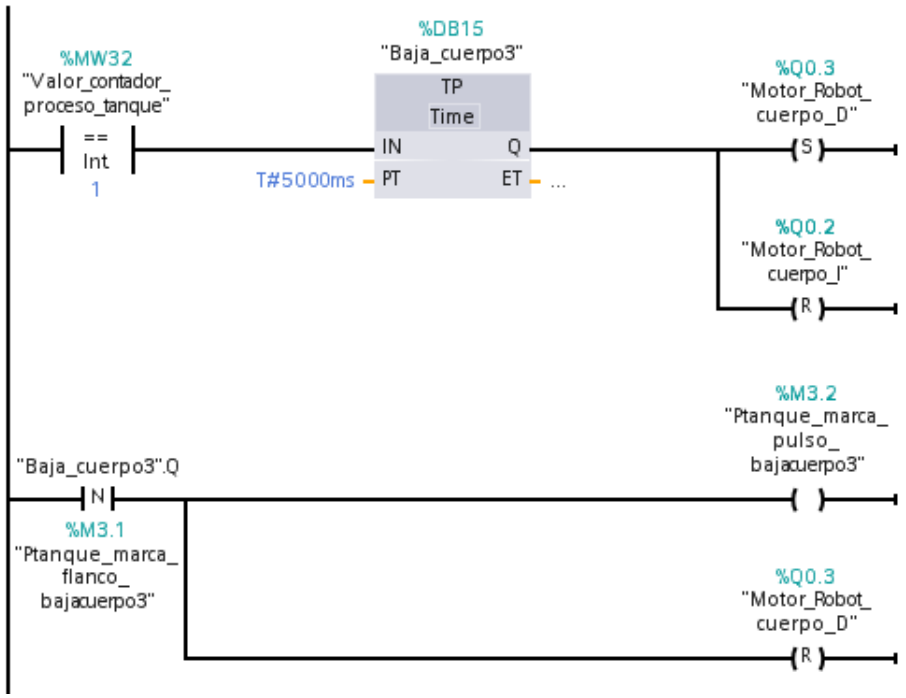
Reinicio de secuencia

Robot_tanque



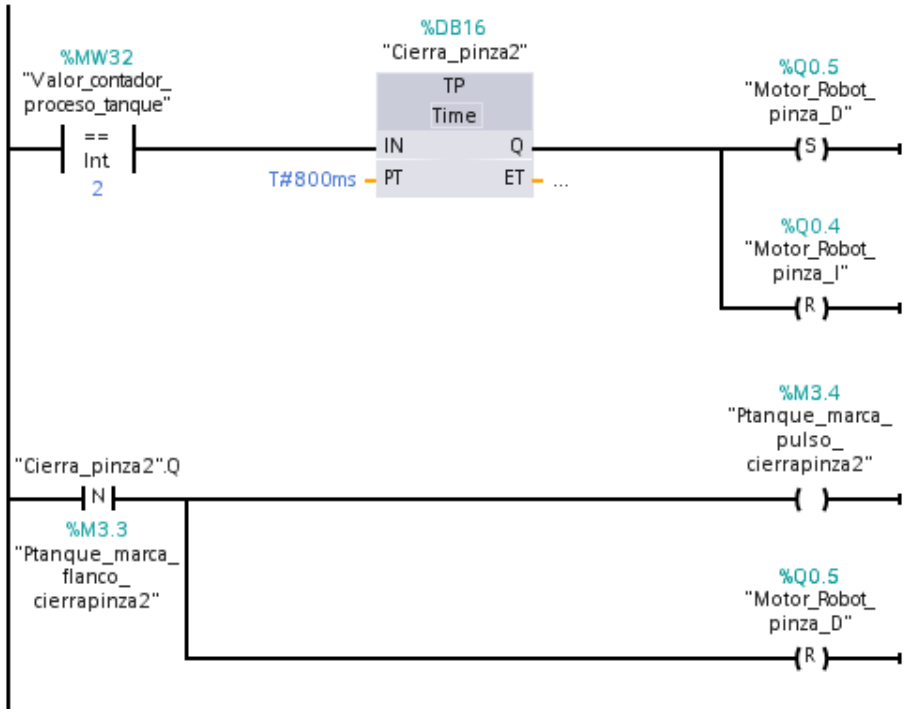
Segmento 2:

Baja el cuerpo del robot



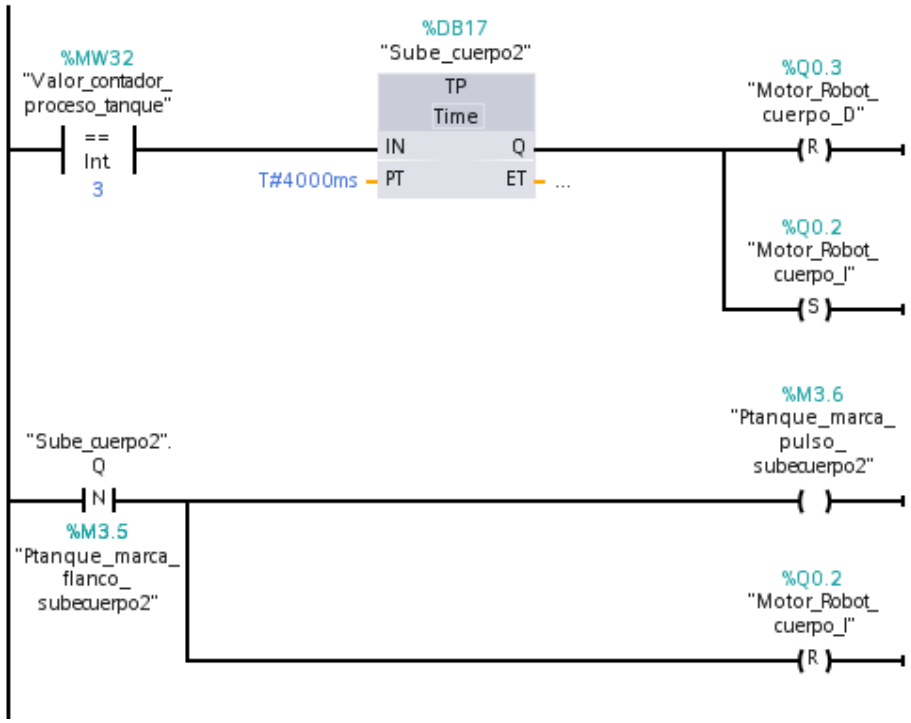
Segmento 3:

Cierra la pinza



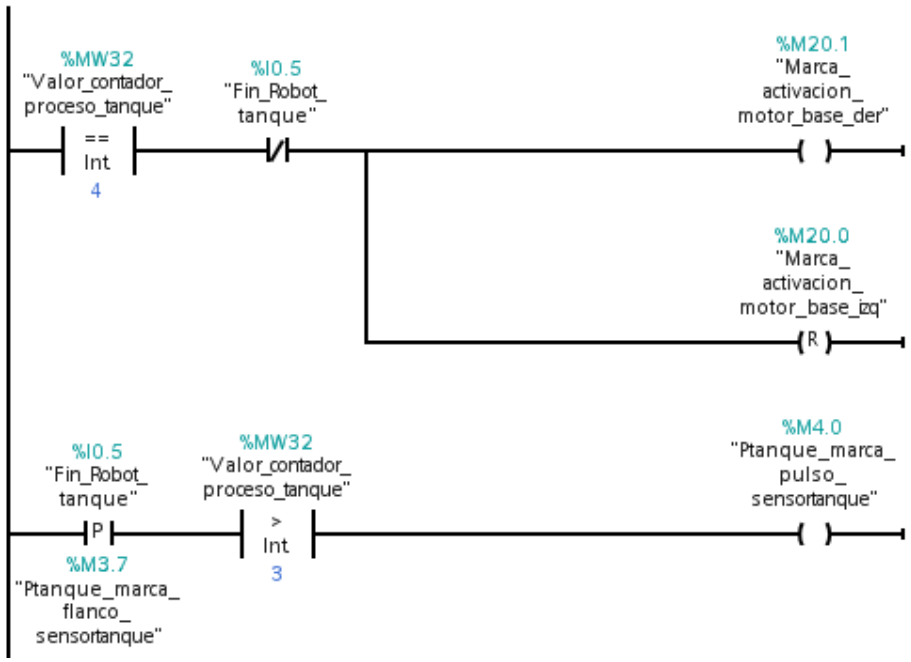
Segmento 4:

Sube el cuerpo del robot



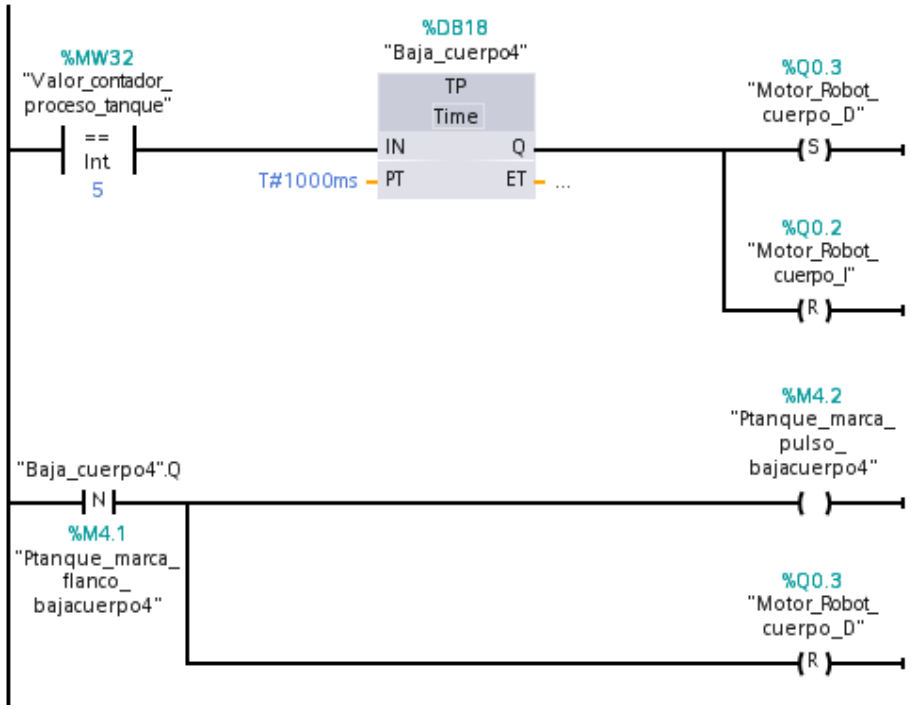
Segmento 5:

Gira la base hasta el sensor de fin tanque



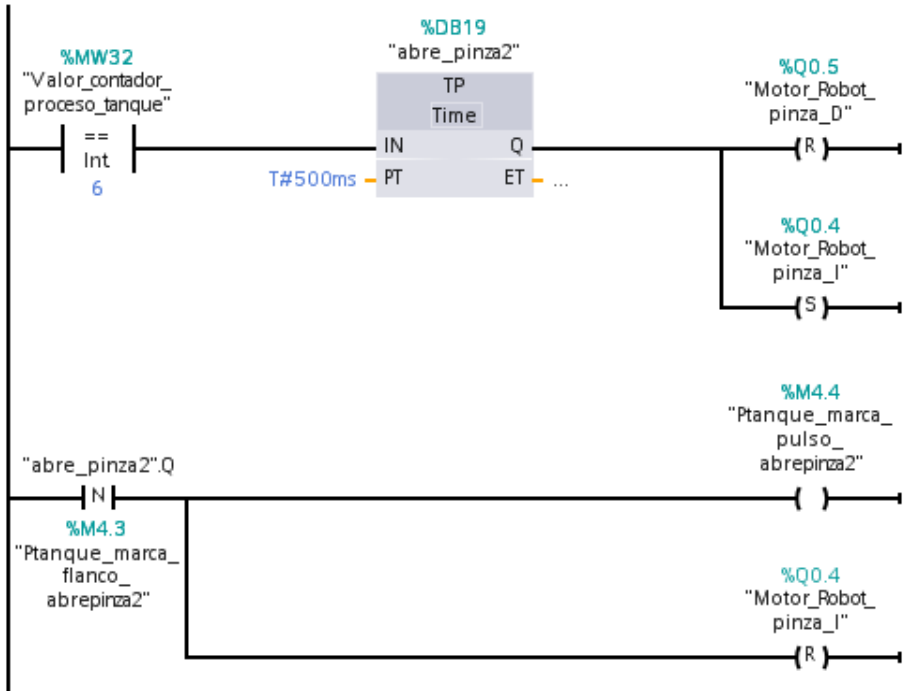
Segmento 6:

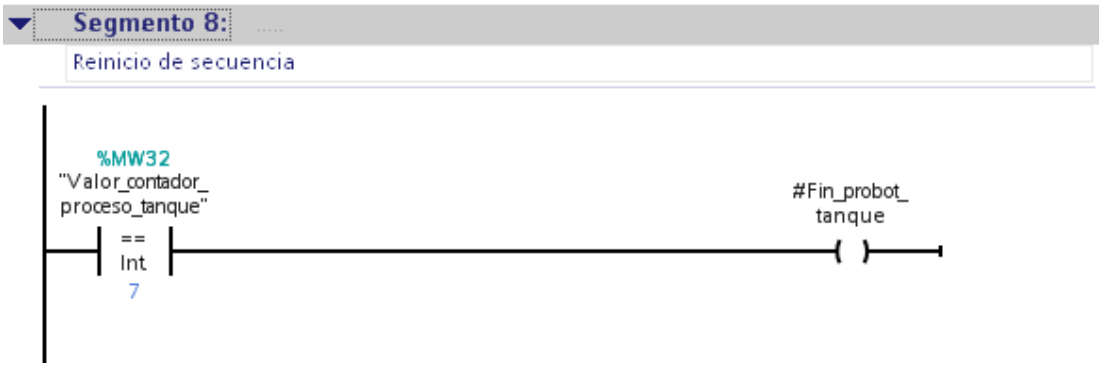
Baja el cuerpo del robot



Segmento 7:

Abre la pinza




Segmento 8:
Reinicio de secuencia
%MW32
"Valor_contador_
proceso_tanque"
==
Int
7
#Fin_probot_
tanque

Marcas utilizadas

Variables PLC

	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Comentario
1	Sensor_capacitivo	Bool	%I0.0		Señal Q, cable negro / Positivo café, Azul ...
2	Sensor_inductivo	Bool	%I0.1		Señal cable negro
3	Sensor_optico	Bool	%I0.2		Señal Q cable negro, blanco a tierra
4	Motor_Robot_base_I	Bool	%Q0.0		B2
5	Motor_Robot_cuerpo_D	Bool	%Q0.3		A2
6	Motor_Robot_pinza_I	Bool	%Q0.4		B2
7	Fin_Robot_banda	Bool	%I0.3		Magnético 1
8	Fin_Robot_deposito	Bool	%I0.4		Magnético 2
9	Fin_Robot_tanque	Bool	%I0.5		Magnético 3
10	Switch_Robot_cuerpo	Bool	%I0.6		MIcro 2
11	Switch_Robot_pinza	Bool	%I0.7		Micro 1
12	Motor_Robot_cuerpo_I	Bool	%Q0.2		A1
13	Motor_Robot_pinza_D	Bool	%Q0.5		B1
14	Motor_Robot_base_D	Bool	%Q0.1		B1
15	Motor_banda	Bool	%Q4.0		A1
16	Valor_contador_proceso_banda	Int	%MW30		
17	Tag_2	Int	%MW20		
18	Tag_3	Byte	%MB10		
19	Valor_contador_proceso_deposito	Word	%MW31		
20	Pbanda_marca_flanco_ingreso_ho...	Bool	%M0.0		
21	Pbanda_marca_pulso_ingreso_ho...	Bool	%M0.1		
22	Pbanda_marca_flanco_dentro_ho...	Bool	%M0.2		
23	Pbanda_marca_pulso_dentro_hor...	Bool	%M0.3		
24	Pbanda_marca_flanco_salida_hor...	Bool	%M0.4		
25	Pbanda_marca_pulso_salida_horn...	Bool	%M0.5		
26	Pdeposito_marca_salida_contador	Bool	%M1.0		
27	Pdeposito_marca_flanco_bajacuer...	Bool	%M1.1		
28	Pdeposito_marca_pulso_bajacuer...	Bool	%M1.2		
29	Pdeposito_marca_flanco_cierrapin...	Bool	%M1.3		
30	Pdeposito_marca_pulso_cierrapin...	Bool	%M1.4		
31	Pdeposito_marca_flanco_subecue...	Bool	%M1.5		
32	Pdeposito_marca_pulso_subecuer...	Bool	%M1.6		
33	Pbanda_marca_flanco_optico	Bool	%M1.7		
34	Pdeposito_marca_pulso_sensorde...	Bool	%M2.0		
35	Pdeposito_marca_flanco_bajacuer...	Bool	%M2.1		
36	Pdeposito_marca_pulso_bajacuer...	Bool	%M2.2		
37	Pdeposito_marca_flanco_abrepinza	Bool	%M2.3		
38	Pdeposito_marca_pulso_abrepinza	Bool	%M2.4		
39	Ptanque_marca_flanco_bajacuerp...	Bool	%M3.1		
40	Pbanda_marca_pulso_optico	Bool	%M0.6		
41	Marca_fin_proceso_banda	Bool	%M0.7		
42	Valor_contador_proceso_tanque	Int	%MW32		
43	Ptanque_marca_salida_contador	Bool	%M3.0		
44	Ptanque_marca_pulso_bajacuerp...	Bool	%M3.2		
45	Ptanque_marca_pulso_cierrapinza...	Bool	%M3.4		
46	Ptanque_marca_pulso_subecuerp...	Bool	%M3.6		
47	Ptanque_marca_pulso_sensortan...	Bool	%M4.0		
48	Ptanque_marca_pulso_bajacuerp...	Bool	%M4.2		
49	Ptanque_marca_pulso_abrepinza2	Bool	%M4.4		
50	Ptanque_marca_flanco_cierrapinz...	Bool	%M3.3		
51	Ptanque_marca_flanco_subecuer...	Bool	%M3.5		
52	Ptanque_marca_flanco_sensortan...	Bool	%M3.7		
53	Ptanque_marca_flanco_bajacuerp...	Bool	%M4.1		
54	Ptanque_marca_flanco_abrepinza2	Bool	%M4.3		
55	Marca_fin_proceso_deposito	Bool	%M100.0		
56	Valor_contador_secuencia_inicio	Int	%MW33		
57	Pinicio_marca_flanco_robotbaseizq	Bool	%M5.0		
58	Pinicio_marca_pulso_robotbaseizq	Bool	%M5.1		
59	Tag_44	Bool	%M200.0		
60	Tag_45	Bool	%M200.1		
61	Marca_fin_secuencia_inicio	Bool	%M100.1		
62	Pulsante_inicio	Bool	%I4.0		Otro lado a 24Vcc
63	Marca_flipflop	Bool	%M101.0		
64	Tag_49	Bool	%M101.1		
65	elemento_metalico	Bool	%M300.0		
66	Marca_magnetico_banda	Bool	%M100.2		
67	Marca_fin_proceso_tanque	Bool	%M100.3		
68	Pdeposito_marca_flanco_sensord...	Bool	%M10.1		
69	Pinicio_marca_flanco_tempseguri...	Bool	%M10.7		
70	Marca_activacion_motor_base_der	Bool	%M20.1		
71	Marca_activacion_motor_base_izq	Bool	%M20.0		
72	Pdeposito_marca_motorbaseder	Bool	%M20.2		
73	Marca_pulsante_inicio_paro	Bool	%M11.1		
74	Pulsante_paro	Bool	%I4.1		Otro lado a 24 Vcc
75	Tag_59	Bool	%M11.2		
76	Tag_1	Bool	%M500.1		
77	Tag_4	Bool	%M100.4		

Anexo D: Modelo de prácticas

UNIVERSIDAD DEL AZUAY

Laboratorio de Instrumentación Industrial

Tipo de sensor o equipo objeto de la práctica:_____

Fecha: _____

Realizado por:

_____

0.1.Presentación de la práctica.

_____
_____
_____
_____
_____

0.2.Requisitos y conocimientos previos.

Lecturas recomendadas:

[1]. _____
[2]. _____

Precauciones y verificación de las protecciones:

_____
_____
_____
_____
_____

Evaluaciones:

Se realizará una evaluación de los conocimientos previos y de los adquiridos con la realización de esta práctica.

0.3.Objetivos:

- Estudiar y comprobar el principio de funcionamiento del instrumento_____

- Configurar mediante el panel del instrumento los parámetros necesarios para su correcto funcionamiento.

  .

0.4.Equipos, instrumentos y software.

- _____
- _____
- _____

0.5.Marco Teórico.

_____
_____
_____
_____
_____

0.6. Procedimiento.

0.6.1. Procedimiento.

_____
_____
_____
_____
_____
_____

0.6.2.. Caracterización del instrumento.

Se debe observar las siguientes características del instrumento y realizar una descripción.

a) Ubicar al equipo según la cadena de medición.

_____
_____
_____
_____
_____

b) Tipo de alimentación.

_____
_____
_____
_____
_____

c) Tipo de señal de salida.

_____
_____
_____
_____
_____

d) Tipo de comunicación del equipo.

_____
_____
_____
_____
_____

e) Qué tipo de aplicaciones se puede hacer con este equipo?

_____
_____
_____
_____
_____

0.6.2.2. Configuración mediante el panel del equipo.

_____
_____
_____
_____
_____

0.7. Conclusiones, observaciones y recomendaciones.

Conclusiones:

_____
_____
_____
_____
_____

Observaciones:

_____
_____
_____
_____
_____

Recomendaciones:

_____

_____

_____

_____

_____

0.8. Referencias.

Anexo E: Configuración del controlador PID

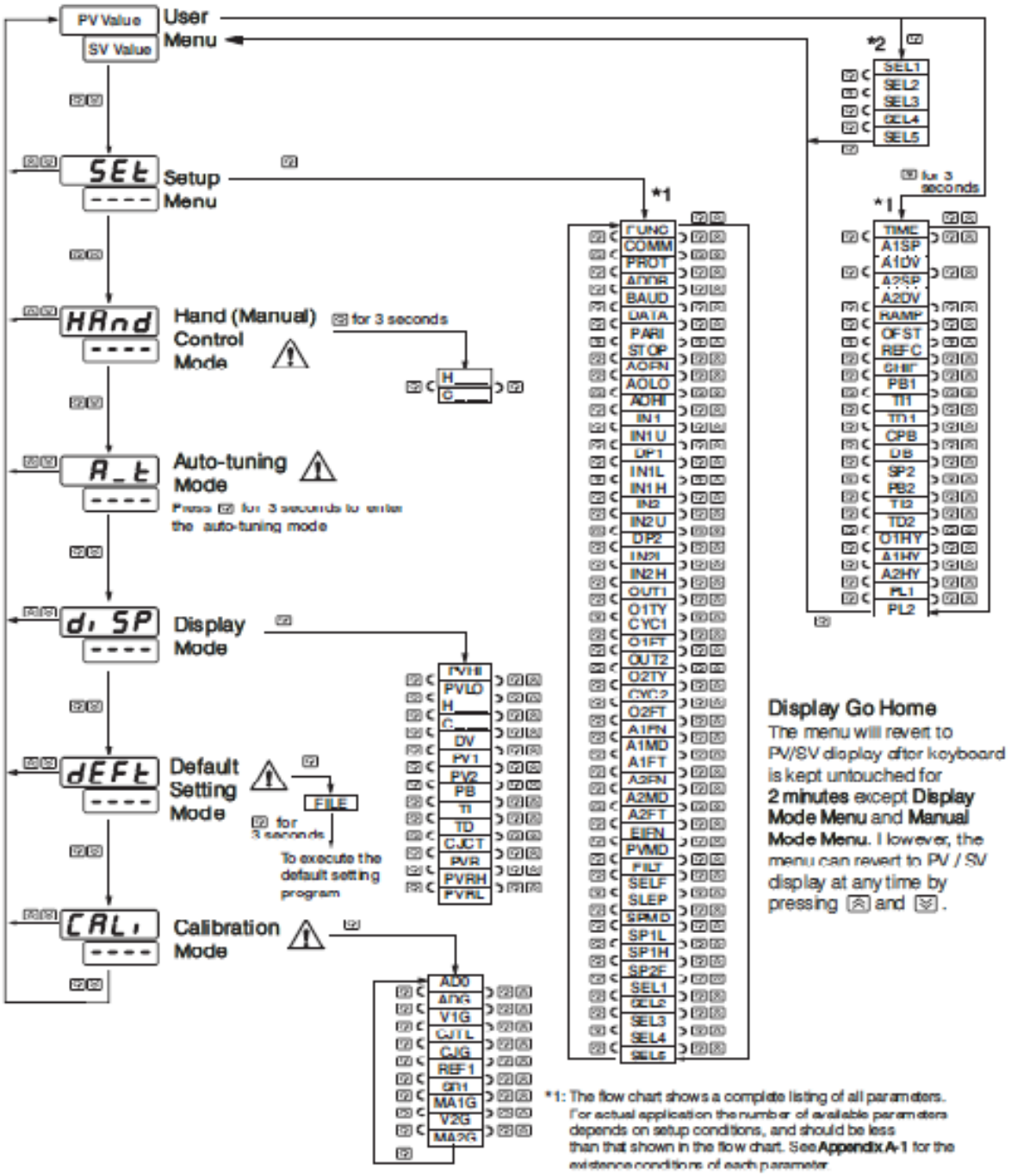
Significado de pulsantes en el panel frontal:

1−4 Keys and Displays

The unit is programmed by using three keys on the front panel. The available key functions are listed in following table.

Table 1.2 Keypad Operation

TOUCHKEYS	FUNCTION	DESCRIPTION
⩓	Up Key	Press and release quickly to increase the value of parameter. Press and hold to accelerate increment speed.
⩔	Down Key	Press and release quickly to decrease the value of parameter. Press and hold to accelerate decrement speed.
⟲	Scroll Key	Select the parameter in a direct sequence.
Press ⟲ for at least 3 seconds	Enter Key	Allow access to more parameters on user menu, also used to Enter manual mode, auto-tune mode, default setting mode and to save calibration data during calibration procedure.
Press ⟲ for at least 6 seconds	Start Record Key	Reset historical values of PVHI and PVLO and start to record the peak process value.
Press ⟲ ⩓	Reverse Scroll Key	Select the parameter in a reverse sequence during menu scrolling.
Press ⟲ ⩔	Mode Key	Select the operation Mode in sequence.
Press ⩓ ⩔	Reset Key	Reset the front panel display to a normal display mode, also used to leave the specific Mode execution to end up the auto-tune and manual control execution, and to quit the sleep mode.
Press ⩓ ⩔ for at least 3 seconds	Sleep Key	The controller enters the sleep mode if the sleep function (SLEP) is enabled (select YES).
Press ⟲ ⩓ ⩔	Factory Key	By entering correct security code to allow execution of engineering programs. This function is used only at the factory to manage the diagnostic reports. The user should never attempt to operate this function.


PV Value
SV Value
User Menu
SEt
Setup Menu
HAnd
Hand (Manual) Control Mode
for 3 seconds
A_t
Auto-tuning Mode
Press for 3 seconds to enter the auto-tuning mode
di SP
Display Mode
dEFt
Default Setting Mode
FILE
for 3 seconds
To execute the default setting program
CALi
Calibration Mode
*1
*2
for 3 seconds
Display Go Home
The menu will revert to PV/SV display after keyboard is kept untouched for 2 minutes except Display Mode Menu and Manual Mode Menu. However, the menu can revert to PV / SV display at any time by pressing and .
*1: The flow chart shows a complete listing of all parameters. For actual application the number of available parameters depends on setup conditions, and should be less than that shown in the flow chart. See Appendix A-1 for the existence conditions of each parameter.