



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍAS

CARRERA:

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTRÓNICO

**TEMA:**

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA UN  
PROCESO DE CORTE TRANSVERSAL Y TRANSPORTE DE PAPEL  
CONTROLADO Y SUPERVISADO DESDE UN SISTEMA SCADA DISEÑADO EN  
LABVIEW”

**AUTORA:**

ALBA ELIZABETH RIVADENEIRA JORDÁN

**TUTOR**

MSc. GARY AMPUÑO AVILÉS

GUAYAQUIL, 2015

## **DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, Alba Elizabeth Rivadeneira Jordán declaro bajo juramento que los conceptos, análisis y conclusiones desarrolladas en el trabajo de tesis son exclusivamente de mi autoría y propiedad intelectual de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, Marzo del 2015

---

Alba Rivadeneira Jordán

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios, ya que sin la voluntad de él, no hubiese continuado con mi carrera y a quienes nunca dejaron de creer en mí, de apoyarme incondicionalmente, apoyarme en mis ganas de salir adelante a pesar de las adversidades, quienes se sacrificaron económicamente para poder culminar mis estudios y por sus consejos, ellos son mis padres Fernando Rivadeneira Coello y Alba Jordán Morí, excelente profesor y licenciada.

A mi pequeño sobrino César Cadena Rivadeneira por sacarme muchas sonrisas y convertirse en un motivo más, para hacer sentir orgullosa a mi familia.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por haberme dado la oportunidad de concluir con éxito mi carrera profesional con grandes satisfacciones, sintiéndome orgullosa por lo logrado.

A mi familia, quienes me han apoyado moralmente, animándome a continuar y no flaquear y quienes también me han apoyado económicamente, cuya ayuda no ha sido en vano; ellos, que día a día han labrado mi conciencia para ser de mí una persona útil tanto para ellos como para la sociedad y por los valores inculcados.

A los maestros de la Universidad Politécnica Salesiana quienes me brindaron, compartieron sus conocimientos, sus experiencias, sus sabios consejos para aplicarlos en mi vida profesional y enfrentar con valentía y con ética profesional cualquier situación que tenga que afrontar en este camino profesional.

A mi tutor MSc. Gary Ampuño Avilés por darme la oportunidad de recurrir a él para impartirme sus conocimientos profesionales esenciales para la culminación de este trabajo de investigación.

## ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I. EL PROBLEMA .....	2
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Delimitación.....	2
1.3 Objetivos .....	3
1.3.1 Objetivo general .....	3
1.3.2. Objetivos específicos .....	3
1.4 Justificación.....	4
1.5 Variables e indicadores .....	4
1.6 Metodología .....	4
1.7 Población y muestra .....	5
1.8 Descripción de la propuesta .....	5
1.9 Beneficiarios .....	6
1.10 Impacto.....	6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	7
2.1 Antecedente.....	7
2.2 Métodos de control y detección .....	7
2.2.1 Sensores de proximidad.....	7
2.2.2 Clasificación de los sensores .....	8
2.3 Sensores analógicos .....	8
2.3.1 Sensores ultrasónicos .....	8
2.4 Sensor de posición .....	9
2.4.1 Encoder incremental.....	9
2.5 Actuadores neumáticos .....	10
2.5.1 Electroválvulas .....	10
2.5.2 Cilindros neumáticos .....	11
2.5.2.1 Cilindro de doble efecto .....	11

2.6	Actuadores eléctricos .....	12
2.6.1	Motores paso a paso .....	12
2.7	Controlador lógico programable .....	14
2.7.1	Campos de aplicación.....	14
2.7.2	Arquitectura de un autómata programable .....	15
2.7.2.1	Entradas digitales .....	16
2.7.2.2	Salidas digitales.....	17
2.7.2.3	Entradas analógicas .....	17
2.7.2.4	Salidas analógicas.....	18
2.8	Comunicación industrial Ethernet.....	19
2.8.1	Router .....	20
2.9	Sistemas SCADA.....	21
2.10	Sistemas de control .....	22
2.11	Sistema de control en lazo abierto .....	22
2.11.1	Sistemas de control en lazo cerrado .....	24
2.11.2	Controladores PID.....	27
2.11.3	Método de sintonización de Ziegler and Nichols .....	27
2.11.3.1	Método de Ziegler – Nichols basado en la respuesta escalón.....	28
CAPÍTULO III. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO.		
.....		30
3.1	Planteamiento del proceso.....	30
3.2	Descripción de las partes del diseño mecánico .....	32
3.3	Descripción de los elementos de control y fuerza instalados.....	35
3.3.1	Controlador lógico programable S7-1200 CPU1214C .....	36
3.3.2	Signal Board .....	37
3.3.3	Accionamiento para motor paso a paso.....	38
3.3.4	Características técnicas del encoder incremental .....	41

3.3.5	Características técnicas del motor paso a paso.....	41
3.3.6	Características técnicas del sensor ultrasónico.....	42
3.3.7	Electroneumática .....	43
3.4	Programa de parametrización y automatización .....	43
3.4.1	Descripción del proceso .....	43
3.4.2	Software TIA Portal V12 .....	44
3.4.3	Programación del controlador lógico programable .....	46
3.4.3.1	Objetos tecnológicos .....	46
3.4.4	Configuración del HSC para la lectura del encoder incremental. ....	53
3.4.5	Descripción de los Bloques de Programa del PLC CPU1214C. ....	54
3.4.6	SCADA mediante LabVIEW .....	55
3.5	Resultados del módulo didáctico .....	57
CAPÍTULO IV. PRÁCTICAS EN EL MODULO DIDÁCTICO .....		62
4.1	Práctica #1. Reconocimiento de los sensores y actuadores del módulo didáctico de corte y almacenamiento de papel. ....	62
4.2	Práctica #2. Ajustes de programación del motor de paso desbobinador.....	67
4.3	Práctica #3. Ajustes de programación del motor de paso rodillo alimentador... ..	76
4.4	Práctica #4 Configuración del sensor ultrasónico .....	80
4.5	Práctica #5. Configuración del encoder incremental. ....	83
4.6	Práctica #6. Comunicación entre el modulo didáctico y el SCADA en LabVIEW empleando NI OPC Server.....	87
4.7	Práctica #7. Uso en manual del módulo didáctico. ....	97
4.8	Práctica #8. Uso en automático del módulo didáctico aplicando un controlador a lazo abierto. ....	103
4.9	Práctica #9. Uso en automático del módulo didáctico aplicando un controlador a lazo cerrado. ....	106
4.10	Práctica #10. Proceso de corte con almacenamiento de papel. ....	108
CONCLUSIONES .....		112

RECOMENDACIONES .....	113
CRONOGRAMA .....	114
PRESUPUESTO .....	115
REFERENCIAS .....	116
ANEXOS .....	119



## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO II

Tabla 2. 1 Método de la respuesta al escalón.....	29
---------------------------------------------------	----

### CAPÍTULO III

Tabla 3. 1 Descripción de los estados LEDs.....	39
Tabla 3. 2 Selección de los parámetros del motor paso a paso.....	39
Tabla 3. 3 Datos obtenidos del controlador PID.....	59
Tabla 3. 4 Datos de obtenidos de las pruebas con lazo abierto.....	60

### CAPÍTULO IV

Tabla 4. 1 Configuración de las señales de control del accionamiento. ....	69
Tabla 4. 2 Variables para el control en modo jog. ....	73
Tabla 4. 3 Configuración de las señales de control del accionamiento. ....	77
Tabla 4. 4 Datos de obtenidos de las pruebas del módulo didáctico.....	105
Tabla 4. 5 Datos obtenidos del controlador PID.....	107

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

### CAPÍTULO I

Figura 1. 1 Ubicación del proyecto de titulación implementado en la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil. (Google Maps, 2014).....	3
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---

### CAPÍTULO II

Figura 2. 1 Sensores ultrasónicos. (PEPPERL+FUCHS, 2014) .....	8
Figura 2. 2 Alcances de un detector de ultrasonidos. (BANNER, 2014).....	9
Figura 2. 3 Disco óptico del encoder incremental. (SILGE ELECTRONICA S. A., 2000) .....	9
Figura 2. 4 Actuadores neumáticos. (Gates Worldwide, 1999).....	10
Figura 2. 5 Electroválvula 5/2 vías. (E·MC, 2013) · .....	10
Figura 2. 6 Rutas de fluido con una válvula 5/2. (sapiensman, 2014) .....	11
Figura 2. 7 Cilindro de doble efecto. (rodavigo.net, 2013).....	12
Figura 2. 8 Motor paso a paso bipolar. (AUTOMATIONDIRECT, 1999) .....	13
Figura 2. 9 Secuencia de giro de un motor paso a paso bipolar. (Lajara & Pelegrí, 2011) .....	13
Figura 2. 10 PLC gama S7 – 1200. (SIEMENS, 2009) .....	14
Figura 2. 11 Esquema general de la arquitectura de un autómeta programable. Modificado de (Piedrafita, 2004) .....	15
Figura 2. 12 Etapas en el tratamiento de una señal en una tarjeta de entradas digitales. Modificado de (Piedrafita, 2004) .....	16
Figura 2. 13 Señal tipo relé de un módulo de salidas digitales. Modificado de (Piedrafita, 2004).....	17
Figura 2. 14 Tratamiento de una señal en un módulo de entrada analógica. Modificado de (Piedrafita, 2004) .....	18
Figura 2. 15 Tratamiento de una señal en un módulo de salida analógica. Modificado de (Piedrafita, 2004).....	18
Figura 2. 16 Ejemplo de subred Industrial Ethernet. (El Autor).....	19
Figura 2. 17 Router TP LINK. (TP-LINK, 2014).....	20
Figura 2. 18 Sistema de control en lazo abierto. (SILGE ELECTRONICA S. A., 2000) .....	23

Figura 2. 19 Sistema de control en lazo abierto. (SILGE ELECTRONICA S. A., 2000) .....	23
Figura 2. 20 Sistema de control en lazo cerrado. (SILGE ELECTRONICA S. A., 2000) .....	25
Figura 2. 21 Sistema de control en lazo cerrado. (SILGE ELECTRONICA S. A., 2000) .....	25
Figura 2. 22 Controlador PID. (Ogata, 1998) .....	27
Figura 2. 23 Curva de respuesta en forma de S. (DULHOSTE, Jean-François).....	28

### **CAPÍTULO III**

Figura 3. 1 Diagramas de bloque. (El Autor).....	30
Figura 3. 2 Diagrama esquemático del módulo didáctico. (El Autor) .....	31
Figura 3. 3 Consola de control del módulo didáctico. (El Autor).....	32
Figura 3. 4 Etapa de desbobinado. (El Autor).....	32
Figura 3. 5 Soporte del sensor ultrasónico. (El Autor) .....	33
Figura 3. 6 Rodillos de arrastre. (El Autor) .....	33
Figura 3. 7 Relación de transmisión 1:1 de piñones. (El Autor).....	34
Figura 3. 8 Zona de medición. (El Autor).....	34
Figura 3. 9 Zona de corte. (El Autor).....	35
Figura 3. 10 Elementos de control instalados en el módulo. (El Autor).....	35
Figura 3. 11 PLC S7-1200 instalado en la consola. (SIEMENS, 2009) .....	36
Figura 3. 12 Signal board de 2DI/2DO. (Setecind, 2010).....	37
Figura 3. 13 Accionamiento para motor paso a paso. (AUTOMATIONDIRECT, 1999) .....	38
Figura 3. 14 Motor paso a paso bipolar. (AUTOMATIONDIRECT, 1999) .....	42
Figura 3. 15 Encoder incremental tipo rueda. (Hangyoung nux, 2013).....	41
Figura 3. 16 Sensor ultrasónico. (BANNER, 2014) .....	42
Figura 3. 17 Circuito neumático. (El Autor) .....	43
Figura 3. 18 Icono de acceso directo. (TIA Portal V12, 2012).....	44
Figura 3. 19 Lista de PLC SIEMENS de la gama S7-1200. (El Autor).....	45
Figura 3. 20 Configuración del hardware de la CPU 1214C. (El Autor).....	45
Figura 3. 21 Asignación de dirección de red. (El Autor).....	46
Figura 3. 22 Componentes del Hardware. (El Autor) .....	47

Figura 3. 23 Agregar un objeto tecnológico. (El Autor) .....	47
Figura 3.24 Propiedades de los parámetros básicos del objeto tecnológico. (El Autor) .....	48
Figura 3. 25 Parametrización del generador de impulsos. (El Autor).....	48
Figura 3. 26 Configuración del HSC para el generador de impulsos. (El Autor) .....	49
Figura 3. 27 Asignación de las señales de accionamiento. (El Autor).....	49
Figura 3.28 Ajustes de los valores de mecánica del eje del rodillo de arrastre inferior. (El Autor) .....	50
Figura 3. 29 Configuración de finales de carrera por software. (El Autor) .....	51
Figura 3. 30 Ajustes de los valores de dinámica del motor. (El Autor).....	52
Figura 3. 31 Activación del panel de mando. (El Autor).....	52
Figura 3. 32 Ventana de visualización del estado de accionamiento. (El Autor) .....	53
Figura 3. 33 Configuración de contador rápido. (El Autor).....	53
Figura 3. 34 Variable designada al contador rápido (HSC_5). (El Autor) .....	54
Figura 3. 35 Bloques de programación del PLC. (El Autor) .....	54
Figura 3. 36 Sistema SCADA de un proceso de corte. (El Autor).....	55
Figura 3. 37 Variables de control creadas en NI OPC Servers. (El Autor).....	56
Figura 3. 38 Diagrama de la red de comunicación. (El Autor) .....	56
Figura 3. 39 Estructura mecánica del módulo didáctico. (El Autor) .....	57
Figura 3. 40 Datos de operación en modo automático. (El Autor) .....	58
Figura 3. 41 Datos de medición del sensor ultrasónico. (El Autor).....	59
Figura 3. 42 Grafica del controlador PID. (El Autor) .....	60
Figura 3. 43 Ventana de configuración de distintas secuencias de corte (El Autor) .	61

## **CAPÍTULO IV**

Figura 4. 1 Hoja técnica de PLC S7-1200. (El Autor).....	63
Figura 4. 2 Hoja técnica del accionamiento del motor de pasos. (El Autor) .....	63
Figura 4. 3 Datos técnicos del encoder incremental. (El Autor).....	64
Figura 4. 4 Datos técnicos del sensor ultrasónico. (El Autor) .....	64
Figura 4. 5 Datos técnicos de la electroválvula. (El Autor).....	64
Figura 4. 6 Datos técnicos del motor de pasos del eje de bobina. (El Autor) .....	65
Figura 4. 7 Datos técnicos del motor de pasos del eje del rodillo de arrastre. (El Autor) .....	65

Figura 4. 8 Datos técnicos del cilindro neumático. (El Autor) .....	65
Figura 4. 9 Diagrama de control entre el motor del eje de la bobina y el autómeta. (El Autor).....	68
Figura 4. 10 Configuración de un nuevo objeto tecnológico. (El Autor) .....	68
Figura 4. 11 Selección del generador de impulsos. (El Autor) .....	69
Figura 4. 12 Parámetros avanzados del objeto tecnológico. (El Autor).....	70
Figura 4. 13 Señales de control para el accionamiento del Eje_Bobina. (El Autor)..	70
Figura 4. 14 Creación de un bloque de función. (El Autor).....	71
Figura 4. 15 Instrucción MC_Power para habilitación del eje. (El Autor) .....	71
Figura 4. 16 Configuración del eje en la instrucción MC_Power. (El Autor) .....	72
Figura 4. 17 Creación de un nuevo bloque de datos. (El Autor).....	72
Figura 4. 18 Configuración de la instrucción MC_Reset. (El Autor) .....	72
Figura 4. 19 Configuración de la instrucción MC_Halt. (El Autor) .....	73
Figura 4. 20 Configuración de la instrucción MC_MoveJog. (El Autor) .....	74
Figura 4. 21 Configuración de la instrucción MC_MoveVelocity. (El Autor).....	74
Figura 4. 22 Diagrama de control entre el motor rodillo alimentador y el autómeta. (El Autor) .....	77
Figura 4. 23 Configuración de datos de Mecánica. (El Autor) .....	78
Figura 4. 24 Configuración de la instrucción MC_Relative. (El Autor).....	78
Figura 4. 25 Configuración de la instrucción MC_Home. (El Autor) .....	79
Figura 4. 26 Configuración de la instrucción MC_MoveAbsolute. (El Autor) .....	79
Figura 4. 27 Medición de altura de sensor ultrasónico. (El Autor).....	80
Figura 4. 28 Gráficas de escalamiento. (El Autor).....	81
Figura 4. 29 Gráfica de escalamiento de la entrada analógica. (El Autor) .....	81
Figura 4. 30 Instrucción de normalización. (El Autor) .....	82
Figura 4. 31 Instrucción de escalamiento. (El Autor) .....	82
Figura 4. 32 Activación del contador rápido HASC_5. (El Autor) .....	84
Figura 4. 33 Configuración del contador rápido. (El Autor).....	84
Figura 4. 34 Conversión la variable de contaje de doble palabra a real. (El Autor). 85	
Figura 4. 35 Instrucción de multiplicación. (El Autor).....	86
Figura 4. 36 Configuración de la instrucción del contador rápido (HSC_5). (El Autor) .....	86
Figura 4. 37 Creación un nuevo servidor en NI OPC Servers. (El Autor).....	88
Figura 4. 38 Creación de un nuevo canal en el servidor. (El Autor).....	88

Figura 4. 39 Asignación del controlador para el PLC. (El Autor) .....	89
Figura 4. 40 Selección de la tarjeta de red de la PC. (El Autor) .....	89
Figura 4. 41 Configuración de los parámetros de escritura. (El Autor).....	90
Figura 4. 42 Resumen de las configuraciones realizadas al canal. (El Autor).....	90
Figura 4. 43 Creación de un nuevo dispositivo. (El Autor) .....	91
Figura 4. 44 Selección del modelo de dispositivo. (El Autor) .....	91
Figura 4. 45 Asignación de la dirección IP del dispositivo. (El Autor).....	92
Figura 4. 46 Ventana de resumen de las configuraciones del dispositivo. (El Autor)	92
Figura 4. 47 Creación de variables. (El Autor) .....	93
Figura 4. 48 Ventana de OPC Quick Client. (El Autor) .....	93
Figura 4. 49 Creación de un nuevo proyecto. (El Autor).....	94
Figura 4. 50 Configuración de LabVIEW como cliente OPC. (El Autor).....	94
Figura 4. 51 Añadiendo variables al OPC Client. (El Autor) .....	95
Figura 4. 52 Colocación de las variables en el Front Panel. (El Autor).....	95
Figura 4. 53 Variables de OPC en la ventana de bloques de diagrama. (El Autor)...	96
Figura 4. 54 Desacople del eje de la bobina. (El Autor) .....	98
Figura 4. 55 Desajuste tope del eje de bobina. (El Autor) .....	98
Figura 4. 56 Colocación del eje de bobina. (El Autor) .....	98
Figura 4. 57 Dispositivos de protección. (El Autor) .....	99
Figura 4. 58 Pulsador de emergencia. (El Autor) .....	99
Figura 4. 59 Colocación del papel. (El Autor).....	99
Figura 4. 60 Tornillos del extremo izquierdo y derecho del rodillo de arrastre secundario. (El Autor).....	100
Figura 4. 61 Colocación del papel en el módulo didáctico. (El Autor) .....	100
Figura 4. 62 Colocación del sensor ultrasónico. (El Autor).....	101
Figura 4. 63 Tuercas mariposa de ajustes de lado izquierdo y derecho del soporte para el encoder tipo rueda. (El Autor).....	101
Figura 4. 64 Botón de test de la electroválvula. (El Autor) .....	101
Figura 4. 65 Botón de Manual Remoto. (El Autor) .....	102
Figura 4. 66 Ajustes de velocidad del eje de bobina. (El Autor) .....	104
Figura 4. 67 Controlador PID. (El Autor) .....	107
Figura 4. 68 Gráfica del controlador PID. (El Autor) .....	107
Figura 4. 69 Proyecto creado en Wincc SCADA. (El Autor) .....	109
Figura 4. 70 Agregar nuevo driver. (El Autor) .....	109

Figura 4. 71 Configuración del driver agregado. (El Autor).....	110
Figura 4. 72 Creación de variables. (El Autor) .....	110
Figura 4. 73 Enlaces de los campos numéricos con las variables creadas. (El Autor) .....	110
Figura 4. 74 Modulo de simulación de almacenamiento. (El Autor).....	111

## RESUMEN

AÑO	ALUMNOS	DIRECTOR DE TESIS	TEMA DE TESIS
2015	RIVADENEIRA JORDÁN, ALBA ELIZABETH	MSC. GARY AMPUÑO	“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA UN PROCESO DE CORTE TRANSVERSAL Y TRANSPORTE DE PAPEL CONTROLADO Y SUPERVISADO DESDE UN SISTEMA SCADA DISEÑADO EN LABVIEW”

La presente investigación de tesis de grado se basó en un proceso de corte de láminas de acero, con el objetivo de dar mayor facilidad de conseguir la materia prima, se utilizó como material a cortar el papel. El módulo didáctico tiene como función realizar el control de tensión del papel entre el área de la bobina de papel y los rodillos de arrastre, para ello se utiliza un sensor ultrasónico que se encarga de la detección, consistente del extremo del rollo, y que por medio de un regulador de lazo cerrado se determina la velocidad del eje de la bobina. De esta manera se evita la acumulación o falta de material.

El transmisor incremental tipo rueda instalado, permitió ejecutar el corte una vez que se indicó al controlador lógico programable que ha alcanzado la longitud ajustada en el SCADA por parte del usuario. El proceso garantiza un flujo continuo y estable de las hojas a la salida del sistema, mediante el control de velocidad de la bobina, en donde la tensión del papel se mantiene constante. Además el proceso posee una correcta sincronización entre los rodillos de arrastre principal y secundario, con lo cual cumple las condiciones requeridas para realizar un corte preciso y repetitivo.

El módulo didáctico, está diseñado para realizar el corte transversal de papel tanto en el modo de operación manual como en automático. En modo manual se actúa por



medio de pulsadores y en modo automática comienza a trabajar el PLC, quedando fuera de operación el modo manual.

**Palabras claves:** motores de paso, motion control, desbobinado, PC S7-1200.

## ABSTRACT

YEAR	STUDENT	THESIS DIRECTOR	THESIS TOPIC
2015	RIVADENEIRA JORDÁN, ALBA ELIZABETH	MSC. GARY AMPUÑO	“DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A TRAINING MODULE FOR A PROCESS OF CROSS SECTION AND PAPER TRANSPORT CONTROLLED AND MONITORED FROM A SCADA SYSTEM DESIGNED IN LABVIEW.”

This thesis research is based on a process of cutting steel sheets, in order to give greater ease of getting the raw material, has been used as material to cut the paper. The training module has the function of performing control of paper tension between the area of the paper reel and the pinch rollers, an ultrasonic sensor for it ensures that the consistent detection of the end of the roll is used, and that by means of a closed-loop controller determines the speed of the reel shaft. This will prevent the accumulation or lack of material.

The incremental encoder wheel type installed, allow you to run the court once the programmable logic controller has reached the set length in the SCADA by the user indicated. The process ensures a continuous and stable flow of sheets to the system output by the speed control reel, wherein the paper tension remains constant. Further, the process has a proper synchronization between the primary and secondary pinch rollers, which meets the requirements for accurate and repeatable cut.

The training module is designed to perform the cross-cutting role both in the manual mode and automatic. In manual mode is actuated by pushbuttons and automatic mode the PLC starts working, being out of operation manual operation mode.

**Keywords:** step motors, motion control, unwinding, PLC S7-1200.

## INTRODUCCIÓN

El presente proyecto trata sobre la elaboración de un módulo didáctico de un sistema de corte transversal de papel, en donde la longitud de corte se realiza mediante el control de velocidad y posición de los motores de paso. Por medio de un sistema SCADA diseñado en LabVIEW se realizarán los ajustes de los datos de velocidad, posición, longitud, número de cortes y además se visualizará el estado de operación en el que se encuentran los sensores y actuadores eléctricos instalados.

El objetivo principal del módulo es complementar los conocimientos teóricos impartidos por los docentes a los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana, mediante el desarrollo de prácticas en el laboratorio de automatización.

En el **Capítulo 1** se realiza el planteamiento y delimitación del problema, además se especifican los objetivos, la justificación, variables e indicadores, la metodología y técnicas que se aplican y una descripción de la propuesta.

En el **Capítulo 2** se desarrolla el marco teórico donde se especifican los conceptos de los elementos utilizados en la elaboración del módulo didáctico.

En el **Capítulo 3** se detalla la ubicación de los elementos de control y fuerza dentro de la estructura mecánica, también se describen sus características y se desarrollan las configuraciones en el software de programación.

En el **Capítulo 4** se elaboran las prácticas que el estudiante podrá realizar en el módulo didáctico.

## **CAPÍTULO I. EL PROBLEMA**

### **1.1 Planteamiento del problema**

Existen Universidades que complementan la enseñanza teórica con la práctica, por tal motivo, incorporan a su malla curricular prácticas en laboratorios, en los cuales se puedan ofrecer las aplicaciones necesarias a los conceptos teóricos transmitidos por los docentes, para darle un mejor entendimiento al estudiante.

Debido a los avances en el desarrollo del campo industrial y para fortalecer los conocimientos teóricos de los estudiantes, se decidió implementar en la Universidad Politécnica Salesiana un módulo didáctico de corte transversal, mismo que frecuentemente lo encontramos en industrias como metalúrgicas, que realizan el corte de láminas de acero los cuales difieren en tamaño, pero básicamente el principio de la tecnología del control de velocidad y posicionamiento es el mismo.

### **1.2 Delimitación**

El proyecto del módulo didáctico se desarrolló en un período comprendido desde enero 2014 hasta marzo 2015, el mismo está diseñado para realizar el control de tensión del papel entre la bobina y el rodillo de arrastre principal, esto se logra mediante el ajuste de velocidad de los ejes de los motores, cuyos datos son configurados en el PLC S7-1200, luego se efectúa el corte transversal de papel de acuerdo a la longitud ingresada en el sistema SCADA. Los límites de velocidad permitidos están entre de 80 mm/s como máximo y 10 mm/s como mínimo.

Para el corte transversal de papel se utilizó una bobina con un ancho de 30 cm, en donde, la longitud mínima a cortar es de 10cm y en la longitud máxima no se indican límites.

El programa realizado en LabVIEW para el control del módulo didáctico no se dispone de un HMI o una computadora, por lo cual se dejan los archivos fuentes en un dispositivo de almacenamiento, de esa manera se puede colocar el programa desde cualquier computadora.

El modulo didáctico está ubicado en el Laboratorio de Automatización Industrial.



**Figura 1. 1** Ubicación del proyecto de titulación implementado en la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil. (Google Maps, 2014)

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un módulo didáctico para la simulación de un proceso de corte transversal y almacenamiento de papel que sea controlado, supervisado utilizando un sistema SCADA diseñado en LabVIEW y un controlador lógico programable para el aprendizaje de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingenierías de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil.

#### 1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Realizar el diseño detallado del sistema de control eléctrico, neumático capaz realizar el proceso de corte transversal de papel.
- ✓ Implementar la comunicación con NI OPC SERVER para el monitoreo y control del sistema de corte transversal de papel y almacenamiento.
- ✓ Desarrollar una aplicación en LabVIEW para controlar, supervisar los distintos parámetros de proceso.

- ✓ Desarrollar pruebas de operación al vacío y con carga.
- ✓ Elaborar diez guías de prácticas, para que los estudiantes puedan elaborar las pruebas de funcionamiento del sistema de corte transversal y transporte de papel.

#### **1.4 Justificación**

En la actualidad la mayoría de las empresas industriales, optan por mejorar el tiempo de producción, reemplazando los procesos manuales por automáticos, es por ello que en este proyecto se desarrolla un prototipo en el cual se pueda simular la realidad de lo que frecuentemente puedan encontrar en grandes industrias.

Los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil complementan sus conocimientos adquiridos con las prácticas de laboratorio, interactuando con el controlador lógico programable y los elementos de control instalados en el módulo didáctico de corte transversal del papel.

#### **1.5 Variables e indicadores**

Las variables que se emplearon son la longitud de papel, el valor de la distancia desde el extremo de la onda que se forma en el proceso de desbobinado hasta el equipo de medición y la velocidad de línea empleada en el proceso. En cuanto a los indicadores tenemos los parámetros del PID, la cantidad de cortes realizados y la salida de la velocidad, en donde sus datos serán registrados, visualizados por un sistema SCADA realizado en LabVIEW y controlados por un PLC S7-1200.

#### **1.6 Metodología**

En este trabajo de titulación se emplearon los métodos y técnicas de investigación que se describen a continuación:

- ✓ En este proyecto se utilizaron dos métodos, los cuales son el método experimental que se aplicó al desarrollo de las pruebas que fueron realizadas para el funcionamiento óptimo del módulo, como la calibración con respecto a la velocidad en que se pueden realizar los cortes del papel y el método deductivo que una vez terminada las pruebas se obtuvieron datos donde se llegan a la

conclusión acerca de la respuesta de trabajo del control de lazo cerrado aplicado al módulo.

- ✓ Se utilizó la técnica documental para el desarrollo del marco teórico sustentándolo con la recolección de información de diferentes fuentes bibliográficas.

### **1.7 Población y muestra**

La población abarca a los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana que se encuentran en la carrera de Ingeniería Electrónica con especialización en sistemas industriales.

La muestra se obtuvo mediante consultas realizadas a estudiantes y docentes de las materias automatización industrial I, electiva III – monitoreo y se establece que en cada una de ellas hay un promedio de 25 alumnos, los cuales concuerda en la necesidad de un módulo didáctico de tipo industrial.

### **1.8 Descripción de la propuesta**

El proyecto se trata de la construcción de un módulo didáctico basado en un sistema de corte transversal y almacenamiento de papel, el control se lo realizó con el PLC S7-1200 que está enlazado mediante NI OPC Servers al sistema de control y supervisión diseñado en LabVIEW. El módulo consta de seguridad para garantizar la adecuada operación, protección física de los estudiantes y del módulo.

Se implementó un sensor ultrasónico que emite una señal ultrasónica en dirección a la superficie del extremo de la onda formada entre el motor de bobina y el motor del rodillo de arrastre. Las ondas ultrasónicas son reflejadas por el extremo de la onda, su retorno sirve para medir la distancia que existe y este valor es usado para el control de velocidad del eje de la bobina mediante un regulador de lazo cerrado.

Para el corte transversal se utilizó un transmisor incremental (o un transductor de datos angulares) que genera un número definido de impulsos por vuelta. El transmisor tiene dos pistas de registro de conteo diferentes, con las que es posible

determinar el sentido de giro. El PLC S7-1200 cuenta con el contador rápido integrado para los impulsos del transmisor incremental. El contador integrado apoya las dos pistas de registro del transmisor incremental y aumenta, o bien, disminuye el nivel del contador según el sentido de giro. El nivel de contador refleja la posición actual de la longitud.

Se realizó la simulación en el sistema SCADA WinCC Explorer de la etapa de almacenamiento, dicha etapa comienza a funcionar una vez terminado la cantidad de cortes ajustados. En la interfaz diseñada en LabVIEW se podrán asignar parámetros de proceso como velocidad aplicada al proceso, longitud y cantidad de cortes a realizar.

### **1.9 Beneficiarios**

Los estudiantes de la Facultad de Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil, de los ciclos superiores.

### **1.10 Impacto**

Con esta propuesta se tiene un impacto en los conocimientos de automatización de actuadores y sensores, lo cual les ofrecerá una ventaja al momento de salir al campo industrial y complementar sus conocimientos teóricos con la práctica.



## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Antecedente**

Según Recalde, Hidalgo y Moya (2011) un sistema de corte transversal, está compuesto por el área del desbobinado, cuya función es desenrollar el material por el movimiento del motor; los sistemas de guías, en donde, se utilizan rodillos de arrastres controlados por un motor que enviara el material al área donde se encuentra la cizalla, mecanismo que realiza el corte transversal a una cierta longitud, la cual es medida por un sensor.

En el prototipo industrial elaborado se destaca la aplicación del proceso de corte transversal por cizalla de guillotina, este se produce por efecto del apisonado de material entre dos hojas afiladas, el cual es muy utilizado a nivel industrial en los sectores metalúrgicos. Fagor (2003) indica que “el objeto de una línea de corte transversal es obtener formatos planos de una cierta longitud partiendo de una bobina madre”.

### **2.2 Métodos de control y detección**

#### **2.2.1 Sensores de proximidad**

Como indica Piedrafita (2004) para poder realizar el control de las maquinas se necesita que los controladores conozcan en qué posición se encuentran cada una de las partes móviles de las maquinas, de los objetos elaborados por ellas, o de variables que indican temperatura, presión. Para suministrar esa información al controlador será necesario que las maquinas dispongan de sensores denominados también captadores o detectores, los cuales se encuentran disponibles en el mercado con diferentes características ya que el uso depende de la aplicación que se le dé, con el objeto de responder a los múltiples problemas de detección que se plantean en las máquinas de fabricación. Los sensores que se pueden encontrar son finales de carrera, detectores de proximidad inductivos, detectores de proximidad capacitivos, ultrasónicos, ópticos.

## 2.2.2 Clasificación de los sensores

Se pueden clasificar a los sensores según el tipo de señal suministrada a la salida, los cuales se describen a continuación:

- ✓ Sensores analógicos

Proveen una señal continua a una variable analógica, como pueden ser presión, temperatura, velocidad, posición (Piedrafita, 2004).

- ✓ Sensores “Todo o nada”

La característica de este tipo de señal es que solo trabaja en dos estados que se asocian al cierre o apertura de un contacto eléctrico. Los sensores que trabajan con estas condiciones son los finales de carrera, detector de proximidad inductivo, detector de proximidad capacitivo, fotocélulas y estos son los más utilizados en el campo de automatización (Piedrafita, 2004).

- ✓ Sensores de posición, Encoders

Disponen en su salida una señal codificada y la transmisión de señal la efectúan por medio de una comunicación tipo serie o paralelo. Dentro de este tipo de señal podemos encontrar los encoders incrementales que son capaces de suministrar pulsos a través de sus dos salidas que indican el decremento o incremento de la variable de medida, también están los encoders absolutos que utilizan códigos binarios, Gray, BCD, para codificar el valor de la variable medida (Piedrafita, 2004).

## 2.3 Sensores analógicos

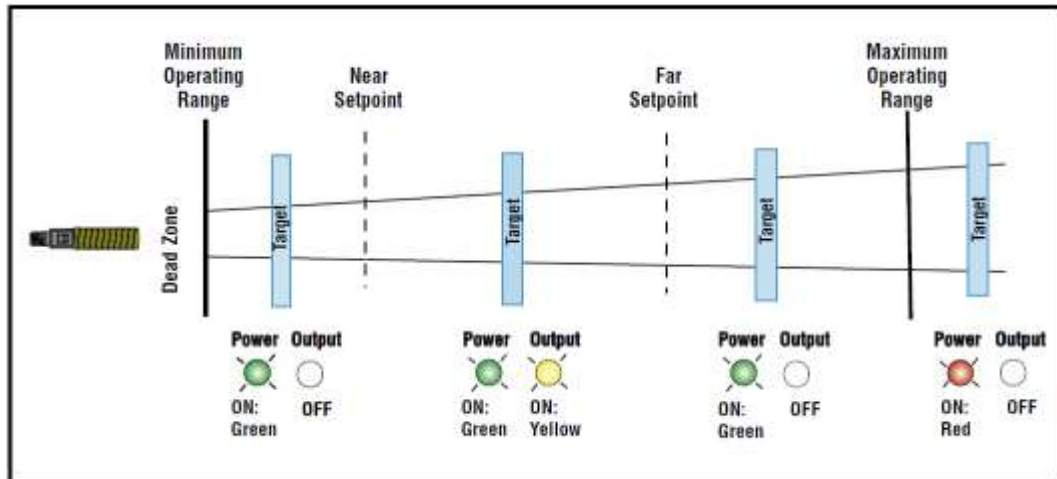
### 2.3.1 Sensores ultrasónicos

“Los sensores ultrasónicos emiten y reciben mediante transductores señales de sonido a altas frecuencias. Cuando un objeto interrumpe el haz, refleja la señal hacia el sensor y producirá su conmutación” (Piedrafita, 2004).



**Figura 2. 1** Sensores ultrasónicos. (PEPPERL+FUCHS, 2014)

Una de las especificaciones técnicas principales que posee este tipo de sensor es que delante de su zona activa existe una zona ciega, que puede variar desde los 6 hasta los 80 cm. Si en esta zona entra un objeto puede producir activaciones no deseadas (Piedrafita, 2004).

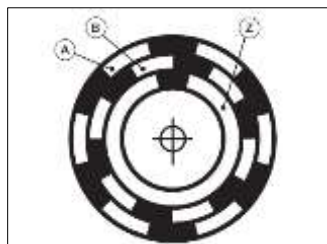


**Figura 2. 2** Alcances de un detector de ultrasonidos. (BANNER, 2014)

## 2.4 Sensor de posición

### 2.4.1 Encoder incremental

El encoder incremental provee normalmente dos formas de ondas cuadradas que están desfasadas entre sí en 90° eléctricos, los cuales por lo general son “canal A” y “canal B”. Por medio de la lectura de un solo canal se puede obtener el dato correspondiente a la velocidad de rotación mientras que si se capta la señal del canal “B”, se puede distinguir el sentido de rotación basándose en la secuencia de datos que se producen en ambas señales. También existe un tercer canal conocido como canal Z o Cero, el cual suministra la posición bajo la forma de impulso cuadrado con fase y amplitud centrada en el canal A (SILGE ELECTRONICA S. A., 2000).



**Figura 2. 3** Disco óptico del encoder incremental. (SILGE ELECTRONICA S. A., 2000)

## 2.5 Actuadores neumáticos

Como describe Domingo, Gámiz, Gerau y Martínez (2003) los cilindros son los principales actuadores neumáticos. Aquellos están compuestos por un tubo de acero, la mayoría de sección circular y de longitud variable, herméticamente cerrado. En el interior alojan un émbolo unido a un vástago que emerge del cilindro. El cilindro puede ejercer una fuerza directamente proporcional a la superficie del embolo y a la presión.



**Figura 2. 4** Actuadores neumáticos. (Gates Worldwide, 1999)

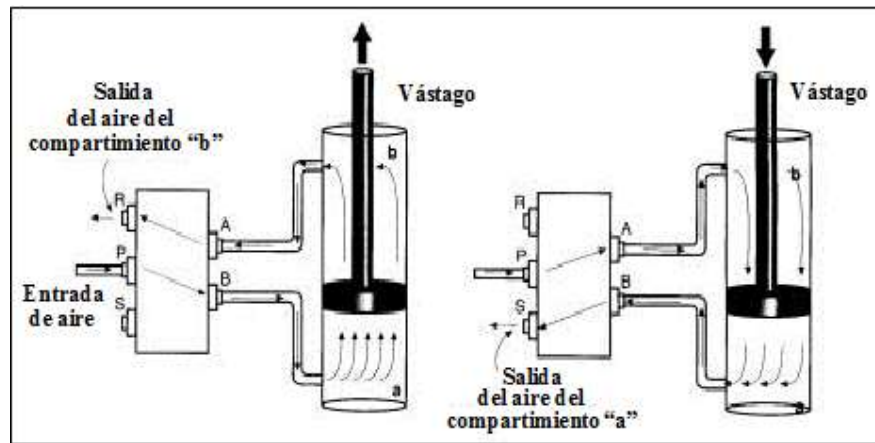
### 2.5.1 Electroválvulas

Las electroválvulas se encargan de controlar a los cilindros, realizando la función de pre actuadores. Mediante las salidas que poseen los autómatas las electroválvulas pueden recibirla excitación eléctrica en sus bobinas, con el objetivo de distribuir el aire a la salida deseada (Piedrafita, 2004).



**Figura 2. 5** Electroválvula 5/2 vías. (E·MC, 2013)

La función de la válvula es regular la puesta en marcha, paro, sentido, presión o caudal del flujo transportado por la bomba o almacenado en el depósito. Existen válvulas de varios orificios, los cuales determinan el camino que debe tomar el fluido bajo presión (Piedrafita, 2004).



**Figura 2. 6** Rutas de fluido con una válvula 5/2. (sapiensman, 2014)

La electroválvula se define en función de la cantidad de orificios activos y de las posiciones de trabajo. La primera cifra indica la cantidad de vías, es decir, la cantidad de orificios activos. La segunda cifra indica la cantidad de posiciones, por ejemplo, 3/2 vías, 3 orificios activos y 2 posiciones (Piedrafita, 2004).

## 2.5.2 Cilindros neumáticos

De acuerdo a lo descrito en Micro Pneumatic S.A (2014) los cilindros son las unidades encargadas de transformar la energía potencial del aire comprimido en energía cinética o en fuerzas prensoras. Básicamente, consisten en un recipiente cilíndrico provisto de un émbolo o pistón. Al introducir un determinado caudal de aire comprimido, este se expande dentro de la cámara y provoca un desplazamiento lineal. Si se acopla un vástago rígido, este mecanismo es capaz de empujar algún elemento, o simplemente sujetarlo.

### 2.5.2.1 Cilindro de doble efecto

Según lo mencionado por Micro Pneumatic S.A. (2014) los cilindros de doble efecto, efectúan las carreras de avance y retroceso por medio de la presión del aire

comprimido en cualquier lado del émbolo, es decir, el aire comprimido ejerce su acción en las dos cámaras del cilindro. Los cilindros se utilizan especialmente en los casos en que el émbolo tiene que realizar una misión también al retornar a su posición inicial.



**Figura 2. 7** Cilindro de doble efecto. (rodavigo.net, 2013)

## **2.6 Actuadores eléctricos**

Como detalla Somolinos Sánchez (2002) la fuente de energía es la electricidad. Existen tres grupos de actuadores eléctricos, los cuales son: los motores de corriente continua, en donde, el control es por inducido o por excitación, los motores de corriente alterna (síncronos y asíncronos) y los motores paso a paso, entre los que destacan los motores de imanes permanentes, de reluctancia variable o híbridos.

### **2.6.1 Motores paso a paso**

El motor paso a paso es un conversor electromecánico que transforma la energía eléctrica en mecánica. El motor es capaz de convertir un tres de impulsos eléctricos en movimientos angulares, provocando que su eje gire un determinado ángulo, también llamado <<paso>>. Dicho paso determinara la precisión del motor, es decir, que para un paso pequeño el motor girara con mayor precisión, pero se necesitaran más pasos para una vuelta completa del eje. El paso de los motores suele variar desde 90° a ángulos menores de 1° (Lajara & Pelegrí, 2011).

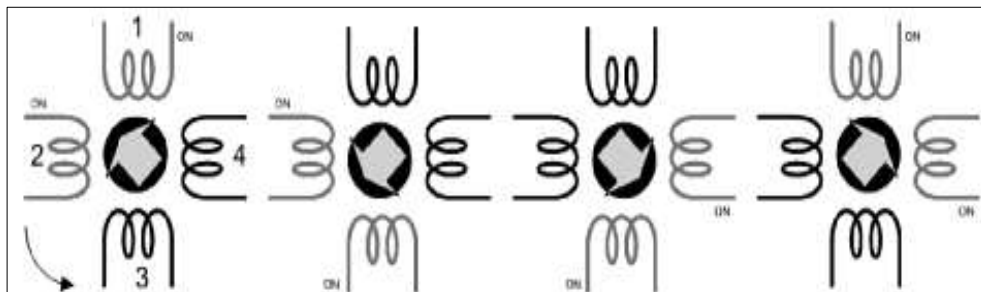
Los motores paso a paso más utilizados son los de imán permanente. “El rotor es un imán permanente y el estator contiene unos polos salientes en forma de dientes sobre los que van las bobinas” (Lajara & Pelegrí, 2011).



**Figura 2. 8** Motor paso a paso bipolar. (AUTOMATIONDIRECT, 1999)

El motor paso a paso de imán permanente bipolar se determina por la forma en que están conectadas sus bobinas, que al momento de pasar una corriente eléctrica sobre estas se creara un campo magnético. Este campo magnético causara que el rotor gire hasta que encuentre una posición de equilibrio. Si las corrientes cambian, el campo magnético también lo hará y en consecuencia el rotor deberá girar otra vez (Lajara & Pelegrí, 2011).

Para controlar los motores solo se debe activar y desactivar las bobinas que son las que provocan que el rotor gire, esto se efectúa por medio de un driver que consta de interruptores que cuando se cierran, circula una corriente por la bobina provocando un campo magnético que atrae o repele el imán del rotor. En la figura se visualiza la secuencia de activación de bobinas para hacer girar el rotor en sentido anti horario (Lajara & Pelegrí, 2011).



**Figura 2. 9** Secuencia de giro de un motor paso a paso bipolar. (Lajara & Pelegrí, 2011)

## 2.7 Controlador lógico programable

### 2.7.1 Campos de aplicación

El PLC posee características especiales de diseño y tiene un campo de aplicación muy extenso. Las mejoras que se realizan, tanto en el hardware como el software permiten ampliar constantemente este campo y así poder satisfacer las condiciones que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales (Universidad Nacional de Córdoba, 2014).



**Figura 2. 10** PLC gama S7 – 1200. (SIEMENS, 2009)

Las aplicaciones se presentan principalmente en aquellas instalaciones en donde se necesita un proceso de maniobra, control, señalización, etc., por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, control de instalaciones, etc. Gracias a la facilidad de su montaje debido a sus reducidas dimensiones, la capacidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, etc., hace que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como (Universidad Nacional de Córdoba, 2014):

- Espacio reducido.
- Procesos de producción periódicamente cambiantes.
- Procesos secuenciales.
- Maquinaria de procesos variables.
- Instalaciones de procesos complejos y amplios.
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso.
- Maniobra de máquinas.
- Maniobra de instalaciones.

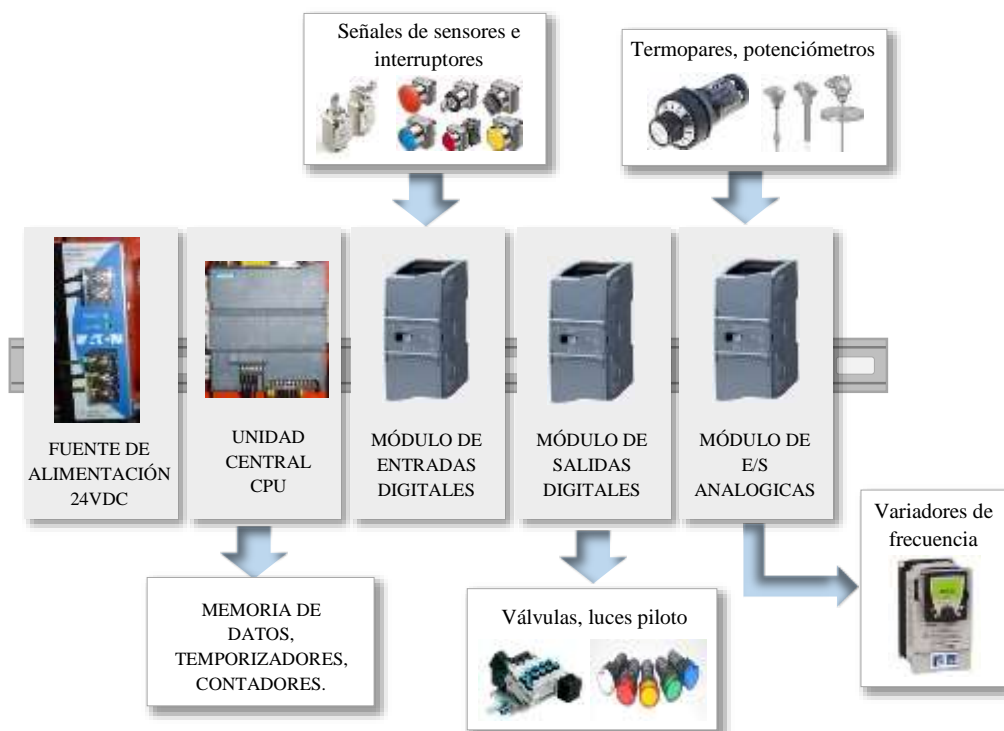


- Señalización y control.
- Chequeo de Programas
- Señalización del estado de procesos

Como se mencionó anteriormente, esto se refiere a los Controlador Lógico Programable industriales, dejando de lado los pequeños PLC para uso más personal, los cuales se pueden emplear, incluso, para automatizar procesos en el hogar, como la puerta de una cochera o las luces de la casa (Universidad Nacional de Córdoba, 2014).

### 2.7.2 Arquitectura de un autómatas programable

García (1999) expresa que los autómatas programables constan de dos unidades funcionales, como lo son la unidad central y las interfaces de entradas y salidas. En el bloque de las entradas se reciben las señales de los sensores como los transductores analógicos, digitales provenientes del campo.



**Figura 2. 11** Esquema general de la arquitectura de un autómatas programable.

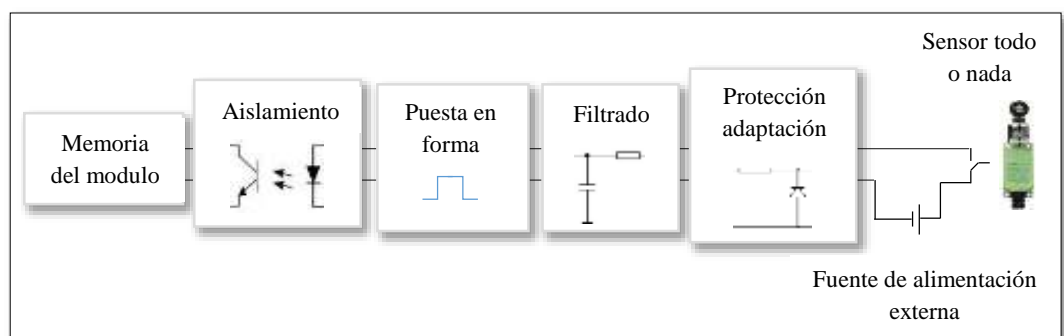
Modificado de (Piedrafita, 2004)

“En su arquitectura interna, el API, siendo un sistema basado en microprocesador, está compuesto por una serie de unidades funcionales interrelacionadas por un conjunto de buses de datos, direcciones y de control” (García, 1999).

### 2.7.2.1 Entradas digitales

Piedrafita (2004) argumenta que los módulos de entradas digitales que dispone el autómata, se realizan las conexiones de los sensores del tipo todo o nada. Uno de los extremos de los cables de señal que poseen los sensores se conectan a las vías de entrada del módulo mientras que el otro extremo se conectan a una fuente de alimentación, una vez recibida la señal que es cero o uno en el módulo de entrada, este se encarga de convertirla en un bit interna de la memoria del módulo. En cada ciclo de trabajo que realiza el autómata, la unidad central lee los bits de los módulos y vuelca su valor en los objetos del lenguaje del autómata conocidos como entradas digitales.

Una de las características de los módulos de entradas es que pueden trabajar en distintos niveles de tensión, y pueden ser en voltaje directo de 24V y en voltaje alterno de 110 V, 220 V. Cuando por una vía del módulo de entradas digitales le llega cualquier nivel de tensión mencionado, el modulo lo interpreta como un 1 y cuando le llegan cero voltios lo interpreta como un 0 (Piedrafita, 2004). La elección del nivel de tensión de trabajo del módulo de entradas depende de la aplicación y las conexiones eléctricas a realizar.

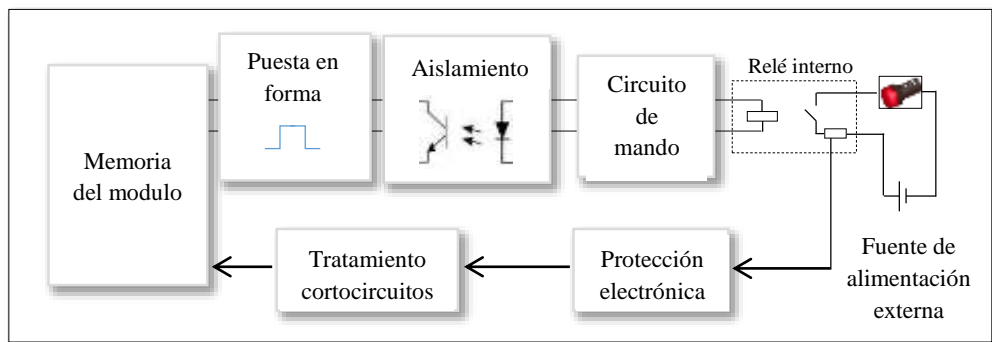


**Figura 2. 12** Etapas en el tratamiento de una señal en una tarjeta de entradas digitales. Modificado de (Piedrafita, 2004)

### 2.7.2.2 Salidas digitales

El módulo de salidas digitales tienen la tarea de controlar los elementos de campo como son los preaccionadores y accionadores, que tengan como característica principal la señal de tipo todo o nada. El autómata periódicamente realiza el trabajo de escribir el valor de los objetos conocidos en su lenguaje como salidas digitales en estos módulos (Piedrafita, 2004).

Las salidas digitales poseen solo dos valores de estado como son 0 o 1, que indican la apertura o cierre de un contacto del relé interno que tiene el autómata. Entre los módulos de salidas digitales existen los módulos estáticos, en donde el elemento que conmuta es un componente electrónico como transistores o triacs, los cuales solo trabajan a un voltaje de 24Vdc y los módulos electromecánicos que son los que trabajan con un relé interno, y estos al tener un contacto seco permiten el uso de diferentes niveles de tensión (Piedrafita, 2004).



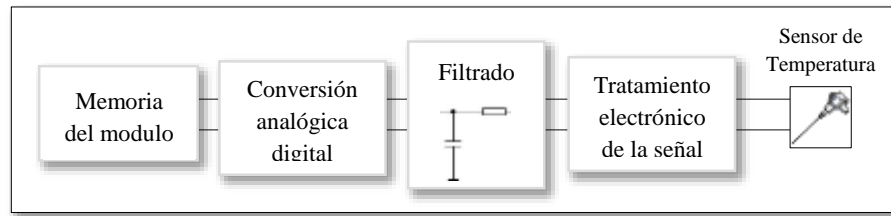
**Figura 2. 13** Señal tipo relé de un módulo de salidas digitales. Modificado de (Piedrafita, 2004)

### 2.7.2.3 Entradas analógicas

“Los módulos de entradas analógicas convierten una magnitud analógica en un número que se deposita en una variable tipo palabra interna de autómata. Esta conversión se realiza con una precisión o resolución determinada (número de bits) y cada cierto intervalo de tiempo (periodo de muestreo)” (Piedrafita, 2004).

Una de las características de los módulos de entradas analógica que presentan es la precisión que suele estar desde los 12 a los 16 bits. Mientras mayor es el número de

bits más precisa será la conversión pero también más lenta. Para la mayoría de las aplicaciones en el campo industrial una precisión de 14 bits es mucho más que suficiente (Piedrafita, 2004).

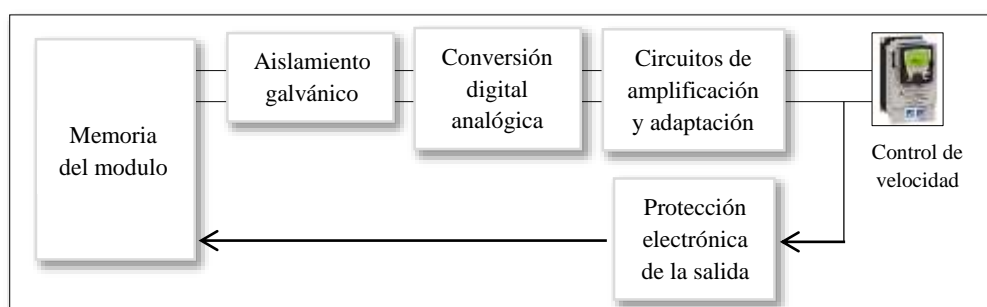


**Figura 2. 14** Tratamiento de una señal en un módulo de entrada analógica. Modificado de (Piedrafita, 2004)

Lo que define el periodo de muestreo es la velocidad con que se toman muestras de la señal analógica. En las tarjetas de entradas analógicas su periodo de muestreo comúnmente suelen estar desde 25msg a unos 30 segundos. “Se debe considerar que los autómatas se dedican a control industrial de variables lentas como son la temperatura, y 40 muestras por segundo es mucho más que suficiente para controlar temperatura (y también para controlar velocidad)” (Piedrafita, 2004).

#### 2.7.2.4 Salidas analógicas

Las tarjetas de salida analógica permiten convertir el valor de una variable numérica interna del autómata en tensión o en intensidad. Las aplicaciones que se les da a este tipo de tarjeta son en el control de velocidad de un variador de frecuencia, en los hornos la etapa de control de los tiristores y para la regulación de temperaturas, caudal, etc., permitiendo al autómata realizar funciones de regulación y control de procesos continuos (Piedrafita, 2004).



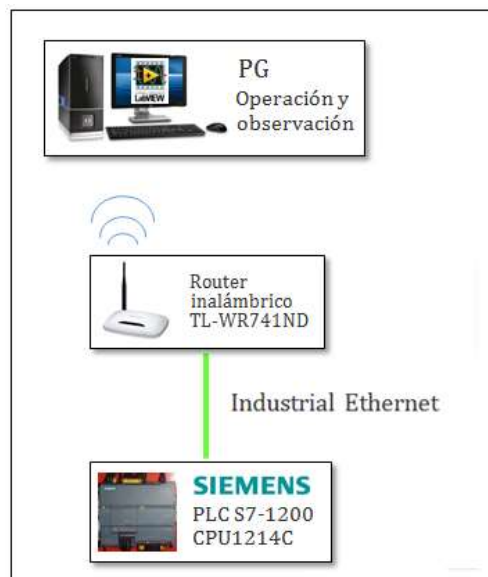
**Figura 2. 15** Tratamiento de una señal en un módulo de salida analógica. Modificado de (Piedrafita, 2004)

En los módulos de salidas analógicas, a diferencia de los de entradas analógicas en precisión suelen ser menor y están entre 12 a 14 bits. Debido a que no tienen problemas de velocidad, dado que la conversión digital-analógica es prácticamente instantánea (Piedrafita, 2004).

Las salidas se caracterizan por tipo de señal que suministran que pueden ser intensidad o tensión y por el rango 0...10 Voltios,  $\pm 10$  Voltios, 0...20mA, 4...20mA (Piedrafita, 2004). Las más utilizadas en el campo industrial son las de 0...10 Voltios y las 4...20mA.

## 2.8 Comunicación industrial Ethernet

La Industrial Ethernet es una subred en el nivel de control central y el nivel de célula para la comunicación entre ordenadores y sistemas de automatización. Este tipo de comunicación sirve para intercambiar grandes cantidades de datos y para salvar grandes distancias. La comunicación Ethernet físicamente, es una red eléctrica que puede usar un cable coaxial apantallado, un cable de par trenzado (Twisted Pair) o una red óptica basada en fibras ópticas (SIEMENS AG., 2013).



**Figura 2. 16** Ejemplo de subred Industrial Ethernet. (El Autor)

En Ethernet se pueden emplear todas las tipologías de conexión, como la base que es la de tipo bus, en la cual los equipos se conectan mediante derivaciones a la línea principal, la estrella en donde los dispositivos se conectan a un elemento central que

se encarga de distribuir la información a los demás equipos que se encuentran conectados, la de tipo árbol que es una mezcla de las características que tienen la de tipo bus y estrella y la última es la de tipo anillo, aunque siendo la más compleja de implementar, posee ventajas inherente a su tecnología (Rodríguez, 2008).

Los medios de transmisión utilizados por la red de comunicación Ethernet son:

- El cable coaxial, es un cable grueso que tiene un hilo central con cuatro capas de blindaje que lo hace muy resistente a ruido eléctrico.
- El par trenzado, es un cable en el que dos conductores se encuentran entrelazados entre sí, con el objetivo de anular las interferencias eléctricas externas.
- La fibra óptica, es inmune al cualquier tipo de radiación electromagnética, debido a que no trabaja con pulsos eléctricos sino con pulsos de luz para transmitir datos.

### 2.8.1 Router

El router o también llamado encaminador, es un puente con prestaciones extra que trabaja a nivel de la Capa de Red almacenando y remitiendo paquetes.

“Cuando un paquete llega al router, este lee la dirección del destinatario y envía el paquete al siguiente nodo más próximo a la dirección de destino. Esto es posible debido a que el router guarda el equivalente a un mapa de carreteras que le permite determinar que caminos puede seguir la información” (Rodríguez, 2008).



**Figura 2. 17** Router TP LINK. (TP-LINK, 2014)

Cada segmento o subred conectados a través de un router tienen una dirección de red diferente. Permiten separar una subred en subredes lógicas y redirigir el tráfico por direccionado IP, pero necesitan programarse. Se encarga de dividir la red en subredes

mediante el filtrado de direcciones IP (Rodríguez, 2008). “La separación es de tipo lógico, de manera que solo los paquetes con permiso pueden pasar de un segmento a otro. Los routers también pueden manipular los datos que les llegan, adaptando el tamaño de los paquetes de información para que sean compatibles con las redes que interconectan” (Rodríguez, 2008).

## **2.9 Sistemas SCADA**

Como lo explica (Rodríguez, 2007), “los Sistemas de Supervisión de Control y Adquisición de Datos permiten la gestión y control de cualquier sistema local o remoto gracias a una interface gráfica que comunica al Usuario con el sistema”.

El sistema SCADA, es una de herramienta de interface hombre-máquina, capaz de comprender toda una serie de funciones y utilidades, con el objetivo de ofrecer al operador una comunicación lo más clara posible del proceso industrial (Rodríguez, 2007).

Entre las prestaciones que pueden ofrecer las herramientas de este tipo destacan:

- **La monitorización**  
El operador puede visualizar los datos del proceso en tiempo real. Las señales de campo (temperatura, velocidades, detectores de posición) se conectan a las interfaces de entrada y salidas que son leídas por el autómatas y por medio de una red de comunicación puede ser monitoreado en el sistema SCADA (Rodríguez, 2007).
- **La supervisión**  
Supervisión, mando y adquisición de datos de un proceso y herramientas de gestión para la toma de decisiones como por ejemplo para mantenimiento predictivo. “Tienen además la capacidad de ejecutar programas que puedan supervisar y modificar el control establecido y, bajo ciertas condiciones, anular o modificar tareas asociadas a los autómatas” (Rodríguez, 2007).
- **La adquisición de datos de los procesos en observación**  
En un proceso de tratamiento de aguas residuales además de poder visualizar las variables online se puede también observar mediante herramientas registradoras

los cambios de valores que se produce en el transcurso de tiempos anteriores, con el objetivo de almacenarlos para posterior evaluarlos (Rodríguez, 2007)..

- La visualización de los estados de las señales del sistema  
Permite visualizar de forma inmediata y de fácil interpretación los eventos o alarmas que se puedan producir en los procesos industriales dentro de la planta, con el fin de que el operador pueda tomar las acciones correctivas pertinentes de forma inmediata (Rodríguez, 2007).
- El mando  
Se le autoriza al operador el cambio de consignas u otros datos claves del proceso directamente desde el ordenador (marcha, paro, modificación de parámetros...). Se escriben datos sobre los elementos de control que se encuentran instalados en los procesos (Rodríguez, 2007).

## **2.10 Sistemas de control**

Tal como se indica en la (Junta de Andalucía, 2013), un proceso o sistema de control es un conjunto de elementos interrelacionados capaces de realizar una operación dada o de satisfacer una función deseada.

Los tipos de sistemas de control se pueden clasificar en:

Sistemas de bucle o lazo abierto: son aquellos en los que la acción de control es independiente de la salida.

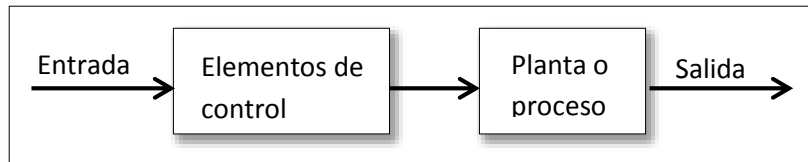
Sistema de bucle o lazo cerrado: son aquellos en los que la acción de control depende en cierto modo, de la salida.

## **2.11 Sistema de control en lazo abierto**

Como lo especifica la (Junta de Andalucía, 2013), un sistema de control en lazo o bucle abierto es aquél en el que la señal de salida no influye sobre la señal de entrada. La exactitud de estos sistemas depende de su calibración, de manera que al calibrar se establece una relación entre la entrada y la salida con el fin de obtener del sistema la exactitud deseada.

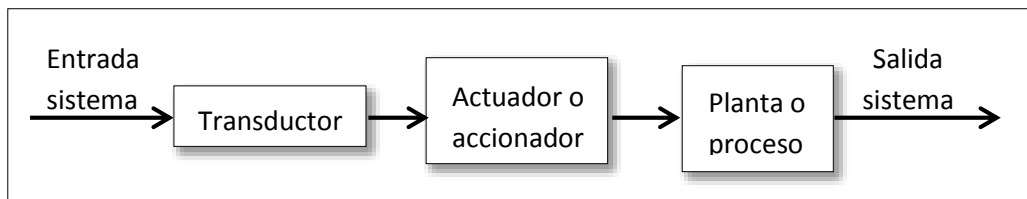
El diagrama de bloque de un sistema, de lazo abierto es:





**Figura 2. 18** Sistema de control en lazo abierto. (SILGE ELECTRONICA S. A., 2000)

El sistema se controla bien directamente, o bien mediante un transductor y un actuador. El esquema típico del sistema será, en este caso:



**Figura 2. 19** Sistema de control en lazo abierto. (SILGE ELECTRONICA S. A., 2000)

El transductor modifica o adapta la naturaleza de la señal de entrada al sistema de control. En el caso del sistema de control de la temperatura de una habitación, para que sea un sistema abierto es necesario que no exista un termostato, de manera que siga funcionando permanentemente. La entrada del sistema sería la temperatura ideal de la habitación; la planta o proceso sería la habitación y la salida sería la temperatura real de la habitación. El transductor podría ser un dial en el que definamos el tiempo de funcionamiento y el actuador el propio foco de calefacción (Caldera o radiador) (Junta de Andalucía, 2013).

El actuador o accionador modifica la entrada del sistema entregada por el transductor (normalmente amplifica la señal). Una lavadora automática sería un claro ejemplo de sistema de control en lazo abierto. La blancura de la ropa (señal de salida) no influye en la entrada. La variable tiempo presenta una importancia fundamental: si está bien calibrada, cada proceso durará el tiempo necesario para obtener la mejor blancura (Junta de Andalucía, 2013).

El principal inconveniente que presentan los sistemas de lazo abierto es que son extremadamente sensibles a las perturbaciones. Por ejemplo si en una habitación se ha conseguido una temperatura idónea y se abre una puerta o ventana (perturbación)

entraría aire frío, de manera que el tiempo necesario para obtener dicha temperatura sería diferente (Junta de Andalucía, 2013).

### **2.11.1 Sistemas de control en lazo cerrado**

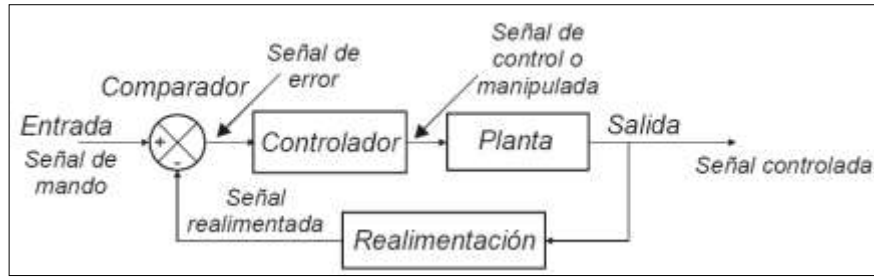
De acuerdo a lo mencionado por la (Junta de Andalucía, 2013), si en un sistema en lazo abierto existen perturbaciones, no se obtiene siempre la variable de salida deseada. Conviene, por tanto, utilizar un sistema en el que haya una relación entre la salida y la entrada.

Un sistema de control de lazo cerrado es aquél en el que la acción de control es, en cierto modo, dependiente de la salida. La señal de salida influye en la entrada. Para esto es necesaria que la entrada sea modificada en cada instante en función de la salida. Esto se consigue por medio de lo que llamamos realimentación o retroalimentación (feedback) (Junta de Andalucía, 2013).

La realimentación es la propiedad de un sistema en lazo cerrado por la cual la salida (o cualquier otra variable del sistema que esté controlada) se compara con la entrada del sistema (o una de sus entradas), de manera que la acción de control se establezca como una función de ambas (Junta de Andalucía, 2013).

A veces también se le llama a la realimentación transductor de la señal de salida, ya que mide en cada instante el valor de la señal de salida y proporciona un valor proporcional a dicha. Por lo tanto podemos definir también los sistemas de control en lazo cerrado como aquellos sistemas en los que existe una realimentación de la señal de salida, de manera que ésta ejerce un efecto sobre la acción de control señal (Junta de Andalucía, 2013).

El diagrama de bloques correspondiente a un sistema de control en lazo cerrado es:



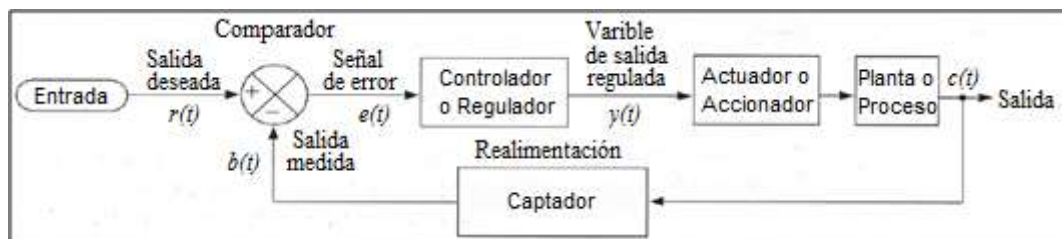
**Figura 2. 20** Sistema de control en lazo cerrado. (SILGE ELECTRONICA S. A., 2000)

El controlador está formado por todos los elementos de control y a la planta también se le llama proceso (Junta de Andalucía, 2013).

En este esquema se observa cómo la salida es realimentada hacia la entrada. Ambas se comparan, y la diferencia que existe entre la entrada, que es la señal de referencia o consigna (señal de mando), y el valor de la salida (señal realimentada) se conoce como error o señal de error. La señal que entrega el controlador se llama señal de control o manipulada y la entregada por la salida, señal controlada (Junta de Andalucía, 2013).

El error, o diferencia entre los valores de la entrada y de la salida, actúa sobre los elementos de control en el sentido de reducirse a cero y llevar la salida a su valor correcto. Se intenta que el sistema siga siempre a la señal de consigna (Junta de Andalucía, 2013).

El diagrama de bloques anterior se puede sustituir por el siguiente:



**Figura 2. 21** Sistema de control en lazo cerrado. (SILGE ELECTRONICA S. A., 2000)

La salida del sistema de regulación se realimenta mediante un captador. En el comparador o detector de error, la señal de referencia (salida del transductor) se compara con la señal de salida medida por el captador, con lo que se genera la siguiente señal de error:

$$e(t) = r(t) - b(t) \quad (2.2)$$

donde  $e(t)$  es la señal de error,  $r(t)$  la señal de referencia y  $b(t)$  la variable realimentada (Junta de Andalucía, 2013).

Pueden suceder dos casos:

- ✓ Que la señal de error sea nula. En este caso la salida tendrá exactamente el valor previsto.
- ✓ Que la señal de error no sea nula. Esta señal de error actúa sobre el elemento regulador que a su salida proporciona una señal que, a través del elemento accionador, influye en la planta o proceso para que la salida alcance el valor previsto y de esta manera el valor se anule.

En el ejemplo de control de temperatura de una habitación, el sistema, planta o proceso es la habitación que se quiere calentar, el transductor puede ser un dial con el que se define el grado de calentamiento, el actuador o accionador una caldera o un radiador y el captador puede ser un termómetro. Este último actúa como sensor midiendo la temperatura del recinto, para que pueda ser comparada con la de referencia (Junta de Andalucía, 2013).

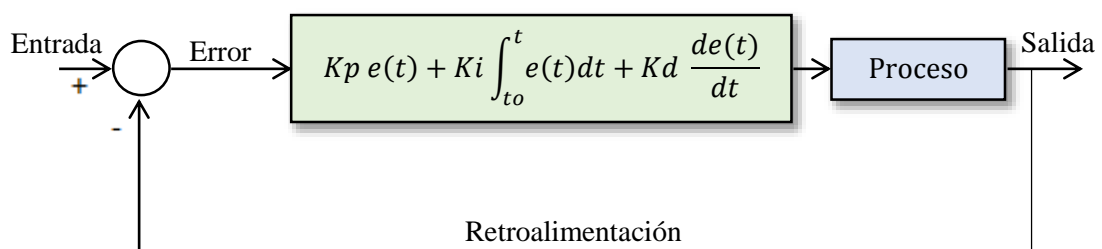
El regulador o controlador es el elemento que determina el comportamiento del bucle, por lo que debe ser un componente diseñado con gran precisión. Es el cerebro del bucle de control (Junta de Andalucía, 2013).

Mientras que la variable controlada se mantenga en el valor previsto, el regulador no actuará sobre el elemento accionador. Pero si el valor de la variable se aleja del prefijado, el regulador modifica su señal, ordenando al accionador que actúe sobre la planta o proceso, en el sentido de corregir dicho alejamiento. El termostato del ejemplo anterior realizaría esta función (Junta de Andalucía, 2013).

Los sistemas en lazo cerrado son mucho menos sensibles a las perturbaciones que los de lazo abierto, ya que cualquier modificación de las condiciones del sistema afectará a la salida, pero este cambio será registrado por medio de la realimentación como un error que es en definitiva la variable que actúa sobre el sistema de control. De este modo, las perturbaciones se compensan, y la salida se independiza de las mismas (Junta de Andalucía, 2013).

### 2.11.2 Controladores PID

Tal como lo explica (Améstegui, 2011), el controlador PID (Proporcional, Integral y Derivativo) es un controlador realimentado cuyo propósito es hacer que el error en estado estacionario, entre la señal de referencia y la señal de salida de la planta, sea cero de manera asintótica en el tiempo, lo que se logra mediante el uso de la acción integral. Además el controlador tiene la capacidad de anticipar el futuro a través de la acción derivativa que tiene efecto predictivo sobre la salida del proceso (Junta de Andalucía, 2013).



**Figura 2. 22** Controlador PID. (Ogata, 1998)

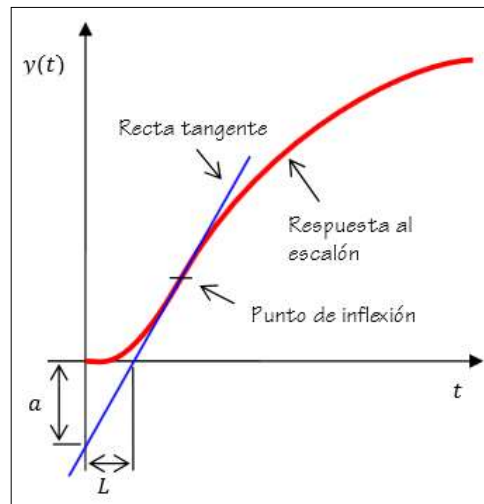
### 2.11.3 Método de sintonización de Ziegler and Nichols

Ziegler y Nichols sugirieron dos procedimientos para sintonizar controladores PID basándose respectivamente en la respuesta experimental a un escalón de entrada, o en base al valor de  $K_p$  que produce una estabilidad marginal mediante el sólo uso de la acción de control proporcional. Los procedimientos de Ziegler – Nichols, que se presentan a continuación, son muy convenientes cuando no se conoce un modelo matemático de la planta; naturalmente, estos procedimientos también se pueden aplicar al diseño de sistemas con modelos matemáticos conocidos. Según (DULHOSTE, 2014).

### 2.11.3.1 Método de Ziegler – Nichols basado en la respuesta escalón

Como se observa en (DULHOSTE, 2014), el primer método propuesto por Ziegler y Nichols está basado en las características de la respuesta transitoria de una planta ante una entrada escalón unitario en lazo abierto.

Esta respuesta se puede caracterizar por dos parámetros ( $a$  a  $L$ ), como se muestra en la figura. Para obtener el valor de estos parámetros primero se determina el punto donde la pendiente de la respuesta escalón tiene su valor máximo (punto de inflexión), y luego se dibuja la tangente en este punto. En la intersección entre esta tangente y la coordenada de abscisa obtenemos el parámetro  $L$ , y de la intersección con la ordenada obtenemos el parámetro  $a$  (DULHOSTE, 2014).



**Figura 2. 23** Curva de respuesta en forma de S. (DULHOSTE, 2014)

La función de transferencia de un proceso con una respuesta del tipo mostrado en la figura se puede aproximar por la función:

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{ae^{-Ls}}{Ls} \quad (2.3)$$

Partiendo de esta aproximación Ziegler y Nichols sugirieron expresar los parámetros  $K_p$ ,  $T_i$  y  $T_d$  del controlador PID, directamente en función de los parámetros  $a$  y  $L$ , de acuerdo con los valores que aparecen en la tabla siguiente:

**Tabla 2. 1** Método de la respuesta al escalón.

Parámetros de controladores PID según método de la respuesta al escalón de Ziegler - Nichols			
Controlador	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$1/a$		
PI	$0.9/a$	3L	
PID	$1.2/a$	2L	3.4L

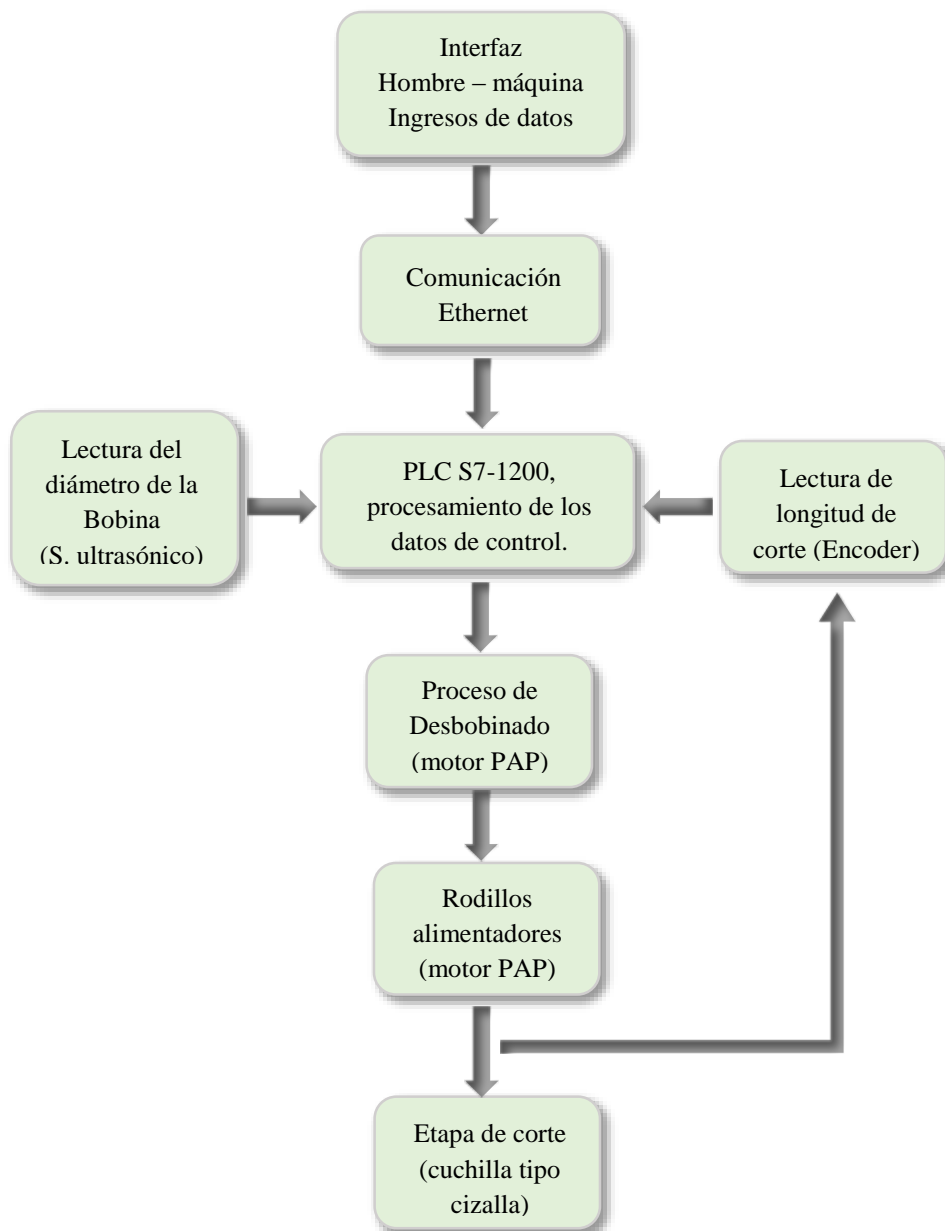
**Fuente:** (DULHOSTE, 2014)

Estos valores para los parámetros del controlador permiten obtener un control que regula en forma estable y con una buena velocidad de respuesta al proceso a controlar. Sin embargo como estos valores se obtienen partiendo de la aproximación antes mencionada y el proceso real no corresponde exactamente a ese modelo entonces generalmente es conveniente realizar luego un ajuste fino. Con esto se busca mejorar la estabilidad relativa que se traduce en el aumento del margen de fase y ganancia (DULHOSTE, 2014).

## CAPÍTULO III. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO.

### 3.1 Planteamiento del proceso

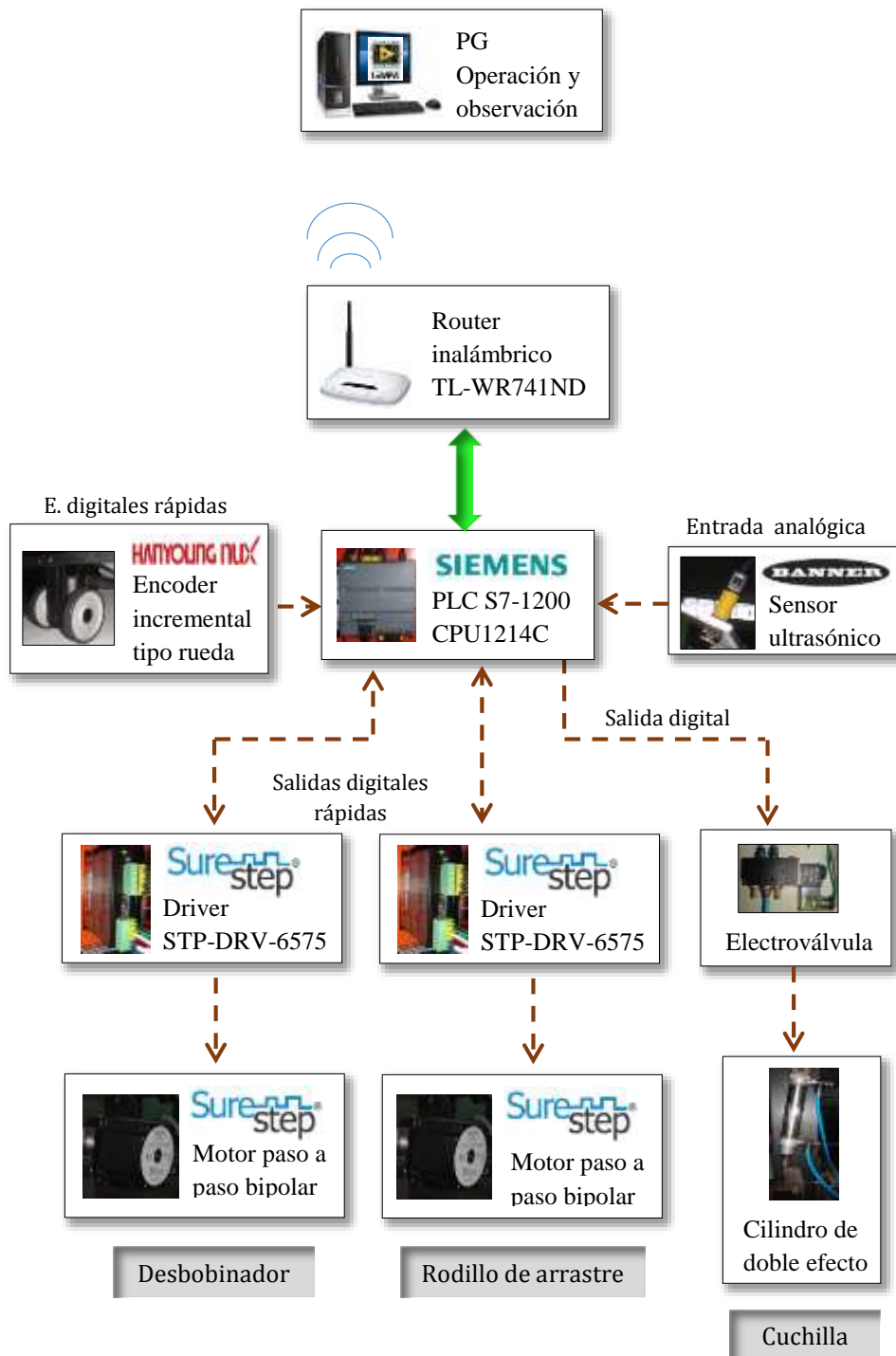
En la siguiente figura se muestra de la propuesta planteada al comienzo para realizar el estudio.



**Figura 3. 1** Diagramas de bloque. (El Autor)



En la figura 3.2 se presenta la propuesta con los dispositivos que se implementará en el módulo didáctico.



**Figura 3. 2** Diagrama esquemático del módulo didáctico. (El Autor)

### 3.2 Descripción de las partes del diseño mecánico

La estructura está fabricada con plancha de acero galvanizada de 1,2mm de espesor con acabado en pintura electrostática en polvo al horno de color beige RAL-7032 con un dimensionamiento de 1400mm (ancho) x 1250mm (alto) x 800mm (profundidad)

En la parte interior de la estructura están colocados los dispositivos de control y realizada las conexiones eléctricas para el funcionamiento de los actuadores instalados.



**Figura 3. 3** Consola de control del módulo didáctico. (El Autor)

En la parte superior de esta estructura se colocaron las piezas mecánicas que se encuentran acopladas a los elementos y actuadores eléctricos, los cuales se describen a continuación:

- El eje donde se coloca la bobina de la materia prima esta soportado por bases en sus extremos y acoplado al eje transmisión del motor paso a paso, que efectuara el movimiento para realizar el desbobinado del material.



**Figura 3. 4** Etapa de desbobinado. (El Autor)

- Además de la base se instaló un soporte metálico doblado en un ángulo de 90°, para colocar el sensor ultrasónico en el centro entre el área de bobina y el de los rodillos de arrastre a una altura de 40 cm.



**Figura 3. 5** Soporte del sensor ultrasónico. (El Autor)

- La tracción del papel se la desarrolla mediante dos rodillos principales construidos de caucho y acero, los cuales están colocados uno sobre otro y sujetos en sus extremos con rodamientos (tipo cajera) y existe también un rodillo secundario. Uno de los rodillos principales, específicamente el inferior se encuentra acoplado a un motor paso a paso.



**Figura 3. 6** Rodillos de arrastre. (El Autor)

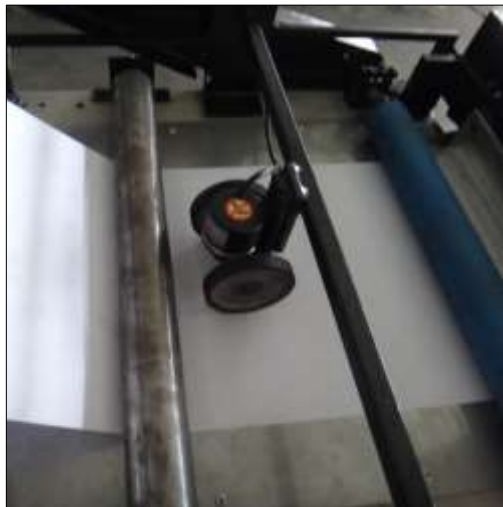
- El movimiento del rodillo superior se produce por medio de una relación de transmisión 1:1 de piñones, los cuales están unidos al rodillo inferior, por lo tanto, cuando el motor empieza a girar el rodillo superior se moverá pero en

sentido contrario con el objetivo de lograr mover el segundo rodillo que se encuentra unido por una cadena y así poder desplazar el material hacia la etapa de corte.



**Figura 3. 7** Relación de transmisión 1:1 de piñones. (El Autor)

- Por medio de un soporte que se encuentra entre los rodillos de arrastre y la zona de corte, estará sujetado un encoder incremental tipo rueda que tendrá como función medir la longitud en que se desplaza el papel.



**Figura 3. 8** Zona de medición. (El Autor)

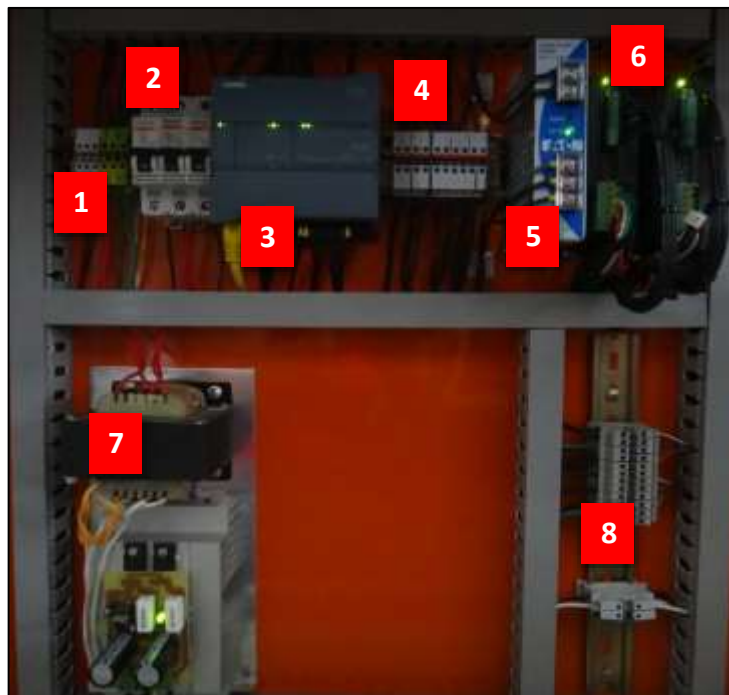
- Después de la zona de medición, se encuentra el segundo rodillo de arrastre mencionado anteriormente, el cual está junto a la cuchilla para desplazar el papel y realizar el corte en forma transversal por medio de un cilindro de doble efecto acoplado a la cuchilla.



**Figura 3. 9** Zona de corte. (El Autor)

### **3.3 Descripción de los elementos de control y fuerza instalados.**

En esta sección se describen los equipos necesarios que han sido instalados para el correcto funcionamiento del módulo didáctico. Para cada elemento de control se especificaran sus características principales y el correcto modo de operación en el que deben trabajar. Cabe mencionar que el módulo trabaja con una alimentación de 120 VAC. A continuación se identifican los elementos de control.



**Figura 3. 10** Elementos de control instalados en el módulo. (El Autor)

1. Grupo de bornes para la alimentación de los 120 VAC y protección a tierra.
2. Breaker de protección para los dispositivos.
3. Controlador lógico programable S7-1200 CPU 1214 DC/DC/DC.
4. Grupo de bornes de distribución de 24VDC.
5. Fuente de alimentación externa de 24VDC para la CPU, sensores, elementos de mando y accionadores.
6. Accionamiento del motor paso a paso
7. Fuente de alimentación de 35 VDC, para la parte de fuerza de los motores paso a paso.
8. Grupo de bornes destinados para la conexión del encoder incremental y sensor ultrasónico.

Se escogió el PLC S7-1200 debido a la disponibilidad del software TIA portal para realizar configuraciones al momento en que se realicen las prácticas, la facilidad de programación, y el costo con respecto a las características que ofrece, como son las salidas rápidas para el control de los motores paso a paso.

### **3.3.1 Controlador lógico programable S7-1200 CPU1214C**

La CPU1214C instalada en el módulo incorpora un microprocesador capaz de elaborar las funciones necesarias para realizar la lógica de control. La CPU necesita un voltaje de 24 VDC para su alimentación y viene incorporada con el puerto de comunicación Profinet que nos permite realizar una conexión a un router y poder crear una red inalámbrica que se utiliza para la transmisión de datos con el SCADA.



**Figura 3. 11** PLC S7-1200 instalado en la consola. (SIEMENS, 2009)

Las características que posee la CPU son las siguientes:

- Sus entradas digitales trabajan a un voltaje de 24VDC, en donde se conectan las señales de control, como son la de los pulsadores y señales que proveen los driver de los motores paso a paso. El voltaje puede ser provisto por el mismo PLC o puede ser suministrado por una fuente externa.
- Las salidas digitales utilizadas son las de tipo transistor y la elección se debe a sus altas frecuencias de conmutación ya que son las que se utilizan para el control de los motores paso a paso, los cuales necesitan conectarse a una salida que suministre un tren de pulsos.
- En la entrada analógica se conecta la señal emitida por el sensor ultrasónico, que luego es procesada por el autómata programable para la lectura de la distancia entre la ubicación del sensor y el extremo de la onda que se forma entre el área del desbobinado y la de arrastre. La señal de entrada que posee esta CPU es de 0-10V, por lo tanto se escogió el sensor que suministra en su salida el mismo tipo de señal.

### 3.3.2 Signal Board

En la figura 3.12 se puede visualizar que en la parte frontal de la CPU tiene instalada una signal board de 2DI/2DO, en donde, la aplicación que se ha dado a sus dos entradas será la de recibir la señales de los canales (canal A y B) del encoder incremental, para posterior el autómata realizar el conteo de los pulsos recibidos por medio de un contador rápido (HSC).

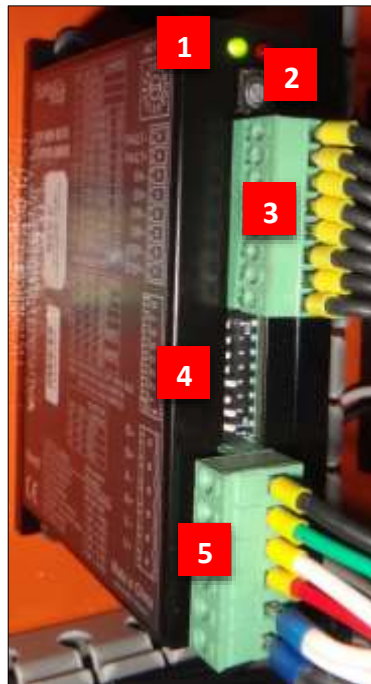


**Figura 3. 12** Signal board de 2DI/2DO. (Setecind, 2010)

En caso de que se hubiera escogido una CPU con salidas de tipo de relé y la aplicación es controlar servomotores o motores paso a paso se les debe adicionar este tipo de tarjeta a los controladores debido a que sus salidas son a transistores. Por cada motor paso a paso a controlar se deben utilizar dos salidas, que le especificaran velocidad y la dirección del movimiento.

### 3.3.3 Accionamiento para motor paso a paso

El accionamiento utilizado en este módulo didáctico estará encargado de recibir los pulsos emitidos por el PLC y procesarlos con el objetivo de generar la secuencia necesaria para el control de posición, velocidad y sentido del motor paso a paso. También dará la etapa de fuerza del motor.



**Figura 3. 13** Accionamiento para motor paso a paso. (AUTOMATIONDIRECT, 1999)

De acuerdo a lo leído en el manual del equipo se describe en un resumen el funcionamiento de cada una de sus partes.

1. **Leds indicadores**, permite visualizar en qué estado se encuentra el accionamiento.



**Tabla 3. 1** Descripción de los estados LEDs.

LED	ESTADO DEL LED	DESCRIPCIÓN
Verde	Encendido	Motor deshabilitado
Verde	Intermitente	Motor habilitado
Verde, Rojo	1 intermitencia, 4 intermitencias	Alto voltaje
Verde, Rojo	1 intermitencia, 5 intermitencias	Sobre corriente
Verde, Rojo	1 intermitencia, 6 intermitencias	La phase del motor está abierta.
Verde, Rojo	2 intermitencia, 3 intermitencias	Problemas con el voltaje interno.
Verde, Rojo	3 intermitencia, 3 intermitencias	Error de configuración.
Verde, Rojo	2 intermitencia, 4 intermitencias	Bajo voltaje

**Fuente:** (El Autor)

- 2. Interruptor rotatorio**, permite realizar la selección de los datos técnicos del motor que se va a controlar. Cada motor paso a paso utilizado posee un código de referencia, el cual se relaciona con la posición del interruptor que posee el accionamiento.

**Tabla 3. 2** Selección de los parámetros del motor paso a paso.

INTER.	MOTOR	CORRIENTE
0	Reserved	
1	Reserved	
2	Reserved	
3	Custom NEMA 17	1.3
4	Custom NEMA 23	4.0
5	Custom NEMA 34	4.0
6	STP-MTR-17040(D)	1.7
7	STP-MTR-17048(D)	2.0
8	STP-MTR-17060(D)	2.0
9	STP-MTR-23055(D)	2.8
A	STP-MTR-23079(D)	2.8
B	STP-MTR-34066(D)	2.8
C	STP-MTRH-23079(D)	5.6
D	STP-MTRH-34066(D)	6.3
E	STP-MTRH-34097(D)	6.3
F	STP-MTRH-34127(D)	6.3

**Fuente:** (AUTOMATIONDIRECT, 1999)

### 3. Bloque de entradas/salidas digitales

El accionamiento posee tres entradas digitales y una salida digital

- ✓ **Entrada EN-, EN+ (Enable)**, Al enviar un voltaje positivo a esta entrada, deshabilita el motor. Esta señal puede ser usada al momento de activar una parada de emergencia.
- ✓ **Entrada DIR-, DIR+**, tiene como función establecer la dirección de desplazamiento en que se moverá el motor. La señal que le llegara será enviada por una salida del controlador lógico programable.
- ✓ **Entrada STEP-, STEP+**, se le suministra mediante una salida del PLC un tren de pulsos (PTO) para darle movimiento al motor.
- ✓ **Salida FAULT-, FAULT+**, indica que el accionamiento se encuentra en falla. Esta señal es enviada al controlador lógico programable para evitar una mala operación en el proceso.

### 4. Configuración de los DIP switch

Estos interruptores dan la opción de reducir la corriente de trabajo, elegir qué tipo de carga de inercia, la reducción de corriente cuando el motor no se encuentra en movimiento logrando evitar el calentamiento del mismo y del accionamiento, un autotest para comprobar el funcionamiento y el cableado eléctrico del motor sin la necesidad de un controlador lógico programable y por último la selección de los pasos por revolución del motor.

Este accionamiento posee la característica de trabajar con micro pasos, que consiste en que el motor paso a paso alcance posiciones intermedias entre un paso y un medio paso. Por ejemplo con el motor que se está trabajando tiene un movimiento de  $1.8^\circ$  por paso, y si realizamos 10 micro pasos se obtendría el movimiento cada  $0.18^\circ$ .

### 5. Bloque de conexión del motor y potencia

Aquí se realizan las conexiones de las bobinas del motor paso a paso, y la fuente de alimentación para la etapa de potencia. El voltaje utilizado para la fuerza es de 35VDC a 4A.

### 3.3.4 Características técnicas del encoder incremental

El encoder incremental utilizado es de tipo rueda que tiene la función de medir la longitud del papel mientras esta en movimiento. La rueda permite convertir el movimiento angular en lineal mediante la siguiente formula:

$$L = \pi d \quad (3.1)$$

Donde  $L$  es la longitud de la circunferencia de la rueda,  $\pi$  es igual 3,14 y  $d$  es el diámetro de la rueda.

Su voltaje de operación es de 12 – 24VDC y su unidad de medición es de 1mm, es decir, que al momento de provocar el movimiento de la rueda el encoder comenzara a emitir los pulsos y cada uno de estos indica un desplazamiento de 1mm.



**Figura 3. 14** Encoder incremental tipo rueda. (Hangyoung nux, 2013)

### 3.3.5 Características técnicas del motor paso a paso

Los motores eléctricos seleccionados para efectuar el proceso de una manera más precisa son los motores paso a paso de tipo bipolar. Estos poseen las características especiales que permiten el movimiento de su eje en ángulos muy precisos y por pasos. Cada paso es un pulso enviado por la salida digital del controlador lógico programable, y el movimiento del motor es de apenas  $1.8^\circ$  por cada paso, es decir, se necesitaría 200 pulsos para que el motor gire una revolución ( $360^\circ$ ).

Este movimiento le permite al motor ser bastante preciso y no necesita un sistema de control por lazo cerrado, como si lo requiere un servomotor.



**Figura 3. 15** Motor paso a paso bipolar. (AUTOMATIONDIRECT, 1999)

### 3.3.6 Características técnicas del sensor ultrasónico

El sensor ultrasónico emite uno a varios pulsos de ultrasonido, los cuales viajan a través del aire a la velocidad del sonido. El sensor trabaja midiendo el tiempo en que los pulsos emitidos se reflejan en el papel y viajan de vuelta al sensor, con el objetivo de calcular la distancia y ese valor se obtiene mediante la siguiente formula:

$$D = \frac{ct}{2} \quad (3.2)$$

Donde  $c$  es la velocidad del sonido en el aire y  $t$  el tiempo transcurrido entre la emisión y recepción del pulso.

El sensor ultrasónico utilizado trabaja con un voltaje de alimentación de 10 a 30VDC, y tiene una salida analógica de 0 – 10VDC.

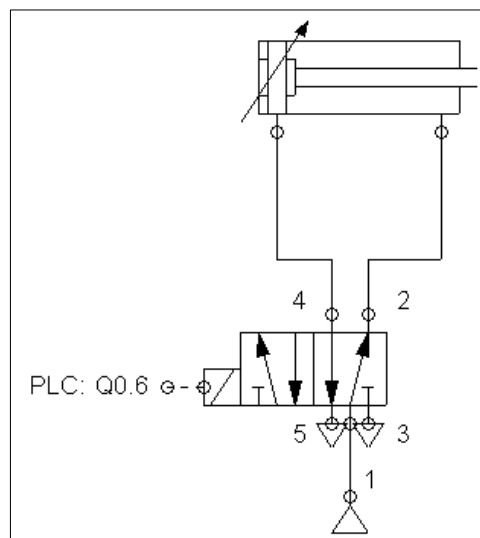


**Figura 3. 16** Sensor ultrasónico. (BANNER, 2014)

Su rango de medición es de 30 mm a 300 mm, antes del valor mínimo hay una zona muerta y si es mayor que el valor máximo esta fuera de rango. El estado en que se encuentra el sensor puede ser visualizado mediante sus dos leds indicadores.

### 3.3.7 Electroneumática

Como se puede visualizar en el circuito neumático los elementos neumáticos utilizados son un cilindro de doble efecto con una presión de 0-10bares, el cual se encarga subir y bajar la cuchilla, una electroválvula de 5/2 vías que controla el cilindro.



**Figura 3. 17** Circuito neumático. (El Autor)

## 3.4 Programa de parametrización y automatización

### 3.4.1 Descripción del proceso

Para empezar el proceso de corte se coloca la bobina de papel en su respectivo eje y luego desbobinar el papel hasta colocarlo entre los rodillos que efectúan el arrastre. Con la opción en modo manual se da marcha al motor de la bobina y al rodillo de arrastre para transportar el papel hasta la zona de corte.

Al cambiar el selector en modo automático el motor que esta acoplado al rodillo de arrastre principal comenzara a moverse a una velocidad prefijada en el sistema SCADA, mientras que el movimiento del eje de la bobina debe ser de manera tal que

el papel permanezca templado, pero a la vez también se debe evitar el sobrestiramiento ya que puede provocar la rotura del papel. El modo automático funciona siempre y cuando el sensor ultrasónico detecte que se dispone del material para el corte.

Para realizar el corte del material se debe conocer el valor de la longitud que se está desplazando el papel, el cual se obtiene mediante el conteo de pulsos enviado por el encoder incremental tipo rueda. El valor calculado es comparado con el ajustado en el sistema SCADA y cuando este es mayor envía la señal de corte.

### **3.4.2 Software TIA Portal V12**

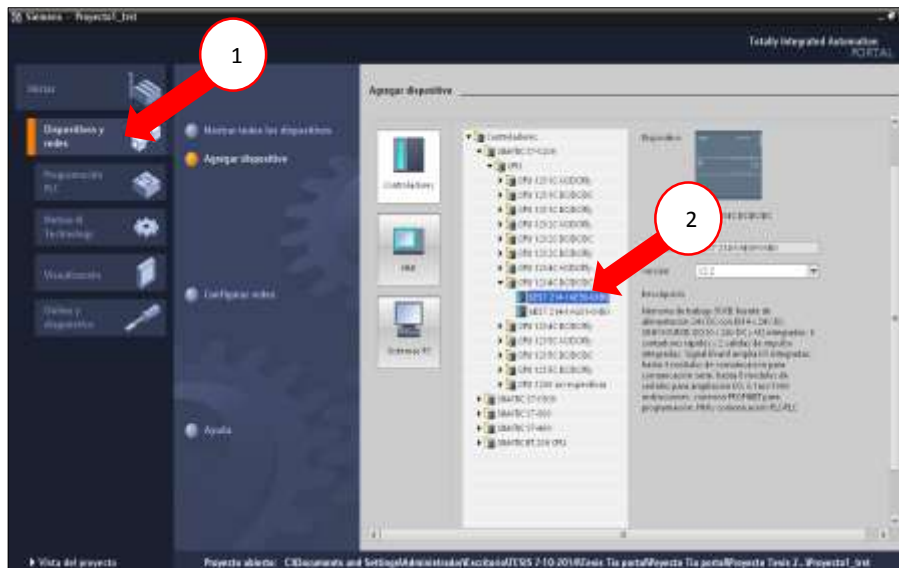
TIA Portal es un software de ingeniería para configurar los controladores S7-1200 que contiene las funciones esenciales para realizar las aplicaciones que darán un buen funcionamiento a los elementos escogidos en el módulo didáctico. Para crear un nuevo proyecto y configurar los dispositivos se procede a realizar los siguientes pasos:

1. Al ejecutar el software dando clic sobre el icono del TIA Portal, aparece la ventana de nuevo proyecto donde se especifica el nombre, la ruta para guardar, autor y comentario.



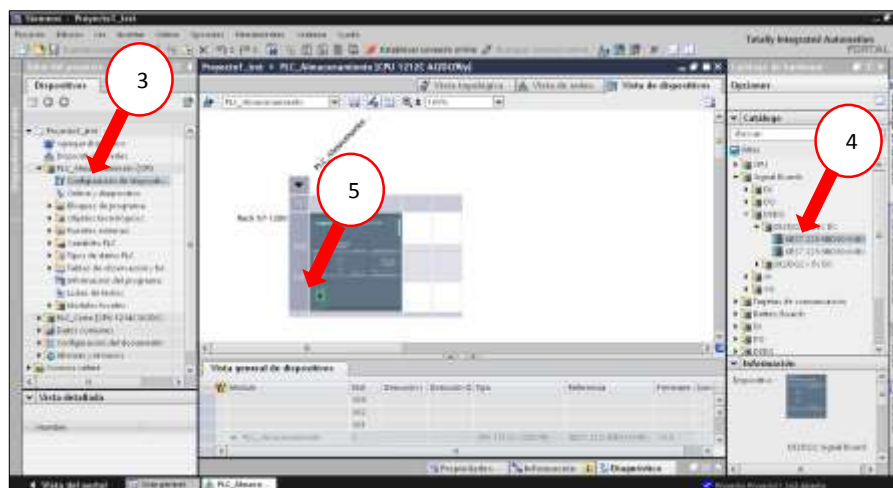
**Figura 3. 18** Icono de acceso directo. (TIA Portal V12, 2012)

2. Luego de creado el proyecto se agrega el dispositivo, que en este módulo didáctico es el PLC S7-1200 CPU 1214C. Se agrega dando clic sobre Dispositivos y redes (1), Agregar dispositivo (2), y como resultado aparece la ventana donde se muestra la lista de los controladores, en donde se escoge el que la CPU utilizada.



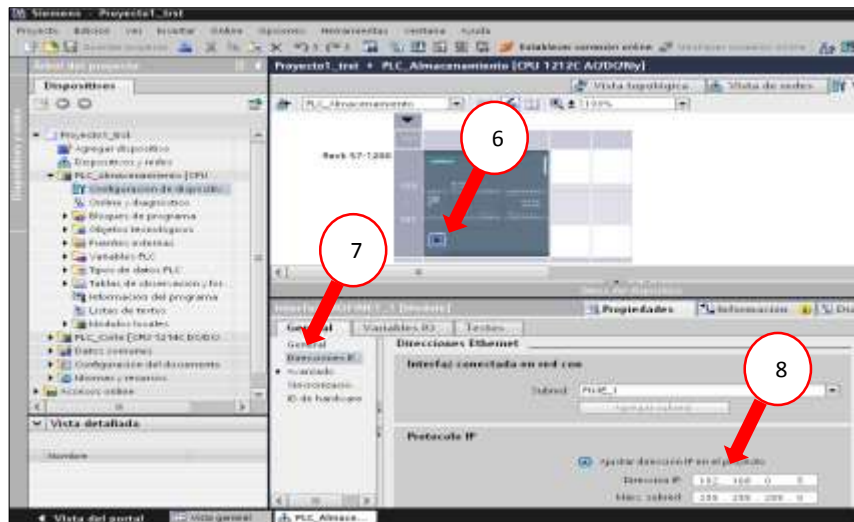
**Figura 3. 19** Lista de PLC SIEMENS de la gama S7-1200. (El Autor)

3. Añadir una tarjeta signal board de entradas/salidas digitales desde el árbol del proyecto y dar clic sobre la opción configuración de dispositivo (3), luego se visualiza la ventana para configurar Hardware. En el lado derecho de la ventana se muestra un catálogo (4) con la lista de módulos que se pueden ampliar. Se escoge la signal board de DI2/DQ2 a 24VDC (5).



**Figura 3. 20** Configuración del hardware de la CPU 1214C. (El Autor)

4. Asignar la dirección IP al autómata y dar clic en la imagen del puerto RJ45 (6) del PLC, el cual muestra en la parte la inferior la pantalla de configuración Ethernet, entonces en la opción de direcciones Ethernet (7) se coloca la dirección IP 192.168.1.4 (8) con mascara de subred de 255.255.255.0.



**Figura 3. 21** Asignación de dirección de red. (El Autor)

5. Ahora declarar las entradas y salidas que se utilizan en el proceso. Para dar un mejor entendimiento a la programación se coloca nombres a cada variable que sea declarada, cuyos nombre sirve para indicar cuál es la función que realiza.

### 3.4.3 Programación del controlador lógico programable

Una vez efectuada todas las configuraciones básicas del hardware y antes de comenzar a realizar la programación de la secuencia del proceso se debe realizar configuraciones en el software con bloques avanzados que se han utilizado como por ejemplo para darle movimiento al motor paso a paso.

#### 3.4.3.1 Objetos tecnológicos

Los objetos tecnológicos es una herramienta de control avanzado que permite crear bloques de configuración para control de movimiento. La funcionalidad del bloque de “motion control” permite crear un “eje” que sirve para controlar accionamientos, a través de las salidas de impulsos y sentido que tiene PLC.

Al ser agregado un “eje” relaciona el hardware con el software, permitiendo al usuario iniciar peticiones para el movimiento de los accionamientos.

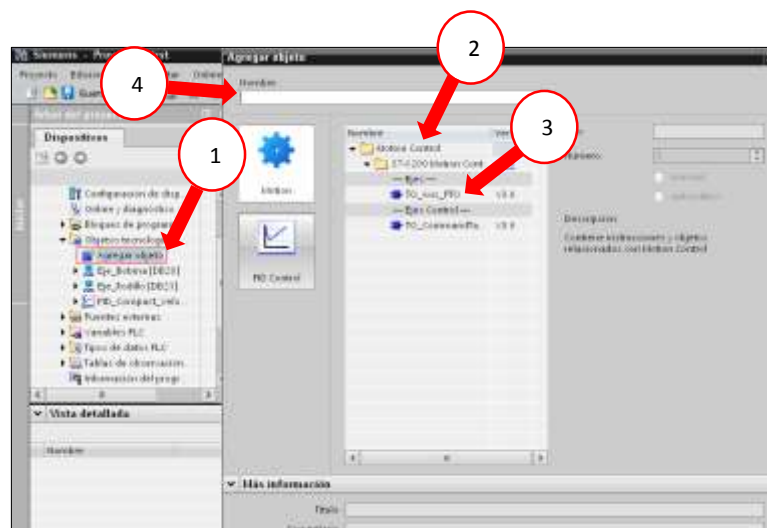




**Figura 3. 22** Componentes del Hardware. (El Autor)

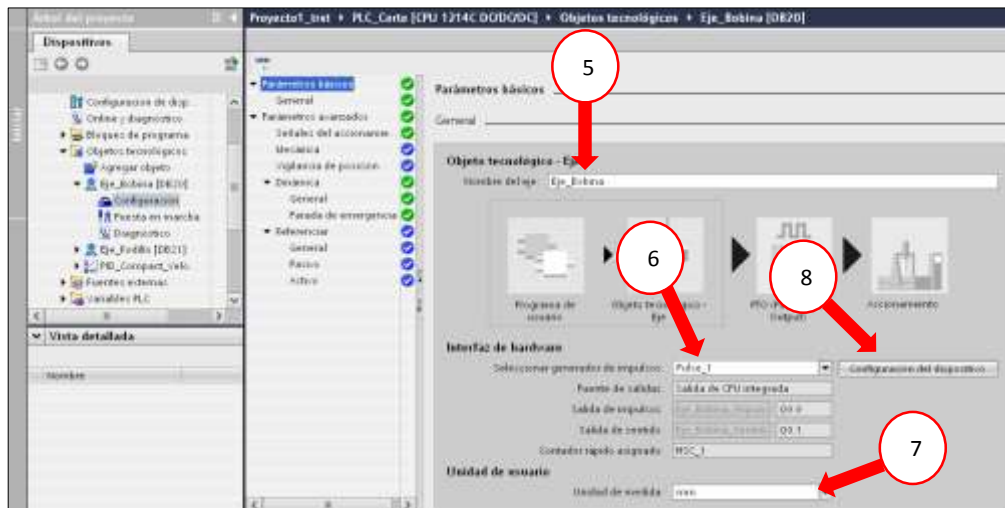
Para crear y configurar los objetos tecnológicos “eje” se procede con los siguientes pasos:

1. En la carpeta objetos tecnológicos que se encuentra en el árbol del proyecto se da doble clic en Agregar objeto (1) y aparece el cuadro de dialogo, donde se selecciona la tecnología motion. Se expande la carpeta de motion control (2), se escoge la opción TO\_Axis\_PTO (3) luego se ingresa el nombre del objeto (4) y se da clic en Aceptar. Cuando el objeto tecnológico eje que va a representar el accionamiento físico en el controlador se haya creado, se dispondrá de tres herramientas configuración, puesta en marcha y diagnóstico.



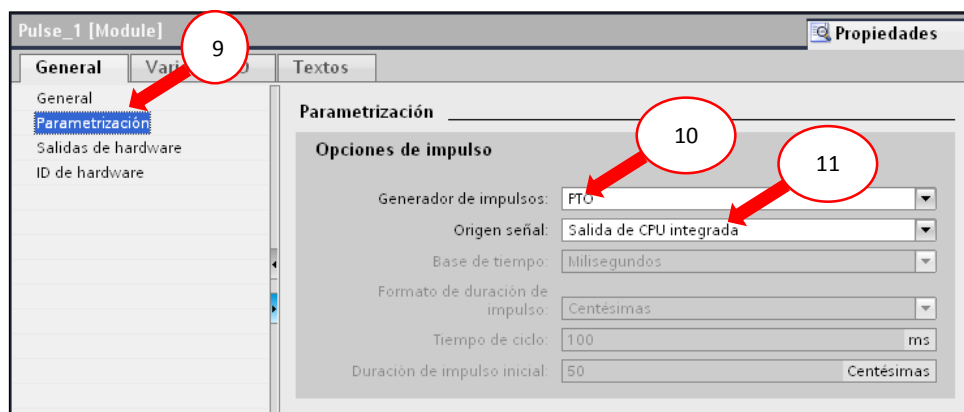
**Figura 3. 23** Agregar un objeto tecnológico. (El Autor)

- Con la herramienta de configuración se realiza los ajustes de las propiedades del objeto tecnológico. Como primera opción están los parámetros básicos, donde se puede realizar la modificación del nombre (5) en caso de que se requiera, la interfaz del hardware que es donde se escoge el generador de pulso (6) y se definen las salidas para las señales de impulso y sentido. También se escoge la unidad de medida, la cual depende de la aplicación (7).



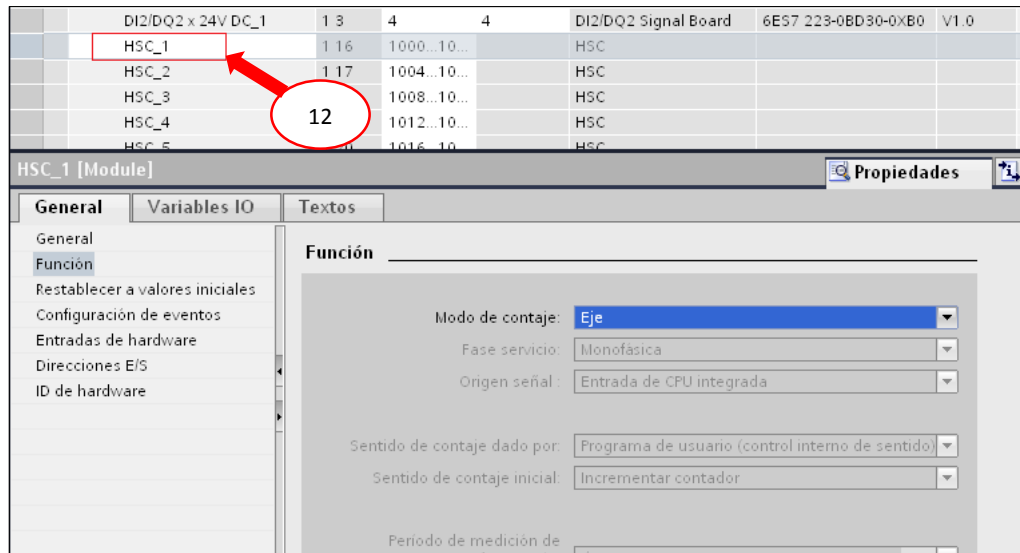
**Figura 3. 24** Propiedades de los parámetros básicos del objeto tecnológico. (El Autor)

Para realizar los ajustes del PTO se da clic en configuración de dispositivo (8), luego que aparezca la ventana de configuración active la casilla de verificación que indica activar este generador de impulsos y en la entrada de parametrización (9) se escoge de la lista desplegable la opción PTO (10) y en origen de señal (11) se coloca la opción salida de CPU integrada.



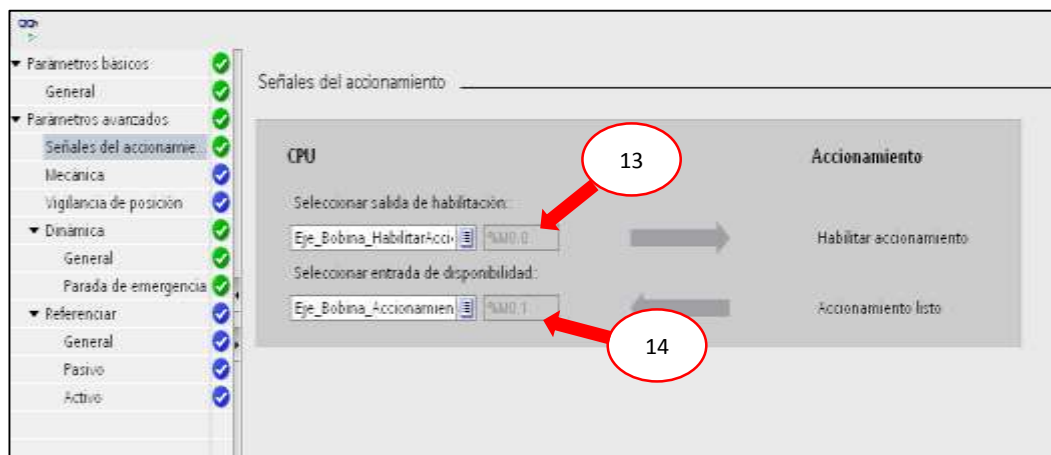
**Figura 3. 25** Parametrización del generador de impulsos. (El Autor)

Para generar los impulsos se utiliza un PTO que significa Pulse Train Output, y cada PTO que se crea requiere internamente la función de un contador rápido (HSC). El enlace entre el PTO y el HSC es fijo, es decir, que si se activa el PTO1 quedaría conectado al HSC1 (12), y el PTO2 al HSC2, con ello los contadores rápidos no podrían ser usado en otra aplicación.



**Figura 3. 26** Configuración del HSC para el generador de impulsos. (El Autor)

En la ventana de las señales del accionamiento que se encuentra en parámetros avanzados se definen dos variables importantes, la primera es una señal que habilita la etapa de potencia del driver (13) y la otra es la retroalimentación que confirma que el accionamiento está listo (14).



**Figura 3. 27** Asignación de las señales de accionamiento. (El Autor)

En mecánica se configura cuantos impulsos necesita el motor por una vuelta (15) y la distancia que recorre por cada una de ellas (16). Esta opción debe ser configurada correctamente cuando se va a utilizar los bloques de movimiento absoluto y relativo.



**Figura 3. 28** Ajustes de los valores de mecánica del eje del rodillo de arrastre inferior. (El Autor)

Ingresar los valores en los campo de datos de la opción mecánica, para esto se necesita conocer el diámetro que tiene el rodillo principal inferior, para luego calcular la longitud que se desplaza el papel por una vuelta del motor.

El valor de la longitud se obtiene mediante la siguiente formula:

$$S = \pi d \quad (3.3)$$

S = perímetro del rodillo

d = diámetro.

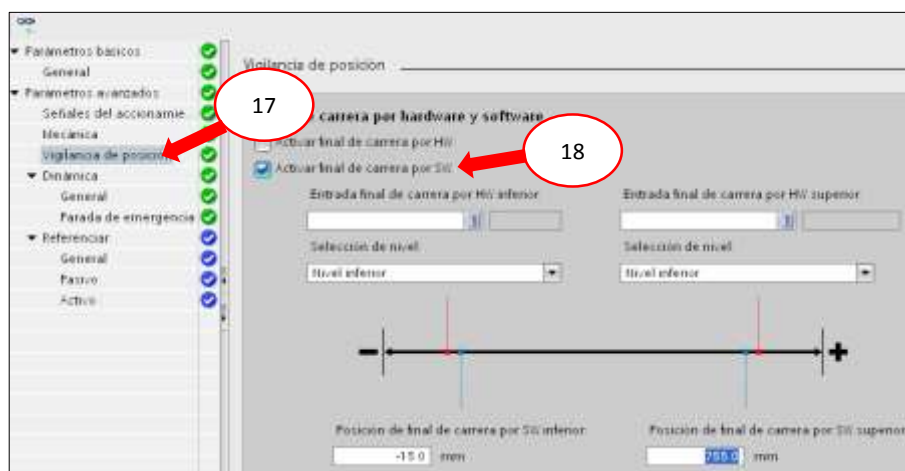
$$S = \pi * (49,65 \text{ mm}) \quad (3.3.1)$$

$$S = 155,9 \text{ mm} \quad (3.3.2)$$

Para el valor de impulsos por vueltas se obtiene de la configuración de los dip switch 5, 6, 7 del accionamiento, en donde, se establece cuantos pasos por revolución deseamos para el movimiento del motor, en este caso se escogió el valor de 20000, para obtener un movimiento más preciso.

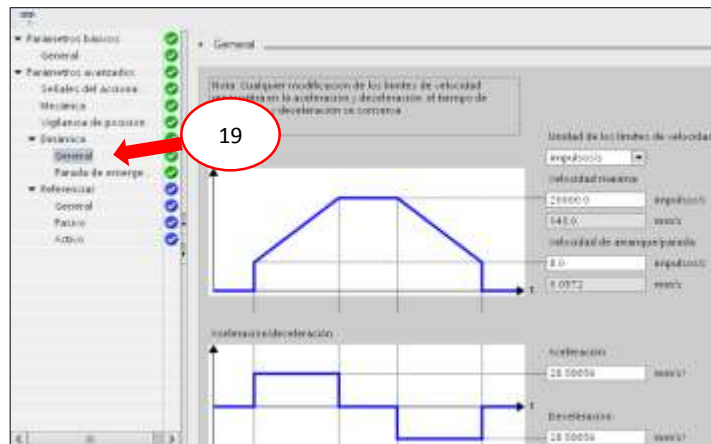
La vigilancia de posición (17), permite definir los límites con respecto a la distancia que puede recorrer el eje. Existe dos maneras de realizarlo, la primera es por hardware, es decir, se colocan sensores de posición y se los conectan a las entradas digitales del PLC para que limiten el desplazamiento y la segunda son interruptores de posición pero por software (18), la cual permite definir los valores de posición inicia, final con respecto a los límites mecánicos y en el caso de que el movimiento del motor excediera estos valores se realiza una parada del eje con un error indicando que se ha alcanzado el final de carrera por software superior e inferior según sea el caso.

Algo importante que se debe realizar es indicar al eje cuál es su posición inicial, es decir, en que parte de la estructura debe empezar con posición 0.0mm. Para esto hay que referenciar el eje y esto se puede realizar con un bloque específico que se explica en secciones posteriores.



**Figura 3. 29** Configuración de finales de carrera por software. (El Autor)

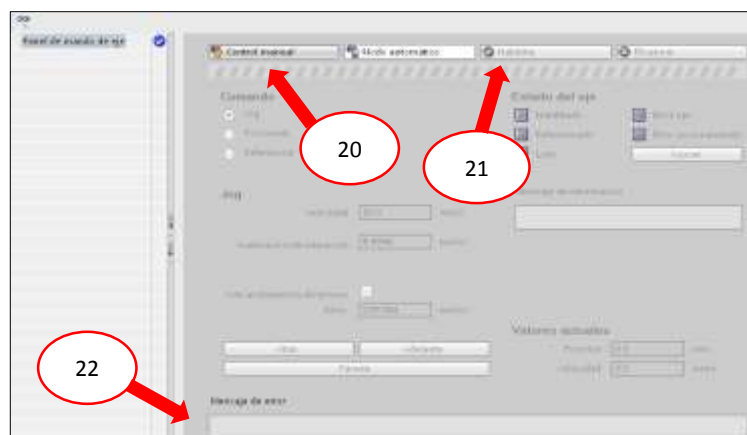
En la opción General (19) se realizan los ajustes de los límites de velocidad, aceleración. Estos valores se obtienen de acuerdo a los datos ingresados en el área de mecánica.



**Figura 3. 30** Ajustes de los valores de dinámica del motor. (El Autor)

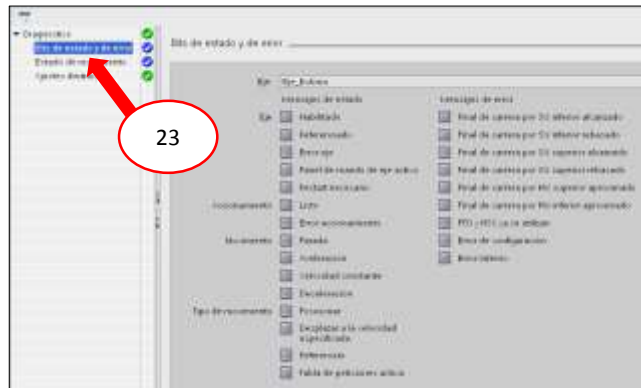
3. Se puede realizar pruebas para diagnosticar el buen funcionamiento y optimizar los ajustes de la unidad motor paso a paso. Esto se realiza mediante un panel de mando que se encuentra en la opción puesta en marcha y este solo funciona cuando hay conexión online establecida con la CPU.

Para comenzar el movimiento del eje se da clic sobre control manual (20) y luego en habilitar (21), se activan los campos que se encuentran dentro de la ventana permitiendo al usuario tener el mando del eje. En caso de que el eje no pueda ser habilitado debe verificar en qué estado se encuentra. En la parte inferior de la ventana hay un campo donde se indican los errores (22) de eje que deben ser corregidos y luego acusados.



**Figura 3. 31** Activación del panel de mando. (El Autor)

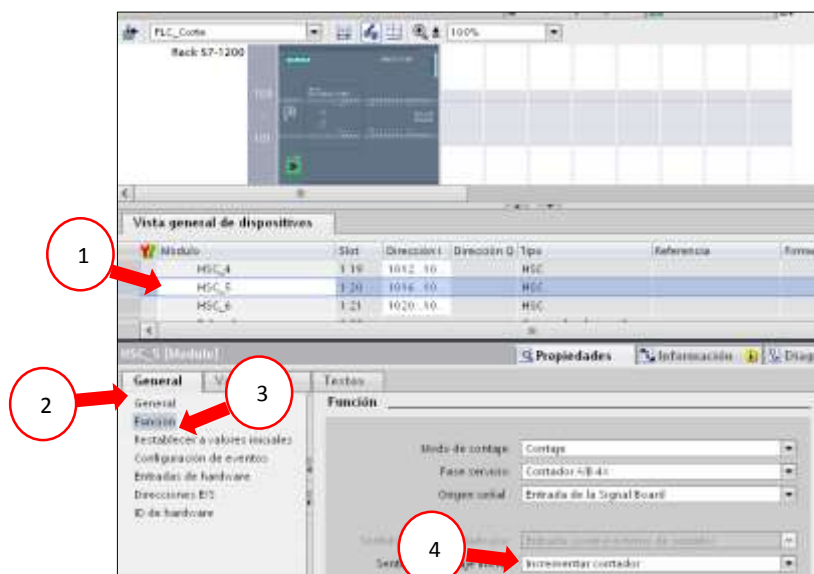
Mediante la conexión online establecida con la CPU se observa con la herramienta de diagnóstico el estado (23) en que se encuentra el eje.



**Figura 3. 32** Ventana de visualización del estado de accionamiento. (El Autor)

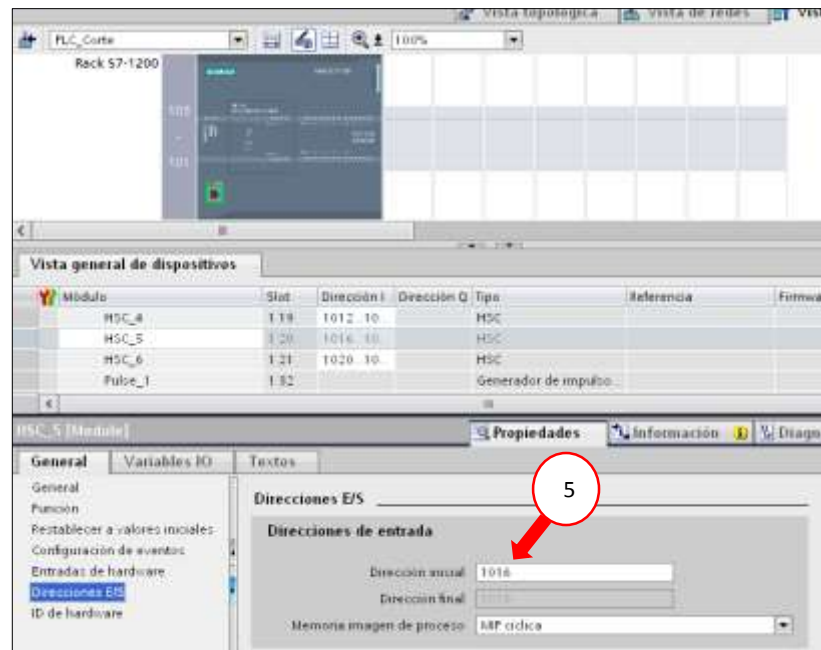
### 3.4.4 Configuración del HSC para la lectura del encoder incremental

Para el conteo de los impulsos emitidos por el encoder incremental se utiliza un contador rápido. Lo primero a realizar es la configuración del contador, esto se hace dando clic en la opción “Configuración de dispositivo”, luego aparecerá la ventana del hardware, y en la parte inferior se busca el contador numero 5 (HSC 5) (1), y se accede a sus propiedades. En la opción general (2) marcamos la casilla “Activar este contador rápido”, en función (3) escogemos modo de contaje, fase de servicio, el origen de la señal y sentido de contaje inicial (4).



**Figura 3. 33** Configuración de contador rápido. (El Autor)

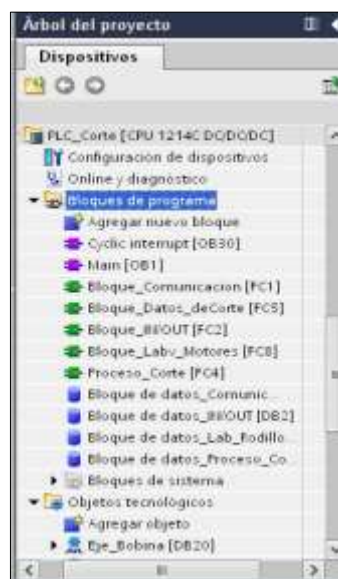
El resultado del contador rápido está depositado en una variable de entrada doble (5).



**Figura 3. 34** Variable designada al contador rápido (HSC\_5). (El Autor)

Una vez configurado el HSC\_5, el siguiente paso es procesar el valor que se obtiene. Esto se realiza con los siguientes pasos:

### 3.4.5 Descripción de los Bloques de Programa del PLC CPU1214C



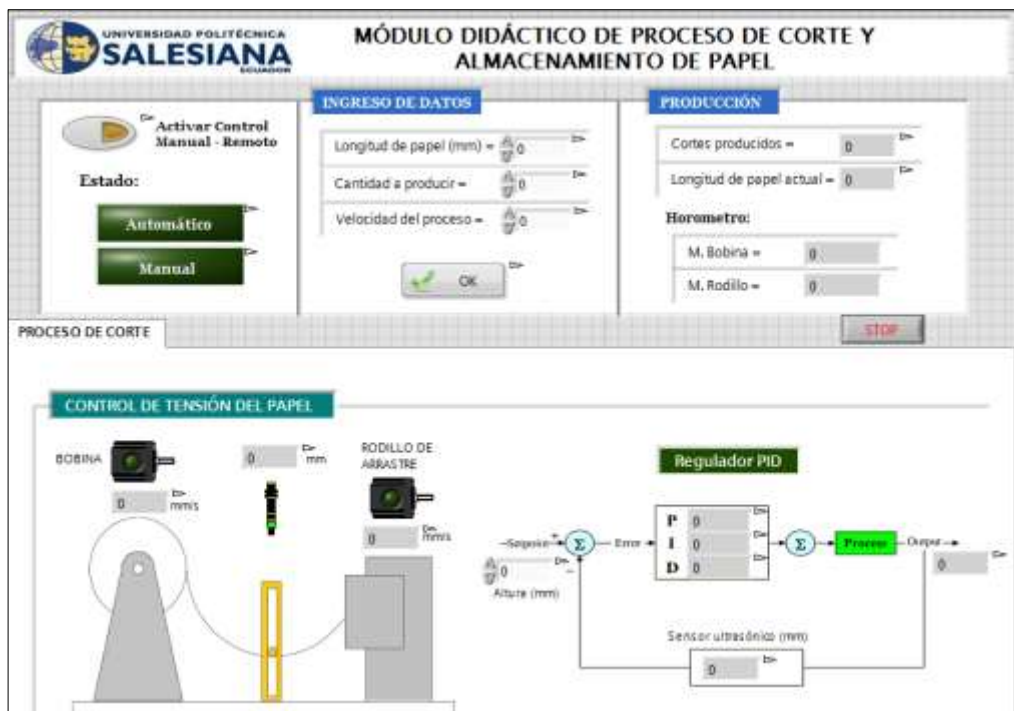
**Figura 3. 35** Bloques de programación del PLC. (El Autor)



- ✓ **Main (OB1):** en este bloque se realizaran las llamadas de las subrutinas y este ejecuta la programación realizada en forma cíclica.
- ✓ **Bloque\_IN/OUT (FC2):** cuando se declare el uso de cada una variables de entrada se transfieren a un bloque de datos global. Estas variables dentro del bloque de datos que han sido creadas van a ser usadas en toda la programación.
- ✓ **Bloque\_Labv\_Motores (FC8):** se transfiere todas las variables de escritura y lectura de proceso a un bloque de datos global (DB3), que servirá para poder visualizar o ingresar datos desde el sistema SCADA realizado en LabVIEW.
- ✓ **Proceso\_Corte (FC4):** en este bloque se llaman y se configuran a las instrucciones de control de movimiento, se realiza la secuencia de corte, se maneja el control de velocidad de los motores y se procesa la señal del encoder incremental, para el cálculo de longitud.

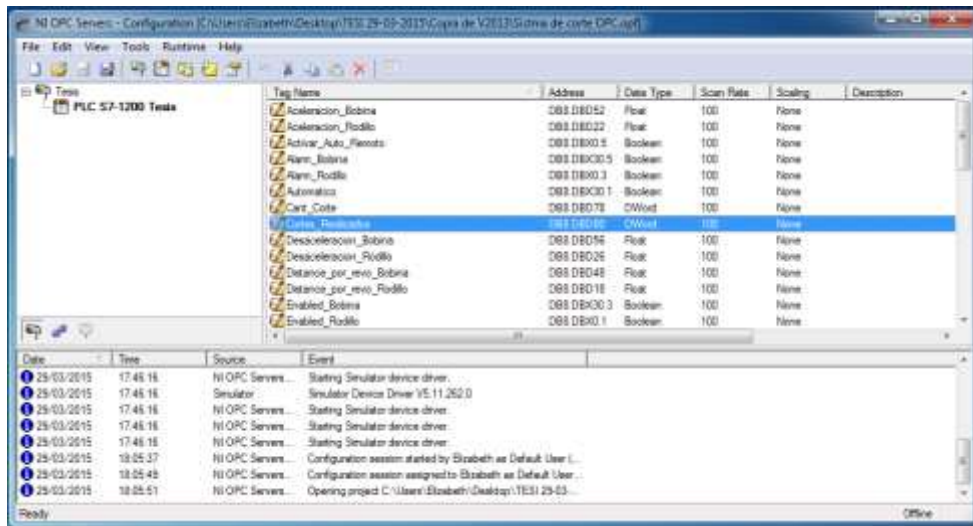
### 3.4.6 SCADA mediante LabVIEW

En el sistema SCADA en LabVIEW se realiza la interfaz gráfica para el control y adquisición de los datos del proceso del módulo didáctico. Para poder visualizar y controlar las variables de proceso que se ha desarrollado se debe establecer la comunicación de los PLC hacia LabVIEW.



**Figura 3. 36** Sistema SCADA de un proceso de corte. (El Autor)

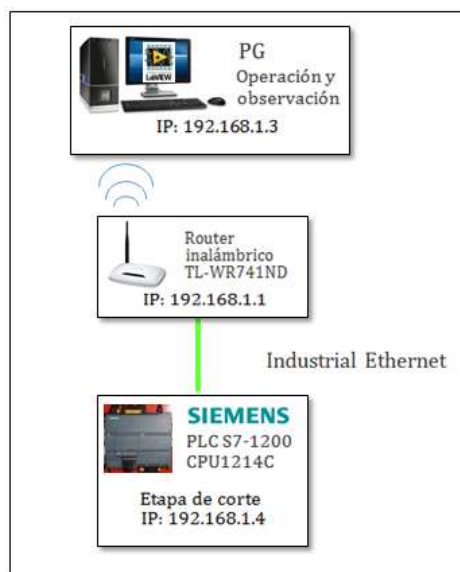
Para realizar la conexión entre los PLCs S7-1200 y LabVIEW se tuvo que utilizar la librería OPC Server de National Instrument, ya que utilizan distintos lenguajes de comunicación.



**Figura 3. 37** Variables de control creadas en NI OPC Servers. (El Autor)

### 3.4.7 Asignación de direcciones IP de los elementos

Para formar una red Ethernet con el protocolo de comunicación TCP/IP se debe configurar en cada uno de los equipos la dirección IP, que es única por cada uno de ellos.

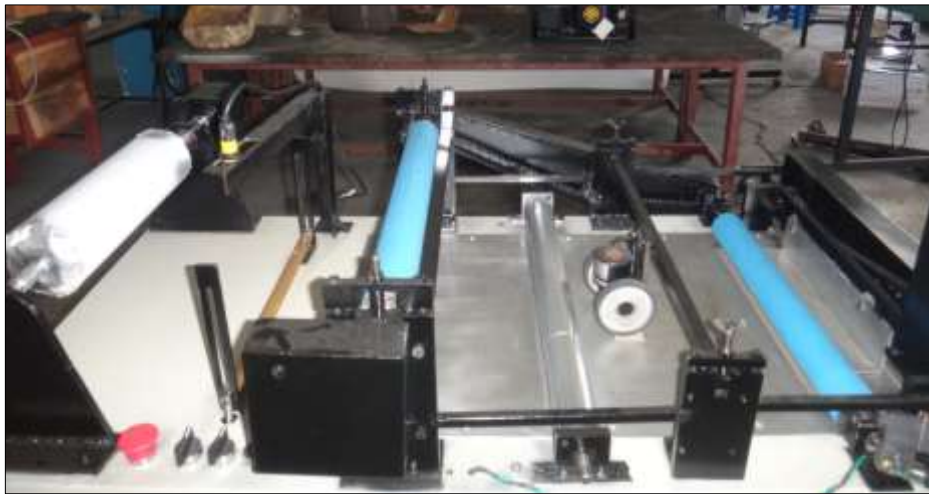


**Figura 3. 38** Diagrama de la red de comunicación. (El Autor)

- En los controladores lógicos programables la configuración se la realiza en el software de TIA Portal.
- En la configuración del router se debe ingresar al servidor web que tiene integrado, y para acceder se debe introducir en cualquier navegador la puerta de enlace. Comúnmente es 192.168.0.1. Luego se solicita un usuario y contraseña, esos datos vienen escritos en el adhesivo que posee el router. Se ingresa los datos y se muestra la ventana de configuraciones, en donde se ingresa la dirección IP que se le va asignar la cual es 192.168.1.1.

### 3.5 Resultados del módulo didáctico

Una vez que la estructura mecánica está finalizada de forma tal que no existan elementos mecánicos fuera de su lugar que puedan provocar daño, que los elementos de control estén configurados en el controlador se procede a realizar las pruebas para verificar como es el comportamiento del papel dentro del proceso.



**Figura 3. 39** Estructura mecánica del módulo didáctico. (El Autor)

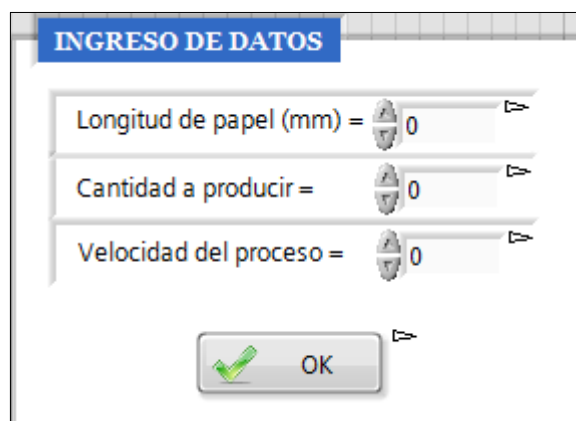
Al empezar a realizar las pruebas fue fundamental la ubicación del papel dentro de las piezas mecánicas, ya que de eso dependía que este fluya de manera continua sin que sea retenido durante el avance del mismo. Para esto se debe desbobinar el papel, pasarlo por debajo de la pieza que realiza el trabajo de darle tensión con el objeto de evitar desviación del papel, luego ingresar el material entre los rodillos de manera centrada tomando como referencia la ubicación de la bobina, desplazarlo por debajo de las ruedas del encoder incremental y el segundo rodillo de arrastre.

En el segundo rodillo de arrastre es donde se aprisiona el papel para desplazarlo a la zona de corte. La presión se da por medio de unos pernos que posee el rodillo en sus extremos, la cual debe ser uniforme a lo largo de donde está ubicado el papel, caso contrario este se queda acumulado en el extremo con menor presión aplicada.

Con los pasos mencionados anteriormente el material está listo para empezar con las pruebas relacionadas con el controlador lógico programable S7-1200. Dentro del mismo están las configuraciones que habilitan a los motores para el movimiento de los ejes.

El modulo tiene dos formas de operación que son manual donde se trabaja con los selectores en modo jog para el movimiento de los ejes en ambos sentido y el automático que interviene un regulador de lazo cerrado.

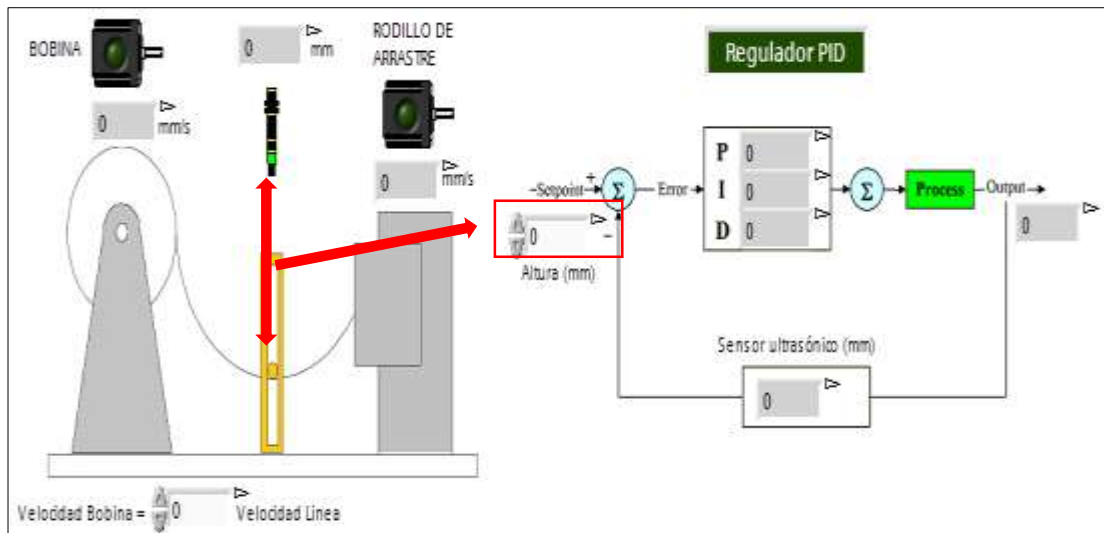
Para realizar cortes de acuerdo a la medida, cantidad y velocidad especificada se debe trabajar en modo automático. Estos datos son ingresados desde el sistema SCADA por parte del usuario.



The image shows a software interface for data entry. At the top, there is a blue header bar with the text "INGRESO DE DATOS". Below this, there are three rows of input fields. Each row consists of a text label followed by an equals sign, a numeric keypad icon, a value, and a dropdown arrow. The first row is "Longitud de papel (mm) = 0", the second is "Cantidad a producir = 0", and the third is "Velocidad del proceso = 0". At the bottom of the window, there is a button with a green checkmark icon and the text "OK", also followed by a dropdown arrow.

**Figura 3. 40** Datos de operación en modo automático. (El Autor)

Como el proceso del módulo didáctico se basa en el control de tensión del papel entre el eje de la bobina y el rodillo de arrastre, se debe ingresar también el dato de la distancia que mide el sensor ultrasónico, que está en el rango de 30 a 250mm.



**Figura 3. 41** Datos de medición del sensor ultrasónico. (El Autor)

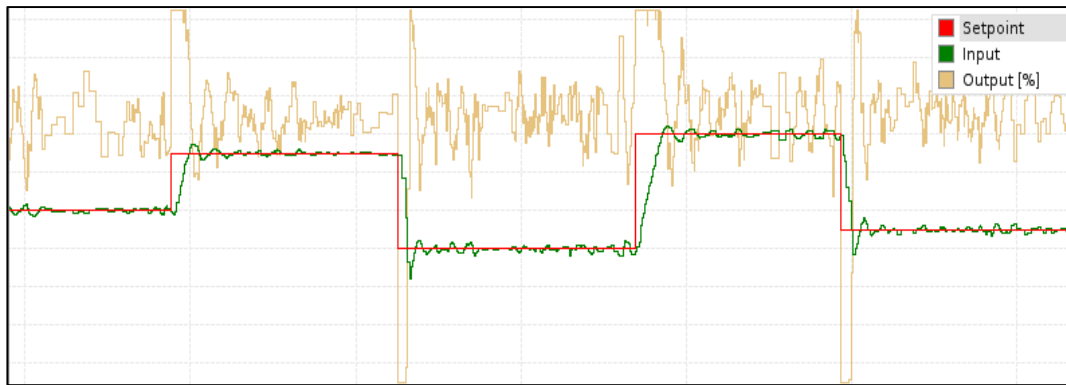
Se coloca el selector en modo automático y con el dato de distancia ingresado el controlador establece la velocidad del eje de la bobina por medio de regulador de lazo cerrado. Con esto se visualiza físicamente en la estructura que el papel comienza a mantenerse en la posición que ha sido establecida.

El resultado del PID para un corte de longitud de papel de 80 cm de largo a una velocidad de 10mm/s con diferentes set point asignados se comporta de la siguiente manera:

**Tabla 3. 3** Datos obtenidos del controlador PID

Setpoint (mm)	Input (mm)	Error
120	120,68	0,68
150	150,34	0,34
110	109,30	0,7
160	159,68	0,32

**Fuente:** El Autor



**Figura 3. 42** Gráfica del controlador PID. (El Autor)

Se visualiza en la imagen que el PID es estable en estas condiciones, a diferencia de su comportamiento, el cual es lento con respecto a la longitud de corte más pequeña y a mayor velocidad. Entonces para realizar este tipo de corte se configura la velocidad de la bobina de manera manual con respecto a la velocidad de línea, logrando mantener constante la posición del papel y siempre tratando de evitar acumulación o estiramiento del material, efectos que perjudican al papel al llegar al corte.

**Tabla 3. 4** Datos de obtenidos de las pruebas con lazo abierto

Velocidad de línea (mm/s)	Velocidad de la bobina (mm/s)	Numero de cortes	Longitud de corte (mm)	Longitud de corte real (mm)	Error
10	7,18	5	200	200,3	0,3
30	21,55	8	100	99,0	1
50	35,91	3	300	300,2	0,2
70	55,64	10	250	250,1	0,1
90	70,31	8	300	299,7	0,3

**Fuente:** (El Autor)

Existe la opción de ejecutar distintas operaciones con diferentes longitudes y cantidades de cortes sin tener que parar el proceso.

CONFIGURACIÓN			
POSICIÓN		LONGITUD DE CORTE (mm)	CANTIDAD
A1	<input type="checkbox"/>	0,00	0
A2	<input type="checkbox"/>	0,00	0
A3	<input type="checkbox"/>	0,00	0
B1	<input type="checkbox"/>	0,00	0
B2	<input type="checkbox"/>	0,00	0
B3	<input type="checkbox"/>	0,00	0
C1	<input type="checkbox"/>	0,00	0
C2	<input type="checkbox"/>	0,00	0
C3	<input type="checkbox"/>	0,00	0

**Figura 3. 43** Ventana de configuración de distintas secuencias de corte (El Autor)

En la figura 3.43 se muestra un almacén con nueve compartimientos, en los cuales se puede visualizar campos numéricos, en donde se asignan en cada uno de estos los datos de cantidad y longitud deseada.

## **CAPÍTULO IV. PRÁCTICAS EN EL MÓDULO DIDÁCTICO**

**4.1 Práctica #1.** Reconocimiento de los sensores y actuadores del módulo didáctico de corte y almacenamiento de papel.

### **Objetivo general**

Reconocer cada uno de los elementos eléctricos, instrumentos y actuadores que comprenden de los mismos.

### **Objetivos específicos**

- ✓ Estudiar los planos eléctricos para comprender las conexiones y verificar la ubicación de cada elemento.
- ✓ Realizar el levantamiento de información de cada elemento con sus respectivas características.
- ✓ Comprender el funcionamiento que cumple cada uno de los elementos de campo y de control.
- ✓ Desarrollar un informe acerca de la práctica ejecutada. Colocando los Objetivos, las conclusiones y recomendaciones.

### **Recursos utilizados (equipos, accesorios y material consumible)**

- ✓ Diagramas eléctricos
- ✓ Sensores y actuadores
- ✓ Dispositivos de control

### **Marco procedimental**

Visualizar cada uno de los elementos de control y de campo instalados en el módulo didáctico, para realizar el llenado del respectivo formato de levantamiento de información con las características técnicas y las funciones que desempeñan. Revisar los planos eléctricos para comprender la conexión que se realizan entre los elementos instalados.



## Datos de los equipos

Datos del equipo	
Nombre del Equipo	PLC S7-1200
Modelo	CPU 1214C
Serie	6ES7214-1AG31-0XB0
Voltaje de alimentación	24 VDC
E/S digitales	14E/10S
Entradas analógicas	2
Tipo de comunicación	PROFINET
Tarjeta Signal Board	SB1223
Serie	6ES7223-0BD30-0XB0
Voltaje de alimentación	24VDC
<b>Descripción de su aplicación</b>	
<p><b>PLC:</b> Por medio de las señales conectadas a sus entradas y salidas el PLC será capaz de poder controlar todo el proceso. El contendrá la secuencia de programación para posterior su ejecución.</p> <p><b>Signal Board:</b> módulo de entradas rápidas que recibirá los pulsos emitidos por el encoder incremental, para luego utilizar un contador rápido disponible en el PLC.</p>	




**Figura 4. 1** Hoja técnica de PLC S7-1200. (El Autor)

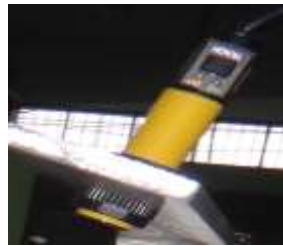
Datos del equipo	
Nombre del Equipo	Controlador para motor paso a paso
Serie	STP-DRV-6575
Marca	SureStep
Voltaje de alimentación	24 - 65 VDC
Entradas digitales	1. Step 2. Direction 3. Enable
Salidas digitales	1. Fault
Tipo de comunicación	Ninguna
<b>Descripción de su aplicación</b>	
<p>Estos dispositivos son la parte de control y fuerza de los motores paso a paso, los cuales están encargados de recibir las señales de impulso y sentido emitidas por parte del PLC, para luego procesarlas y genera el movimiento de los motores.</p>	




**Figura 4. 2** Hoja técnica del accionamiento del motor de pasos. (El Autor)

Datos del equipo		
Nombre del Equipo	Encoder incremental tipo rueda PSC	
Serie	PSC-MC-AB-N	
Marca	Hanyoung nux	
Voltaje de alimentación	12 - 24 VDC	
Tipo de salida	NPN	
Fases de salida	AB: fase A, B	
Pulsos por revolución	500	
Circunferencia de la rueda	250 mm	
Relación de engranaje	2:01	
Unidad de medición	1 mm	
Numero de hilos	6	
Descripción de su aplicación		
Este dispositivo está encargado de medir la longitud del papel con el objetivo de indicar en qué momento se debe realizar el corte. Esto lo efectúa por medio de los pulsos que emite el encoder.		


**Figura 4. 3** Datos técnicos del encoder incremental. (El Autor)

Datos del equipo		
Nombre del Equipo	Sensor ultrasónico S18U	
Serie	S18UUA	
Marca	Banner	
Voltaje de alimentación	10 - 30 VDC	
Tipo de Salida	Análoga: 0 a 10 VDC	
Rango de detección	30 to 300 mm	
Numero de hilos	6	
Descripción de su aplicación		
Este dispositivo está encargado de medir la altura del papel con respecto a él, para poder evitar que exista un estiramiento o acumulación del papel.		


**Figura 4. 4** Datos técnicos del sensor ultrasónico. (El Autor)

Datos del equipo		
Nombre del Equipo	Electroválvula	
Voltaje de alimentación	24 VDC	
Tipo	Electroválvula 3/2	
Descripción de su aplicación		
El cilindro está encargado de elevar y bajar la cuchilla para realizar e corte.		


**Figura 4. 5** Datos técnicos de la electroválvula. (El Autor)

Datos del equipo		
Nombre del Equipo	Motor paso a paso Bipolar	
Serie	STP-MTRH-34097	
Marca	SureStep	
Corriente nominal (A/phase)	6.3	
Par máximo de retención	5.65 N.m	
Angulo de paso básico	1.8°	
Tamaño NEMA	34	
Descripción de su aplicación		
Encargado de dar movimiento al eje donde se coloca la bobina en la etapa de corte.		

**Figura 4. 6** Datos técnicos del motor de pasos del eje de bobina. (El Autor)

Equipo No. 6		
Datos del equipo		
Nombre del Equipo	Motor paso a paso Bipolar	
Serie	STP-MTRH-34127	
Marca	SureStep	
Corriente nominal (A/phase)	6.3	
Par máximo de retención	9.12 N.m	
Angulo de paso básico	1.8°	
Tamaño NEMA	34	
Descripción de su aplicación		
Encargado de dar movimiento al eje donde se coloca el rodillo de arrastre en la etapa de corte.		

**Figura 4. 7** Datos técnicos del motor de pasos del eje del rodillo de arrastre. (El Autor)

Datos del equipo		
Nombre del Equipo	Cilindro neumático	
Tipo	Doble efecto	
Presión	0 -10 bar	
Descripción de su aplicación		
El cilindro está encargado de elevar y bajar la cuchilla para realizar e corte.		

**Figura 4. 8** Datos técnicos del cilindro neumático. (El Autor)

## **Conclusión**

Por medio del levantamiento de información nos permite conocer las características de los equipos, como el tipo salida, su alimentación y aplicación que desempeña cada uno de estos.

## **4.2 Práctica #2.** Ajustes de programación del motor de paso desbobinador.

### **Objetivo general**

Controlar el motor paso a paso de desbobinador utilizando las instrucciones de control de movimiento.

### **Objetivos específicos**

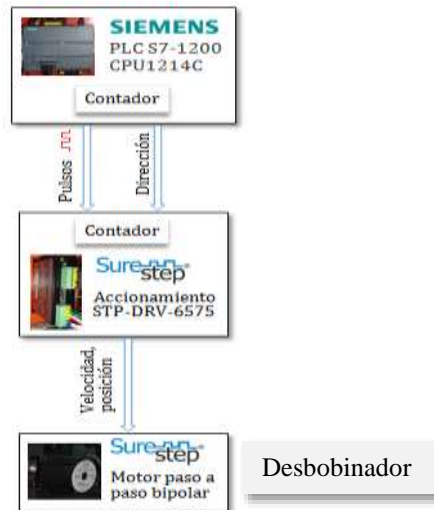
- ✓ Identificar, comprender las conexiones existentes entre el motor, accionamiento y el PLC.
- ✓ Configurar las instrucciones de control de movimiento de velocidad para habilitar y darle movimiento al eje.
- ✓ Desarrollar un informe acerca de la práctica ejecutada. Colocando los Objetivos, las conclusiones y recomendaciones.

### **Recursos utilizados (equipos, accesorios y material consumible)**

- ✓ Routers inalámbricos
- ✓ PLC S7-1200 CPU1214C
- ✓ Computadora
- ✓ Software TIA PORTAL
- ✓ Cable patch cord Profinet
- ✓ Accionamientos y motores

### **Marco procedimental**

En esta práctica se ejecutara el arranque y parada del eje del motor desbobinado a diferentes velocidades y en modo jog, por medio de las instrucciones de control de movimiento que posee el autómeta.



**Figura 4. 9** Diagrama de control entre el motor del eje de la bobina y el autómeta.  
(El Autor)

En la figura 4.9 se describe como se encuentra la conexión física entre el PLC y el accionamiento del motor paso a paso.

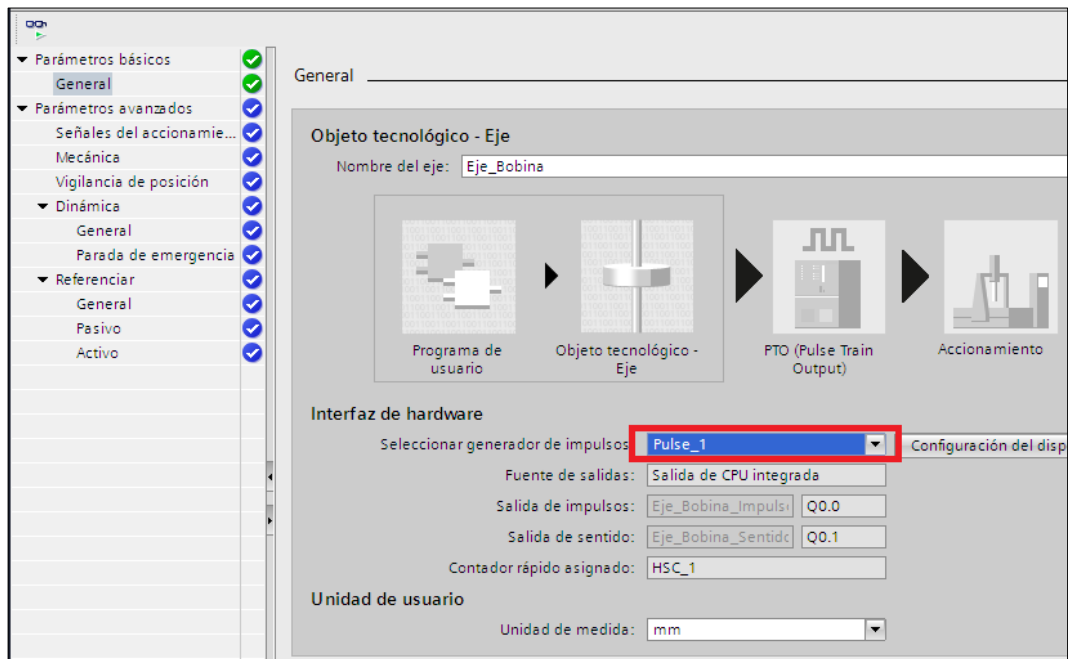
Para realizar el movimiento del eje se debe proceder con los siguientes pasos:

1. Crear un nuevo proyecto en el software TIA Portal, y agregar el PLC de igual características que se tiene instalado en el módulo.
2. En el árbol del proyecto, se observa el PLC creado y sus opciones de configuración. Se debe expandir la carpeta objetos tecnológicos y pulsar la opción agregar objeto.
3. Seleccionar la opción motion y expandir la carpeta motion control. Luego escoger la opción Ejes TO\_Axis\_PTO e ingresar el nombre del eje.



**Figura 4. 10** Configuración de un nuevo objeto tecnológico. (El Autor)

- En la opción parámetro básico del eje creado, seleccionar Pulse\_1 en el campo de generador impulsos, y de forma automática se configuran los otros campos.



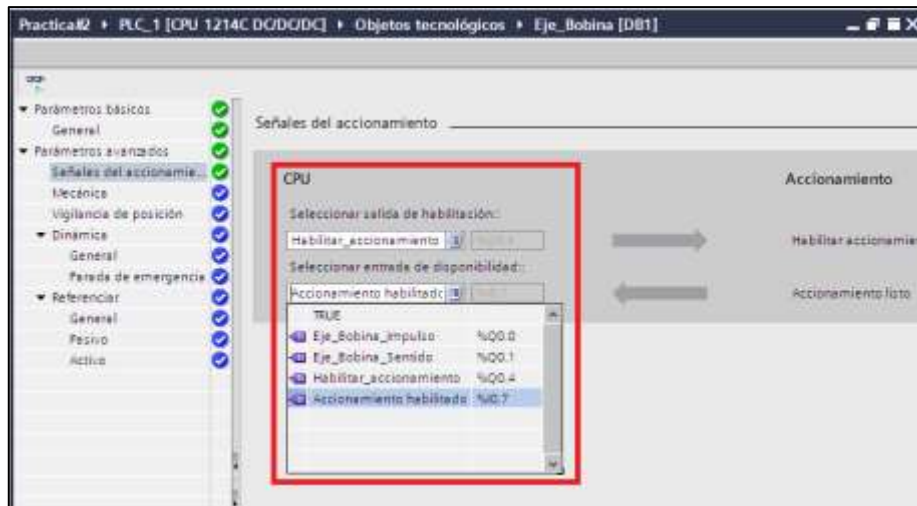
**Figura 4. 11** Selección del generador de impulsos. (El Autor)

- En la opción señales de accionamiento ingresar los datos en los campos de acuerdo a lo descrito en la siguiente tabla:

**Tabla 4. 1** Configuración de las señales de control del accionamiento.

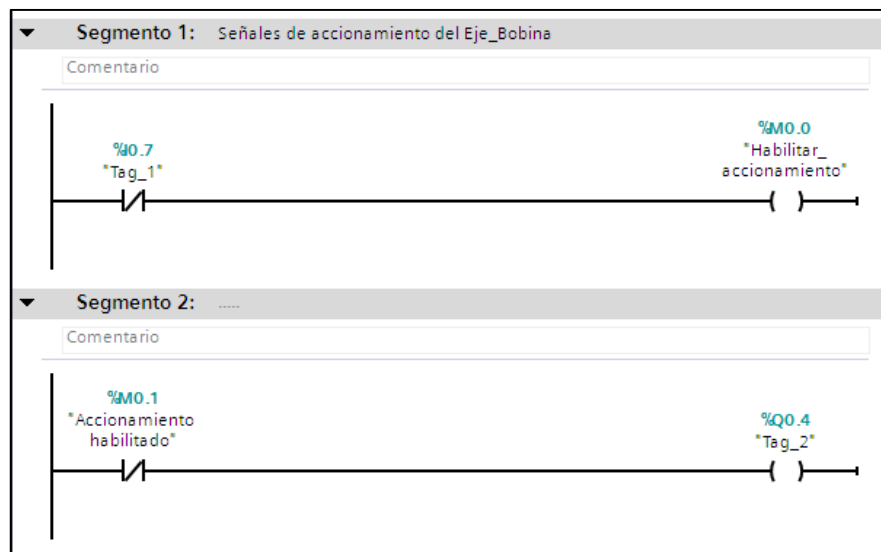
IN/OUT	MARCA	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
I0.7	M0.0	Accionamiento listo	Señal proveniente del accionamiento confirmando en qué estado se encuentra: 1: Falla 0: Listo
Q0.4	M0.1	Habilitar accionamiento	Señal enviada al accionamiento para su habilitación: 1: Deshabilitar 0: Habilitar

**Fuente:** (El Autor)



**Figura 4. 12** Parámetros avanzados del objeto tecnológico. (El Autor)

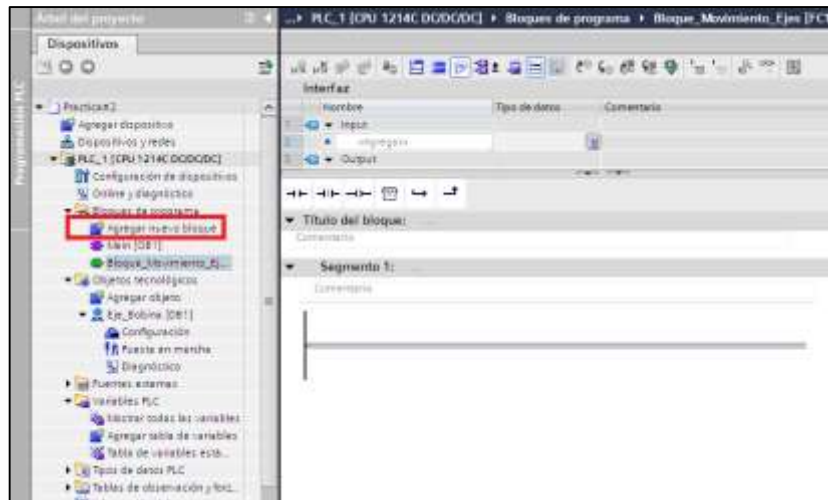
Las señales conectadas a las interfaces de entradas y salidas deben ser transferidas a marcas de memoria, debido a las condiciones de trabajo que presenta el accionamiento.



**Figura 4. 13** Señales de control para el accionamiento del Eje\_Bobina. (El Autor)

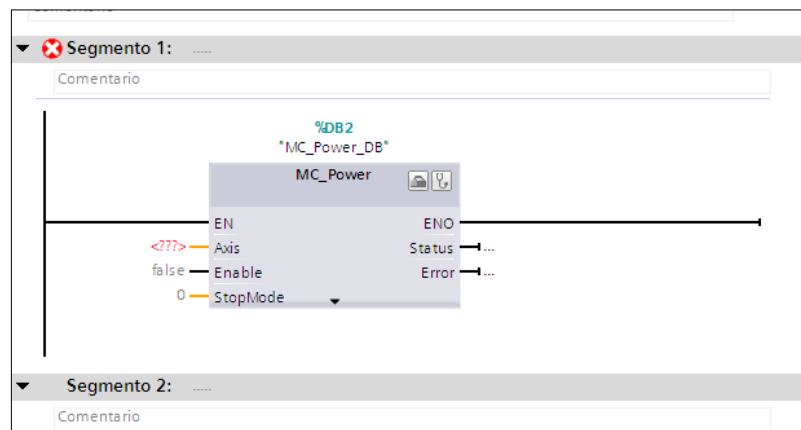
6. Crear un bloque de función en bloques de programa, y dentro del mismo se procederá a llamar a las instrucciones de control de movimiento. Las instrucciones se encuentran en el lado derecho de la ventana, en la opción Tecnología, Motion Control.





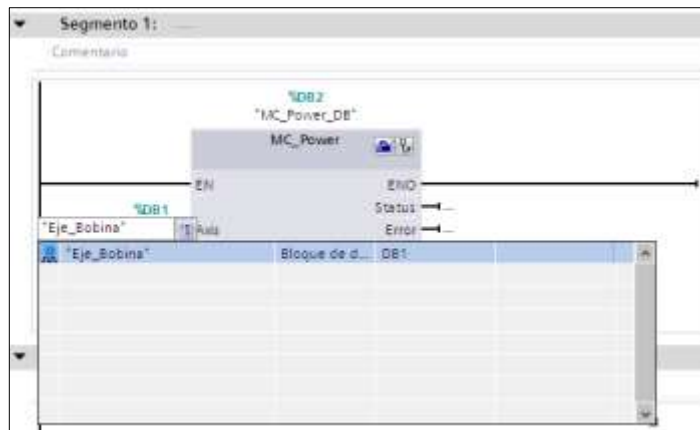
**Figura 4. 14** Creación de un bloque de función. (El Autor)

7. Seleccionar la instrucción MC\_Power y arrastrarla hacia la ventana de programación. Esta es la primera instrucción que se debe colocar, ya que esta permite la habilitación y des habilitación del eje.

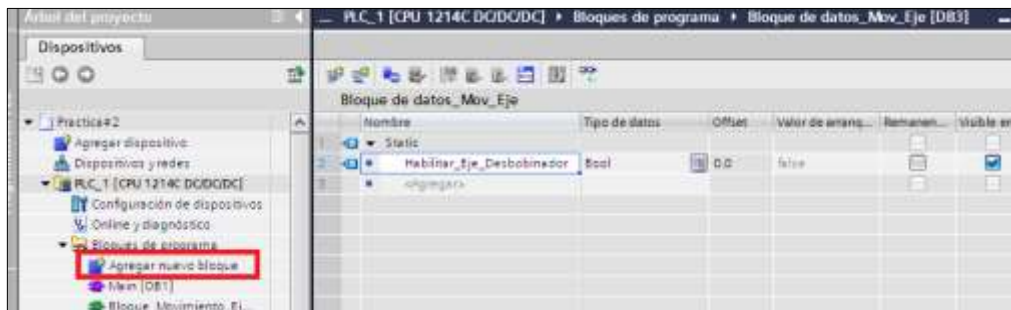


**Figura 4. 15** Instrucción MC\_Power para habilitación del eje. (El Autor)

8. En la entrada axis de la instrucción escoger el eje que se ha creado en los objetos tecnológicos. En la entrada enable colocar una variable para el respectivo control de la instrucción. Se recomienda crear un bloque de datos en bloques de programa con la función de poder crear variables para el control y almacenamiento de datos del eje.

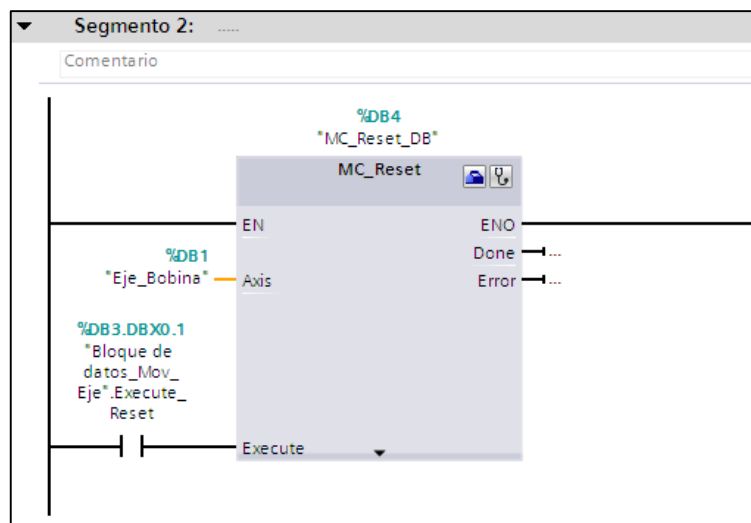


**Figura 4. 16** Configuración del eje en la instrucción MC\_Power. (El Autor)



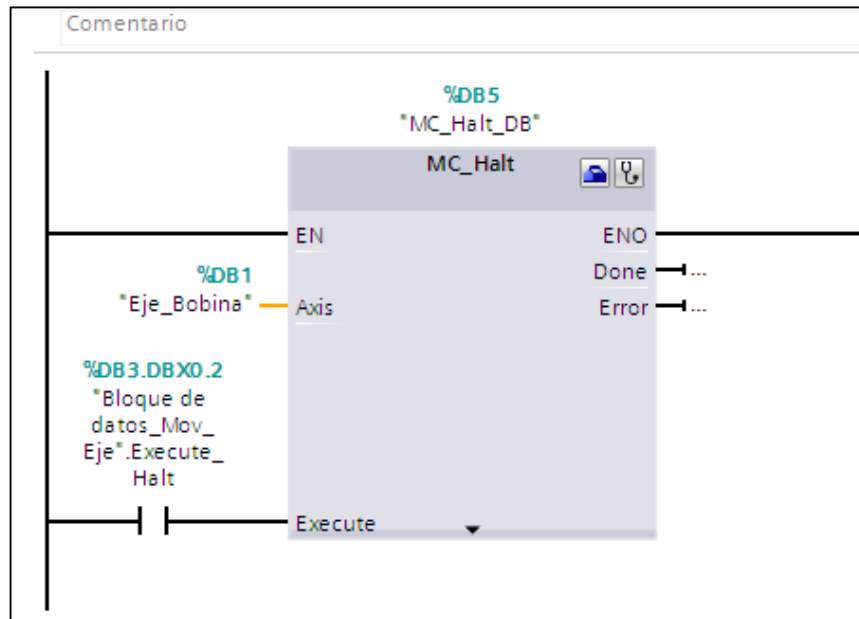
**Figura 4. 17** Creación de un nuevo bloque de datos. (El Autor)

- Realizar de igual manera los dos últimos pasos descritos para las instrucciones MC\_Reset y MC\_Halt.



**Figura 4. 18** Configuración de la instrucción MC\_Reset. (El Autor)

La instrucción MC\_Reset tiene como función permitir al programador resetear los errores que se puedan presentar en el momento.



**Figura 4. 19** Configuración de la instrucción MC\_Halt. (El Autor)

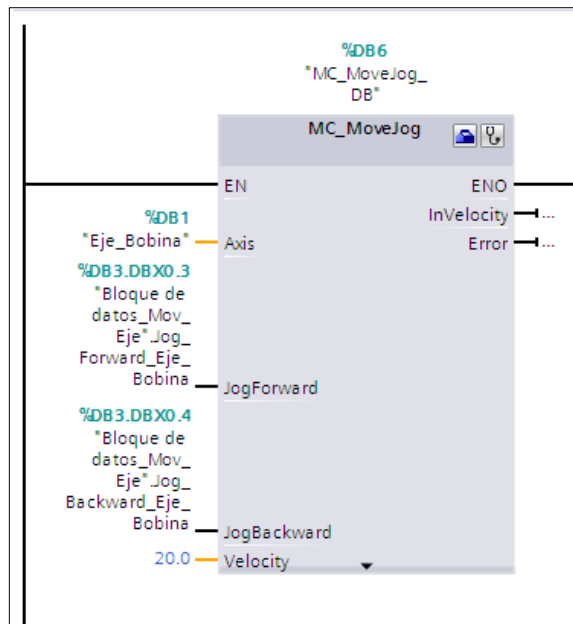
La instrucción MC\_Halt ejecuta la parada del eje mientras se encuentre en movimiento tiene como función permitir al programador resetear los errores que se puedan presentar en el momento.

10. Colocar la instrucción MC\_MoveJog en la ventana de programación y de la misma forma que las otras instrucciones asignar el eje que fue creado.
11. Crear las variables de acuerdo a lo que se describe en la tabla 4.3, para el control de la instrucción MC\_MoveJog, la cual permitirá mover el eje a una velocidad establecida.

**Tabla 4. 2** Variables para el control en modo jog.

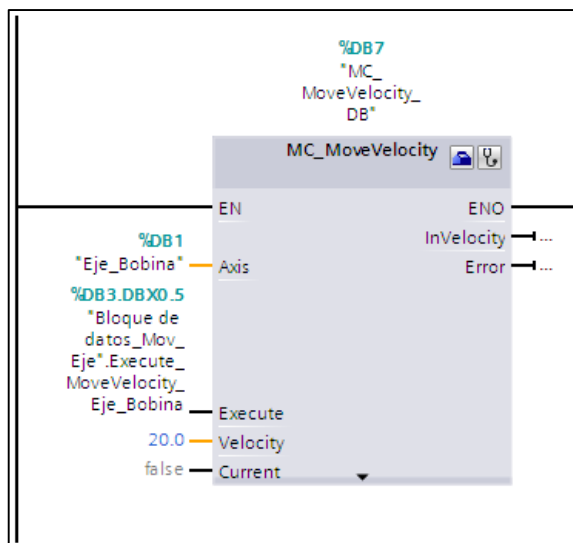
IN/OUT	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
I0.3	Movimiento del eje hacia adelante	Selector de tres posiciones con retorno al centro
I0.4	Movimiento del eje hacia atrás	

**Fuente:** (El Autor)



**Figura 4. 20** Configuración de la instrucción MC\_MoveJog. (El Autor)

12. Realizar la prueba de movimiento del eje con el selector e ingresar distintos valores de velocidad en la entrada velocity de la instrucción, visualizar el comportamiento del motor y entender el modo de operación en el que trabaja la instrucción.
  
13. Crear la variable en el bloque de datos para ejecutar la instrucción MC\_MoveVelocity. De forma similar a la instrucción anterior realizar las pruebas y entender su modo de operación.



**Figura 4. 21** Configuración de la instrucción MC\_MoveVelocity. (El Autor)

Para cambiar la dirección de movimiento del eje, ajusta con el valor de 1 en la entrada direction.

### **Conclusión**

Aunque las instrucciones MC\_MoveJog y MC\_MoveVelocity, realizan el movimiento del eje una velocidad preajustada, su modo de ejecución es distinta, ya que para la primera se necesita que cualquiera de las señales forward y backward siempre permanezca activa mientras que la segunda solo necesita un flanco de subida para generar el movimiento del motor.

### **4.3 Práctica #3.** Ajustes de programación del motor de paso rodillo alimentador.

#### **Objetivo general**

Controlar el motor paso a paso de rodillo, utilizando las instrucciones de control de movimiento.

#### **Objetivos específicos**

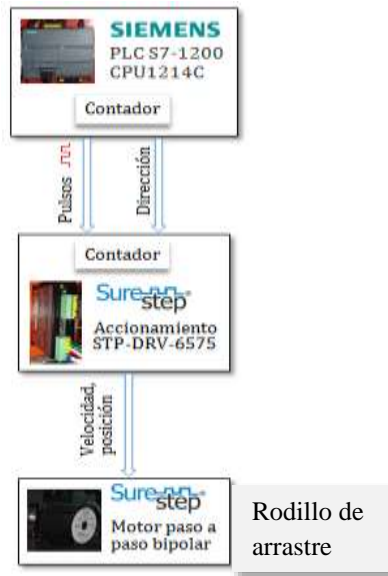
- ✓ Identificar y comprender las conexiones existentes entre los motores, los accionamientos y el PLC.
- ✓ Configurar las instrucciones de control de movimiento de posición para habilitar y darle movimiento al eje.
- ✓ Desarrollar un informe acerca de la práctica ejecutada. Colocando los Objetivos, las conclusiones y recomendaciones

#### **Recursos utilizados (equipos, accesorios y material consumible)**

- ✓ Router inalámbrico
- ✓ PLC S7-1200 CPU1214C
- ✓ Computadora
- ✓ Software TIA PORTAL
- ✓ Cable patch cord
- ✓ Accionamientos y motores

#### **Marco procedimental**

En esta práctica se ejecutara el arranque y parada del eje del motor rodillo alimentador, por medio de las instrucciones de control por posición que posee el autómatas.



**Figura 4. 22** Diagrama de control entre el motor rodillo alimentador y el autómata.  
(El Autor)

En la figura 4.2 se describe como se encuentra la conexión física entre el PLC y el accionamiento del motor paso a paso.

Para realizar el movimiento del eje se debe proceder con los mismos primeros nueve pasos descritos en la práctica anterior. La única diferencia está en el paso 5, en donde las señales del accionamiento están conectadas a otras direcciones de la interfaz de entrada y salida del PLC.

**Tabla 4. 3** Configuración de las señales de control del accionamiento.

IN/OUT	MARCA	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
I0.8	M0.2	Accionamiento listo	Señal proveniente del accionamiento confirmando en qué estado se encuentra: 1: Falla 0: Listo
Q0.5	M0.3	Habilitar accionamiento	Señal enviada al accionamiento para su habilitación: 1: Deshabilitar 0: Habilitar

**Fuente:** (El Autor)

Antes de utilizar los bloques de posición, ingresar en la opción mecánica del Eje\_Rodillo los siguientes datos:

Recorrido por vuelta del motor = 156 mm

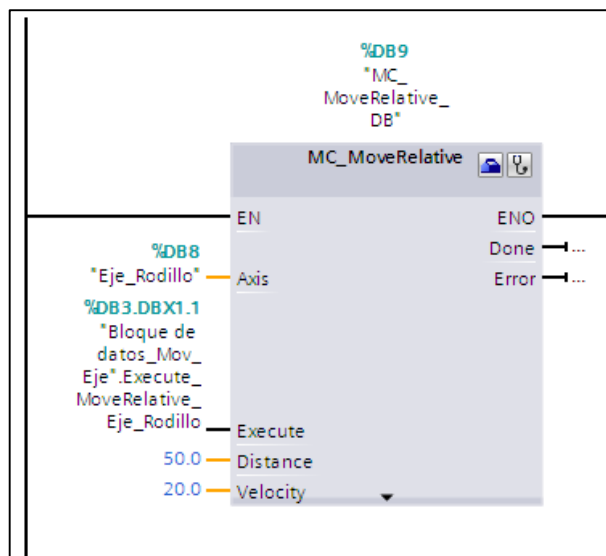
Impulsos por vuelta del motor = 20000

El valor del recorrido por vuelta se obtiene al multiplicar el diámetro del rodillo al que se encuentra acoplado el motor por  $\pi$ .



**Figura 4. 23** Configuración de datos de Mecánica. (El Autor)

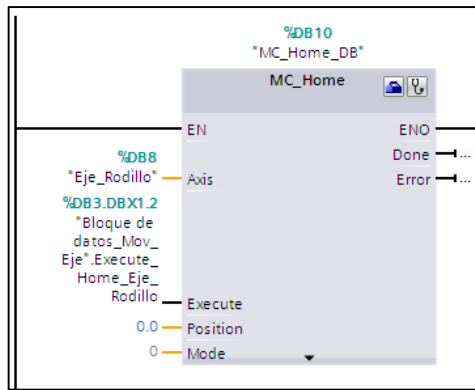
Colocar la instrucción MC\_MoveRelative en el bloque del programa, crear la variable para ejecutarla, ingresar el dato de velocidad y la distancia que va a recorrer.



**Figura 4. 24** Configuración de la instrucción MC\_Relative. (El Autor)

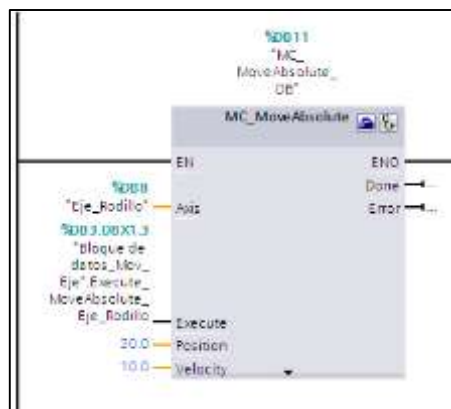
Ahora seleccionar la instrucción MC\_Home, que es utilizada para especificar al eje cuál es su posición inicial. De igual manera que las otras instrucciones crear una variable para ejecutarla e ingresar el valor de 0.0 en la entrada Position.





**Figura 4. 25** Configuración de la instrucción MC\_Home. (El Autor)

Utilizar la instrucción MC\_MoveAbsolute para generar el movimiento del eje en una posición especificada. Crear su respectiva variable para su ejecución, establecer la velocidad e ingresar el valor de posición.



**Figura 4. 26** Configuración de la instrucción MC\_MoveAbsolute. (El Autor)

Establecer la comunicación online con el PLC para realizar las pruebas de movimiento por posición, comprobar que la distancia ingresada en cada una de las instrucciones, sea igual al desplazamiento lineal físico del rodillo y comprender el funcionamiento de las mismas.

### Conclusión

Para utilizar el bloque de MoveAbsolute siempre se debe utilizar la instrucción home, debido a que se debe especificar la posición de referencia.

#### 4.4 Práctica #4 Configuración del sensor ultrasónico

##### Objetivo general

Realizar el escalamiento de la señal analógica para obtener el valor de la altura, que mide el sensor ultrasónico con respecto al papel.

##### Objetivos específicos

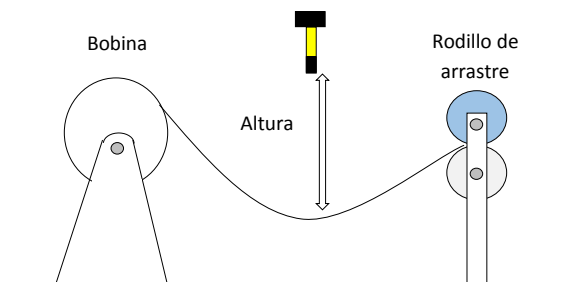
- ✓ Configurar el sensor ultrasónico, estableciendo los límites de medición.
- ✓ Definir los valores para el escalamiento de la señal analógica.
- ✓ Desarrollar un informe acerca de la práctica ejecutada. Colocando los Objetivos, las conclusiones y recomendaciones.

##### Recursos utilizados (equipos, accesorios y material consumible)

- ✓ Routers inalámbricos
- ✓ PLC S7-1200 CPU 1212C y CPU1214C
- ✓ Computadora
- ✓ Software TIA PORTAL
- ✓ Cable patch cord

##### Marco procedimental

1. Determinar el rango de medición en que debe de trabajar el sensor ultrasónico. Los pasos de configuración del sensor están especificados en el manual de dicho equipo.

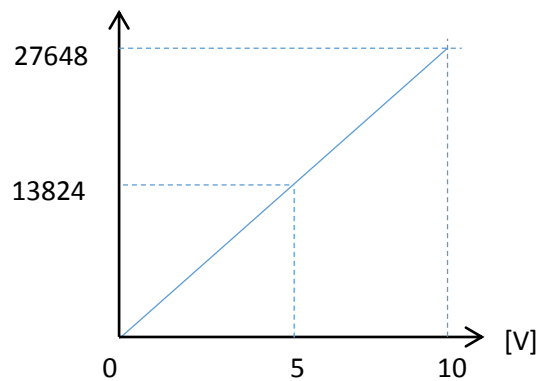


**Figura 4. 27** Medición de altura de sensor ultrasónico. (El Autor)

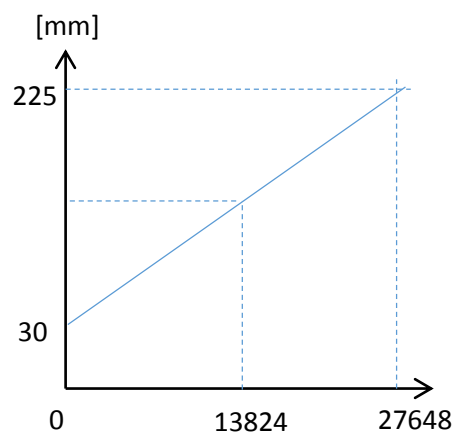
2. Comprender la conexión eléctrica entre el sensor ultrasónico con una señal en su salida de 0-10V y el controlador lógico programable.
3. Graficar la recta de escalamiento de la entrada analógica de 0 - 10 V que equivale a un rango de señal interno de control de 0 – 27648, es decir, que si en la entrada tiene 5V el valor de lectura en el PLC sería igual a 13824. Ver figura 4.24.

$$m = \frac{27648-0}{10-0} = 2764,8 \quad (4.1)$$

$$y = 2764,8x$$

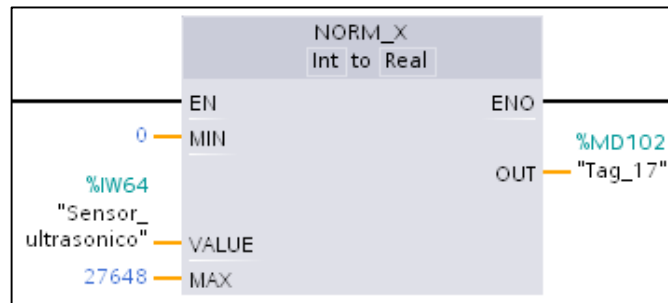


**Figura 4. 28** Gráficas de escalamiento. (El Autor)



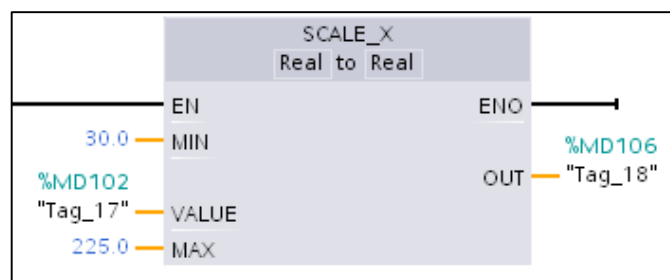
**Figura 4. 29** Gráfica de escalamiento de la entrada analógica. (El Autor)

- Realizar el escalado de la señal analógica con dos instrucciones, la primera es NORMX, que es donde se normaliza el parámetro colocado en VALUE dentro de un rango especificado por los parámetros MIN y MAX.



**Figura 4. 30** Instrucción de normalización. (El Autor)

La segunda es SCALE\_X, el parámetro VALUE se coloca el resultado obtenido por la instrucción NORM\_X, para luego escalarlo dentro del rango establecido en los parámetros de MAX y MIN. Estos parámetros serían iguales a los valores del diámetro min y máx. que fueron configurados en el sensor ultrasónico.



**Figura 4. 31** Instrucción de escalamiento. (El Autor)

- Efectuar las pruebas tomando muestras obtenidas del sensor ultrasónico desde el PLC y compararlas con el valor real que se tiene con respecto a la ubicación física del sensor con la bobina.

## Conclusión

El tipo de salida de 0-10V que se escogió para el sensor ultrasónico se debe a la disponibilidad de las entradas analógicas del mismo tipo que posee el autómeta, con esto se evita un módulo de ampliación.

#### **4.5 Práctica #5. Configuración del encoder incremental.**

##### **Objetivo general**

Convertir el movimiento angular en lineal de encoder incremental, para obtener el valor de longitud de corte.

##### **Objetivos específicos**

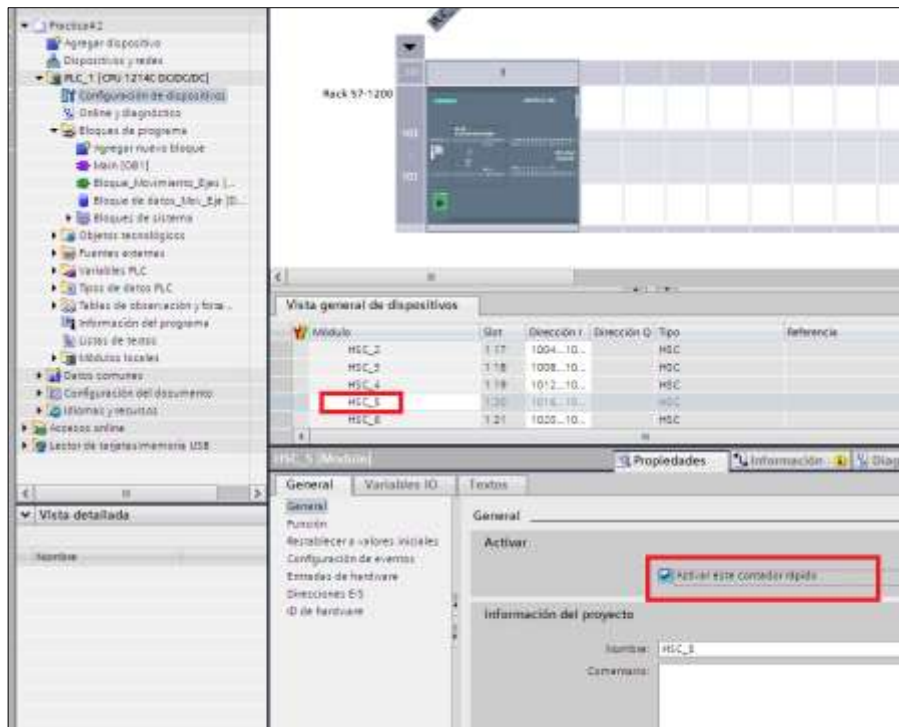
- ✓ Identificar la conexión y las características del encoder incremental.
- ✓ Habilitar y configurar los contadores rápidos para procesar las señales del encoder.
- ✓ Obtener el valor de la escala para calcular el valor de longitud.
- ✓ Desarrollar un informe acerca de la práctica ejecutada. Colocando los Objetivos, las conclusiones y recomendaciones.

##### **Recursos utilizados (equipos, accesorios y material consumible)**

- ✓ Routers inalámbricos
- ✓ PLC S7-1200 CPU 1212C y CPU1214C
- ✓ Computadora
- ✓ Software TIA PORTAL
- ✓ Cable patch cord

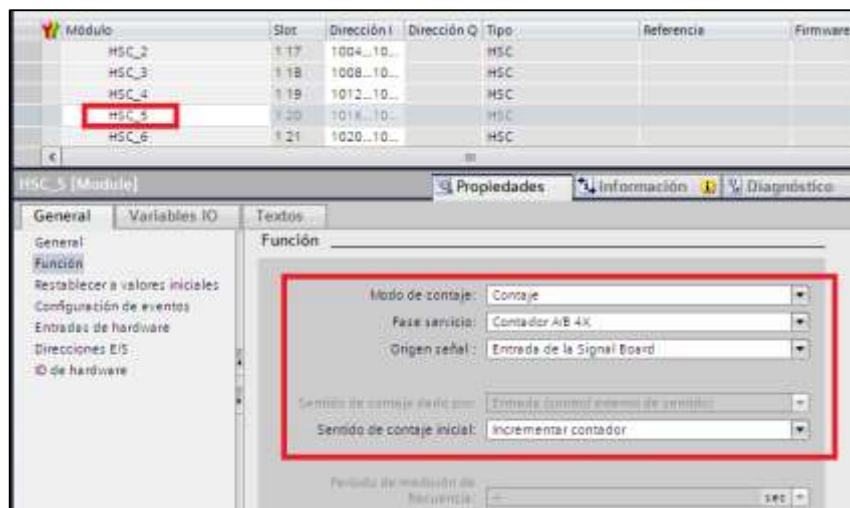
##### **Marco procedimental**

1. Revisar el diagrama eléctrico para comprender las conexiones realizadas entre el encoder incremental y el PLC.
2. Activar el contador rápido número 5 ubicado en la ventana de hardware de la opción configuración de dispositivos, para la lectura de los pulsos emitidos por los canales del encoder. Se puede asignar un contador rápido diferente al mencionado siempre y cuando no se esté utilizando en otra aplicación.



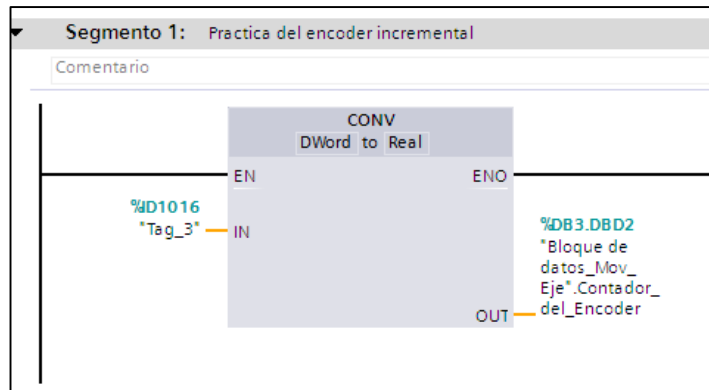
**Figura 4. 32** Activación del contador rápido HASC\_5. (El Autor)

3. Configurar en la etiqueta función, tal como se puede visualizar en la figura.



**Figura 4. 33** Configuración del contador rápido. (El Autor)

4. Convertir el valor obtenido del contador HSC\_5 a una variable tipo real.



**Figura 4. 34** Conversión la variable de contaje de doble palabra a real. (El Autor)

5. Calcular el valor del desplazamiento lineal que se genera por una vuelta completa de las ruedas mediante los siguientes datos técnicos del encoder incremental:
  - Unidad de medición = 1 mm
  - Relación de transmisión = 2:1
  - Circunferencia de la rueda = 250 mm
  - Numero de pulsos por revolución = 500

Con estos valores se puede obtener un valor de escala que permite convertir el movimiento angular en lineal y esto se realiza mediante la siguiente fórmula:

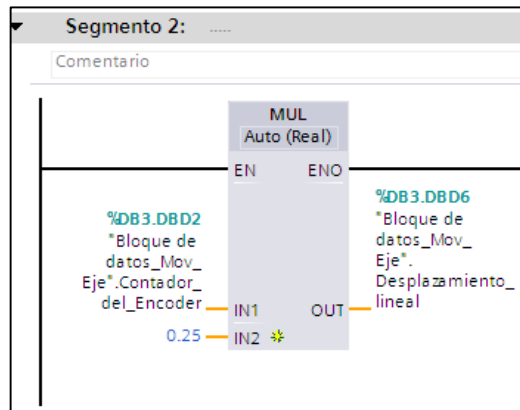
$$valor\ de\ escala = \frac{circunferencia\ de\ la\ rueda}{numero\ de\ pulsos\ por\ vuelta\ de\ la\ rueda} \quad (4.2)$$

El valor del número de pulsos por revolución que nos da la hoja técnica se refiere a una vuelta del eje del encoder mas no de la ruedas, también nos indica una relación de transmisión de la rueda con respecto al eje del encoder, el cual es de 2:1, es decir, que para que la rueda de una vuelta completa se necesitan  $500 * 2$  igual a 1000 pulsos.

Con estos valores podemos calcular el valor de escala.

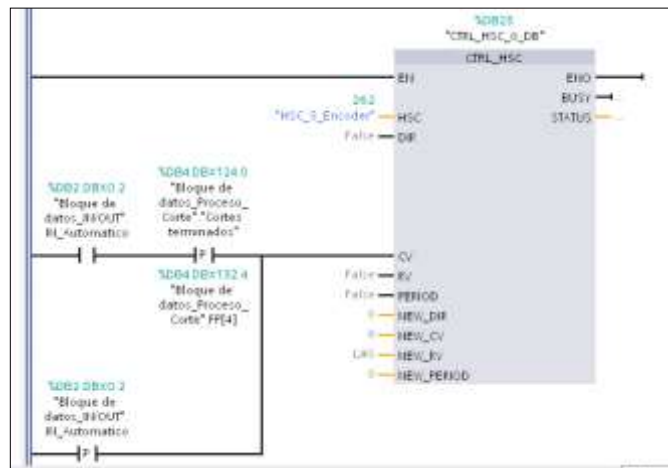
$$valor\ de\ escala = \frac{250\ mm}{1000\ pulsos} = 0,25\ mm/pulso \quad (4.3)$$

- Multiplicar el valor de escala por los impulsos generado del contador rápido, y eso da como resultado el desplazamiento lineal de las ruedas del encoder.



**Figura 4. 35** Instrucción de multiplicación. (El Autor)

- Para reiniciar el contador a cero, utilizar la instrucción CTRL\_HSC. Esta debe ser encuentra en las instrucciones de tecnología y debe ser en el bloque OB1. Ingresar en la entrada HSC el respectivo contador utilizado y por medio de un flanco ascendente en la entrada CV especificar al contador que se le asigne el nuevo valor que es ajustado en la entrada NEW\_CV que en este es cero.



**Figura 4. 36** Configuración de la instrucción del contador rápido (HSC\_5). (El Autor)

## Conclusión

Para una correcta lectura de los pulsos emitidos por el encoder incremental se deben utilizar entradas rápidas, debido a las altas frecuencias de operación.



#### **4.6 Práctica #6.** Comunicación entre el modulo didáctico y el SCADA en LabVIEW empleando NI OPC Server.

##### **Objetivo general**

Establecer comunicación entre el PLC S7-1200 y LabVIEW para visualizar y controlar las variables en el proceso del módulo didáctico.

##### **Objetivos específicos**

- ✓ Utilizar la aplicación de OPC server, para establecer la comunicación.
- ✓ Crear variables para el control y visualización del sistema SCADA en LabVIEW.
- ✓ Desarrollar un informe acerca de la práctica ejecutada. Colocando los Objetivos, las conclusiones y recomendaciones

##### **Recursos utilizados (equipos, accesorios y material consumible)**

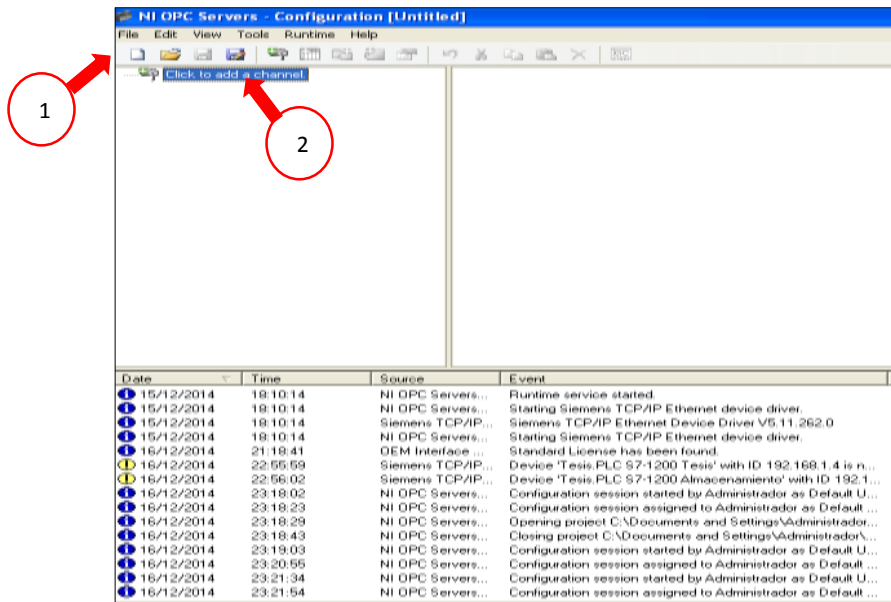
- ✓ Routers inalámbricos
- ✓ PLC S7-1200 CPU1214C
- ✓ Computadora
- ✓ Software TIA PORTAL
- ✓ Cable patch cord
- ✓ Accionamientos y motores

##### **Marco procedimental**

Al realizar la conexión entre el PLC S7-1200 y LabVIEW se utiliza la librería OPC Server de National Instrument, ya que son distintos lenguajes de comunicación.

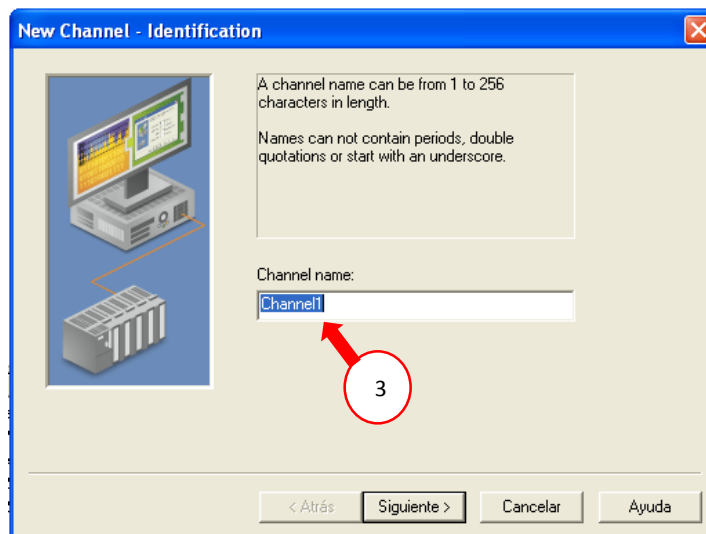
Para comenzar a establecer la comunicación entre ellos debemos abrir el software “NI OPC Server” y proceder con los siguientes pasos:

1. Crear un nuevo servidor en la pestaña “File”, “New”.
2. Añadir y configurar el canal, el cual es el medio por donde se van a transmitir los datos.



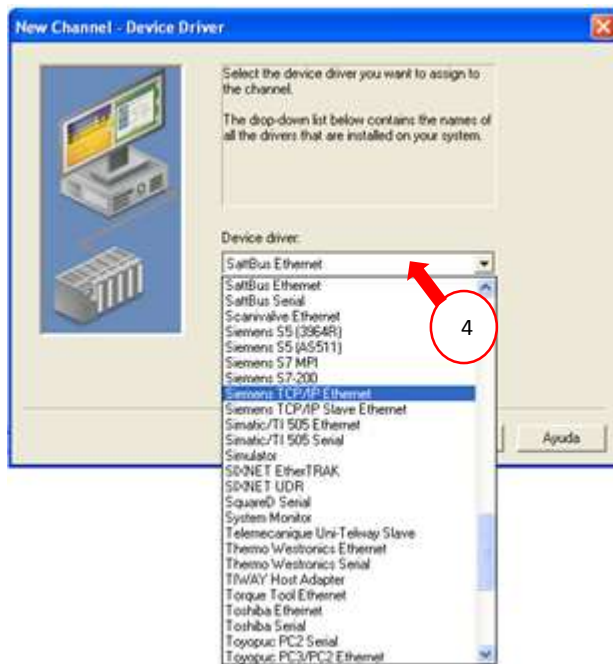
**Figura 4. 37** Creación un nuevo servidor en NI OPC Servers. (El Autor)

3. Ingresar el nombre del canal en el cuadro de dialogo.



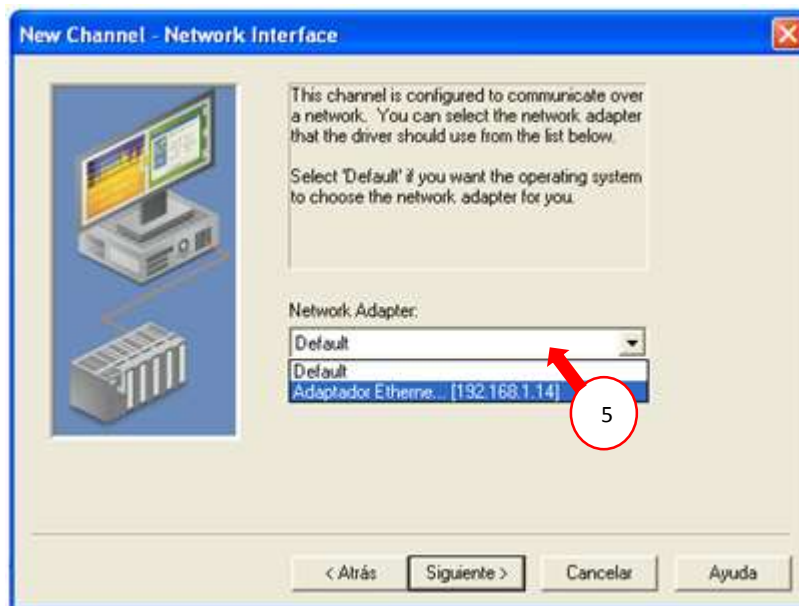
**Figura 4. 38** Creación de un nuevo canal en el servidor. (El Autor)

4. En la lista desplegable se selecciona el controlador compatible con S7-1200 y en este caso el “Siemens TCP/IP Ethernet”.



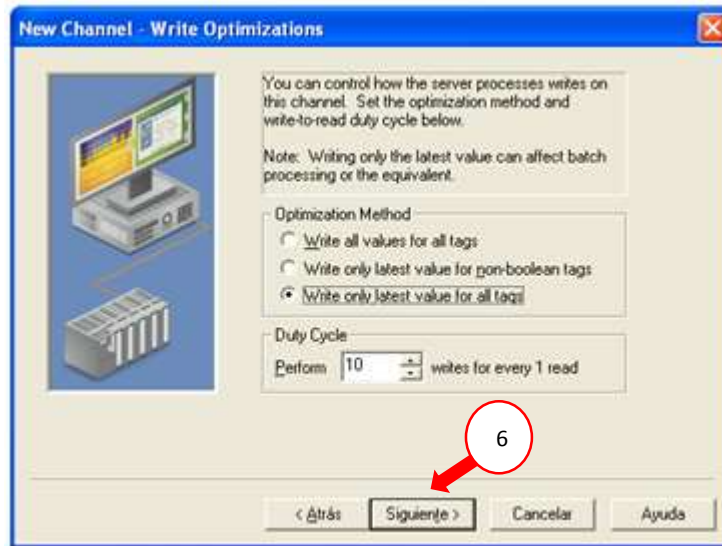
**Figura 4. 39** Asignación del controlador para el PLC. (El Autor)

5. Se escoge la tarjeta de red que se va a utilizar para la comunicación.



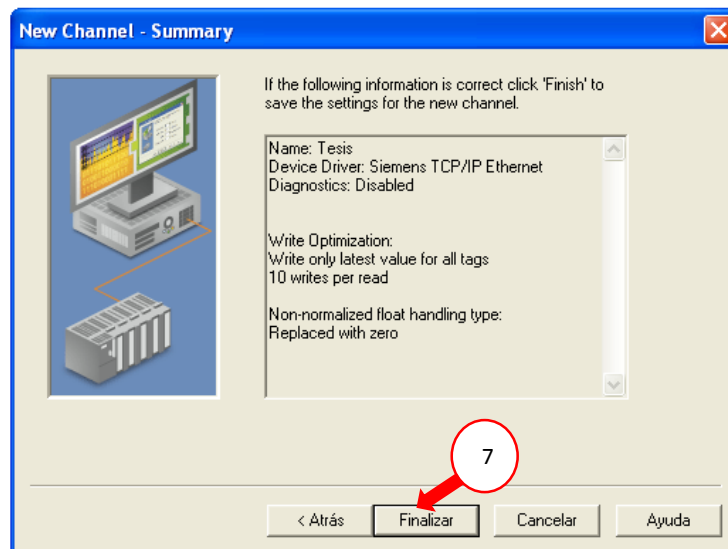
**Figura 4. 40** Selección de la tarjeta de red de la PC. (El Autor)

6. Las configuraciones que se encuentran en el siguiente cuadro de dialogo las dejamos por defecto, y damos clic en siguiente.



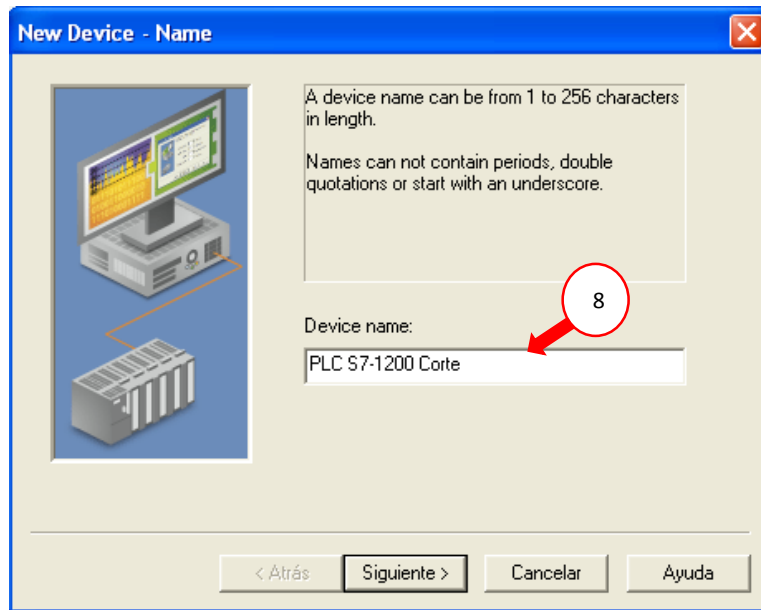
**Figura 4. 41** Configuración de los parámetros de escritura. (El Autor)

7. Por último se muestra el cuadro de dialogo con el resumen de todas las configuraciones realizadas. Damos clic en “Finalizar” para aceptarlas.



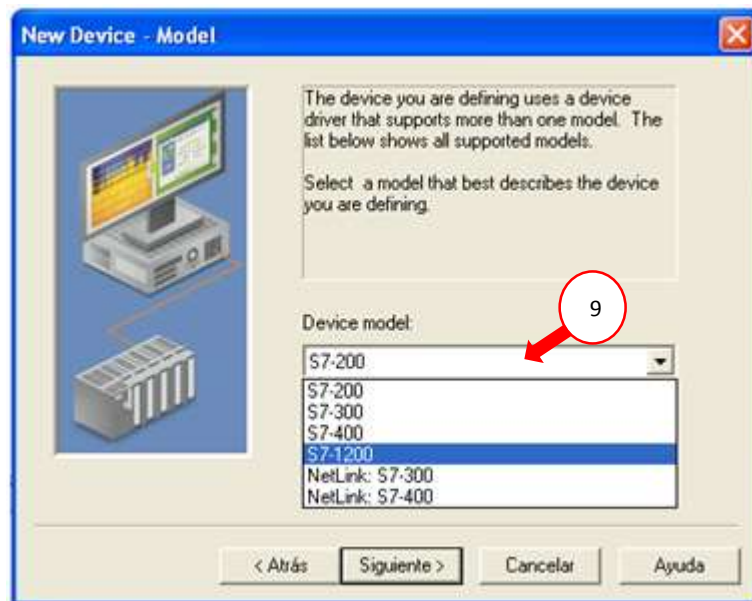
**Figura 4. 42** Resumen de las configuraciones realizadas al canal. (El Autor)

8. En el canal configurado podemos crear los dispositivos que contendrá el OPC para la comunicación a LabVIEW. Procedemos a dar clic en “Click to add a device” y aparecerá la ventana donde ingresamos el nombre del dispositivo.



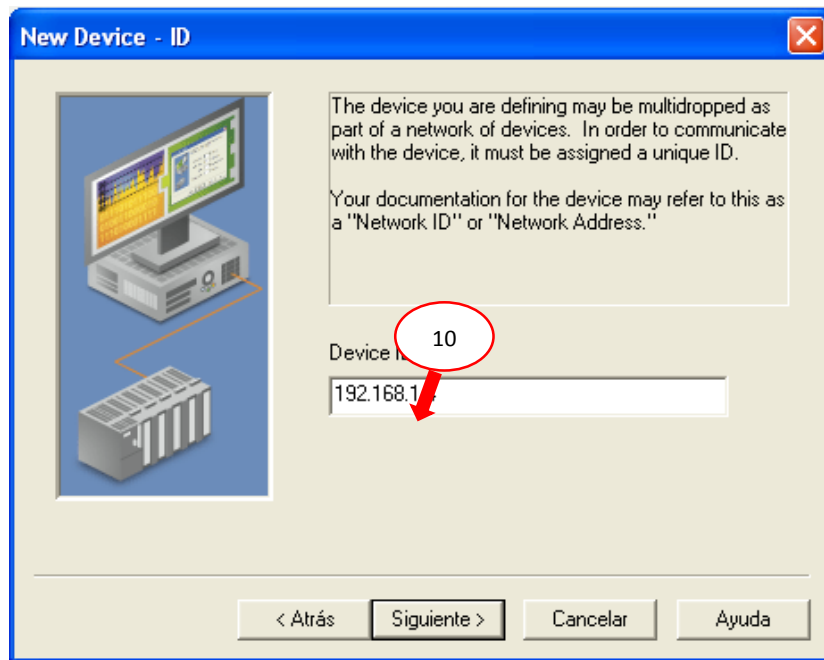
**Figura 4. 43** Creación de un nuevo dispositivo. (El Autor)

9. En el siguiente cuadro de dialogo damos clic en la lista desplegable y buscamos el PLC S7-1200, lo seleccionamos y pulsamos “Siguiente”.



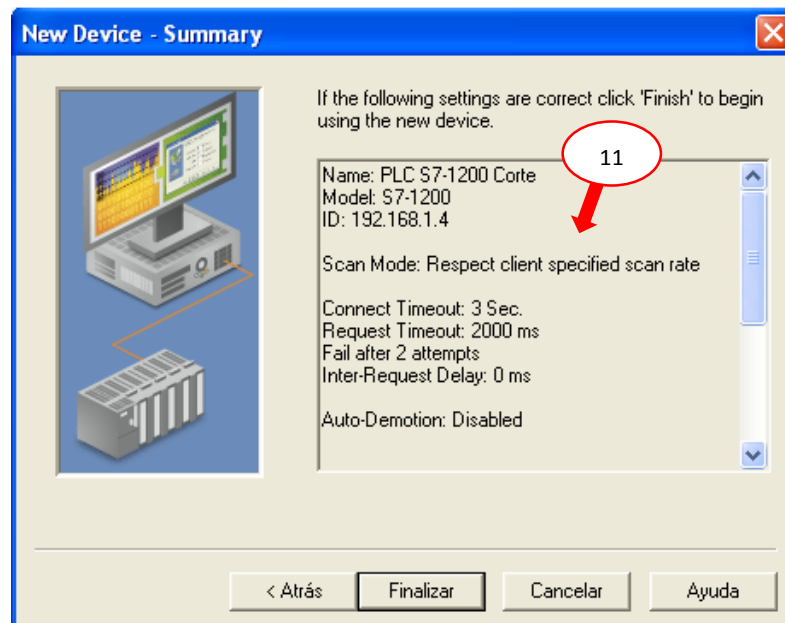
**Figura 4. 44** Selección del modelo de dispositivo. (El Autor)

10. Ingresar la dirección de red que se le configuro al dispositivo.



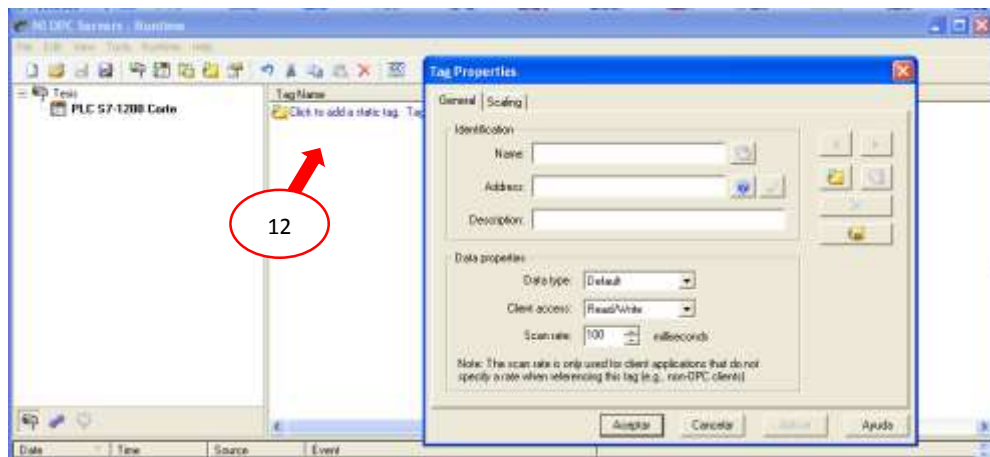
**Figura 4. 45** Asignación de la dirección IP del dispositivo. (El Autor)

11. En los siguientes cuadros de dialogo deje las configuraciones por defecto y pulsamos “Siguiente” hasta llegar a la ventana donde se visualiza el resumen de los ajustes realizados y por ultimo pulsamos “Finalizar”. Se realiza los mismos pasos para crear el segundo dispositivo.



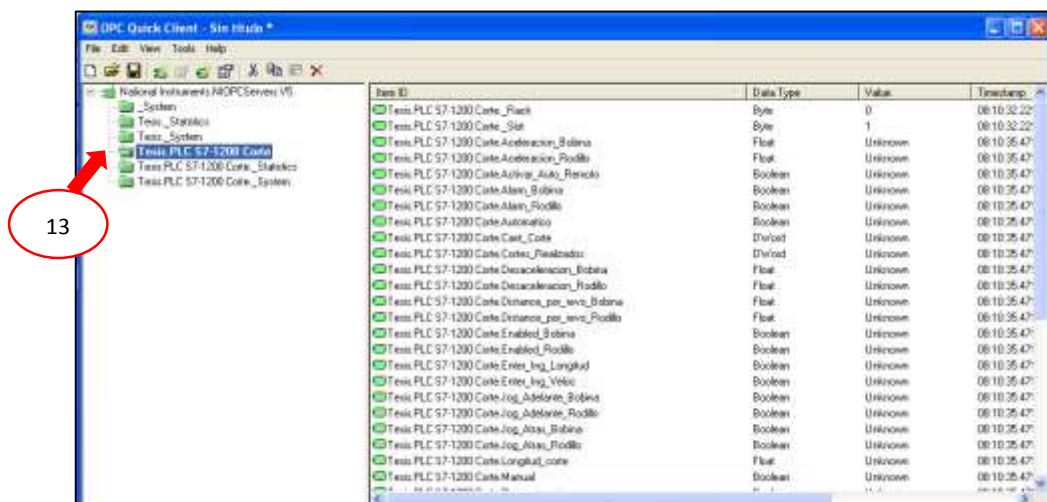
**Figura 4. 46** Ventana de resumen de las configuraciones del dispositivo. (El Autor)

12. Ahora comience a crear las variables que se van a utilizar para visualizar y controlar el proceso desde la PC. Dando clic sobre “Click to add a static tag” aparece la ventana de las propiedades de las variables, como por ejemplo definir la dirección que se va a utilizar, tipo de variable, estos datos se configuran de acuerdo a lo que está realizado en la programación del PLC.



**Figura 4. 47** Creación de variables. (El Autor)

13. Para comprobar la comunicación entre el OPC y el PLC se utiliza la aplicación OPC Quick client, que nos permite diagnosticar el estado en que se encuentran las variables y poder corregir errores en caso de que los hubiere antes de proceder a la conexión con LabVIEW.



**Figura 4. 48** Ventana de OPC Quick Client. (El Autor)

14. Cuando se termine de comprobar el estado de cada una de las variables continuamos con el siguiente paso, el cual es crear un nuevo proyecto en LabVIEW. En este proyecto se configuran los VI's, donde, se realizan el diseño de las pantallas para el monitoreo.

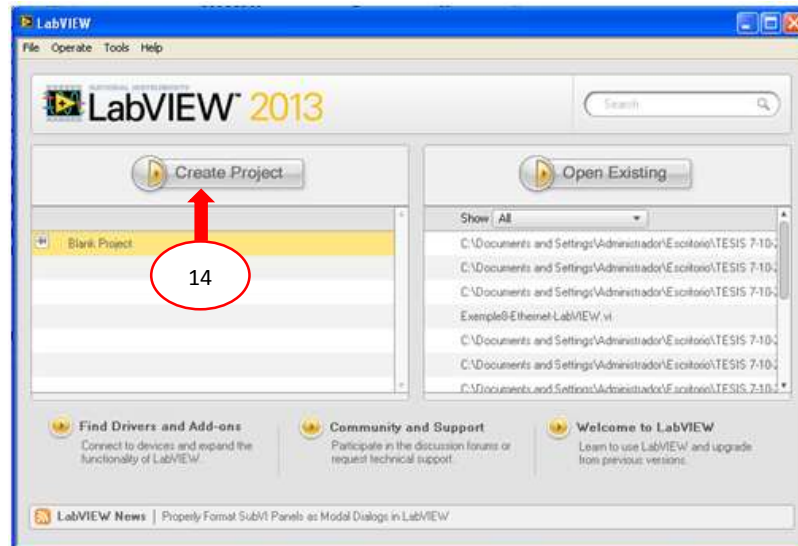


Figura 4. 49 Creación de un nuevo proyecto. (El Autor)

15. También se agregan las variables provenientes del servidor OPC, pero antes se debe realizar la configuración a LabVIEW como cliente OPC. En el árbol del proyecto de LabVIEW damos clic derecho en “My Computer”, seleccionamos I/O Server, aparecerá un cuadro de dialogo y escogemos “OPC Client”.

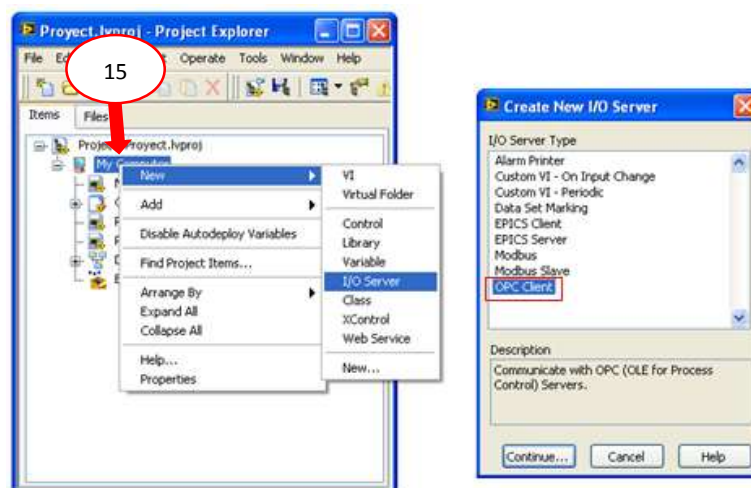


Figura 4. 50 Configuración de LabVIEW como cliente OPC. (El Autor)



16. Para agregar las variables damos clic derecho sobre el OPC creado y elegimos “Create Bound Variables”, expandimos todas las carpetas hasta encontrar el PLC que contienen las variables que fueron configuradas, las seleccionamos y pulsamos “add>>” para agregarlas en el proyecto hecho en LabVIEW.

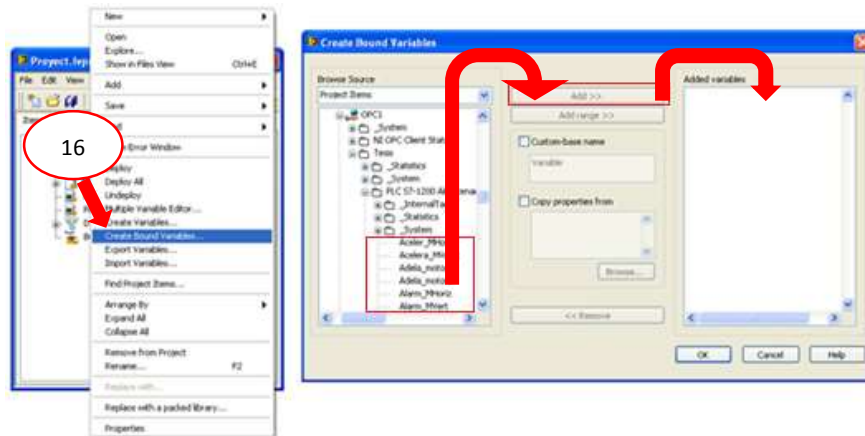


Figura 4. 51 Añadiendo variables al OPC Client. (El Autor)

17. Existen dos métodos para utilizar las variables dentro de la interfaz de LabVIEW, la primera es enlazar las variables agregadas en el OPC al programa realizado en el Block Diagram esto se realiza dando clic derecho sobre el objeto y se busca la variable en la opción create y la segunda manera es arrastrar la variable directamente desde el OPC creado en el proyecto hasta la ventana de Front Panel, tal como podemos apreciar en la figura.

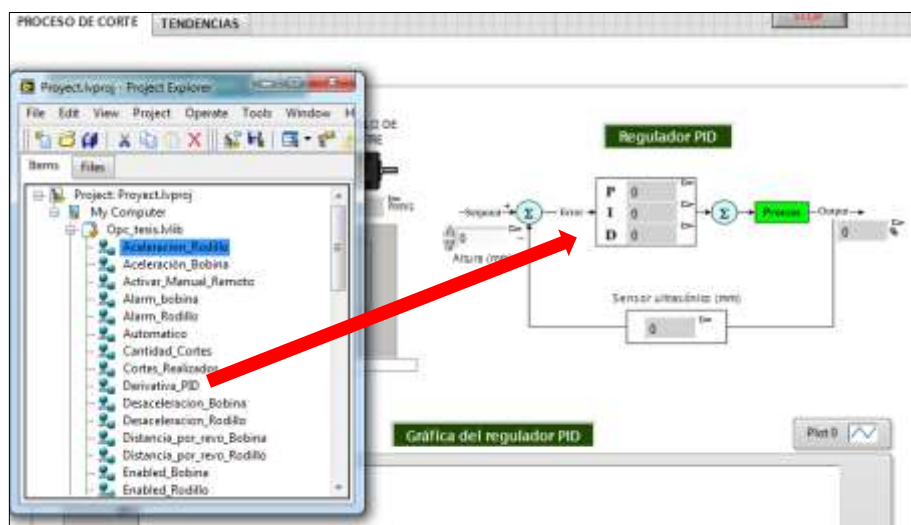
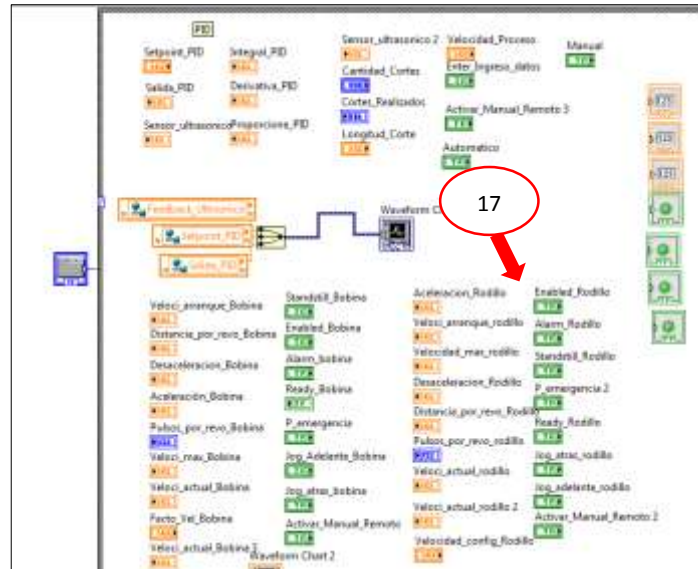


Figura 4. 52 Colocación de las variables en el Front Panel. (El Autor)



**Figura 4. 53** Variables de OPC en la ventana de bloques de diagrama. (El Autor)

### Conclusión

El software NI OPC Server nos permite establecer comunicaciones con diferentes marcas de controladores lógicos programables que se encuentra en el mercado, permitiendo realizar un SCADA de una planta industrial sin restricciones.

#### **4.7 Práctica #7. Uso en manual del módulo didáctico.**

##### **Objetivo general**

Indicar los procedimientos para la correcta operación en modo manual del módulo didáctico.

##### **Objetivos específicos**

- ✓ Utilizar de forma adecuada y con seguridad los elementos mecánicos y eléctricos.
- ✓ Ubicar de manera correcta la material, para poder proceder al cambio de operación en modo automático.
- ✓ Desarrollar un informe acerca de la práctica ejecutada. Colocando los Objetivos, las conclusiones y recomendaciones

##### **Recursos utilizados (equipos, accesorios y material consumible)**

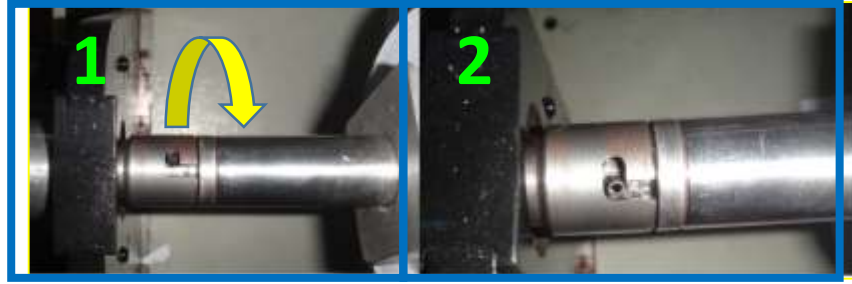
- ✓ Router inalámbrico
- ✓ PLC S7-1200 CPU1214C
- ✓ Computadora
- ✓ Software TIA PORTAL
- ✓ Cable patch cord
- ✓ Accionamientos y motores

##### **Marco procedimental**

A continuación se describe los pasos para la operación en manual:

##### **1. Colocar la bobina de papel.**

En el extremo donde se encuentra acoplado el eje, girar el eje de la bobina hasta quitar el seguro y halar hacia fuera para lograr sacarlo de su posición,



**Figura 4. 54** Desacople del eje de la bobina. (El Autor)

Luego por medio de una llave Allen, desajustar el tope de la bobina que se muestra en la figura 4.44, y sacarlo.



**Figura 4. 55** Desajuste tope del eje de bobina. (El Autor)

Colocar la bobina de papel, después ingresar el tope y ajustarlo, por ultimo ubicar en la misma posición que estaba anteriormente el eje del desbobinamiento.



**Figura 4. 56** Colocación del eje de bobina. (El Autor)

2. Suministrar al módulo didáctico un voltaje de 120VAC y dentro de la consola subir los interruptores de protección.



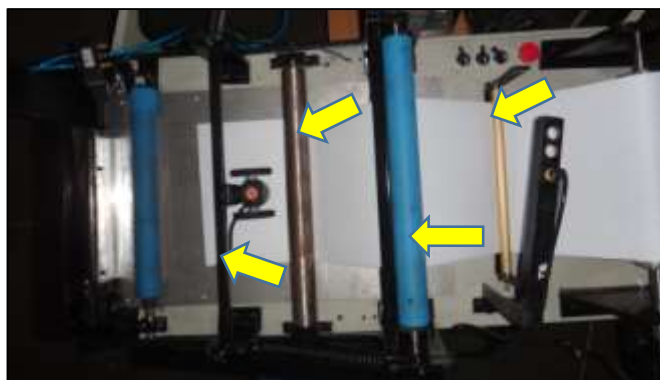
**Figura 4. 57** Dispositivos de protección. (El Autor)

3. Deshabilitar el paro de emergencia y colocar el selector en modo de operación manual.



**Figura 4. 58** Pulsador de emergencia. (El Autor)

Girar la bobina hacia la derecha hasta que disponga de papel e ingresarlo entre los rodillos, luego pasarlo por debajo del rodillo tensor, encoder. Mientras se realiza los pasos descritos el papel no debe ser halado directamente de la bobina, se debe suministrar material con su selector de giro hacia la derecha.



**Figura 4. 59** Colocación del papel. (El Autor)

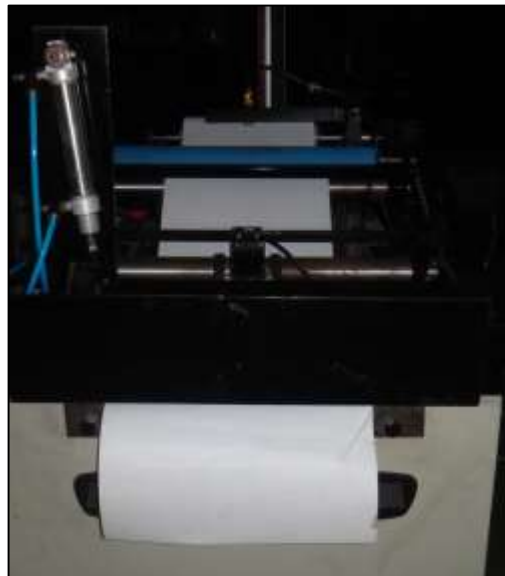
4. El rodillo de arrastre secundario no debe tener presión contra la base, por lo tanto, desajustar los tornillos que se encuentra en sus laterales y elevarlo.



**Figura 4. 60** Tornillos del extremo izquierdo y derecho del rodillo de arrastre secundario. (El Autor)

5. Ingresar el papel debajo del rodillo de arrastre secundario, hasta que pase la zona de corte.

Se debe colocar el papel de forma que se encuentra de forma recta, para evitar que el papel cortado sea más largo de un extremo que el otro.



**Figura 4. 61** Colocación del papel en el módulo didáctico. (El Autor)

Volver a ajustar el rodillo de arrastre secundario.

6. Verificar que el sensor ultrasónico se encuentra en una posición en donde no marque error, para eso gire a la derecha y luego a la izquierda el eje de la bobina, hasta que en los indicadores luminosos no se muestren de color rojo.



**Figura 4. 62** Colocación del sensor ultrasónico. (El Autor)

7. Ajustar el encoder incremental por medio de las tuercas mariposa que posee en sus extremos, hasta que las ruedas giren con el movimiento del papel.



**Figura 4. 63** Tuercas mariposa de ajustes de lado izquierdo y derecho del soporte para el encoder tipo rueda. (El Autor)

Como último paso generar el corte de la cuchilla con el pulsador de test que posee la electroválvula.



**Figura 4. 64** Botón de test de la electroválvula. (El Autor)

Con estos pasos la máquina está lista para proceder con el funcionamiento en modo automático, que se describirá en prácticas posteriores.

Adicionalmente en el módulo también se puede controlar los motores desde el SCADA en LabVIEW. Para eso se debe abrir la aplicación que se encuentra dentro del dispositivo de almacenamiento.

En la pantalla se visualiza un pulsador de control en modo remoto, para activarlo el selector de operación debe estar en modo manual.



**Figura 4. 65** Botón de Manual Remoto. (El Autor)

En la imagen se visualizan pulsadores y campos numéricos, que permiten el movimiento de los motores en modo jog a la velocidad que ha sido ingresada.

## **Conclusión**

Los pasos descritos para el uso del módulo didáctico en modo de operación manual, es fundamental para colocar el papel de manera adecuada, calibrar y verificar los dispositivos instalados antes de proceder a colocar en marcha el módulo en modo automático.



**4.8 Práctica #8.** Uso en automático del módulo didáctico aplicando un controlador a lazo abierto.

### **Objetivo general**

Indicar los procedimientos para la correcta operación en modo automático aplicando un controlador a lazo abierto del módulo didáctico.

### **Objetivos específicos**

- ✓ Ingresar datos desde el sistema SCADA para activar el modo automático.
- ✓ Realizar ajustes en la velocidad de la bobina manualmente, para controlar la tensión del papel
- ✓ Desarrollar un informe acerca de la práctica ejecutada. Colocando los Objetivos, las conclusiones y recomendaciones

### **Recursos utilizados (equipos, accesorios y material consumible)**

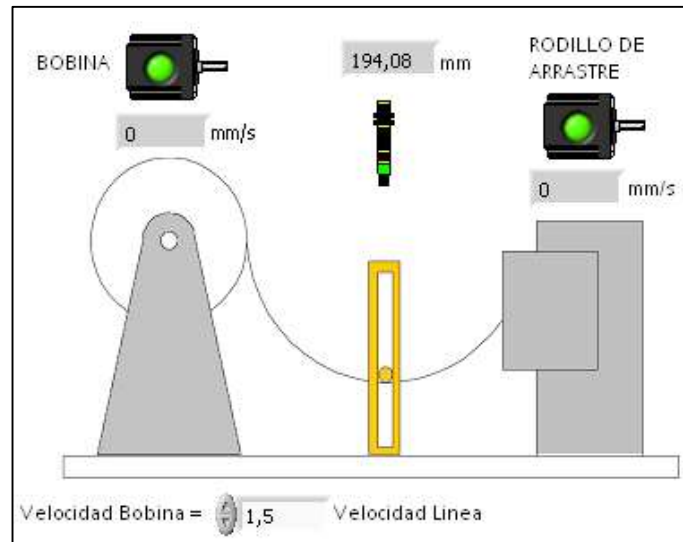
- ✓ Router inalámbrico
- ✓ PLC S7-1200 CPU1214C
- ✓ Computadora
- ✓ Software TIA Portal
- ✓ Cable patch cord
- ✓ Accionamientos y motores

### **Marco procedimental**

Luego de realizar los pasos descritos en la práctica anterior, se procede a hacer el uso del sistema SCADA.

1. Ingresar los datos de configuración que se encuentran en la parte superior de la pantalla, los cuales se describen a continuación:
  - ✓ Longitud: en este campo se ingresa el tamaño de papel que se desea cortar.
  - ✓ Cantidad: número de cortes a realizar.
  - ✓ Velocidad: se ingresa la velocidad de operación de los rodillos de arrastre.

- ✓ Velocidad Bobina: en este campo se ingresa un valor, el cual se lo multiplica por el valor de la velocidad ingresada, de esa forma se obtiene la velocidad de la bobina cuyo es objetivo es poder mantener el control de tensión del papel de forma manual.



**Figura 4. 66** Ajustes de velocidad del eje de bobina. (El Autor)

En la parte superior derecha se encuentran visualizadores que nos muestran cuantos cortes se van realizando y la longitud que es medida por el encoder incremental.

2. Una vez ingresados los valores se presiona el botón OK para transferir los datos.
3. Entonces, transferido los datos el siguiente paso es colocar el selector en modo automático. La máquina arrancará y realizará el proceso, en el cual se debe manualmente ajustar la velocidad de la bobina, para lograr que el papel permanezca templado, pero no hasta el punto en el que el rodillo de arrastre comience a halarlo directamente de la bobina. La señal del sensor ultrasónico no servirá para visualizar la altura en la que se encuentra el papel.
4. Realizar pruebas de acuerdo a los datos especificados en la Tabla 4.5 y obtener el resultado del corte de papel con el valor ajustado y definir el margen de error.

**Tabla 4. 4** Datos de obtenidos de las pruebas del módulo didáctico.

<b>Velocidad de línea (mm/s)</b>	<b>Velocidad de la bobina (mm/s)</b>	<b>Numero de cortes</b>	<b>Longitud de corte (mm)</b>	<b>Longitud de corte real (mm)</b>	<b>Error</b>
10		5	200		
30		8	100		
50		3	300		
70		10	250		
90		8	300		

**Fuente:** (El Autor)

### **Conclusión**

Este método de control de velocidad de la bobina me permite realizar cortes pequeños a mayores velocidades, debido a que valor de la velocidad no varía continuamente y el tiempo de respuesta es rápido.

**4.9 Práctica #9.** Uso en automático del módulo didáctico aplicando un controlador a lazo cerrado.

### **Objetivo general**

Indicar los procedimientos para la correcta operación en modo automático aplicando un controlador a lazo cerrado del módulo didáctico.

### **Objetivos específicos**

- ✓ Controlar la tensión de un papel por medio de un controlador PID.
- ✓ Desarrollar un informe acerca de la práctica ejecutada. Colocando los Objetivos, las conclusiones y recomendaciones.

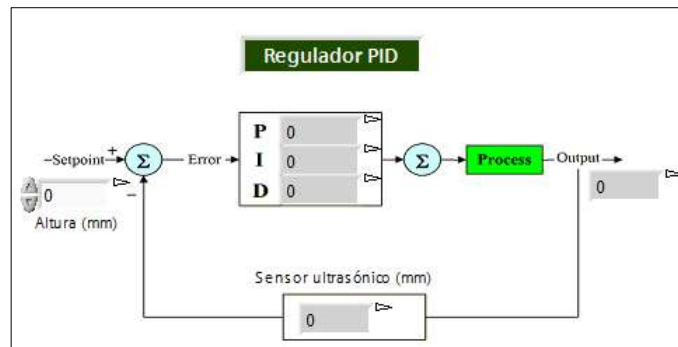
### **Recursos utilizados (equipos, accesorios y material consumible)**

- ✓ Router inalámbrico
- ✓ PLC S7-1200 CPU1214C
- ✓ Computadora
- ✓ Software TIA PORTAL
- ✓ Cable patch cord
- ✓ Accionamientos y motores

### **Marco procedimental**

De igual manera que en la práctica anterior desarrollada cumplir con los dos primeros pasos.

Realizados los pasos procedemos a colocar el selector en modo automático. En donde, la máquina arrancara y realizara el proceso. A diferencia del anterior, este ajustara la velocidad de la bobina por medio de un controlador PID, en donde su retroalimentación será la señal de la altura suministrada por el sensor ultrasónico, es decir, se ingresa la altura en la que se desee que se mantenga el papel en el setpoint desde el SCADA, luego dicho regulador compara y su resultado es el ajuste de velocidad de la bobina.



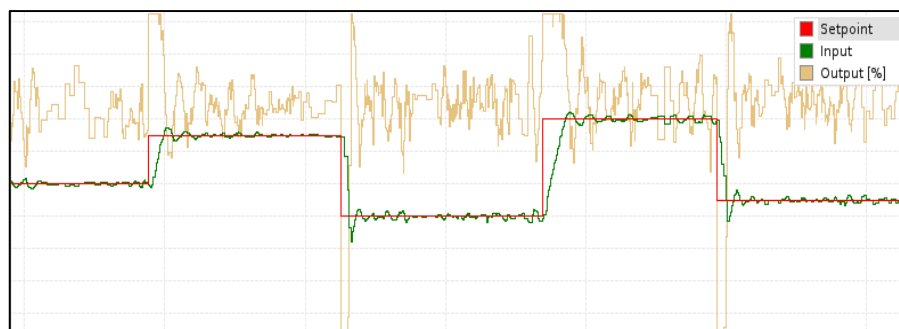
**Figura 4. 67** Controlador PID. (El Autor)

- Realizar pruebas de acuerdo a los datos especificados en la Tabla 4.6, obtener el resultado del corte del papel con el valor ajustado, mostrar graficas del resultado del PID y definir los márgenes de errores tanto para el PID como para el corte.

**Tabla 4. 5** Datos obtenidos del controlador PID

Setpoint (mm)	Input (mm)	Error
120		
150		
110		
160		

**Fuente:** Autora



**Figura 4. 68** Gráfica del controlador PID. (El Autor)

### Conclusión

Se visualiza en la figura 4.68, que el control PID funciona de una manera aceptable según el error obtenido de 0.02 debido a que el sistema es muy rápido y el PID tiene muy poco tiempo para poder reaccionar.

#### **4.10 Práctica #10.** Proceso de corte con almacenamiento de papel.

##### **Objetivo general**

Trabajar en modo automático el proceso de corte, la parte del proceso de almacenamiento

##### **Objetivos específicos**

- ✓ Crear secuencias con distinta longitud y cantidad de corte, para su almacenamiento.
- ✓ Desarrollar un informe acerca de la práctica ejecutada. Colocando los Objetivos, las conclusiones y recomendaciones.

##### **Recursos utilizados (equipos, accesorios y material consumible)**

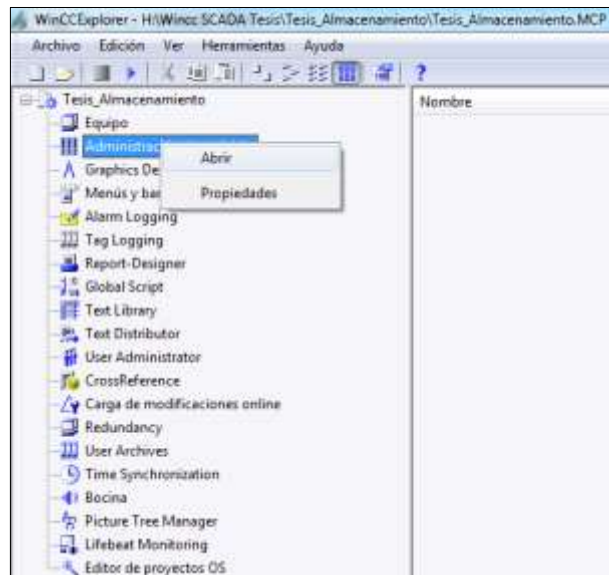
- ✓ Router inalámbrico
- ✓ PLC S7-1200 CPU1214C
- ✓ Computadora
- ✓ Software TIA PORTAL y WinCC
- ✓ Cable patch cord
- ✓ Accionamientos y motores

##### **Marco procedimental**

Para esta práctica se puede desarrollar el mismo procedimiento realizado en cualquiera de los dos métodos en modo automático descritos en las prácticas anteriores.

La parte de almacenamiento está elaborada en el sistema WinCC SCADA, con lo cual realizaremos una simulación, donde esta consta de movimiento en sentido horizontal y vertical, que dichos movimientos transportaran el papel hacia los compartimientos.

Al abrir la aplicación y crear un nuevo proyecto se realiza la conexión para enlazar el PLC S7-1200 y el WinCC. En la ventana de navegación se encuentra la opción administración de variables y dando clic derecho con el mouse se abre la ventana de configuración.



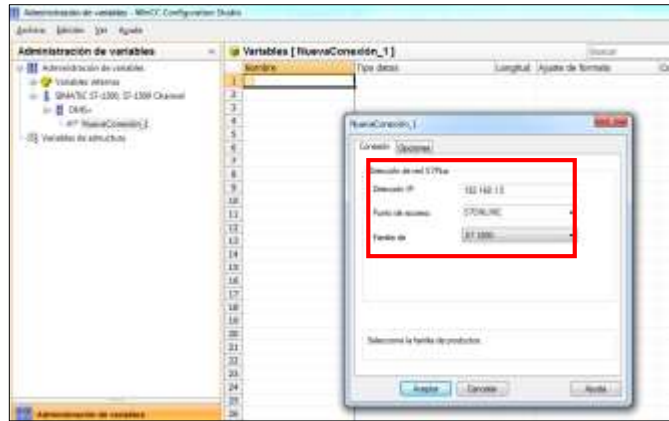
**Figura 4. 69** Proyecto creado en Wincc SCADA. (El Autor)

En esta ventana se agrega un nuevo driver, que para este caso se escoge la opción SIMATIC S7-1200, S7-1500 Channel.



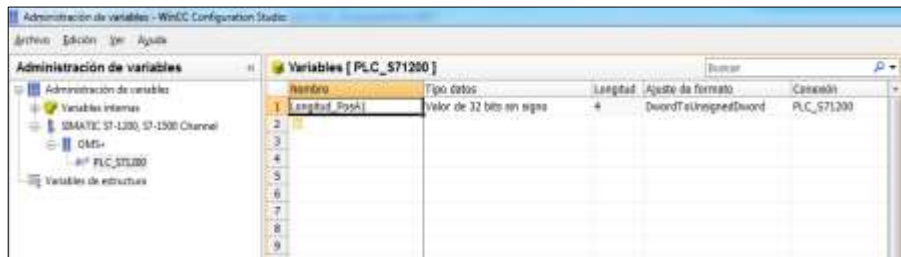
**Figura 4. 70** Agregar nuevo driver. (El Autor)

Luego se asigna la dirección IP que se ha configurada en el controlador y se elige el punto de acceso.



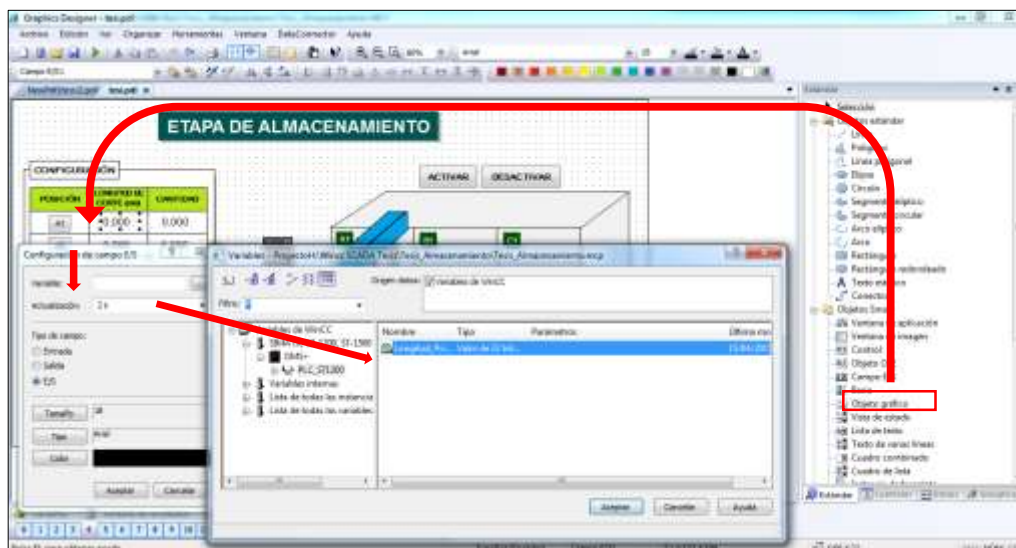
**Figura 4. 71** Configuración del driver agregado. (El Autor)

Creada la conexión se añaden variables con las direcciones definidas en el controlador.



**Figura 4. 72** Creación de variables. (El Autor)

Las variables creadas se configuran en los campos de entradas/salidas colocados en la imagen del graphic designer.



**Figura 4. 73** Enlaces de los campos numéricos con las variables creadas. (El Autor)



Para iniciar el proceso se activa la etapa de almacenamiento, luego se elige en que compartimiento se coloca las hojas cortadas de acuerdo a los datos de longitud y cantidad de corte que han sido configurados.



**Figura 4. 74** Modulo de simulación de almacenamiento. (El Autor)

## Conclusión

Con el desarrollo de esta práctica se ejecutan distintas medidas y cantidad de cortes y sin la necesidad de parar el modulo para ingresar nuevamente los datos.

## CONCLUSIONES

- ✓ En el método de control de velocidad de la bobina mediante el regulador de lazo cerrado no me permite realizar cortes pequeños debido a que el tiempo de respuesta del controlador PID es mayor que el tiempo que se tomaría en realizar el corte para un tamaño de 200 mm. Por lo tanto no puede mantenerse constante, presentando muchas oscilaciones. Esto también se debe a que el método de corte requiere una parada y para poder visualizar el comportamiento del PID se ajusta el dato longitud de corte mayor a 500 mm y velocidad lenta de hasta máximo 15 mm/s.
- ✓ Por medio del desarrollo de este proyecto he logrado obtener experiencia de las distintas aplicaciones que se pueden dar a los dispositivos de control, la relación que existe entre la parte mecánica y eléctrica para el buen funcionamiento del proceso aplicado en el módulo didáctico. Dicha experiencia deseo compartir con los estudiantes que se encuentran cursando las materias de automatización y control, cuyo objetivo es lograr fortalecer los conocimientos transmitidos por los docentes.

## RECOMENDACIONES

- ✓ No se debe desconectar los motores paso a paso mientras los accionamientos estén energizados, ni se debe conectar los cables del motor a tierra o directamente a la fuente de alimentación.
- ✓ El estudiante debe trabajar bajo la supervisión del maestro encargado.
- ✓ Es fundamental conocer la forma de operación y la aplicación de cada uno de los dispositivos, para lograr que el estudiante tenga un mejor entendimiento del proceso realizado en el módulo didáctico.
- ✓ Antes de energizar el modulo se debe comprobar que el voltaje a suministrar sea igual a 120VAC, ya que caso contrario se puede producir daños en los equipos.
- ✓ Evitar introducir objetos que no corresponden entre los rodillos que realizan el arrastre del material.
- ✓ No ingresar las manos u objetos extraños por ninguna circunstancia dentro de la zona de corte.
- ✓ Al conectar el aire comprimido, se debe observar que la cuchilla permanezca hacia arriba y no se debe desconectar por ningún motivo los conductos de aire que contienen presión.
- ✓ Para girar el rodillo principal hacia atrás se debe quitar la presión del rodillo secundario, por medio de los tornillos ubicado en sus extremos.
- ✓ Intervenir manualmente siempre y cuando el modulo se encuentre parado.

## CRONOGRAMA

ITEM	ACTIVIDADES	Año 2013				Año 2014				Año 2015		
		Trimestre 4	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4	Trimestre 1	
1	Investigación del proceso del modulo didáctico.											
2	Adquisición de los dispositivos a implementar en el módulo didáctico.											
3	Elaboración de la estructura mecánica											
	Ubicación y conexión de los circuitos electricos, PLC, en el módulo didactico .											
4	Programación para control de los motores pap, y ajustes de programación.											
5	Programa para la lectura del encoder incremental.											
6	Programa para la lectura de sensor ultrasónico											
7	Variabes para enlazarse con el sistema scada en Labview											
8	Desarrollo de imágenes para el sistema SCADA											
9	Enlace por medio NI OPC SERVER al PLC S7-1200.											
10	Pruebas del sistema de corte.											
11	Desarrollo de las practicas para el módulo didáctico.											
12	Recolección de información y elaboración de los capítulos de la documentación teórica de la											

## PRESUPUESTO

A continuación se detalla el presupuesto utilizado para la realización del módulo didáctico:

DESCRIPCIÓN	CAN.	UNI.	V/UNIT.	V/FINAL
<b>NEUMÁTICA</b>				
Cilindro de doble efecto	1	u	\$ 100,00	\$ 100,00
Mac usa electroválvula 5/2 1/4" serie 100	1	u	\$ 35,80	\$ 35,80
Conector recto inst 6mm x m5	2	u	\$ 1,73	\$ 3,46
Conector recto inst 6mm x 1/8	2	u	\$ 1,37	\$ 2,74
Conector recto inst 6mm x 1/4	3	u	\$ 1,29	\$ 3,87
Silenciador 1/8" de bronce sinterizado	2	u	\$ 2,61	\$ 5,22
Tpc unidad 3/8" manómetro integrado dren automático serie 3	1	u	\$ 61,95	\$ 61,95
Tubo de polietileno 6mm	4	m	\$ 0,78	\$ 3,12
<b>CONTROL</b>				
Breaker Riel camco 1P-2A	3	u	\$ 4,12	\$ 12,36
Selector de 3 posiciones con retorno al centro.	2	u	\$ 2,78	\$ 5,56
Selector de 3 posiciones.	1	u	\$ 2,78	\$ 2,78
CPU 1214C DC/DC/DC	1	u	\$ 565,00	\$ 565,00
Signal Board SB1222 4DO 24VDC	1	u	\$ 117,60	\$ 117,60
Botón emergencia 40mm 1NC desenclav. Giro	1	u	\$ 2,70	\$ 2,70
Accionamientos del motor paso a paso.	2	u	\$ 89,00	\$ 178,00
Fuente de alimentación de 35VDC	1	u	\$ 120,00	\$ 120,00
Fuente de alimentación 24VDC	1	u	\$ 75,00	\$ 75,00
Sensor ultrasónico	1	u	\$ 399,62	\$ 399,62
Encoder incremental, salida: A, B, unidad de medida 1mm	1	u	\$ 145,00	\$ 145,00
<b>FUERZA</b>				
Motores paso a paso	2	u	\$ 167,00	\$ 334,00
<b>MECÁNICA</b>				
Diseño y elaboración de la estructura mecánica	1	u	\$ 1.881,00	\$ 1.881,00
<b>VARIOS</b>				
Insumos: terminales pin, cable, bases adhesivas, bornas, riel din, canaletas, transporte.	1	u	\$ 379,43	\$ 379,43
			<b>TOTAL</b>	\$ 4.434,21

El costo del proyecto es cubierto en su totalidad por el autor.

## REFERENCIAS

- Améstegui, M. (Enero de 2011). *pubn*. Recuperado el 8 de Septiembre de 2014, de <http://read.pubn.com/downloads161/ebook/732022/PID%20motor%20control/Control.Pid.pdf>
- AUTOMATIONDIRECT. (1999). *AUTOMATIONDIRECT*. Recuperado el 28 de Marzo de 2014, de AUTOMATIONDIRECT: [http://www.automationdirect.com/ad/Shopping/Catalog/Motion\\_Control/Stepper\\_Systems](http://www.automationdirect.com/ad/Shopping/Catalog/Motion_Control/Stepper_Systems)
- BANNER. (2014). *BANNER*. Recuperado el 15 de Marzo de 2014, de BANNER: <http://info.bannerengineering.com/cs/groups/public/documents/literature/110738.pdf>
- Domingo, Gámiz, Geráu, & Martínez. (2003). *Introducción a los autómatas programables*. Aragón: UOC.
- DULHOSTE. (2014). *Universidad de los Andes*. Recuperado el 8 de Septiembre de 2014, de [http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/djean/index\\_archivos/Documentos/T C10\\_Ajuste\\_Controladores.pdf](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/djean/index_archivos/Documentos/T C10_Ajuste_Controladores.pdf)
- E·MC. (2013). *E·MC*. Recuperado el 28 de Marzo de 2014, de E·MC: <http://www.emc-machinery.com/about12.htm>
- Fagor Arrasate. (15 de 04 de 2003). *Interempresas*. Recuperado el 28 de Marzo de 2014, de Interempresas: <http://www.interempresas.net/Deformacion-y-chapa/Articulos/11992-Aplanadoras-y-calidad-de-aplanado-en-lineas-de-corte.html>
- García, E. (1999). *Automatización de procesos industriales: robótica y automática*. Valencia.
- Gates Worldwide. (1999). *Gates Worldwide*. Recuperado el 12 de Abril de 2014, de Gates Worldwide.
- Google Maps. (2014). *Google*. Recuperado el 15 de Marzo de 2014, de Google: <https://www.google.com.ec/maps?source=tldso>
- Hangyoung nux. (2013). *Hangyoung nux*. Recuperado el 12 de Septiembre de 2014, de Hangyoung nux: [http://eng.hynux.com/sub01\\_main.php](http://eng.hynux.com/sub01_main.php)
- Junta de Andalucía. (2013). *Junta de Andalucía*. Recuperado el 8 de Septiembre de 2014, de <http://www.juntadeandalucia.es/presidencia/portavoz/listadoDocumentosInteres>

- Lajara, & Pelegrí. (2011). *Labview: Entorno gráfico de programación*. Barcelona: Marcombo S.A.
- Micro Pneumatic S.A. (2014). *Micro automatización*. Recuperado el 29 de Diciembre de 2014, de <http://www.microautomacion.com/capacitacion/Manual021IntroduccionalaNeumatica.pdf>
- Ogata, K. (1998). *Ingeniería de control moderna*. México: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.
- PEPPERL+FUCHS. (2014). *PEPPERL+FUCHS*. Recuperado el 28 de Marzo de 2014, de PEPPERL+FUCHS.
- Piedrafita, R. (2004). *Ingeniería de la Automatización Industrial*. Madrid: RA-MA.
- Recalde, Hidalgo, Moya. (2011). *Escuela Superior Politécnica del Ejército*. Recuperado el 15 de Marzo de 2014, de Escuela Superior Politécnica del Ejército: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/19099>
- rodavigo.net. (3 de Enero de 2013). *rodavigo.net*. Recuperado el 28 de Marzo de 2014, de rodavigo.net: <https://rodavigo.net/blog/?tag=norgren>
- Rodríguez. (2007). *Sistemas SCADA*. Barcelona: MARCOMBO.
- Rodríguez. (2008). *Comunicación industriales Guía práctica*. Barcelona: marcombo.
- sapiensman. (2014). *sapiensman*. Recuperado el 14 de Septiembre de 2014, de sapiensman: <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica16.htm>
- Setecind. (2010). *Setecind*. Recuperado el 30 de Septiembre de 2014, de Setecind: <http://www.setecindca.com/descargas/modulofrontal.pdf>
- SIEMENS. (2009). *SIEMENS*. Recuperado el 28 de Marzo de 2014, de SIEMENS: <https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200-MANUAL%20DEL%20SISTEMA.PDF>
- SIEMENS AG. (2013). *Formación Profesional de Electricidad y Electrónica*. Recuperado el 13 de Agosto de 2014, de [http://formacion.plcmadrid.es/descargas/docs/manuales/Comunicacion\\_con\\_simatic.pdf](http://formacion.plcmadrid.es/descargas/docs/manuales/Comunicacion_con_simatic.pdf)
- SILGE ELECTRONICA S. A. (2000). *UNIVERSIDAD INTERAMERICA*. Recuperado el 1 de Enero de 2014, de UNIVERSIDAD INTERAMERICA: <http://facultad.bayamon.inter.edu/arincon/encoderIncrementales.pdf>
- Somolinos Sánchez, J. A. (2002). *Avances en Robótica y visión por computador*. Murcia: Universidad de Castilla-La Mancha.

TIA Portal V12. (2012). *SIEMENS*. Recuperado el 30 de Septiembre de 2014, de SIEMENS: <http://www.industry.siemens.com/topics/global/es/tia-portal/controller-sw-tia-portal/pages/default.aspx>

TP-LINK. (2014). *TP-LINK*. Recuperado el 29 de Octubre de 2014, de TP-LINK: <http://www.tp-link.ec/products/details/?categoryid=&model=TL-WR741ND#down>

Universidad Nacional de Córdoba. (2014). *Universidad Nacional de Córdoba*. Recuperado el 12 de Enero de 2014, de Universidad Nacional de Córdoba: [http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electro/cat/eye\\_archivos/apuntes/a\\_practico/CAP%209%20Pco.pdf](http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electro/cat/eye_archivos/apuntes/a_practico/CAP%209%20Pco.pdf)



# ANEXOS

## Planos eléctricos

