



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE LABORATORIO PARA LA SIMULACIÓN DEL PROCESO DE SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA ESPOCH”

**ROMÁN LATORRE GRACE ALEJANDRA
TERCERO TERCERO LOURDES YOLANDA**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

**RIOBAMBA – ECUADOR
2016**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2013-09-26

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**ROMÁN LATORRE GRACE ALEJANDRA
TERCERO TERCERO LOURDES YOLANDA**

Titulada:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE LABORATORIO PARA LA
SIMULACIÓN DEL PROCESO DE SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA ESPOCH”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Ing. Geovanny Novillo Andrade
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Jhonny Orozco Ramos
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Carlos Santillán Mariño
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ROMÁN LATORRE GRACE ALEJANDRA

TÍTULO DE LA TESIS: “IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE LABORATORIO PARA LA SIMULACIÓN DEL PROCESO SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA ESPOCH”

Fecha de Examinación: 2015-10-27

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marcelo Jácome Valdez PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Jhonny Orozco Ramos DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Carlos Santillán Mariño ASESOR DE TESIS			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marcelo Jácome Valdez
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: TERCERO TERCERO LOURDES YOLANDA

TÍTULO DE LA TESIS: “IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE LABORATORIO PARA LA SIMULACIÓN DEL PROCESO SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA ESPOCH”

Fecha de Examinación: 2015-10-27

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marcelo Jácome Valdez PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Jhonny Orozco Ramos DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Carlos Santillán Mariño ASESOR DE TESIS			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marcelo Jácome Valdez
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Grace Alejandra Román Latorre

Lourdes Yolanda Tercero Tercero

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Román Latorre Grace Alejandra y Tercero Tercero Lourdes Yolanda, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Román Latorre Grace Alejandra
Cedula de Identidad: 060405104-5

Tercero Tercero Lourdes Yolanda
Cedula de Identidad: 050306309-1

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mis padres Rosario Latorre y Galo Román, por haberme formado en un hogar con valores y respeto e impulsarme siempre hacia adelante.

A mis hermanos Ivonne y Galo por ser mis compañeros y cómplices sin importar si las circunstancias eran favorables o difíciles

Grace Alejandra Román Latorre

Dedico esta tesis a Dios a mis padres, amigos (as) y a todos aquellos que me apoyaron moral y económicamente.

Lourdes Yolanda Tercero Tercero

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme llevado de su mano durante todo este camino, a mis padres y hermanos por su apoyo incondicional.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y la Escuela de Ingeniería Industrial por haberme formado dentro de sus aulas, no solo académicamente sino en valores también.

A los Ingenieros Jhonny Orozco y Carlos Santillán por su apoyo y conocimientos indispensables para la realización del presente trabajo.

Grace Alejandra Román Latorre

Agradezco a Dios por permitir cumplir con mi meta, y a mis queridos padres por ser los pilares fundamentales en esta etapa de mi vida.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Industrial por haberme abierto sus puertas y conseguir lo anhelado.

Agradezco a todos los docentes que aportaron con sus conocimientos y gracias a ello poder tener con una carrera.

Lourdes Yolanda Tercero Tercero

CONTENIDO

	Pag.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación	3
1.3 Objetivos	3
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	3
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Automatización	4
2.1.1 <i>Modelo estructural de un sistema automatizado</i>	4
2.1.2 <i>Objetivos de la automatización</i>	5
2.2 Control de procesos industriales	5
2.2.1 <i>Terminología</i>	6
2.2.2 <i>Procesos industriales</i>	6
2.2.3 <i>Lazos de control</i>	7
2.2.4 <i>Sistemas de control según la naturaleza de las señales que intervienen</i>	7
2.3 TIA PORTAL V13	8
2.4 Controlador lógico programable (PLC)	8
2.4.1 <i>Criterios de selección de un PLC</i>	9
2.4.2 <i>Campos de aplicación</i>	9
2.4.3 <i>Ventajas e inconvenientes</i>	10
2.4.4 <i>Capacidad de memoria</i>	10
2.4.5 <i>Partes de un controlador lógico programable</i>	11
2.5 Interfaz hombre máquina	12
2.5.1 <i>Tipos de HMI</i>	13
2.5.2 <i>Características básicas de las HMI</i>	13
2.5.3 <i>Pantalla táctil</i>	14
2.6 Comunicación entre PLC y PC.	14
2.6.1 <i>Formas de comunicación vía PROFINET</i>	15
2.7 Brazo SCARA	16
2.7.1 <i>Robot</i>	16
2.7.2 <i>Articulación</i>	16
2.7.3 <i>Eslabón</i>	17
2.7.4 <i>Grados de libertad</i>	17
2.7.5 <i>Área de trabajo</i>	17
2.7.6 <i>Configuración de robots manipuladores</i>	17
2.7.7 <i>Estructura mecánica de un robot SCARA</i>	18
2.7.8 <i>Sistema de accionamientos</i>	19
2.7.9 <i>Puente H</i>	19
2.7.10 <i>Elementos terminales</i>	20
3. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DEL PROTOTIPO CON PLC S71200	
3.1 Introducción	21
3.2 Identificación de componentes	21
3.2.1 <i>Estructura del módulo de automatización industrial</i>	21

3.2.2	<i>Descripción de los componentes del control automático</i>	26
3.2.3	<i>Descripción de los componentes mecánicos</i>	34
3.3	<i>Diagramas de instalación</i>	59
3.3.1	<i>Diagrama eléctrico del módulo</i>	60
3.3.2	<i>Diagrama del puente H</i>	61
3.4	<i>Montaje</i>	61
3.4.1	<i>Montaje del brazo SCARA</i>	61
3.4.2	<i>Montaje de la banda transportadora</i>	62
3.4.3	<i>Montaje del PLC 12C AC/DC4/RLY</i>	63
3.4.4	<i>Montaje de la pantalla</i>	63
3.4.5	<i>Montaje del panel operador</i>	64
3.5	<i>Conexión del panel operador</i>	65
3.5.1	<i>Puertos del panel operador</i>	65
3.6	<i>Instalación del software</i>	68
3.6.1	<i>Instalación del software TIA PORTAL V13 para programar el PLC S7-1200</i>	68
3.7	<i>Programación del PLC S7-1200</i>	69
3.7.1	<i>Pasos para elaborar el proyecto del módulo selector de materiales</i>	69
3.7.2	<i>Asignación de E/S y memorias para el PLC</i>	69
3.7.3	<i>Programación</i>	70
3.8	<i>Desarrollo del panel HMI BASIC</i>	75
3.8.1	<i>Pasos para configurar el panel HMI BASIC</i>	75
3.8.2	<i>Asignación de variables para la HMI KTP600 PN</i>	76
3.8.3	<i>Programación de la HMI</i>	76
3.8.4	<i>Descripción del sistema</i>	81
3.9	<i>Conexión y comunicación del ordenador con el sistema</i>	83
3.9.1	<i>Conexión del PLC y HMI</i>	83
3.9.2	<i>Comunicación del ordenador con el PLC</i>	83
3.10	<i>Pruebas y puesta a punto del módulo</i>	85
3.10.1	<i>Puesta a punto y en servicio del módulo</i>	85
3.10.2	<i>Mediciones y monitoreo</i>	86
4.	MANUAL DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y GUÍA DE PRÁCTICAS	
4.1	<i>Manual de operaciones</i>	87
4.1.1	<i>Objeto del desarrollo del manual</i>	87
4.1.2	<i>Alcance</i>	87
4.1.3	<i>Responsabilidades</i>	87
4.1.4	<i>Indicaciones generales para el uso del módulo</i>	87
4.1.5	<i>Crear el programa</i>	88
4.2	<i>Manual de Mantenimiento</i>	89
4.2.1	<i>Objeto del desarrollo del manual</i>	89
4.2.2	<i>Alcance</i>	89
4.2.3	<i>Definiciones</i>	89
4.2.4	<i>Responsabilidades</i>	90
4.2.5	<i>Check list</i>	¡Error! Marcador no definido.
4.3	<i>Guía de Practicas</i>	90
4.3.1	<i>Introducción</i>	90
4.3.2	<i>Partes de la guía de práctica</i>	90
4.3.3	<i>Resultados que se desean obtener</i>	91

5.	PRESUPUESTO	
5.1	Introducción	92
5.2	Costos de construcción del módulo	92
5.2.1	<i>Costos directos</i>	92
5.2.2	<i>Costos indirectos</i>	94
5.2.3	<i>Costos totales</i>	94
5.3	Costos de mantenimiento y reparación anual	94
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
6.1	Conclusiones	96
6.2	Recomendaciones.....	96

BIBLIOGRAFÍA
ANEXOS
PLANOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1	Componentes de control automático 26
2	Componentes de la KTP600 Basic Mono PN 27
3	Selección de la pantalla táctil 28
4	Características del PLC S71200 29
5	Componentes PLC S71200..... 30
6	Selección del PLC 30
7	Componentes mecánicos 34
8	Factor de fricción de la banda..... 37
9	Factor de fricción de los cojinetes 37
10	Selección de la configuración del robot..... 40
11	Propiedades del nylon..... 42
12	Distancias de instalación..... 64
13	Dimensionamiento del recorte de montaje 64
14	E/S y marcas del PLC 69
15	Variables del HMI..... 76
16	Costos directos..... 93
17	Costos indirectos..... 94
18	Costos totales 94
19	Costos anuales de mantenimiento..... 95

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1	Control a lazo abierto..... 7
2	Control a lazo cerrado..... 7
3	Estructura de un PLC..... 11
4	Puerto PROFINET 15
5	Formas de comunicación vía PROFINET 15
6	Conexión de red..... 16
7	Tipos de articulaciones 16
8	Configuración cinemática de un robot..... 18
9	Inversiones de giro..... 20
10	Estructura base del módulo de automatización industrial 22
11	Elementos que soporta la estructura base 22
12	Área del tubo 23
13	Límite elástico de la estructura base 23
14	Diagrama del cuerpo libre de las patas de la mesa 24
15	Caja térmica 25
16	KTP 600 Basic PN 26
17	KTP600 Mono PN 27
18	PLC S71200 29
19	Componentes del S71200 30
20	Sensores (Capacitivo, Inductivo)..... 31
21	Cables de conexión..... 32
22	Reguladores de voltaje..... 32
23	Relays 33
24	Porta fusible 33
25	Banda transportadora 34
26	Micro-moto reductor..... 35
27	Diagrama del cuerpo libre de la banda sin peso 35
28	Brazo SCARA 39
29	Garra robótica 40
30	Diagrama del cuerpo libre de las probetas..... 41
31	SERVO HITEC HS-311 44
32	Tornillo sin fin para el movimiento transversal 45
33	Límite elástico del tornillo sin fin..... 46
34	Eslabón del primer giro 48
35	Esfuerzo cortante y momento flector eslabón 1 49
36	Inercia de una sección rectangular..... 50
37	Límite elástico eslabón 1 51
38	Eslabón del segundo giro..... 53
39	Esfuerzo cortante y momento flector eslabón 2 53

40	Límite elástico eslabón 2	54
41	Moto-reductor 5-24V, 24 kgf-cm, alto torque	56
42	Base del brazo SCARA	57
43	Límite elástico del tubo de la base.....	57
44	Inercia de una superficie circular.....	58
45	Momento flector del tubo de la base.....	58
46	Diagrama eléctrico del módulo de laboratorio.	61
47	Puente H	61
48	Montaje del brazo	62
49	Montaje de la banda transportadora.....	62
50	Posiciones de montaje del HMI.....	63
51	Distancias para la instalación del HMI.....	63
52	Recorte de montaje	64
53	Puertos del panel operador.....	65
54	Conexión a tierra	66
55	Conexión de la fuente de alimentación.....	67
56	Programación PLC	70
57	Programación HMI	77
58	Pantalla de presentación	82
59	Pantalla de control automático.....	82
60	Pantalla de control manual.....	82
61	Estructura del editor de programas	89

LISTA DE ABREVIACIONES

HMI	Interfaz Hombre Maquina (Human Machine Interface)
SCADA	Supervisión, Control y Adquisición de Datos (Supervisory Control And Data Adquisition)
PLC	Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller)
E/S	Entradas / Salidas
CPU	Unidad Central de Procesamiento
SCAN	Ciclo de operación del PLC
DIN	Instituto Alemán de Normalización (Deursches Istitut Für Normung)
PC	Computadora Personal
TIA Portal	Portal Automático Totalmente Integrado (Totally Integrated Automation Portal)
RAM	Random Access Memory (Memoria de Acceso Aleatorio)
GND	Tierra (Ground)
RLY	Relay
COM	Puerto de comunicación
WLAN	Wireless local area network
ANSI	Instituto Nacional Americano de Normalización
BOOL	Booleano (lógica binaria)
I%	Entradas PLC
Q%	Salidas PLC
S	Sensores
M%	Memorias PLC
NA	Normalmente abierto

LISTA DE ANEXOS

- A** Introducción al PLC S7-1200
- B** Introducción al KTP400 Basic
- C** Manual de operaciones
- D** Manual de mantenimiento
- E** Guía de prácticas

RESUMEN

El módulo de laboratorio para la simulación del proceso de selección de materiales se encuentra dentro del laboratorio de automatización de la Escuela de Ingeniería Industrial, este utiliza para dicha simulación un brazo SCARA, una banda transportadora y un PLC S71200 con mando touch.

La construcción de la parte mecánica del módulo se realizó de la siguiente manera; sobre una estructura de tubo cuadrado de 2 mm de espesor se apoyaron perfiles de aluminio para la conformación de la mesa que soporta los demás elementos. La banda transportadora se hizo de tela lienzo y cuenta con dos rodillos de acrílico. Por otra parte el brazo SCARA está compuesto de dos eslabones de tubo cuadrado de aluminio y una base de tubo de acero inoxidable; para el movimiento transversal en el eje Z se utilizó un tornillo sin fin de acrílico. Para conseguir invertir los giros de los motores de los movimientos del brazo SCARA se utilizó el circuito “puente H”.

Una pantalla KTP 600 Basic Mono PN fue utilizada para construir el control touch del proceso y posteriormente se elaboró la programación y la configuración del panel HMI. En el manual de operación y mantenimiento que se elaboró se detallan los pasos que se debe seguir para el uso del sistema.

Este módulo se implementó con fines didácticos, con el objeto de dar a conocer que existen tecnologías útiles que optimizan y facilitan un proceso además de salvaguardar la integridad de los operarios en tareas que les podrían resultar peligrosas.

ABSTRACT

The laboratory module for the material selection simulation process is located into the automation laboratory of industrial engineering school, this laboratory uses a SCARA arm, a conveyor and an S71200 PLC with a touch command.

The mechanical construction of the module was performed in the following way: over the two-millimeter thick square tube structure some aluminum sections were held to build the table supporting the elements. The conveyor belt was manufactured in linen fabric and contains acrylic rollers. On the other hand the SCARA arm is made up of two aluminum square tube shackles and a stainless steel tube base; for the transversal motion of Z axis it was necessary to use an endless acrylic screw. To revert the rotation of the motors which move the SCARA arm, it was necessary to use "H Bridge".

A KTP 600 PN Basic Mono screen was used to build touch control of the process, and then the programming and setting of the HMI panel was also made.

This module has been implemented for didactic purposes, in order to make people know about the existing useful technologies which optimize and ease the process as well as safeguarding the integrity of the workers in the activities which would be dangerous.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Desde tiempos muy remotos el ser humano ha desarrollado máquinas capaces de imitar los movimientos de las partes del cuerpo humano. En Egipto los antiguos sacerdotes pusieron brazos mecánicos en las estatuas de los dioses, de igual manera en Grecia se elaboraron estatuas que funcionaban con sistemas hidráulicos, las cuales eran utilizadas para impresionar a los adoradores en los templos (Herón, 10 d.c-70 d.c).

Se vio también durante los siglos XVII y XVIII muñecos mecánicos que poseían varias características de robots, por ejemplo están los muñecos músicos que fueron diseñados y construidos por Jacques de Vaucansos a mediados del siglo XVIII; o la muñeca mecánica capaz de realizar dibujos construida por el suizo Henry Millardet en el año de 1805, la misma que utilizaba a manera de programación una serie de levas (Wikipedia).

La fabricación automatizada nace de la íntima relación entre las fuerzas económicas y las innovaciones técnicas entre las que puede mencionarse la mecanización de las fábricas, la división del trabajo y la transferencia de energía (McLUHAN, 1996). Durante la segunda mitad del siglo XVIII se desarrolló la división del trabajo, fue el Británico Adam Smith el primero en analizarla en su libro Investigación sobre la naturaleza y causas de las riquezas de las naciones; es la división del trabajo la que permitió incrementar la producción mientras se reducían el nivel de la especialización de los operarios (SMITH).

El siguiente paso en la evolución de la automatización fue la mecanización, esta pudo desarrollarse gracias a la simplificación de los procesos provocada por la división del trabajo, la misma que promovió el diseño y construcción de máquinas que imitaban los movimientos de los trabajadores. Con el tiempo estas máquinas fueron motorizándose para aumentar su eficacia dentro de la producción; debido a esto dentro del proceso de producción, tanto las máquinas como los operarios, debían ubicarse cerca de las fuentes de energía, se utilizaron también dentro de los proceso a medida que estos evolucionaban maquinas transportadoras de materiales.

Uno de los más grandes referentes de automatización es la industria del automóvil que surgió en la década de los 20, sus procesos de producción en línea que abarataban los costos cambiaron para siempre la forma de producir de las empresas. En mayor o menor grado todas las empresas utilizan procesos automatizados ya sea en las comunicaciones y facturación o en todo el proceso de producción. La automatización ha facilitado el incremento de la producción y la reducción de los costos, poniendo una amplia variedad de productos al alcance de más gente (desarrollo regional).

La automatización tiene mayor demanda en el ámbito industrial debido a que cada día los procesos de producción que tienen las empresas están en una constante carrera contra el tiempo pues los retardos en los procesos de producción en algunas empresas pueden incluso generar grandes pérdidas de carácter monetario.

Entre las áreas donde se desarrolla esta disciplina se destacan sectores industriales en rubros como la minería, celulosa, metalmecánica, automotriz, textil, alimentos, Integración Ingenieril entre otras que requieran de una optimización en su sistema de producción. La automatización ha permitido incrementar la producción y reducir los costos.

Existe un concepto fundamental y muy actual en torno a la automatización Industrial y es el de DCS (Sistemas de Control Distribuido). Un sistema de control distribuido está formado por varios niveles de automatización que van desde un mínimo de 3 hasta 5. Los mismos que denominan: nivel de campo (donde se encuentran los sensores y actuadores), nivel de control (donde se encuentran los PLCs o las estaciones de automatización), nivel de supervisión (donde se encuentran las estaciones de operación y los servidores de proceso), nivel MES (donde se encuentran PCs con softwares especializados para la distribución de toda la información de planta así como la generación de reportes) y el nivel ERP (donde se encuentran igualmente PCs con softwares especializados para la planificación y administración de la producción de toda la industria o empresa) (Wikipedia).

Computadoras especializadas y tarjetas de entradas y salidas tanto analógicas como digitales, son utilizadas para leer entradas de campo a través de sensores y en base a su programa, generar salidas hacia el campo a través de actuadores.

1.2 Justificación

El desarrollo de este trabajo investigativo se fundamenta en la necesidad de contribuir a la implementación del laboratorio de automatización para la Escuela de Ingeniería Industrial de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, puesto que éste es fundamental para el aprendizaje de la materia del mismo nombre en una forma más práctica que teórica, fomentando de esta manera el mejoramiento del nivel académico de los estudiantes y permitiendo que estos tengan contacto con tecnología de punta que encontrarán en la industria en la que se desempeñarán en el futuro.

El módulo de laboratorio ayudará a una mejor comprensión de conceptos básicos de la automatización; como el uso del PLC S71200, Interfaz Hombre-Máquina, sensores (inductivo y capacitivo), motores, banda transportadora, brazo SCARA que de otra manera no les sería posible conocer.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Construir e Implementar un módulo con mando touch para simular el proceso industrial de selección de materiales para el laboratorio de automatización de la Escuela de Ingeniería Industrial de la Facultad Mecánica de la ESPOCH.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

- Contribuir a la construcción del conocimiento en la cátedra de automatización mediante el uso del módulo de laboratorio.
- Simular un proceso en el que se pueda utilizar sensores, motores, banda y un brazo SCARA para la mejor comprensión del funcionamiento de los mismos.
- Entender el uso y funcionamiento de las pantallas táctiles y del PLC S71200 para su correcta programación.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Automatización

La automática se define como el conjunto de métodos y procedimientos para la sustitución del operario en tareas físicas y mentales previamente programadas (PONSA, y otros, 2009).

2.1.1 *Modelo estructural de un sistema automatizado.* Un sistema automatizado puede estar formado por dos partes bien diferenciadas:

2.1.1.1 *Parte operativa.* Esta es la parte que actúa directamente sobre la máquina, es decir que son los elementos que hacen que la máquina se mueva y ejecute la operación deseada; está formada por un conjunto de dispositivos, máquinas o subprocesos diseñados para la realización de determinadas funciones (CANTO, 2015).

- Sensores
- Actuadores
- Elementos de potencia
- Interface hombre-máquina

2.1.1.2 *Parte de control o mando.* Dispositivo encargado de controlar y coordinar las operaciones necesarias para mantener la parte operativa bajo un determinado funcionamiento que ya ha sido establecido, y hace poco solían utilizarse relevadores electromagnéticos, tarjetas electrónicas y módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada) (CANTO, 2015).

- Tecnología programada PLC y cableado de señales de control.

En el centro de un sistema automatizado se encuentra siempre el autómatas programable puesto que éste debe ser capaz de comunicarse con todos los elementos que constituyen el sistema automatizado (CANTO, 2015).

2.1.2 *Objetivos de la automatización:*

- Mejorar la productividad de la empresa, al producir con costos cada vez menores permitiendo así que la empresa sea cada vez más competitiva.
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal, pues evita que los operarios tengan que hacer trabajos monótonos, pesados y peligrosos o nocivos para la salud.
- Permite realizar las operaciones imposibles de controlar intelectual y manualmente.
- Mejorar la disponibilidad de los productos, ya que se puede fabricar las 24 horas del día con interrupciones solamente para los trabajos de mantenimiento, lo que permite entregar a los clientes más productos en menos tiempo.
- Simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.
- Mejorar la calidad de los productos, puesto que las máquinas cometen menos errores que los humanos lo que garantiza productos con un alto y constante nivel de calidad.
- Mantener medios de producción adecuados que posean una gran flexibilidad y puedan modificar oportunamente la estrategia de producción.

2.2 **Control de procesos industriales**

Un proceso industrial tiene por finalidad la obtención de un producto a través de la transformación de materia prima, de características determinadas de forma que cumpla con las especificaciones y niveles de calidad exigidos por el mercado. Para lograr estas propiedades es necesario llevar un control de las condiciones de operación, ya que tanto la alimentación al proceso como las condiciones del entorno son variables en el tiempo.

La misión del sistema de control de proceso será corregir las desviaciones surgidas en las variables de proceso respecto de unos valores determinados, que se consideran óptimos para conseguir las propiedades requeridas en el producto producido (MAINSA, 2006).

El sistema de control nos permitirá una operación del proceso más fiable y sencilla, al encargarse de obtener unas condiciones de operación estables, y corregir toda desviación que se pudiera producir en ellas respecto a los valores de ajuste.

2.2.1 Terminología:

- *Variable del proceso.* Son aquellas que pueden cambiar las condiciones de un proceso.
- *Setpoint.* Valor al que se desea mantener una variable de proceso.
- *Variable medida.* Es aquella que se desea mantener estable.
- *Variable manipulada.* Es aquella que varía para mantener constante la variable medida.
- *Error.* Es la diferencia entre la variable medida y el setpoint. Puede ser más o menos.
- *Offset.* Es una variación constante de la variable de proceso, respecto del setpoint.
- *Variación de carga.* Es un cambio no deseado en algún factor que pueda afectar la variable de proceso.
- *Algoritmo de control.* Es la expresión matemática de una función de control.

2.2.2 Procesos industriales:

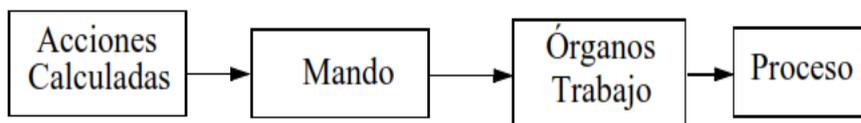
- *Procesos continuos.* Una vez fijados los valores de entrada de referencia (setpoint) éstos podrán ser cambiados por el operador, pero los cambios no serán de gran magnitud. Los arranques y paradas son pocos y espaciados. (VIOGNI, 2002).
- *Procesos discretos.* Permanentemente se producen arranques y paradas de la línea. Estos procesos fueron el tradicional dominio de utilización de los relés electromagnéticos y en la actualidad de los PLC (VIOGNI, 2002).

- *Procesos batch.* Estos pueden ser uno o más procesos continuos separados por procesos de tipo discreto, a menudo secuencial, además de la secuencia de arranque y la de parada (VIOGNI, 2002).

2.2.3 Lazos de control. Un lazo de control requiere la ocurrencia de tres tareas básicas: medida, comparación, ajuste.

Control a lazo abierto. En este sistema de control, la variable de proceso no es comparada y se genera una acción independientemente de las condiciones de la misma (LÓPEZ, 2014).

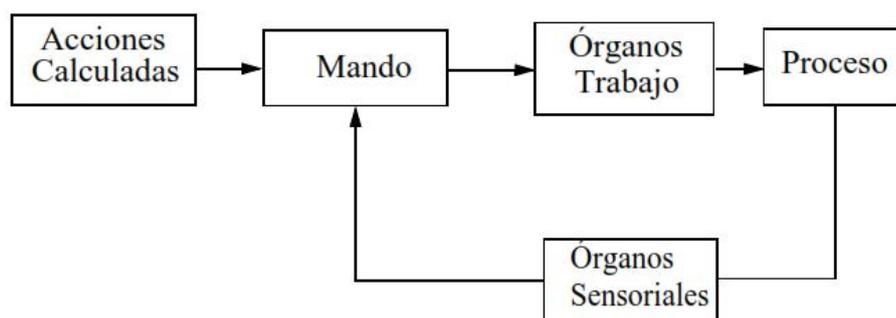
Figura 1. Control a lazo abierto



Fuente: <http://infoplcn.net>

Control a lazo cerrado. Lazo cerrado existe cuando la variable de proceso es medida, comparada con el setpoint y se genera una acción tendiente a corregir cualquier desviación respecto del mismo (LÓPEZ, 2014).

Figura 2. Control a lazo cerrado



Fuente: <http://infoplcn.net>

2.2.4 Sistemas de control según la naturaleza de las señales que intervienen:

- *Sistemas analógicos.* En estos sistemas se utilizan señales continuas que representan magnitudes físicas del proceso (presión, temperatura, velocidad, etc.)

por medio de una tensión o corriente que es proporcional a su valor (CANTO, 2015).

- *Sistemas digitales.* Se trabaja con señales todo o nada conocidas también como binarias, estas están representadas con bits o variables lógicas, las cuales pueden tomar el valor de 0 o 1. Las señales son de tipo discreto y al combinarlas de una particular forma representan a la magnitud de las variables del proceso (CANTO, 2015).
- *Sistemas híbridos analógicos-digitales.* Trabajan tanto con señales analógicas como digitales (CANTO, 2015).

2.3 TIA Portal V13

TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) es el innovador sistema de ingeniería que permite configurar de forma intuitiva y eficiente todos los procesos de planificación y producción.

Convence por su funcionalidad probada y por ofrecer un entorno de ingeniería unificado para todas las tareas de control, visualización y accionamiento (SIEMENS, 2009). El TIA Portal la nueva versión del sistema de ingeniería SIMATIC STEP 7 para la planificación, la programación y el diagnóstico de todos los controladores SIMATIC.

Con una nueva generación de editores de programación más productivos se optimiza la calidad, la eficiencia y la consistencia de todo el proceso de producción. Se dispone así de texto estructurado, diagramas de contactos, esquemas de funcionamiento, listas de instrucciones y la posibilidad de programar la cadena de procesos.

Como parte integrante del TIA Portal, SIMATIC STEP 7 abre nuevas perspectivas para maximizar la eficiencia en la programación (SIEMENS, 2009).

2.4 Controlador lógico programable (PLC)

Los controladores lógicos programables o PLC son dispositivos electrónicos muy usados en automatización industrial. Se ha diseñado para programar y controlar procesos

secuenciales y en paralelo en tiempo real. Este usa una memoria interna para el almacenamiento de las instrucciones para de esta manera implementar las funciones específicas como: secuenciación, lógica, operaciones aritméticas, conteo, control y registro de tiempos; y mediante entradas/salidas digitales o analógicas le permiten controlar varios tipos de procesos (TOSHIBA, 2009).

Se puede interpretar a una aplicación corriendo en un PLC como un tablero electromecánico con relés, contadores y temporizadores en su interior, con la diferencia de que ahora estos elementos serán simulados electrónicamente.

2.4.1 *Criterios de selección de un PLC:*

- Número de entradas y salidas.
- Capacidad de la memoria de programa.
- Potencia de las instrucciones.
- Posibilidad de conexión de periféricos y módulos de comunicación.

2.4.2 *Campos de aplicación.* El PLC tiene un campo muy amplio y extenso para su aplicación, debido a que el software y hardware está en constante evolución. Se utiliza fundamentalmente en instalaciones que requieran procesos de maniobra, control, señalización, por lo que su aplicación es capaz realizar procesos de fabricación industrial de cualquier índole, como control de instalaciones (MATEO, 2015).

La gran facilidad de su montaje en reducidas dimensiones, la capacidad de almacenar programas y ejecutarlas cuando lo requiera de forma rápida y eficaz. Por ello se utiliza en procesos tales como:

- Espacio reducido.
- Procesos de producción periódicamente cambiantes.
- Procesos secuenciales.
- Instalaciones de procesos complejos y amplios.
- Control y señalización
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso.

2.4.3 *Ventajas e inconvenientes*

2.4.3.1 *Ventajas de un PLC:*

- Elaboración de proyectos en un tiempo menor.
- Una de las más grandes ventajas de un PLC es que se puede automatizar las tareas y robotizarlas, gracias a ello se ahorra mano de obra y se reduce costos.
- Su programación es sencilla, ya que la misma compañía se encarga de vender el software.
- Gracias al PLC, no habrá la necesidad de cambiar toda la estructura mecánica para modificar la tarea.
- Un PLC se puede programar para detectar alguna falla en el sistema, por medio de los puertos de entrada mediante sensores.
- Gracias al PLC es posible reducir en gran medida el uso de sensores y otros dispositivos utilizados para las mismas tareas.

2.4.3.2 *Inconvenientes de un PLC:*

- La mayor desventaja de un PLC es que antes de automatizar alguna tarea en la industria, se debe tomar todas las precauciones para que este salga de la mejor manera.
- Toda tarea o proceso depende totalmente de un código de programación, el mismo que debe estar bien, para ello el programador debe saber sobre dicho programa.
- La inversión de contar con un PLC y automatizarlo suele ser muy elevado en cualquier campo.

2.4.4 *Capacidad de memoria.* Todo PLC contiene una memoria de programa, lugar donde se almacenan todos los códigos que son los encargados de ejecutar las funciones

programadas, y con ello controlar el proceso. Las instrucciones serán almacenadas en bytes, la cantidad de almacenamiento dependerá exclusivamente de la cantidad de memoria que disponga la CPU.

Ejemplo:

$$16 \text{ bits} = 65\,535 \text{ posiciones} = 64 \text{ KB} = 2^{16}$$

$$20 \text{ bits} = 1\,048\,576 \text{ posiciones} = 1 \text{ MB} = 2^{20}$$

$$1 \text{ Kbyte} = 1\,024 \text{ bytes}$$

2.4.5 Partes de un controlador lógico programable:

- Fuente de alimentación.
- Unidad central de procesos (CPU).
- Memoria.
- Módulos de entrada.
- Módulos de salida.
- Unidad de programación.



Fuente: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com>

2.4.5.1 Fuente de alimentación. Toma energía eléctrica de las líneas (110 V) para transformarla, rectificarla filtrarla y regularla entregando de esta manera la tensión que requiera el controlador para su buen funcionamiento así como también los distintos circuitos que componen el sistema (5 V, 10 V, 15 V, 24 V). Su potencia es variable, depende de la cantidad de entradas y salidas, de la aplicación (MAZA, 2009).

2.4.5.2 *Unidad central de procesos (CPU).* Es la encargada de tomar las decisiones inherentes al proceso o máquina que se esté controlando. Al CPU llegan señales de entrada provenientes de los diferentes dispositivos utilizados para censar el proceso, este ejecuta decisiones lógicas determinadas por la programación almacenada en la memoria, y en base a esto controla los dispositivos de salida.

Una CPU es un conjunto de memorias, temporizadores, contadores gracias a los cuales le es posible llevar a cabo la secuencia de control que se encuentra almacenada en una de las memorias (MAZA, 2009). La estructura de un PLC está constituida por:

- *Procesador.* Realiza operaciones lógicas, aritméticas y de control gracias a que cuenta con un ALU (Unidad Aritmética Lógica), UC (unidad de Control), las tareas del microprocesador son organizadas por este.
- *Memorias.* Almacenan la información, estas pueden ser volátiles y no volátiles. El almacenamiento del programa se hace en memorias regrabables tipo RAM, EPROM, EEPROM
- *Registro.* Almacenan instrucciones, datos, contadores, acumuladores, etc. temporalmente.

2.4.5.3 *Módulos de entrada.* Es aquí donde llegan las señales que le ayudaran a la CPU a saber lo que está sucediendo en el proceso, estos se encargan de codificar y adaptar las señales procedentes de los dispositivos de entrada, de manera que sean comprensibles para la CPU (MAZA, 2009).

2.4.5.4 *Módulos de salida.* Por medio de ellos la CPU puede mantener o modificar el estado de los dispositivos asociados al proceso, tomando en cuenta las entradas y los registros del programa.

2.5 Interfaz hombre máquina

El aparato que le muestra los datos a un operario para que este pueda controlar un proceso se conoce interfaz Hombre - Máquina o HMI ("Human Machine Interface"). Es posible compárala con una ventana de un proceso en la que pueden estar dispositivos como

paneles de operador o un ordenador, en los cuales se reconoce a esta como software o aplicación HMI (COPADATA).

Ya sea a través de un PLC (Controlador Lógico Programable), DRIVER's (Variadores de velocidad de motores), PACs (Controlador de automatización programable) o RTU (Unidades remotas de I/O) las señales del proceso llegan hasta el HMI, para que esto sea posible estos dispositivos deberán tener una comunicación que entienda el HMI.

Básicamente el HMI facilita la interacción entre un humano y una máquina, estas pueden ir desde botones de entrada en un celular hasta paneles de control para plantas nucleares.

2.5.1 *Tipos de HMI.* Se pueden distinguir dos tipos de HMI:

- *Terminal de operador.* Son utilizados en ambientes agresivos, suelen ser dispositivos de despliegues alfanuméricos, numéricos o gráficos, pueden ser Touch Screen (Pantalla sensible al tacto).
- *PC + software.* Consiste en cargar el software apropiado en un PC; este PC debe ser seleccionado de acuerdo a los requerimientos del proyecto, existen por ejemplo los PC de panel que son colocados en gabinetes, los industriales para ambientes agresivos e incluso los PC de escritorio tradicionales.

2.5.2 *Características básicas de las HMI.* Dentro de la comunicación hombre máquina ocurren las siguientes actividades:

- *Indicación del estado del proceso.* Se pueden utilizar en esta actividad por ejemplo: LED (Diodo emisor de Luz), impresoras, terminales de video. En el caso del uso de pantallas se pueden emplear: teclado, lápiz óptico, touch screen o mouse.
- *Tratamiento e indicación de alarmas.* Las alarmas informan al usuario de una situación anormal dentro del proceso. Estas pueden ser representadas en la misma pantalla, usando símbolos, textos intermitentes, indicaciones sonoras, impresiones de mensajes de alarma, videos o cambiando repetidamente el color del nombre de una de las variables.

- *Ejecución de acciones de mando.* Estas se pueden realizar por técnicas convencionales (pulsadores, interruptores, potenciómetros, etc.), o mediante teclados, lápiz óptico, mouse, pantallas táctiles, etc. Las características del puesto de mando deben estudiarse cuidadosamente. Con el puesto de mando se debe buscar comodidad para el operador.

2.5.3 Pantalla táctil. Las pantallas táctiles debido a sus características actúan como dispositivos de Entrada/Salida de datos, permite la entrada de información por el usuario al dispositivo, y a su vez extraer los resultados de su procesamiento. Se crearon con el fin de optimizar la supervisión y manejo de procesos en tiempo real. Existe una excelente comprensión y comunicación Hombre-Maquina (IHM) mediante los sensores táctiles, cualquier usuario puede tener acceso ya que no requiere tener conocimientos informáticos. Se puede apreciar su uso en cajeros automáticos de bancos, ordenadores públicos la industria le da un gran uso mediante su instalación en paneles de control de diversas máquinas y líneas de producción (COBO, 2008).

- *Ventajas:*

- Funcionamiento estable con una respuesta rápida y efectiva.
- El polvo o agua no repercuten en su funcionamiento.
- Tratamiento antirreflejos.
- Accesible por el tipo de construcción.

- *Inconvenientes:*

- Suelen provocar pérdida de brillo de un 25%.
- Frágil al contacto con objetos afilados o ambientes agresivos.
- Es necesario calibrar al pasar el tiempo de su uso.

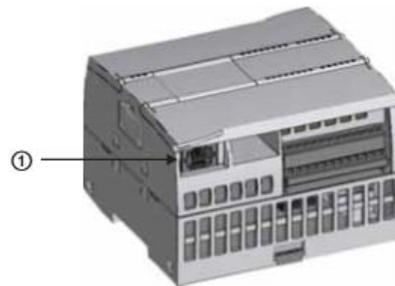
2.6 Comunicación entre PLC y PC

Para la comunicación entre el PLC y la programadora, el PLC cuenta con un puerto *PROFINET* el cual soporta las normas ethernet y de comunicación basadas en TCP/IP. Los protocolos de aplicación que soporta la CPU S71200 son:

- Transport Control Protocol (TCP).
- ISO on TCP (RFC1006).

Un puerto PROFINET establece una conexión física entre una programadora y una CPU y ya que la CPU brinda la opción “auto-crossover” se puede utilizar para la interfaz un cable ethernet estándar o cruzado (crossover) (SIEMENS, 2009).

Figura 4. Puerto PROFINET



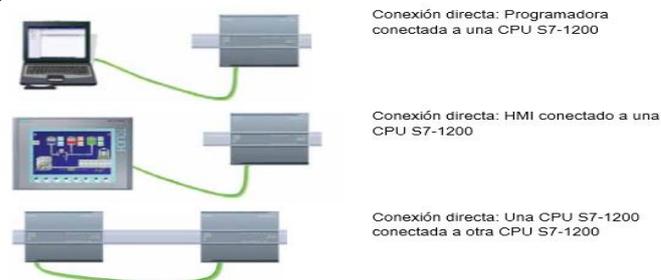
Fuente: Manual de Sistema Simatic S7-1200 edición 2009-11

Es posible que las CPUs puedan comunicarse con otras CPUs, así como con dispositivos HMI, programadoras y dispositivos que utilicen protocolos de comunicación tipo TCP estándar.

2.6.1 Formas de comunicación vía PROFINET:

2.6.1.1 Conexión directa. Se usa cuando se requiere conectar una CPU, un dispositivo HMI o una programadora a una sola CPU, no requiere un switch Ethernet.

Figura 5. Formas de comunicación vía PROFINET



Fuente: Manual de Sistema Simatic S7-1200 edición 2009-11

2.6.1.2 Conexión de red. A diferencia de la anterior esta requiere de un switch Ethernet puesto que se van a conectar más de dos dispositivos (programadoras, CPUs, HMIs y otros dispositivos).

Figura 6. Conexión de red



Fuente: Manual de Sistema Simatic S7-1200 edición 2009-11

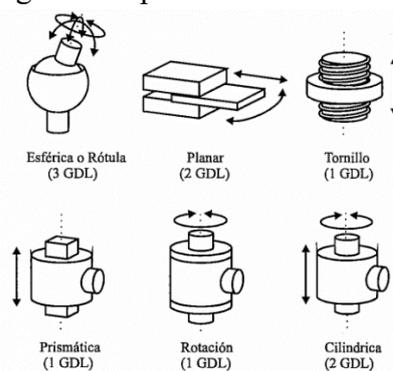
Adicionalmente una programadora puede comunicarse con una CPU mediante la utilización del TIA PORTAL V13 en una red; hay que considerar que es preciso configurar el hardware.

2.7 Brazo SCARA

2.7.1 Robot. Un robot es un manipulador reprogramable y multifuncional, diseñado para mover cargas, piezas, herramientas o dispositivos especiales, según variadas trayectorias, programadas para realizar diferentes trabajos (RIA).

2.7.2 Articulación. Unión de dos eslabones (también llamados ejes) que permiten que entre las partes unidas se genere un movimiento sea este de desplazamiento, giro o bien una combinación de ambos, de esta manera se pueden determinar seis tipos de articulaciones (ZABALA VILLALVA, 2015).

Figura 7. Tipos de articulaciones



Fuente: <http://ocw.upc.edu>

Las articulaciones le proveen a un robot tan solo un grado de libertad (GDL). Como podemos ver existen varios tipos de articulaciones, pero las que más se utilizan en robots son la prismática (P) y la de rotación (R). Ambas le permiten al robot hacer un

movimiento, la prismática un movimiento relativo de desplazamiento en una sola dirección y la de rotación un movimiento de giro alrededor de un eje; razón por la cual se dice que cada articulación le da al robot tan solo un grado de libertad, de modo que diremos que el número de articulaciones determina el número de GDL de un robot.

2.7.3 *Eslabón.* Desde el punto de vista cinemático es un cuerpo rígido que posee al menos dos nodos, siendo estos los puntos de unión con otros eslabones. Pero considerándolo desde el punto de vista de la mecánica es una pieza de un mecanismo o máquina generalmente rígidos, los eslabones deben conectarse entre sí para poder transmitir el movimiento desde el eslabón impulsor o de entrada hasta el eslabón seguidor o de salida (ZABALA VILLALVA, 2015).

2.7.4 *Grados de libertad.* Se le denomina a cada movimiento independiente que puede realizar una articulación con respecto a la anterior. Es el número de parámetros independientes que se necesitan para definir la posición de un sistema en el espacio en cualquier instante (SÁNCHEZ, 2009).

2.7.5 *Área de trabajo.* Esta viene determinada por las características físicas de un robot (forma, tamaño, eslabones), dependerá de los elementos que está formado un robot incluidos sus grados de libertad. Se refiere al volumen espacial que va a ocupar un robot sin tomar en cuenta el efector final y es proporcionado por cada fabricante (Departamento de electrónica automática e informática industrial, 2014).

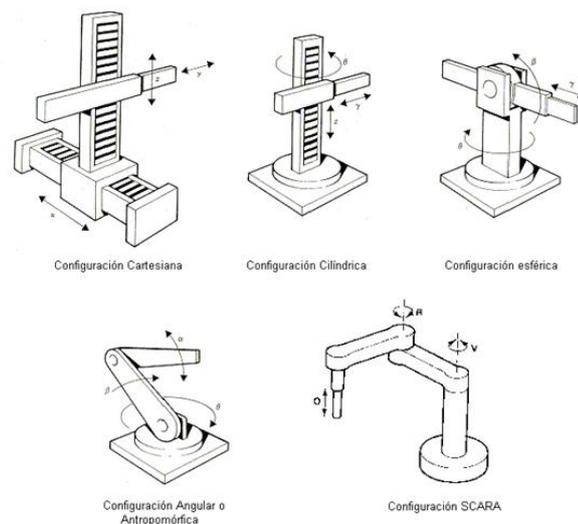
2.7.6 *Configuración de robots manipuladores.* Cinemáticamente se puede clasificar a los robots manipuladores de acuerdo a la configuración de su brazo (primeras tres articulaciones) dentro de cinco configuraciones: cartesiana (PPP), cilíndrico (RPP), esférico (RRP), articulado (RRR) y SCARA (RRP).

- *Configuración cartesiana (PPP).* Sus tres primeras articulaciones son prismáticas y las variables de la articulación son las coordenadas cartesianas del efector final con respecto a la base. (Una introducción a la robótica industrial, 1999).
- *Configuración cilíndrica (RPP).* La primera articulación es de revolución y produce una rotación alrededor de la base mientras que la segunda y la tercera son

prismáticas. Las variables de la articulación son coordenadas cilíndricas del efector final con respecto a la base (Una introducción a la robótica industrial, 1999).

- *Configuración esférica (RRP)*. Las dos primeras articulaciones son de revolución y la tercera articulación es prismática, por lo tanto las coordenadas esféricas definen la posición del efector final con respecto al sistema de coordenadas de la base (Una introducción a la robótica industrial, 1999).
- *Configuración articulada (RRR)*. Conocido también como manipulador antropomorfo debido a su similitud con el brazo humano; tiene tres articulaciones de revolución las mismas que le proporcionan gran libertad de movimiento en espacios reducidos (Una introducción a la robótica industrial, 1999).
- *Configuración SCARA (RRP)*. SCARA (Selective Compliance Articulated Robot for Assembly) está diseñado como su nombre lo indica para operaciones de ensamble. Las dos primeras articulaciones de revolución son verticales permitiendo de esta manera que los eslabones se muevan en un plano horizontal mientras que el tercer eslabón se mueve según un eje vertical. (Una introducción a la robótica industrial, 1999).

Figura 8. Configuración cinemática de un robot



Fuente: <http://tesisdegradohectorc2.es>

2.7.7 Estructura mecánica de un robot SCARA. Un robot tipo SCARA tiene amplia libertad de movimientos en los ejes X & Y en sus dos primeras articulaciones tipo revoluta

que permiten que sus eslabones giren en ángulos que varían entre los -90° y 90° , aunque en el eje Z esta se ve bastante reducida, ya que en este eje vertical debido a su articulación tipo prismática este realiza manipulaciones simples que básicamente consisten en presionar y desplazarse unos pocos centímetros (BOADA, y otros, 2010). Lo que significa que es capaz de ubicar el extremo de la pinza en cualquier lugar siempre y cuando este se encuentre dentro del área de trabajo.

2.7.8 *Sistema de accionamientos.* Los robots SCARA utilizan un accionamiento tipo directo o también conocido como eléctrico ya que este permite una fácil y precisa regulación de la posición a través de servomecanismos. Este tipo de motores son muy sensibles a las sobre corrientes por lo que requieren el uso de varias protecciones.

Generalmente estos tienen velocidades de 3 000 rpm, razón por la cual es necesario el uso de reductores para lograr mover las articulaciones a velocidades más bajas proporcionando al mismo tiempo elevado torque.

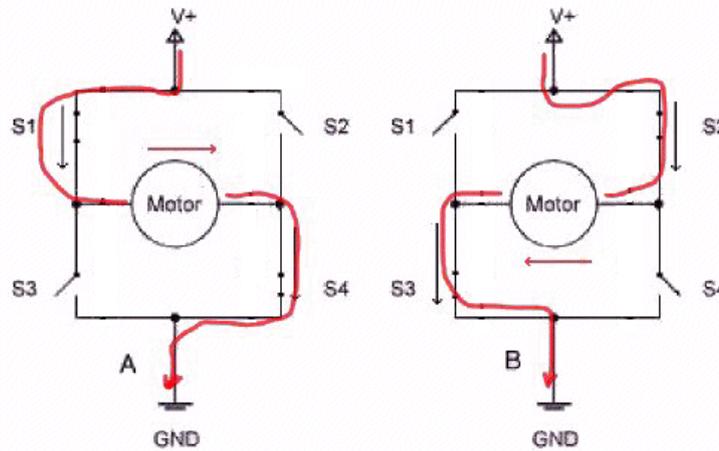
En los accionamientos directos hay dos maneras de acoplar el motor a la articulación: el acoplamiento directo y el acoplamiento por medio de reductor (indirecto).

- *Acoplamiento motor-articulación.* Elimina problemas de rozamientos, deformaciones, pérdida de potencia, deformaciones y deslizamientos en las transmisiones; requiere el uso de motores de bajas velocidades y elevado torque que suelen ser pesados por lo que la estructura del robot será robusta (Una introducción a la robótica industrial, 1999).
- *Acoplamiento moto reductor-articulación.* Los parámetros importantes son la relación de transmisión (Rev. Entrada/ Rev. Salida) y el rendimiento (Potencia Salida/Potencia Entrada). Se emplea con la finalidad de reducir la velocidad y aumentar el torque, se utilizan motores más pequeños y livianos que en el acoplamiento directo. (Una introducción a la robótica industrial, 1999)

2.7.9 *Puente H.* Es un mecanismo empleado para cambiar de el sentido de giro de un motor de corriente continua. Para comprender mejor el funcionamiento del puente H utilizaremos la figura 9 en la que se usan interruptores, los mismos que al variar sus

posiciones permitirán el paso de la corriente en uno u otro sentido logrando así cambiar el sentido de giro del motor.

Figura 9. Inversiones de giro



Fuente: <http://www.hispavila.com>

Finalizando, en el caso en que los interruptores S1 y S3 estuvieran cerrados mientras S2 y S4 permanecen abiertos el motor se detendría rápidamente más rápido incluso que si se hubiera cortado la alimentación, puesto que los dos terminales del motor estarían conectados a un mismo voltaje. En el caso opuesto en que S2 y S4 estuvieran cerrados mientras S1 y S3 permanecen abiertos ocurriría exactamente lo mismo (GRASSI).

2.7.10 Elementos terminales. Actuador final es un término utilizado en robótica para describir la herramienta o mano que está unida a la muñeca del robot y que será la que se encuentre en contacto directo con el ambiente de trabajo permitiéndole realizar un trabajo específico. Pueden ser de dos categorías: pinzas (gripper) o herramientas.

- *Pinzas.* Se usan cuando se requiere tomar un objeto y sujetarlo durante un ciclo de trabajo. Existe gran variedad de métodos de agarre, entre ellos se puede mencionar los mecánicos entre dos o más dedos, los casquetes de sujeción, imanes ganchos y cucharas.
- *Herramienta.* Utilizada para aplicaciones donde sea necesario que el robot realice alguna operación sobre la pieza de trabajo, por ejemplo: soldadura, pintura, taladrado.

CAPÍTULO III

3. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DEL PROTOTIPO CON PLC S71200

3.1 Introducción

En este capítulo se describirá los elementos utilizados para la construcción del prototipo, al igual que el montaje de los mismos. Se identificará también cada uno de los materiales con sus respectivas características.

Se consideró necesario conocer todos los factores que intervienen en la construcción del prototipo, puesto que permite comprender de mejor manera el funcionamiento del mismo resultará muy útil esta información en las tareas de mantenimiento y reparación del mismo.

De la misma manera se mostrara la programación que se utilizó para que el módulo funcione acorde a lo planificado. Este proyecto simulará un proceso industrial interesante, que contribuirá al aprendizaje de los estudiantes a través del sistema del que éste está compuesto y su aplicación en la industria.

3.2 Identificación de componentes

3.2.1 *Estructura del módulo de automatización industrial.* La estructura modular está diseñada acorde a los requerimientos del prototipo, teniendo como fin dar soporte a los componentes, accesorios, conexiones y todos los elementos que intervengan en la construcción y montaje del módulo. Los mismos que después simularán el proceso de selección de materiales

3.2.1.1 *Estructura base.* La estructura base está compuesta por una estructura de perfil de aluminio CXXX código 1 477 de 1 000 mm x 700,26 mm; es esta donde se apoyan los componentes del proceso de selección de materiales; también está compuesta por una base de tubo cuadrado de una pulgada por 2 mm de espesor, sus dimensiones son de 100 cm x 70 cm x 90 cm tanto en largo, profundidad y alto respectivamente, la cual va a soportar la estructura de perfil de aluminio y elementos de control automático.

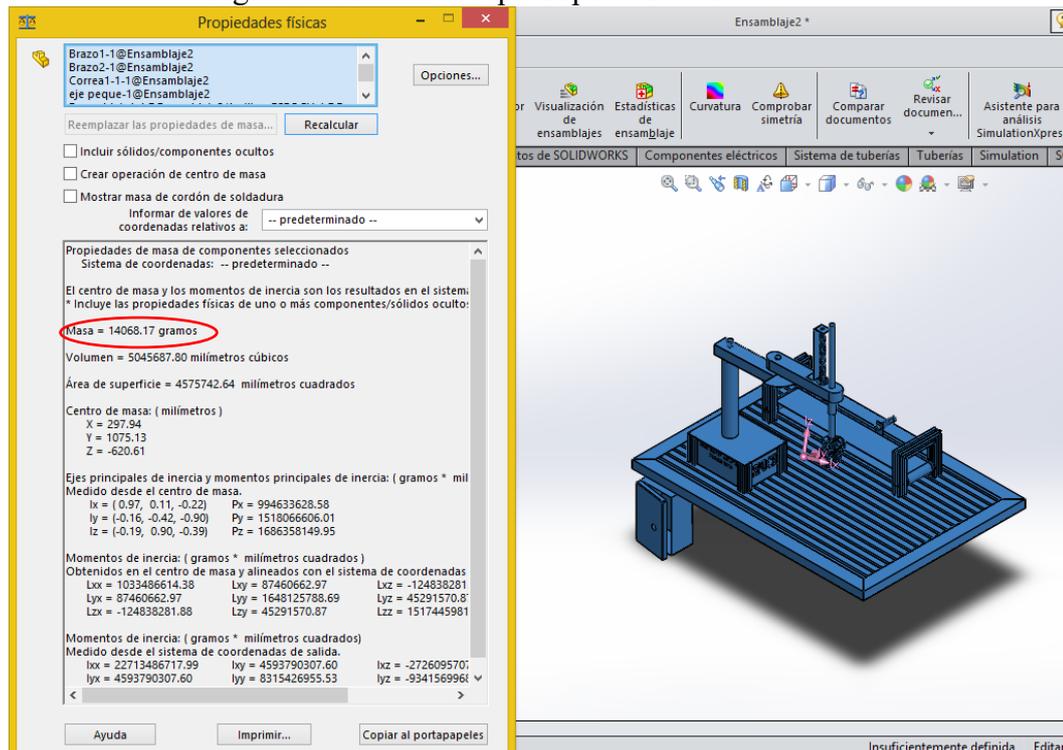
Figura 10. Estructura base del módulo de automatización industrial



Fuente: Autores

Análisis estático. La base de tubo cuadrado debe sostener una masa de 14 068,17 g = 14,07 kg correspondiente a todos los elementos que se apoyan sobre ella.

Figura 11. Elementos que soporta la estructura base

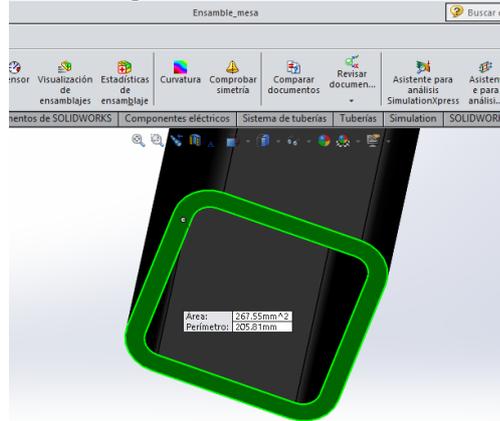


Fuente: Autores

Esta masa produce un peso de: 137,87 N.

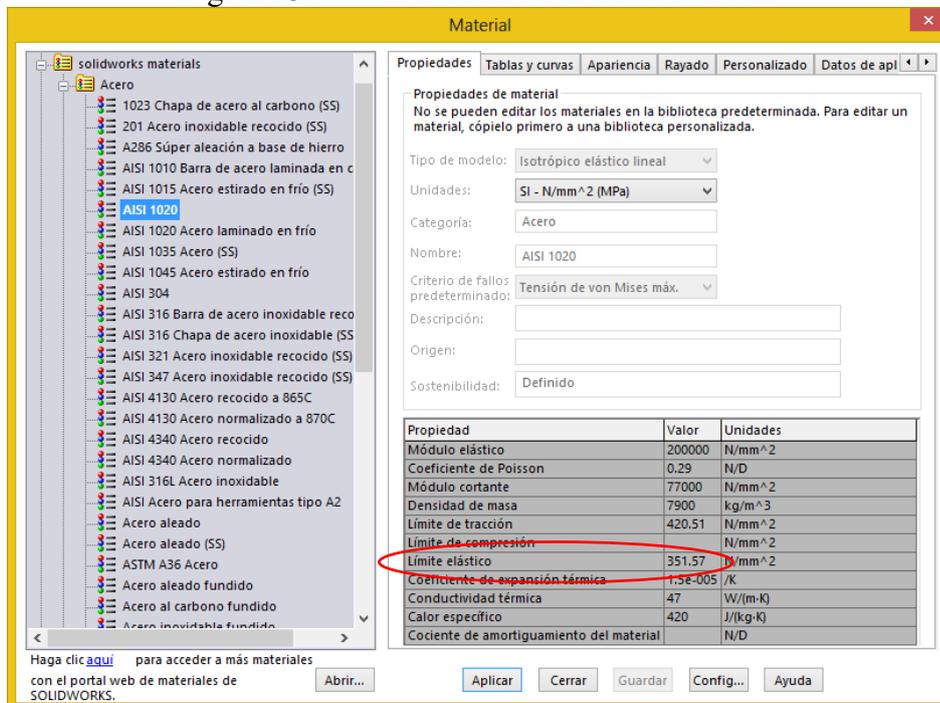
Usando SolidWorks se determinó el área que soporta la estructura y el límite elástico del material del que está construido.

Figura 12. Área del tubo



Fuente: Autores

Figura 13. Limite elástico de la estructura base



Fuente: Autores

$$S_y = 351,57 \text{ N/m}^2$$

Se determinó la tensión en cada una de las patas de la mesa realizando una sumatoria de fuerzas. Para el cálculo de la tensión admisible se usó un coeficiente de seguridad 2 por tratarse de una estructura y la siguiente ecuación.

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{\eta} \quad (1)$$

Figura 14. Diagrama del cuerpo libre de las patas de la mesa



Fuente: Autores

Sumatoria de fuerzas en Y:

$$\Sigma Y = 0 \quad (2)$$

$$W_T = 4R_1$$

$$R_1 = \frac{W_T}{4}$$

$$R_1 = \frac{137,87 \text{ N}}{4}$$

$$R_1 = 34,47 \text{ N}$$

Tensión Máxima:

$$\sigma = \frac{R_1}{A} \quad (3)$$

$$\sigma = \frac{34,47 \text{ N}}{(267,55 \text{ mm})^2}$$

$$\sigma = 0,13 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Tensión Admisible, aplicando la ec. 1:

$$\sigma_{adm} = \frac{351,57 \frac{N}{mm^2}}{2}$$

$$\sigma_{adm} = 157,78 \frac{N}{mm^2}$$

Relación tensión máxima y tensión admisible:

$$\sigma < \sigma_{adm}$$

$$0,13 \frac{N}{mm^2} < 157,78 \frac{N}{mm^2}$$

Siendo la tensión normal menor que la admisible concluimos que el módulo soporta las cargas a las que está expuesto. El diseño del módulo se ha realizado acorde a especificaciones técnicas y con finalidad pedagógica.

Está diseñado exclusivamente para contener todos los elementos de control de proceso como: PLC, pantalla touch, módulos de comunicación, y las conexiones respectivas para su buen funcionamiento.

3.2.1.2 Control automático. Este proceso está formado por: PLC, Módulos de Comunicación (módulos I/O) y por el panel HMI. Básicamente el panel HMI, trabajará automáticamente, se activará el momento que detecte las señales de entrada y salida que están ya determinadas en el proceso de simulación.

Figura 15. Caja térmica



Fuente: Autores

3.2.2 *Descripción de los componentes del control automático.* En el tablero irán ubicados los dispositivos que corresponden al control y monitoreo del sistema que son: PLC con sus distintas entradas y salidas digitales, mediante el cual permite controlar los sensores.

Para el monitoreo interviene la pantalla HMI Simatic KTP 600 PN, cuenta también con una fuente de alimentación de las entradas y salidas del PLC y sus módulos como muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1. Componentes de control automático

Ítems	Descripción
1	Pantalla táctil KPT 600 Basic PN
2	PLC S71200
3	Sensor capacitivo e inductivo
4	Cables de conexión y comunicación
5	Reguladores de voltaje
6	Relays
7	Elementos de protección

Fuente: Autores

3.2.2.1 *Pantalla táctil KPT 600 Basic PN.* Este tipo de paneles están diseñados con un índice de protección IP65, siendo ideales para tareas sencillas de visualización, incluso en ambientes exigentes. Esta es una gama idónea para el trabajo y funcionamiento de control de plantas y maquinas sencillas, puesto que existe tamaños desde 3,8 a 15 pulgadas. Funciona mediante teclas de función táctiles.

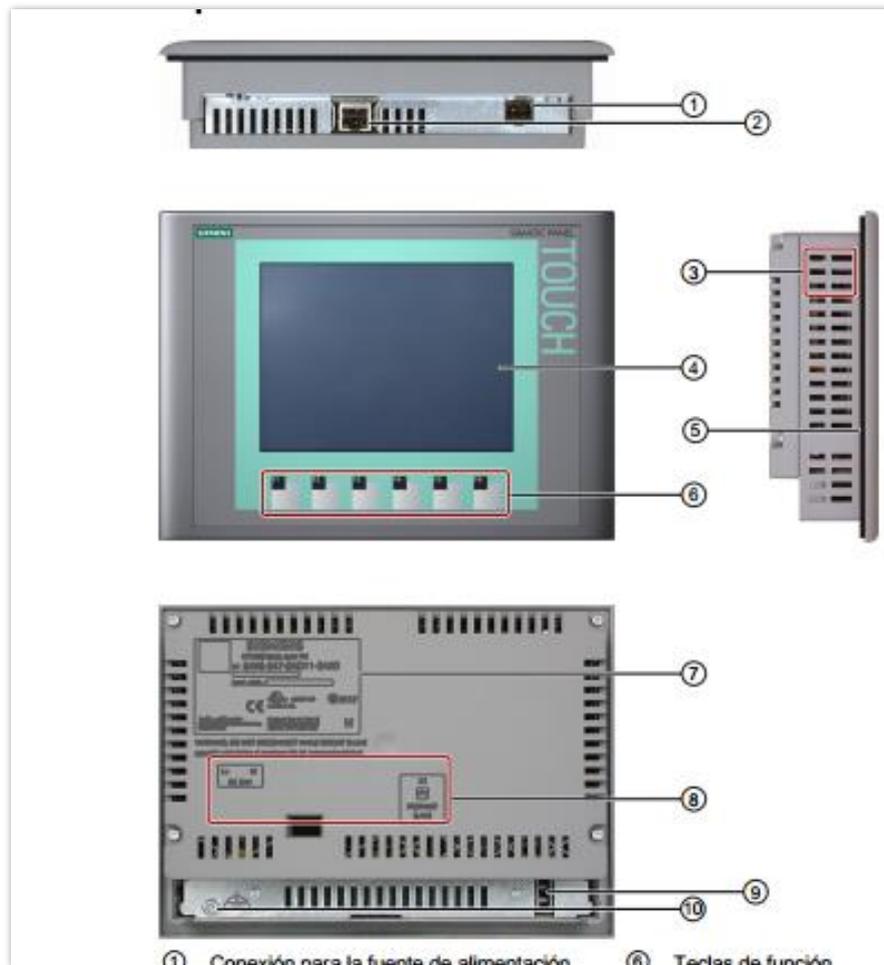
Figura 16. KTP 600 Basic PN



Fuente: Autores

- *Descripción:*
 - Pantalla táctil de 6 pulgadas con 6 teclas táctiles.
 - Color (TFT, 256 colores) o monocromo (STN, escala de grises)
 - 115,2 mm x 86,4 mm (5,7”) horizontal o vertical.
 - Resolución 320 x 240.
- *Datos técnicos:*
 - 500 variables
 - 50 sinópticos de proceso
 - 200 avisos
- *Componentes del KTP600 Basic Mono PN:*

Figura 17. KTP600 Mono PN



Fuente: <https://cache.industry.siemens.com/>

Tabla 2. Componentes de la KTP600 Basic Mono PN

Ítem	Descripción
1	Conexión para la fuente de alimentación
2	Interfaz PROFINET
3	Escotaduras para una mordaza de fijación
4	Pantalla/ pantalla táctil
5	Junta de montaje
6	Teclas de función
7	Placa de características
8	Nombre del puerto
9	Guía para una tira rotulable
10	Conexión de tierra funcional.

Fuente: <https://cache.industry.siemens.com>

Selección de la pantalla táctil. Antes de seleccionar la KTP600 Mono PN se llevó a cabo un análisis entre tres opciones.

Tabla 3. Selección de la pantalla táctil

Características	KTP400 Mono PN	KTP600 Mono PN	KTP600 Basic Color PN
Tonos	STN Escala de Grises	STN Escala de Grises	TFT 256 Colores
Tamaño (Pulgadas)	3.8"	5.7"	5.7"
Resolución	320X240	320X240	320X240
Elementos de mando	Pantalla táctil con 4 teclas de función	Pantalla táctil con 6 teclas de función	Pantalla táctil con 6 teclas de función
Variables	50	500	500
Precio	\$ 475,00	\$ 740,00	\$ 1 080,00

Fuente: <https://www.swe.siemens.com>

Se hizo el análisis con tres modelos de pantallas de la marca Siemens, la KTP400 Mono PN tiene un tamaño de pantalla demasiado pequeño mientras que la KTP600 Mono PN y la KTP600 Basic Color PN poseen un mejor tamaño; de entre estas dos se seleccionó la primera, puesto que se utilizará para programar los botones de mando y se consideró que

la KTP600 Basic Color PN sería excesiva para este fin. Por otro lado la KTP600 Mono PN representa un costo menor.

3.2.2.2 *PLC S71200 1214 AC/DC/RLY.* Está integrada por entradas y salidas digitales y también analógicas, al igual que la fuente de alimentación. La lógica de control recoge la información previamente programada en el software, que permite automatizar el funcionamiento del sistema del módulo, por medio de sensores.

Este PLC se caracteriza por su funcionamiento básico, al ser de un ciclo continuo cerrado, recibe señales, lee estados, y procesa señales de salida, está basado con las necesidades de la construcción del módulo. Tiene la potencia y flexibilidad necesaria para controlar diferentes dispositivos, dependiendo de la necesidad de automatización.

Figura 18. PLC S71200



Fuente: <https://cache.industry.siemens.com/>

Las Características técnicas más relevantes son:

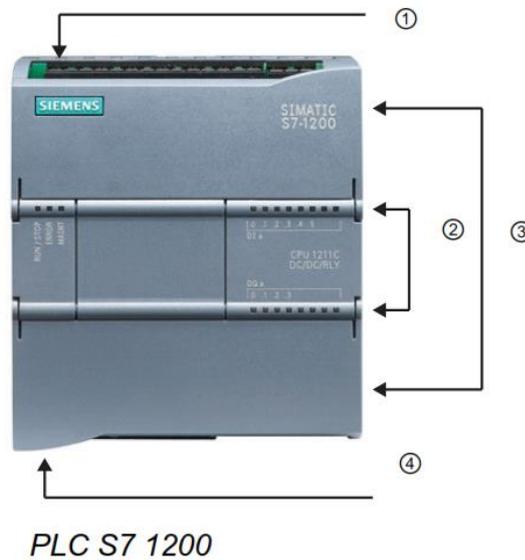
Tabla 4. Características del PLC S71200

Característica	Descripción
Fabricante	Siemens
Módulo Central	CPU1214 AC/DC/relé
Programa Correspondiente	Step7 Basic V 13
Tensión Nominal de Alimentación	230 V AC
Tensión Nominal de Carga	24 V DC
Consumo	Nominal 50 mA, máx. 150 mA
Max Intensidad al Conectar	20 A
Número de Entradas Digitales	14
Número de Entradas Analógicas	2
Número de Salidas Digitales	Relé

Fuente: Autores

Componentes del S71200:

Figura 19. Componentes del S71200



Fuente: <http://goo.gl/bBA0QZ>

Tabla 5. Componentes PLC S71200

Ítem	Descripción
1	Conector de alimentación
2	Conectores extraíbles para cableado de usuario (detrás de las tapas)
3	LEDS de estado para las entradas y salidas integradas
4	Conector PROFINET (en el lado inferior de la CPU)

Fuente: <http://www.catedu.es>

Selección del PLC S71200. Para la selección de la más adecuada se realizó una comparación entre tres CPUs.

Tabla 6. Selección del PLC

Característica:	1212C	1214C	1215C
Versión	AC/DC/RELÉ	AC/DC/RELÉ	AC/DC/RELÉ
Alimentación	110/220 AC	110/220 AC	110/220 AC
Memoria de trabajo	50 KB	75 KB	100 KB
Entradas digitales	8 DI a 24 V DC	14 DI a 24 V DC	14 DI a 24 V DC
Salidas digitales	6 DO tipo relé	10 DO tipo relé	10 DO tipo relé
Entradas analógicas	2 AI (Voltaje)	2 AI (Voltaje)	2 AI (Voltaje)
Salidas analógicas	No	No	2 AO (mA)
Precio	\$ 375,00	\$ 570,00	\$ 870,00

Fuente: <https://www.swe.siemens.com>

Para el módulo de laboratorio fue necesario utilizar 9 salidas, por lo que la CPU 1212C quedó descartada ya que solo ofrece 6 salidas digitales y 2 analógicas. De entre la CPU 1214C y 1215C se seleccionó la 1214C debido a que representa un costo menor y a que la 1215C resulta excesiva para la aplicación que se le va a dar.

3.2.2.3 Sensores. Los sensores permiten detectar el material que es transportado a través de la banda transportadora y por consiguiente envía una señal al PLC para detener el motor, mientras la pinza del brazo SCARA retira el material de la banda. El módulo dispone de dos sensores: inductivo y capacitivo que se encuentran instaladas previamente.

- *Sensor inductivo.* Detecta materiales ferrosos sus características son:
 - Rango = 8 mm
 - Diámetro = M 30
 - Salida = NPN NA
 - Voltaje = 6 - 36 V DC
 - Referencia = LM30 - 3 008 NA

- *Sensor capacitivo.* Detectan materiales ferrosos sus características son:
 - Rango = 8 mm
 - Diámetro = M 30
 - Salida = NPN NA
 - Voltaje = 10 - 30 V DC
 - Referencia = CM30 - 3 008 NA

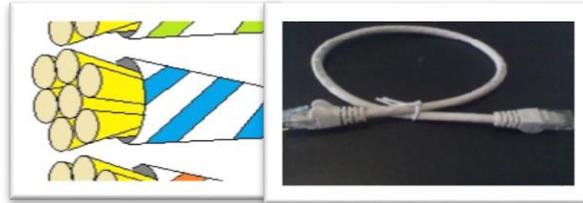
Figura 20. Sensores (Capacitivo, Inductivo)



Fuente: Autores

3.2.2.4 *Cables de conexión y comunicación.* Se utilizó un Cable de par trenzado para uso común (UTP Stranded o flexible) el cual contiene dentro de cada cable, varios hilos conductores, por lo que tiene mayor resistencia al movimiento y a los dobleces; ya que si se llega a romperse un hilo, los demás siguen conduciendo la señal. Se puede utilizar para cualquier aplicación y es el de mayor uso y consumo.

Figura 21. Cables de conexión



Fuente: www.informaticamoderna.com/Cable_lan.htm

3.2.2.5 *Reguladores de voltaje.* Se utilizaron dos reguladores de voltaje marca Techman modelo AD - 1 200 F configurados para entregar una tensión de 6 V que alimentará a los motores. Sus características son:

- Voltaje de Entrada = AC 90 - 240 V 50/60 Hz
- Potencia = 15 W
- Tensión de salida = DC 3 - 4,5 - 6 - 7,5 - 9 - 12 V
- Intensidad = 0 - 1 200 mA

Figura 22. Reguladores de voltaje



Fuente: <http://www.pe.all.biz/img/pe/catalog/7526.png>

3.2.2.6 *Relays.* Se usaron dos relays LY2 24 V DC fabricados por OMRON INDUSTRIAL AUTOMATION, los cuales tienen la función de invertir las señales negativas enviadas por los sensores y enviarlas al PLC. Cuentan con las siguientes características técnicas.

- Resistencia de bobina = 650 Ω
- Bobina sin pestillos
- Voltaje de la bobina = 24 V DC
- Contactar actual = 15 A
- Contactos de aleación de plata
- Contacto Voltaje V AC = 120 V
- Contacto Tensión V DC = 28 V
- Terminales de relays soldados

Figura 23. Relays

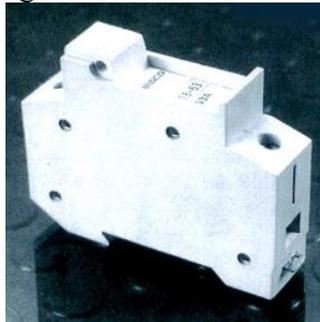


Fuente: <http://uk.farnell.com>

3.2.2.7 Elementos de protección. Fueron usados Porta fusibles “P42 base fusible” fabricados por Camsco para colocar los fusibles de 2 A que se usan en el módulo. Estos porta fusibles cuentan con las siguientes características:

- Tensión nominal = 500 V
- Corriente nominal = 63 A
- Conectada con fusible RT 14 - 32
- Métodos de montaje según la norma DIN para rieles

Figura 24. Porta fusible



Fuente: <http://www.camsco.com.tw>

3.2.3 Descripción de los componentes mecánicos

Tabla 7. Componentes mecánicos

Ítems	Descripción
1	Banda transportadora
2	Brazo SCARA

Fuente: Autores

3.2.3.1 Banda transportadora. Este mecanismo es el encargado de transportar las probetas, una vez que es accionado el motor. El material de la banda es de tela de Lienzo, este material es considerado como fuerte, duro, resistente y difícil de romper con una superficie poco áspera. Debido a que el material que se va a transportar no es abrasivo ni pesado y a más de que se usará con fines pedagógicos se seleccionó de esta manera. El ancho de la banda corresponde a 100 mm y cuenta con una base de madera que le ayuda a mantener la tensión con el fin de facilitar la detección de las probetas por parte de los sensores.

Figura 25. Banda transportadora



Fuente: Autores

- *Rodillos.* Funcionan mediante un motor de rotación, permitiendo que el sistema trabaje de forma eficiente. El módulo cuenta con un par de rodillos con sus respectivos bocines que se encuentran incrustados sobre la estructura metálica, que permite tener la correcta alineación y tensión de las bandas.
- *Micro-moto reductor.* El micro-moto reductor eléctrico permite el movimiento de los rodillos y a su vez el desplazamiento de la banda transportadora, dando inicio al transporte de las probetas a su destino. El motor eléctrico cuenta con las siguientes características:

- Potencia = 10 W
- Voltaje = 6 V
- Amperaje sin carga = 120 mA
- Amperaje con carga = 1,6 A
- Revoluciones = 32 RPM
- Escala = 1 000:1

Figura 26. Micro-moto reductor

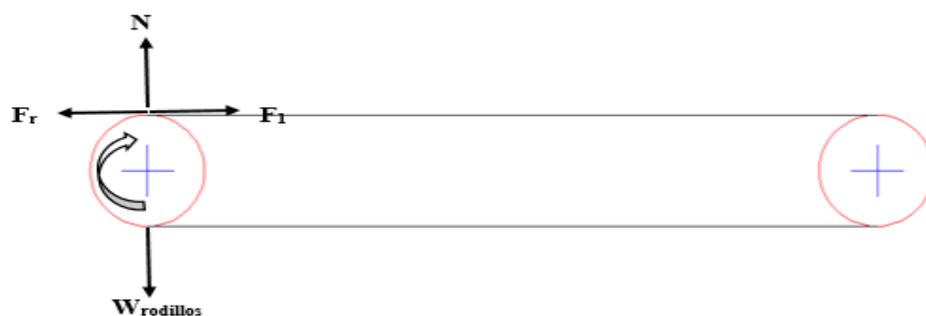


Fuente: Autores

3.2.3.2 *Cálculo para la selección del motor de la banda.* Los siguientes criterios fueron tomados para la selección de este motor: condiciones de trabajo del motor, voltaje de las instalaciones, carga total que moverá, velocidad de trabajo, tipo de arranque, carga total que transporta la banda.

Esfuerzo necesario para mover la banda en vacío. En este cálculo se empleó el siguiente diagrama de cuerpo libre.

Figura 27. Diagrama del cuerpo libre de la banda sin peso



Fuente: Autores

Considerando las ecuaciones:

$$Fr = \mu \cdot N \quad (4)$$

$$\mu = C \cdot L \cdot f \quad (5)$$

Donde:

Fr = Fuerza de rozamiento [N]

μ = Coeficiente de rozamiento

N = Fuerza Normal [N]

C = Factor de fricción por la longitud de la banda

f = Coeficiente de rozamiento de los cojinetes.

L = Longitud de la banda [m] = 0,1 m

Al realizar la sumatoria de fuerzas, donde F_1 es la fuerza necesaria para mover la banda se obtuvo:

Sumatoria de fuerzas en el eje Y:

$$\Sigma y = 0 \quad (6)$$

$$N - W_{rodillos} = 0$$

$$N = m_{rodillos} \times g \quad (7)$$

Sumatoria de fuerzas en el eje X:

$$\Sigma x = 0$$

$$F_1 - Fr = 0$$

$$F_1 = Fr \quad (8)$$

Se obtuvo que al reemplazar ec. (4) en ec. (8):

$$F_1 = \mu \cdot N \quad (9)$$

Y luego reemplazando ec. (5) y (6) en ec. (9):

$$F_1 = C \cdot L \cdot f \cdot m_{rodillos} \cdot g \quad (10)$$

Factor de fricción según a la longitud de la banda y los rodillos. Se puede apreciar que para las bandas transportadoras de corta longitud necesita mayor esfuerzo para vencer la fricción que las bandas de mayor longitud, como se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 8. Factor de fricción de la banda

Longitud banda (m)	3	4	5	6	8	10	13	16	20	25	32	40
C_L	9	5,6	6,6	5,9	5,1	4,5	4	3,6	3,2	2,9	2,6	2,4

Fuente: <http://goo.gl/8bV5wq>

Determinación del factor de fricción. El factor de fricción, se determinó en función del tipo de cojinete en la siguiente tabla:

Tabla 9. Factor de fricción de los cojinetes

Tipo de cojinete	Estado	f
Rodamiento	Favorable	0,018
	Normal	0,020
	Desfavorable	0,023 - 0,030
Fricción		0,050

Fuente: <http://goo.gl/8bV5wq>

Reemplazando estos valores en la ec. (10) se obtuvo:

$$F_1 = 9 \cdot (2 \cdot 0,05) \cdot 0,1 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ kg/m} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_1 = 0,26 \text{ N}$$

Esfuerzo necesario para mover la banda con carga. La fuerza necesaria para vencer la inercia del material y desplazar la banda horizontalmente, se puede calcular con las siguientes ecuaciones.

$$F_2 = \frac{C_L \cdot f \cdot L_{Banda} \cdot M_M \cdot g}{3,6 \cdot v} \quad (11)$$

Dónde:

F_2 = Fuerza para mover la banda [N]

C_L = Factor de fricción por la longitud de la banda.

f = Coeficiente de rozamiento de los cojinetes.

L_{Banda} = Longitud de la banda [m]

M_M = Capacidad de carga [kg/min] = 0,03 kg/min

g = Gravedad [m/s^2]

v = Velocidad [m/min] = 3,92 m/min

Reemplazando los valores en la ec. (11) se obtiene:

$$F_2 = \frac{9 \cdot (2 \cdot 0,05) \cdot 0,1 \text{ m} \cdot 0,03 \text{ kg/min} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}{3,6 \cdot 3,92 \text{ m/min}}$$

$$F_2 = 0,02 \text{ N}$$

Esfuerzo total. Es la suma de todos los esfuerzos calculados anteriormente. Se obtiene con la siguiente ecuación.

$$F_T = F_1 + F_2 \quad (12)$$

$$F_t = 0,26 \text{ N} + 0,02 \text{ N}$$

$$F_t = 0,28 \text{ N}$$

Cálculo de la potencia del sistema. Con el esfuerzo total obtenido se puede calcular la potencia requerida con la siguiente ecuación.

$$P = F \cdot v \quad (12)$$

Dónde:

P = Potencia [W]

F = Esfuerzo total del módulo [N]

v = Velocidad de las bandas transportadoras [m/s]

$$P = 0,28 \text{ N} \cdot 0,07 \text{ m/s}$$

$$P = 0,02 \text{ W}$$

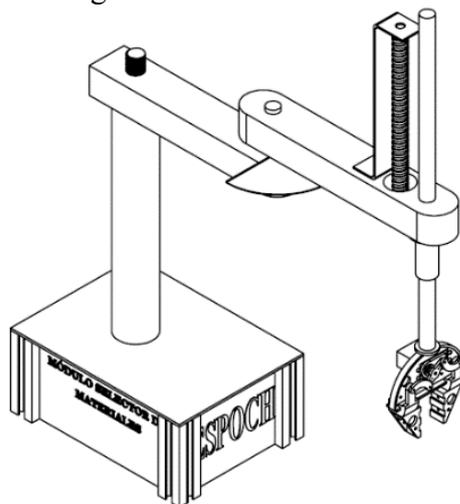
Mediante este cálculo se pudo verificar que la potencia que requiere la banda es 0,02 W que está acorde al motor seleccionado.

3.2.3.1 Brazo SCARA. Este mecanismo es el encargado de seleccionar la pieza correcta, para posteriormente trasladar al lugar indicado. Tiene tres grados de libertad, que viene hacer la rotación del brazo inferior y superior en el plano horizontal, la rotación de la herramienta y su traslación vertical, es decir contamos con tres translaciones y un giro.

Características:

- Hay libertad total de movimiento en el eje X e Y, mientras que en el eje Z hay una gran restricción de movimiento.
- Realiza movimientos horizontales de alcance mayor, debido a las articulaciones rotacionales que posee. Puede hacer movimiento lineal (por medio de la tercera articulación).
- Los movimientos son similares al brazo del ser humano, el extremo de la mano puede movilizarse en cualquier ubicación, únicamente en el plano.

Figura 28. Brazo SCARA



Fuente: Autores

Selección de la configuración para el brazo. Se realizó un análisis de tres tipos de configuraciones robóticas antes de seleccionar el brazo SCARA para utilizarse en el módulo.

Tabla 10. Selección de la configuración del robot

Características a evaluar	Configuración cartesiana	Configuración articulada	Configuración SCARA
Articulaciones	Tres primeras articulaciones prismáticas	Tres articulaciones de revolución	Dos primeras articulaciones de revolución con eje vertical y la tercera prismática en un eje vertical
Volumen de trabajo	Posee un volumen de trabajo regular puesto que genera una figura cúbica	Presenta un volumen de trabajo irregular, mayor área de trabajo, puede trabajar en espacios reducidos	Presenta un volumen de trabajo irregular, mayor área de trabajo, mayor alcance horizontal
Aplicaciones	Ensamble sobre mesa y transferencia de materiales	Gran diversidad de aplicaciones debido a su flexibilidad	Operaciones de ensamblado o trabajos similares de gran precisión

Fuente: Autores

Después de analizar estas características que presentan estas configuraciones cinemáticas se seleccionó la SCARA, puesto que posee gran precisión y un gran alcance horizontal, siendo este plano en el que se va a trabajar durante la selección de materiales. Se consideró que la configuración cartesiana era demasiado simple y la configuración articulada sería excesiva.

3.2.3.2 *Dispositivo de sujeción.* Está constituida por una garra robótica estándar para la sujeción de los distintos materiales y un servomotor hitec hs-311.

Figura 29. Garra robótica



Fuente: Autores

Especificaciones de la garra robótica:

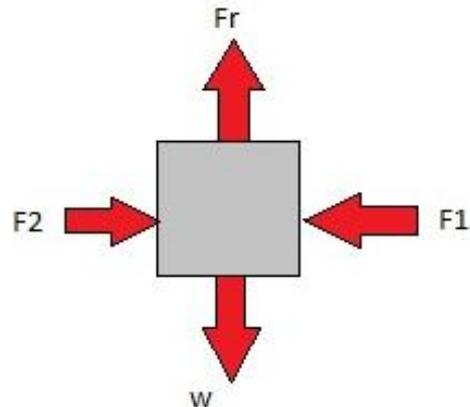
- Apertura Máxima = 5 cm
- Tamaño = 105 mm x 100 mm x 30 mm
- Peso = 350 gr

Fuerza necesaria para sujetar la probeta. Se utilizó el siguiente diagrama de cuerpo libre para el cálculo de la fuerza necesaria para sujetar las probetas por medio de la garra robótica. Donde el peso a levantar es:

$$m = 7gr = 7 \times 10^{-3} Kg$$

$$W = m \cdot g = 7 \times 10^{-3} Kg \cdot 9,81 m/s^2 = 0,06 N$$

Figura 30. Diagrama del cuerpo libre de las probetas



Fuente: Autores

Al realizar la sumatoria de fuerzas en los ejes X e Y se obtuvo:

Sumatoria de fuerzas en el eje X, ec. (2):

$$F_1 - F_2 = 0$$

$$F_1 = F_2 \quad (13)$$

Sumatoria de fuerzas en el eje Y, ec (6):

$$F_r - W = 0$$

$$F_r = W \quad (14)$$

Se tomó como fuerza normal a las fuerzas F_1 y F_2 las mismas que según la sumatoria de fuerzas en X son de igual magnitud; y el coeficiente de rozamiento fue obtenido de la siguiente tabla:

Tabla 11. Propiedades del nylon

Propiedades		Nylon 6A	PTFE
Propiedades físicas	Densidad gr/cm ³	1,14	2,14 – 2,20
	Absorción de agua %	1,80	> 0,01
Propiedades mecánicas	Resistencia a la tensión kg/cm ²	720 - 840	140 – 350
	Dureza Rockwell HRD	D75 - 80	D55
	Resistencia al impacto IZOO kg.cm/cm con notch	18,0 - 25,0	2,5 - 2,7
	Coeficiente de fricción	0,37	0,10 - 0,04
Propiedades térmicas	Coeficiente lineal de expansión X 10 – 5/°C	8,0	7,0 - 10,0
	Conductividad térmica kcal/m. Hr.°C	0,18	6,00
	Temperatura de distorsión °C	55 - 58	120
	Resistencia a temperatura °C	79 - 121	260 – 278

Fuente: www.elacero.com.ec

$$\mu = 0,37$$

De ec. (14) se sabe que la $F_r = W$, reemplazando la ec. (4) en ec. (14) y despejando se obtuvo:

$$W = 2F_1 \cdot \mu \quad (15)$$

De Donde:

$$F_1 = \frac{W}{2 \cdot \mu}$$

$$F_1 = \frac{0,06 \text{ N}}{2 \cdot 0,37}$$

$$F_1 = 0,09 N$$

Resultando esta ser la fuerza necesaria que la pinza debe aplicar sobre la probeta para sujetarla.

Se hizo que la garra robótica desplace 1,25 cm cada una de sus tenazas en un tiempo corto de 0,15 s en el momento de sujeción de la probeta, de donde se obtuvo la velocidad lineal de esta con la siguiente ecuación:

$$V = \frac{x}{t} \quad (16)$$

Donde

x = desplazamiento [cm]

t = Tiempo [s]

$$V = \frac{1,25 \text{ cm}}{0,15 \text{ s}}$$

$$V = 8,33 \text{ cm/s}$$

La pieza responsable del movimiento de apertura y cierre de la pinza tiene una dimensión de 30 mm, tomando la mitad de esta medida, ya que conecta a los dos lados de las tenazas, se calculó la velocidad angular mediante la siguiente ecuación

$$v = \omega \cdot r \quad (17)$$

$$\omega = \frac{v}{r}$$

$$\omega = \frac{8,33 \text{ cm/s}}{3 \text{ cm}}$$

$$\omega = 2,77 \text{ rad/s}$$

Con esta velocidad angular se calculó la potencia necesaria para la selección del motor de la pinza, Haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$P = F \cdot \omega \quad (18)$$

$$P = 0,09 \text{ N} \cdot 2,77 \text{ rad/s}$$

$$P = 0,25 \text{ W}$$

Selección del motor de la pinza

Por lo que se escogió para esta aplicación el SERVO HITEC HS-311 que brinda las siguientes características

Figura 31. SERVO HITEC HS-311



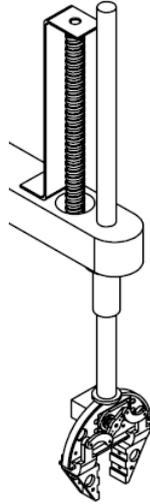
Fuente: <http://www.miniplanes.fr>

Características del servo HITEC HS-311:

- Potencia cuando trabaja a 6 V = 0,34 W
- Velocidad cuando trabaja a 6 V = 0,15 cm/s
- Tamaño = 41 mm x 20 mm x 37 mm
- Peso = 43 gr

3.2.3.3 *Movimiento transversal.* Está constituido de un tornillo sin fin con su respectiva rosca la cual esa sujeta a el eje de la pinza de sujeción para su traslación en el eje Y.

Figura 32. Tornillo sin fin para el movimiento transversal



Fuente: Autores

Análisis estático del tornillo sin fin. El movimiento del tornillo sin fin es producido por un motor que le transmite una potencia de 8 W o 0,0108 CV puesto que este está siendo alimentado a 5 V y trabaja con una intensidad de 1,6 A, moviéndose a una velocidad de $4 \text{ rad/s} = 38,19 \text{ RPM}$. Se usó estos datos para obtener el momento torsor del tornillo sin fin mediante el uso de la siguiente fórmula, tomada del libro “Resistencia de materiales” de William A. Nash, pág. 55:

$$T = \frac{71\,600 \cdot CV}{n} \quad (19)$$

Donde:

T = Momento torsor que actúa sobre un árbol que gira [N·mm]

CV = Potencia en caballos de vapor [CV]

n = Velocidad angular [RPM]

$$T = \frac{(71\,600)(0,0108 \text{ CV})}{38,19 \text{ RPM}}$$

$$T = 20,24 \text{ kg} - \text{cm} = 1,985 \text{ N} \cdot \text{m} = 1\,985 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

El tornillo sin fin tiene una sección circular de diámetro de 17 mm, con este dato se procedió a calcular el momento polar de inercia.

$$I_p = \frac{\pi}{32} (D_e^4 - D_i^4) \quad (20)$$

Donde:

I_p = Momento polar de inercia [mm⁴]

D_e = Diámetro exterior [mm]

D_i = Diámetro interior [mm]

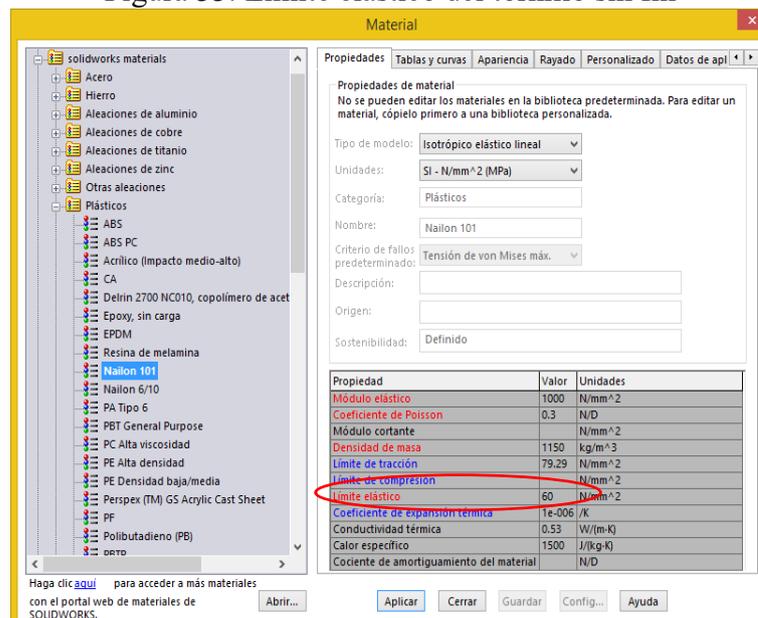
Ya que el tornillo sin fin es macizo el $D_i = 0$ mm

$$I_p = \frac{\pi}{32} ((17 \text{ mm})^4 - (0 \text{ mm})^4)$$

$$I_p = 8 \,199,65 \text{ mm}^4$$

Con estos datos se procedió a realizar el cálculo de la tensión cortante por torsión τ tomando en cuenta que la tensión máxima se encontrará en las fibras más externas del tornillo, por lo que se tomó $p = 8,5$ mm. Se usó SolidWorks para obtener el dato del límite elástico y coeficiente de seguridad 2.

Figura 33. Límite elástico del tornillo sin fin



Fuente: Autores

$$S_y = 60 \text{ N/mm}^2$$

Con estos datos se procedió a calcular la tensión máxima por torsión τ tomando en cuenta que la tensión máxima se encontrará en las fibras más externas del tornillo por lo que se tomó $p = 8,5 \text{ mm}$. $p = 8,5 \text{ mm}$. Y la tensión admisible para nuestra viga tomando un coeficiente de seguridad $\eta = 2$, puesto que es una estructura.

$$\tau = \frac{T \cdot p}{I_p} \quad (21)$$

$$\tau = \frac{(1\,985 \text{ N} \cdot \text{mm})(8,5 \text{ mm})}{8\,199,65 \text{ mm}^4}$$

$$\tau = 2,05 \text{ N/mm}^2$$

Se calculó la tensión admisible usando la ec. (1):

$$\sigma_{adm} = \frac{60 \text{ N/mm}^2}{2}$$

$$\sigma_{adm} = 30 \text{ N/mm}^2$$

Se procedió a realizar la relación tensión máxima por torsión y tensión admisible:

$$\tau_{max} < \sigma_{adm}$$

$$2,05 \text{ N/mm}^2 < 30 \text{ N/mm}^2$$

Selección del motor. En este movimiento el peso a levantar es:

- Masa de la pinza = 350 gr
- Masa del servomotor = 43 gr
- Masa de las probetas = 7 gr
- Masa total a levantar = 400 gr

Durante el transporte no es necesaria una elevada velocidad, se propuso una velocidad lineal de 0,5 cm/s durante el movimiento de elevación de la probeta como el de descenso.

Ya que el movimiento lineal es producto de hacer girar una tuerca sobre un tornillo sin fin con radio de 8,5 mm, es necesario el cálculo de la velocidad angular del mismo; partiendo de la velocidad lineal propuesta y usando la ec. (17):

$$\omega = \frac{0,5 \text{ cm/s}}{0,85 \text{ cm}}$$

$$\omega = 0,58 \text{ rad/s}$$

Con esta velocidad angular a la que debe moverse el tornillo sin fin, se procedió a realizar el cálculo de la potencia requerida para elevar nuestro peso mediante el uso de la ec. (18):

$$P = 0,4 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,58 \text{ rad/s}$$

$$P = 2,27 \text{ W}$$

Es necesario un motor que proporcione una potencia de 2,27 W o más, por lo que el Micro-moto reductor escala 1 000:1 es suficiente para la transmisión de dicho movimiento.

3.2.3.4 Primer giro. Está constituido de un perfil de aluminio hueco de 301 mm x 51 mm x 38 mm y trozos de nylon en los cuales se apoyan los ejes de los motores para transmitir el movimiento al eje de la pinza de sujeción; también consta de un micro moto-reductor para transmitir movimiento hacia el tornillo sin fin.

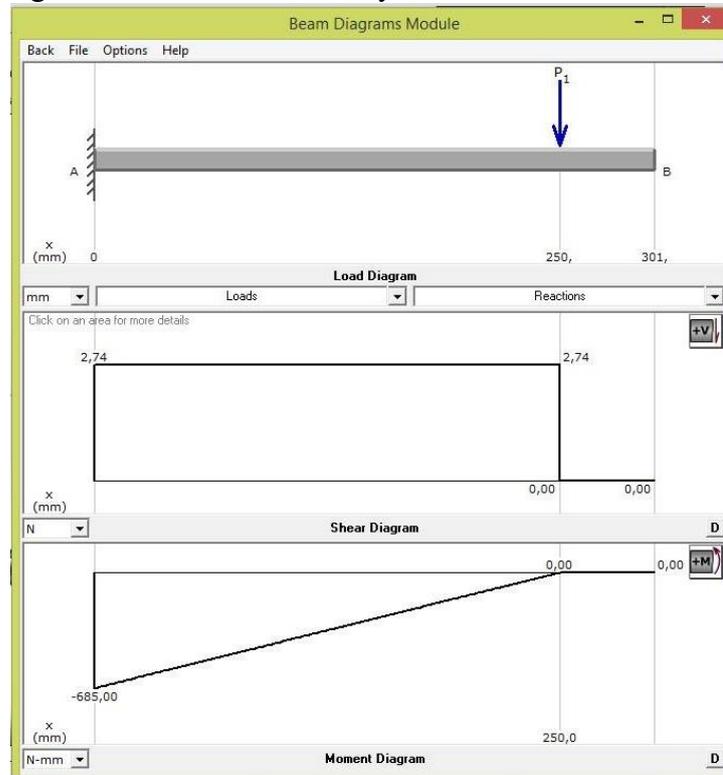
Figura 34. Eslabón del primer giro



Fuente: Autores

Análisis estático del primer eslabón. Usando el software MDSolids 3.5 se determinó el esfuerzo cortante y el momento flector de este eslabón

Figura 35. Esfuerzo cortante y momento flector eslabón 1



Fuente: Autores

El peso que ejerce la fuerza P_1 en el extremo del eslabón es:

Masa = 0,28 kg

Peso = 2,74 N

El mismo también tiene una longitud de 301 mm y la fuerza P_1 es aplicada a una distancia de 250 mm. Se introdujeron estos datos en el programa y se obtuvo como resultado:

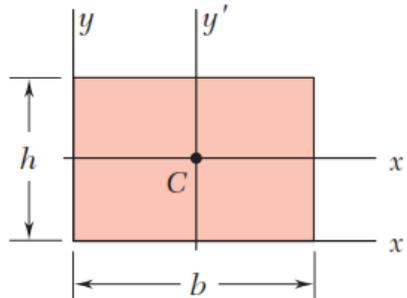
$$T = 2,74 \text{ N}$$

$$M = 685 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Con el objeto de calcular la tensión máxima soportada en el eslabón es necesario calcular el momento de inercia de la sección, y considerando que este es de sección rectangular se utilizó la siguiente ecuación:

$$I = \frac{1}{12}bh^3 \quad (22)$$

Figura 36. Inercia de una sección rectangular



Fuente: Autores

Puesto que el eslabón tiene una sección hueca es necesario calcular dos momentos de inercia:

Momento de inercia 1:

$$b = 51 \text{ mm}$$

$$h = 38 \text{ mm}$$

$$I_1 = \frac{1}{12} (51 \text{ mm})(38 \text{ mm})^3$$

$$I_1 = 233\,206 \text{ mm}^4$$

Momento de inercia 2:

$$b = 49,5 \text{ mm}$$

$$h = 36,5 \text{ mm}$$

$$I_2 = \frac{1}{12} (49,5 \text{ mm})(36,5 \text{ mm})^3$$

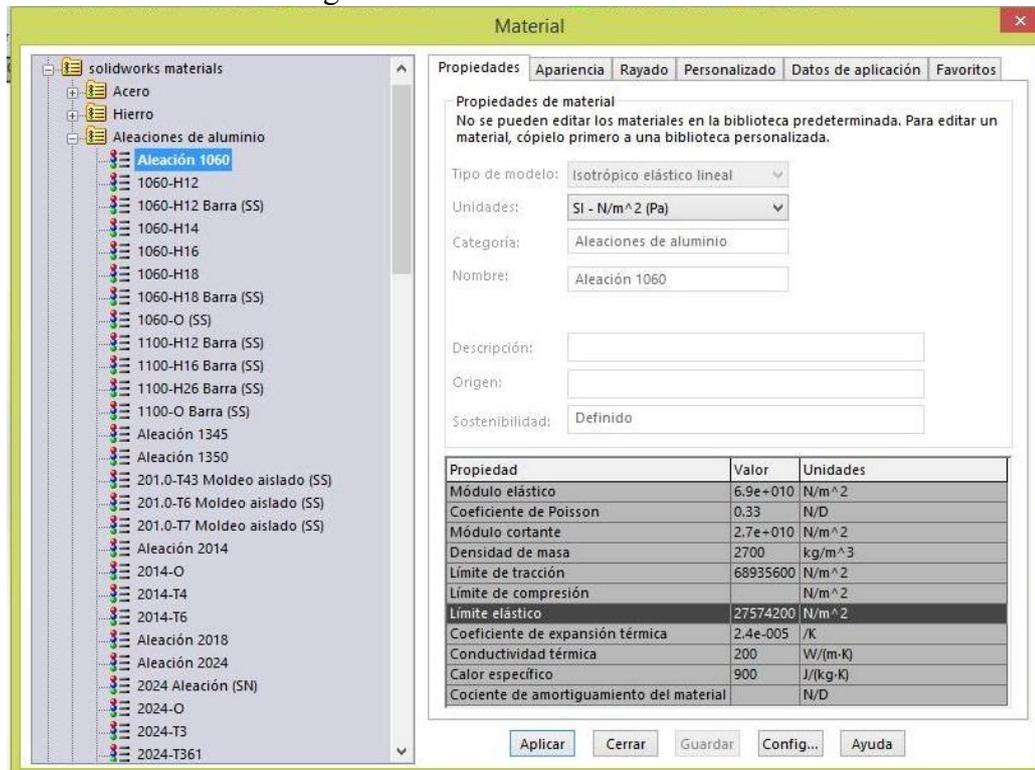
$$I_2 = 188\,430,10 \text{ mm}^4$$

Inercia Total:

$$I = I_1 - I_2 = 233\,206 \text{ mm}^4 - 188\,430,1 \text{ mm}^4 = 44\,775,9 \text{ mm}^4$$

El dato del límite elástico se obtuvo de los planos realizados en SolidWorks

Figura 37. Límite elástico eslabón 1



Fuente: Autores

$$S_y = 27\,574\,100 \text{ N/m}^2 = 27,57 \text{ N/mm}^2$$

Con estos datos se procedió a calcular la tensión máxima y la tensión admisible para la viga tomando un coeficiente de seguridad $\eta = 2$, puesto que es una estructura. Para el cálculo de la tensión máxima se utilizó la siguiente ecuación:

$$\sigma_{max} = \frac{M \cdot y}{I} \quad (23)$$

$$\sigma_{max} = \frac{(685 \text{ N} \cdot \text{mm})(19 \text{ mm})}{44\,775,9 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{max} = 0,29 \text{ N/mm}^2$$

La tensión admisible se calculó reemplazando el dato del límite elástico obtenido de SolidWorks y el coeficiente de seguridad ya mencionado en la ec. (1):

$$\sigma_{adm} = \frac{27,57 \text{ N/mm}^2}{2}$$

$$\sigma_{adm} = 13,78 \text{ N/mm}^2$$

Relación de la tensión máxima y la tensión admisible

$$\sigma_{max} < \sigma_{adm}$$

$$0,29 \text{ N/mm}^2 < 13,78 \text{ N/mm}^2$$

De lo que se pudo deducir que la estructura soportara la carga a la que está sometida, puesto que se cumple que la tensión norma es menor a la admisible.

Selección del motor. La velocidad de giro de este eslabón debe ser relativamente baja, 30 rev/min. La carga a desplazarse tiene una masa de 0,28 kg, la misma que como se vio en los cálculos anteriores produce un peso de 2,74 N y un momento de 685 N.mm o lo que es lo mismo 0,685 N.m.

Se procedió a calcular la potencia necesaria para el movimiento usando estos datos y la ecuación (24) que se describe a continuación:

$$\omega = 1 \text{ rev/min} \cdot \pi \text{ rad} = \pi \text{ rad/s}$$

$$P = M \cdot \omega \tag{24}$$

$$P = (0,68 \text{ N} \cdot \text{m})(\pi \text{ rad/s})$$

$$P = 2,15 \text{ W}$$

Tomando en cuenta este cálculo se consideró que el Micro-motor reductor 1 000:1 es suficiente para la transmisión de este movimiento.

3.2.3.5 Segundo giro. Está constituido de un perfil de aluminio hueco de 275,50 mm x 51 mm x 38 mm y trozos de nylon en los cuales se apoyan los ejes de los motores para transmitir el movimiento, también consta de un micro moto-reductor para transmitir movimiento al segundo giro y de una placa semicircular con un radio de 75 mm al final para ayudar a la conducción del siguiente movimiento.

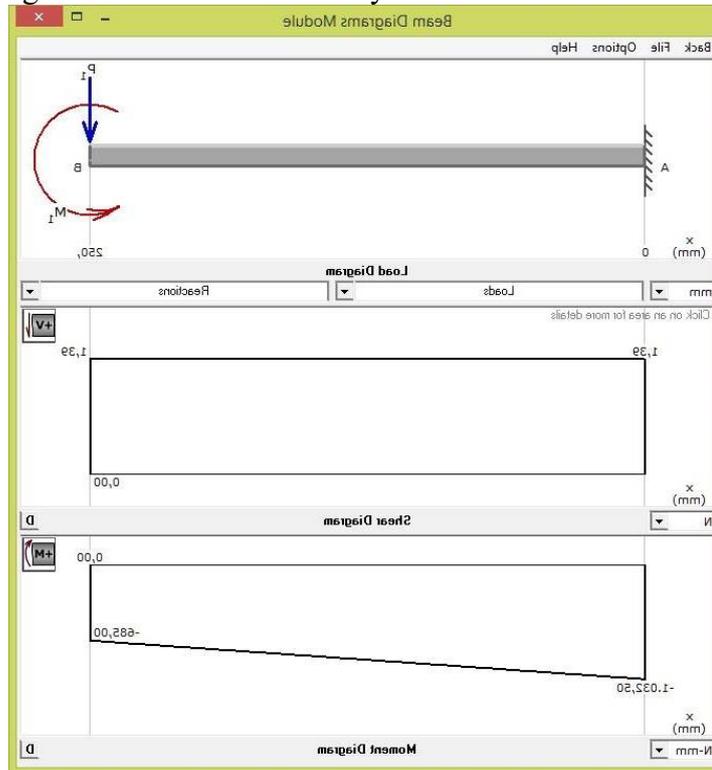
Figura 38. Eslabón del segundo giro



Fuente: Autores

Análisis estático. Usando el software MDSolids 3.5 se determinó el esfuerzo cortante y el momento flector del eslabón.

Figura 39. Esfuerzo cortante y momento flector eslabón 2



Fuente: Autores

El peso que ejerce la fuerza P_1 en el extremo del eslabón es:

Masa = 0,14 kg

Peso = 1,39 N

Está sometido también a un momento provocado por el giro del eslabón anterior.

$$M = 2,74 \text{ N} \cdot 0,25 \text{ m} = 0,68 \text{ N} \cdot \text{m}$$

El mismo tiene una longitud de 250 mm, en su extremo actúan la fuerza P_1 y el momento producido por el giro del eslabón anterior. Se usaron estos datos en el programa y se obtuvo como resultado:

$$T = 1,39 \text{ N}$$

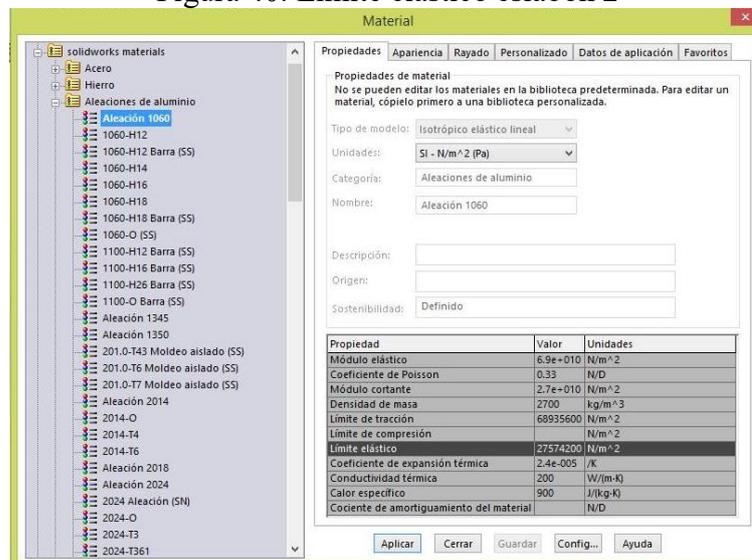
$$M = 1\,032,50 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

La inercia será la misma que en el eslabón anterior puesto que los dos son perfiles huecos con las mismas dimensiones

$$I = 44\,775,9 \text{ mm}^4$$

El dato del límite elástico se obtuvo de los planos realizados en SolidWorks

Figura 40. Límite elástico eslabón 2



Fuente: Autores

$$S_y = 27\,574\,100 \text{ N/m}^2 = 27,57 \text{ N/mm}^2$$

Con estos datos se procedió a calcular la tensión máxima y la tensión admisible para esta viga tomando un coeficiente de seguridad $\eta = 2$, puesto que es una estructura. La tensión máxima se calculó con la ec. (23):

$$\sigma_{max} = \frac{(1\,032,50 \text{ N} \cdot \text{mm})(19 \text{ mm})}{44\,775,9 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{max} = 0,44 \text{ N/mm}^2$$

La tensión admisible se calculó con la ec. (1):

$$\sigma_{adm} = \frac{27,57 \text{ N/mm}^2}{2}$$

$$\sigma_{adm} = 13,78 \text{ N/mm}^2$$

Relación tensión normal y tensión admisible

$$\sigma_{max} < \sigma_{adm}$$

$$0,44 \text{ N/mm}^2 < 13,78 \text{ N/mm}^2$$

De lo que se pudo deducir que la estructura soportara la carga a la que está sometida, puesto que la tensión normal resultó ser menor que la tensión admisible.

Selección del motor. Se consideró una velocidad de giro baja de 30 rev/min. La carga a desplazarse tiene una masa de 0,14 kg, la misma que como ya vimos en los cálculos anteriores produce un peso de 1,39 N, además se ejerce sobre la misma un momento de 0,68 N provocado por el giro del eslabón anterior y un peso de 3,94 N debido a los componentes del movimiento lineal.

Se procedió a calcular la potencia necesaria para el movimiento usando estos datos:

Velocidad angular [rad/s]:

$$\omega = 1 \text{ rev/min} \cdot \pi \text{ rad} = \pi \text{ rad/s}$$

Momento total al que está sometido el eslabón:

$$M = (1,39 \text{ N} \cdot 0,25 \text{ m}) + (3,94 \text{ N} \cdot 0,50 \text{ m}) + 0,685 \text{ N} \cdot m$$

$$M = 3 \text{ N} \cdot m$$

Para el cálculo de la potencia se usó la ec. (23):

$$P = (3 \text{ N} \cdot m)(\pi \text{ rad/s})$$

$$P = 9,42 \text{ W}$$

Por lo que para este movimiento se ha seleccionado un Moto-reductor 5-24V, 24 kgf-cm de alto torque.

Figura 41. Moto-reductor 5-24V, 24 kgf-cm, alto torque



Fuente: <httpswww.motortronica.com>

El mismo que cuenta con las siguientes características:

- Potencia = 12 W
- Voltaje = 5 - 24 V
- Revoluciones = 33 RPM
- Torque: 24 kgf-cm

3.2.3.6 Base. Está constituida por una base de plancha de acero inoxidable de 182,26 mm x 247,26 mm apoyada en cuatro perfiles de aluminio de 106 mm y rodeado por vidrio negro, en dicha base se encuentra soldado un tubo de acero inoxidable el cual cumple la función de apoyo o pedestal del brazo, también consta de un moto-reductor el cual transmite el movimiento para el primer giro.

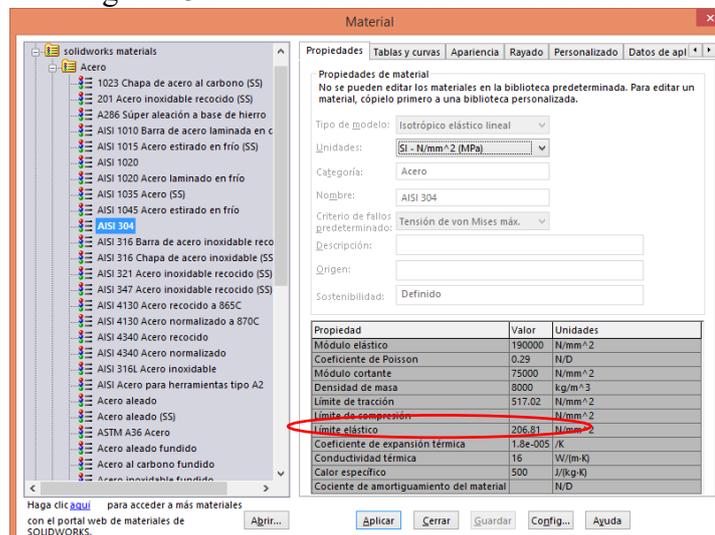
Figura 42. Base del brazo SCARA



Fuente: Autores

Análisis estático del tubo. Para proceder con el análisis se obtuvo el dato del límite elástico del material del tubo mediante SolidWorks.

Figura 43. Límite elástico del tubo de la base.

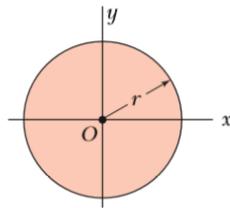


Fuente: Autores

Tomando en cuenta que es un cilindro hueco con diámetro exterior de 50 mm y diámetro interior de 48 mm se calculó la inercia, mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$I = \frac{1}{4} \pi r^4 \quad (25)$$

Figura 44. Inercia de una superficie circular.



Fuente: Autores

Inercia del tubo:

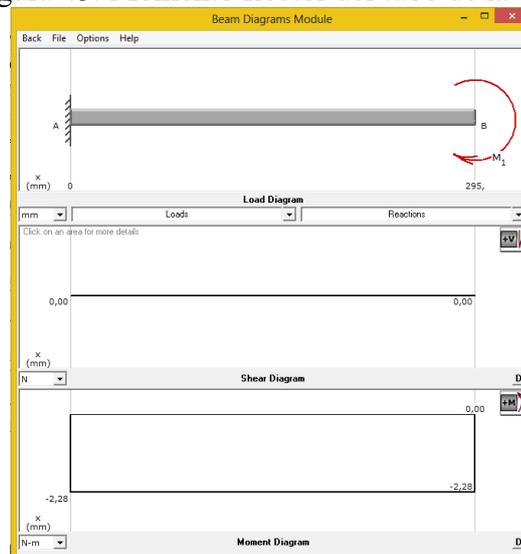
$$I = \frac{1}{4} \pi (0,05 \text{ m})^4 - \frac{1}{4} \pi (0,048 \text{ m})^4$$

$$I = 32,39 \text{ m}^4$$

Utilizando el software MDSolids 3.5 se obtuvo el Momento Flector máximo para la masa que soporta este tubo y el momento que esta ejerce cuando se da el movimiento.

- Masa = 0,42 kg
- Peso = 4,14 N
- Longitud de los dos eslabones = 551 mm = 0,55 m
- Momento aplicado en el extremo del tubo = 2,28 N·m

Figura 45. Momento flector del tubo de la base



Fuente: Autores

Se determinó la tensión máxima mediante la ec. (23):

$$\sigma_{max} = \frac{(2,28 N \cdot m)(0,30 m)}{32,39 m^4}$$

$$\sigma_{max} = 0,02 Pa$$

Para el cálculo de la tensión admisible se utilizó la ec. (3):

$$\sigma_{adm} = \frac{206,81 \times 10^6 Pa}{2}$$

$$\sigma_{adm} = 103,4 \times 10^6 Pa$$

Relación tensión normal y tensión admisible

$$\sigma_{max} < \sigma_{adm}$$

$$0,02 Pa < 103,4 \times 10^6 Pa$$

De lo que se concluye que el tubo es lo suficientemente fuerte como soportar las cargas que se le ha aplicado.

3.3 Diagramas de instalación

Para entender mejor el funcionamiento del módulo de laboratorio para la simulación del proceso de selección de materiales se realizaron dos diagramas eléctricos:

- Diagrama eléctrico del módulo
- Diagrama de puente H

El primero mostrará todos los elementos que han sido implementados junto con el PLC para el control del módulo, mientras que el segundo mostrará el recurso que se utilizó para lograr la inversión del sentido de giro de los diferentes motores que se utilizaron en la construcción del brazo SCARA.

La comprensión de estos dos diagramas facilitará en gran medida la utilización sin problemas del módulo de laboratorio.

3.3.1 *Diagrama eléctrico del módulo.* En este se muestran todas las conexiones del módulo. En este diagrama se puede observar que el módulo de laboratorio cuenta con dos fuentes de alimentación, para el funcionamiento del proceso.

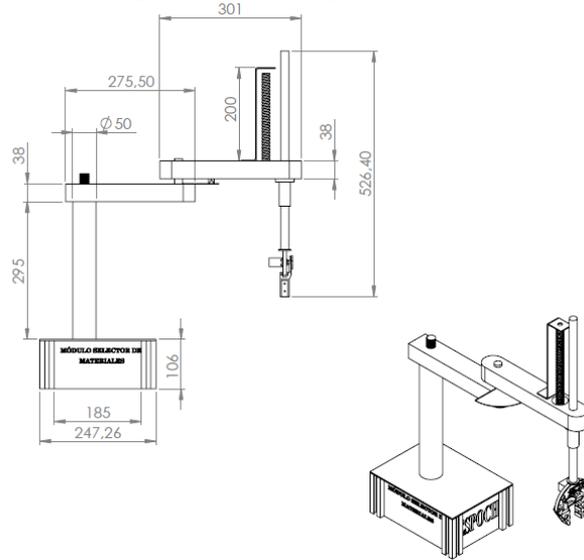
La primera está conectada a las entradas del PLC, la misma que entrega un voltaje de 24 V DC puesto que es el único voltaje admitido por el PLC, en esta fuente se encuentran conectados los siguientes dispositivos:

- RS1 y RS2, que son contactos abiertos de los relés los cuales son activados por los sensores.
- P1 y P2 que son los finales de carrera de los eslabones del brazo
- Panel de operador.

La segunda es utilizada en la energización del PLC y sus salidas tipo relé, funciona con un voltaje de 110 V AC. A esta fuente están conectados los siguientes dispositivos:

- M1.1 y M1.2 que a su vez están conectados a los terminales del puente H que invierte el giro del motor del primer giro.
- M2.1 y M2.2 que de la misma manera están conectados a los terminales del puente H que invierte el giro del motor del segundo giro.
- M3.1 y M3.2 que a su vez están conectados a los terminales del puente H que invierte el giro del motor del tornillo sin fin, permitiéndole subir o bajar.
- M4.1 y M4.2 que a su vez están conectados a los terminales del puente H que invierte el giro del servomotor de la pinza permitiéndole abrirse o cerrarse.
- M que representa al motor de la banda transportadora.

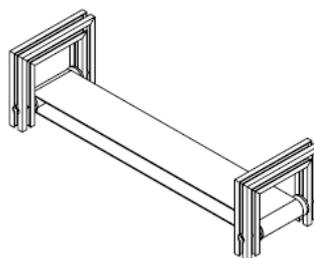
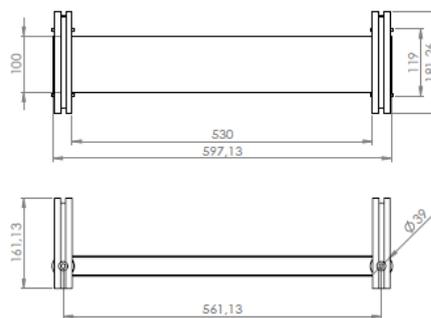
Figura 48. Montaje del brazo



Fuente: Autores

3.4.2 Montaje de la banda transportadora. Para el funcionamiento de la banda transportadora se cuenta con la presencia de dos rodillos, los cuales se encuentran apoyados en bocines, los mismos que a su vez se encuentran empotrados en marcos de perfil de aluminio. Uno permite el arrastre y otro no, ambos rodillos se encargan de que se produzca el desplazamiento lineal a través de un micro-moto reductor. Una vez que los rodillos inicien su giro, la banda transportadora previamente tensada comienza a desplazarse provocando que se genere un círculo cerrado entre ambos rodillos.

Figura 49. Montaje de la banda transportadora



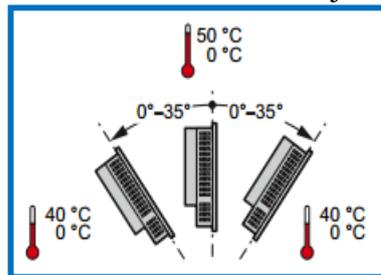
Fuente: Autores

3.4.3 *Montaje del PLC 12C AC/DC4/RLY.* La instalación del hardware S71200 no resulta difícil, ya que éste cuenta con clips lo que facilita su montaje, el mismo que debe realizarse con la ayuda de un perfil DIN de 35 mm. Los clips integrados son extraíbles por lo que pueden funcionar como taladros de montaje al no utilizar un perfil de soporte. La instalación del hardware puede hacerse de forma horizontal o vertical, según lo requiera el usuario.

3.4.4 *Montaje de la pantalla*

3.4.4.1 *Requerimientos para el montaje de la pantalla.* Se recomienda durante el montaje de la pantalla HMI realizarlo de forma vertical, puesto que el panel se ventila por convección natural. El tipo de montaje vertical y oblicuo es admisible en armarios, paneles, armarios eléctricos y pupitres.

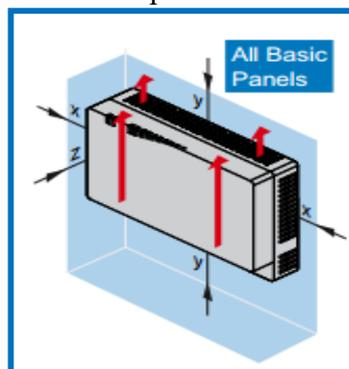
Figura 50. Posiciones de montaje del HMI



Fuente: <http://goo.gl/ejNzIX>

3.4.4.2 *Distancias de separación.* Es importante tomar en cuenta las distancias que rodean al panel para procurar la correcta ventilación del mismo así como lo indica la gráfica 51 y la tabla 12.

Figura 51. Distancias para la instalación del HMI



Fuente: <http://goo.gl/ejNzIX>

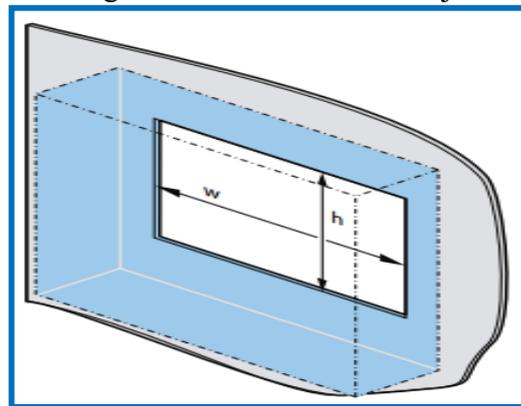
Tabla 12. Distancias de instalación

Pantalla	X	Y	Z
KTP600	15 mm	40 mm	10 mm

Fuente: Autores

3.4.4.3 *Recorte de montaje.* En lo que concierne al recorte de montaje, se tomará en cuenta las distancias previamente establecidas en la tabla 13, con el fin de garantizar una fijación segura y estable del panel operador.

Figura 52. Recorte de montaje



Fuente: <http://goo.gl/ejNzIX>

Tabla 13. Dimensionamiento del recorte de montaje

Pantalla	W	H
KTP600	143 mm	115 mm

Fuente: Autores

3.4.4.4 *Herramientas y accesorios para el montaje de la pantalla.* Para realizar el montaje de la pantalla se usaron las siguientes herramientas y accesorios:

- 5 mordazas de fijación.
- 1 taladro.
- 2 brocas una de 1/4", y otra de 3/16".
- 1 destornillador plano
- 1 soporte.
- 1 recorte de montaje.

3.4.5 *Montaje del panel operador.* Al momento de realizar el montaje del panel operador, es importante tomar en cuenta los requerimientos que sugiere el proveedor y

poner en consideración puntos esenciales que garanticen la estabilidad del panel y a la vez brinde comodidad al usuario como se indica a continuación:

- No se admite la exposición directa al sol.
- Posición que garantice ergonomía al usuario.

3.4.5.1 *Procedimiento para el montaje del panel operador*

- Realizar dos perforaciones en la estructura de ¼”, para fijar el soporte.
- Fijar el soporte a la estructura.
- Realizar perforaciones en el recorte de montaje cuatro agujeros de ¼”.
- Fijar el recorte de montaje al soporte.
- Colocar la junta de montaje en la ranura del lado posterior del frente del panel operador, previamente verificar que la junta se encuentre en perfectas condiciones, con el fin de conseguir el grado de protección IP65 requerido.

3.5 **Conexión del panel operador**

3.5.1 *Puertos del panel operador.* En la gráfica se puede apreciar las dos partes esenciales que están compuestos los puertos del panel operador.

Figura 53. Puertos del panel operador



5 Interfaz PROFINET

6 Conexión para la fuente de alimentación

Fuente: <http://goo.gl/n16hja>

3.5.1.1 Herramientas y accesorios. Para proceder a realizar la conexión del panel operador se dispondrá de las siguientes herramientas y accesorios.

- Destornillador plano.
- Destornillador estrella.
- Destornillador torx.
- Tenaza de apriete.
- Borne de conexión a red.
- Fuente de alimentación de 24 V DC.

3.5.1.2 Procedimiento. Para hacer una correcta conexión del panel operador se tomará en cuenta la siguiente secuencia.

Conexión de equipotencialidad. Esta conexión permite tener seguridad frente a la presencia de cualquier corriente impuesta. El fin es reducir las diferencias de potencial, mediante la implementación de conductores de equipotencialidad de tal forma que los componentes electrónicos afectados funcionen normalmente.

Procedimiento:

- Conectar la conexión de tierra funcional del panel operador con un conductor de tierra, sección a mm^2 .
- Conectar el cable de tierra del panel de operador con la barra de equipotencialidad.

Figura 54. Conexión a tierra



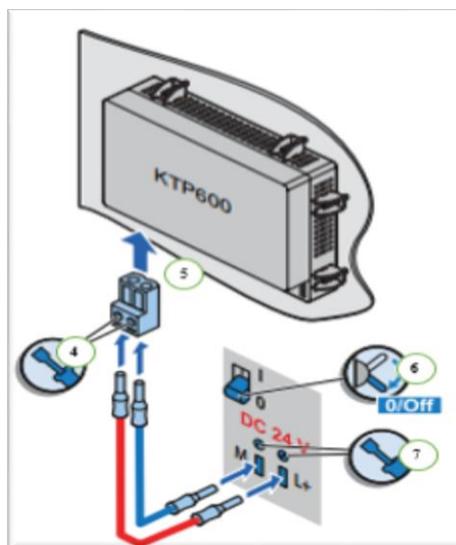
Fuente: <https://goo.gl/4Gml7i>

Conexión de la fuente de alimentación. En esta conexión se utilizará un cable flexible número 16, con el fin de evitar algún tipo de desperfecto, ya que esto puede ocasionar que el panel de operador tenga un daño irreparable.

Procedimiento.

- Pelar los extremos de dos cables de la fuente de alimentación a una longitud aproximada de 6 mm.
- Aplicar terminales a los extremos pelados de los cables.
- Fijar los terminales en los extremos de los cables con una tenaza.
- Introducir los dos cables de la fuente de alimentación en el borne de conexión de red y fijarlo con un destornillador plano.
- Conectar el borne de conexión de red con el panel de operador.
- Desconectar la fuente de alimentación.
- Introducir los otros dos extremos de los cables en las conexiones de la fuente de alimentación.

Figura 55. Conexión de la fuente de alimentación



Fuente: <http://goo.gl/ejNzIX>

Prueba del panel operador. Primero conecte la fuente de alimentación, luego podrá visualizar que la pantalla se ilumina, durante el arranque se podrá apreciar una barra de progreso, en caso de que no arranque el panel de operador, se procederá a verificar los cables de conexión que estén perfectamente conectados.

3.6 Instalación del software

Para la instalación del software TIA PORTAL V13 se detallará a continuación los requisitos necesarios para llevar a cabo la ejecución.

3.6.1 Instalación del software TIA PORTAL V13 para programar el PLC S7-1200.

TIA PORTAL es una herramienta de ingeniería unificada que combina el SIMATIC STEP 7, SIMATIC Win CC SINAMICS StartDrive. Esto da como resultado una mayor eficiencia en el desarrollo de proyectos de automatización, al igual que su manejo una vez puesto en marcha resulta ser sencillo.

3.6.1.1 Requisitos para la instalación del TIA PORTAL V13. La PC donde se instalará el TIA PORTAL V13 necesariamente tiene que cumplir con los siguientes requisitos:

- Procesador Core i2 Duo 2 GHz o superior.
- 4 GB de RAM.
- Tarjeta gráfica de 512 MB o superior.
- DirectX 9.0 o superior.
- 8 GB de espacio libre en el disco duro.
- Windows XP en adelante, Windows 7, Windows 8/8.1.

3.6.1.2 Modo de instalación:

- Dar doble clic en el instalador, inmediatamente el programa de instalación arrancará automáticamente.
- Seleccionar el idioma que lo encontramos en el cuadro de diálogo.
- Elegir la ruta de instalación del software.

- Aceptar las condiciones de la licencia.
- Seleccionar los programas TIA PORTAL V13 y luego dar clic en instalar. (Esto servirá para elaborar la programación del módulo).
- Reiniciar el ordenador. (SIEMENS, 2009).

3.7 Programación del PLC S7-1200

3.7.1 Pasos para elaborar el proyecto del módulo selector de materiales:

- Seleccionar “Crear Proyecto” dentro de la pantalla de inicio, llenar la información y dar clic en crear.
- Aparecerá la vista portal, seleccionar la pestaña “Primeros Pasos” y a continuación “Configurar un Dispositivo”.

3.7.2 *Asignación de E/S y memorias para el PLC.* Se refiere a las variables que intervienen en la programación del módulo, todas representadas en datos booleanos.

Tabla 14. E/S y marcas del PLC

Variables PLC		
Nombre	Tipo de dato	Dirección
Sensor metálico	Bool	%I0.1
Sensor plástico	Bool	%I0.2
Final de carrera 1 ^{er} eslabón	Bool	%I0.3
Final de carrera 2 ^{do} eslabón	Bool	%I0.4
1 ^{er} eslabón derecha	Bool	%Q0.0
1 ^{er} eslabón izquierda	Bool	%Q0.1
2 ^{do} eslabón derecha	Bool	%Q0.2
2 ^{do} eslabón izquierda	Bool	%Q0.3
Bajada	Bool	%Q0.4
Subida	Bool	%Q0.5
Apertura	Bool	%Q0.6
Cierre	Bool	%Q0.7
Motor	Bool	%Q1.0
Marca enclavado general	Bool	%I90.1

Tabla 14. (Continuación)

Marca plástico	Bool	%190.2
Marca metálico	Bool	%190.3
Posición original	Bool	%190.4
Reset	Bool	%190.5

Fuente: Autores

3.7.3 Programación. En la siguiente imagen se muestra la programación que se realizó en el software TIA PORTAL V13, con las variables mostradas en la tabla anterior.

Figura 56. Programación PLC

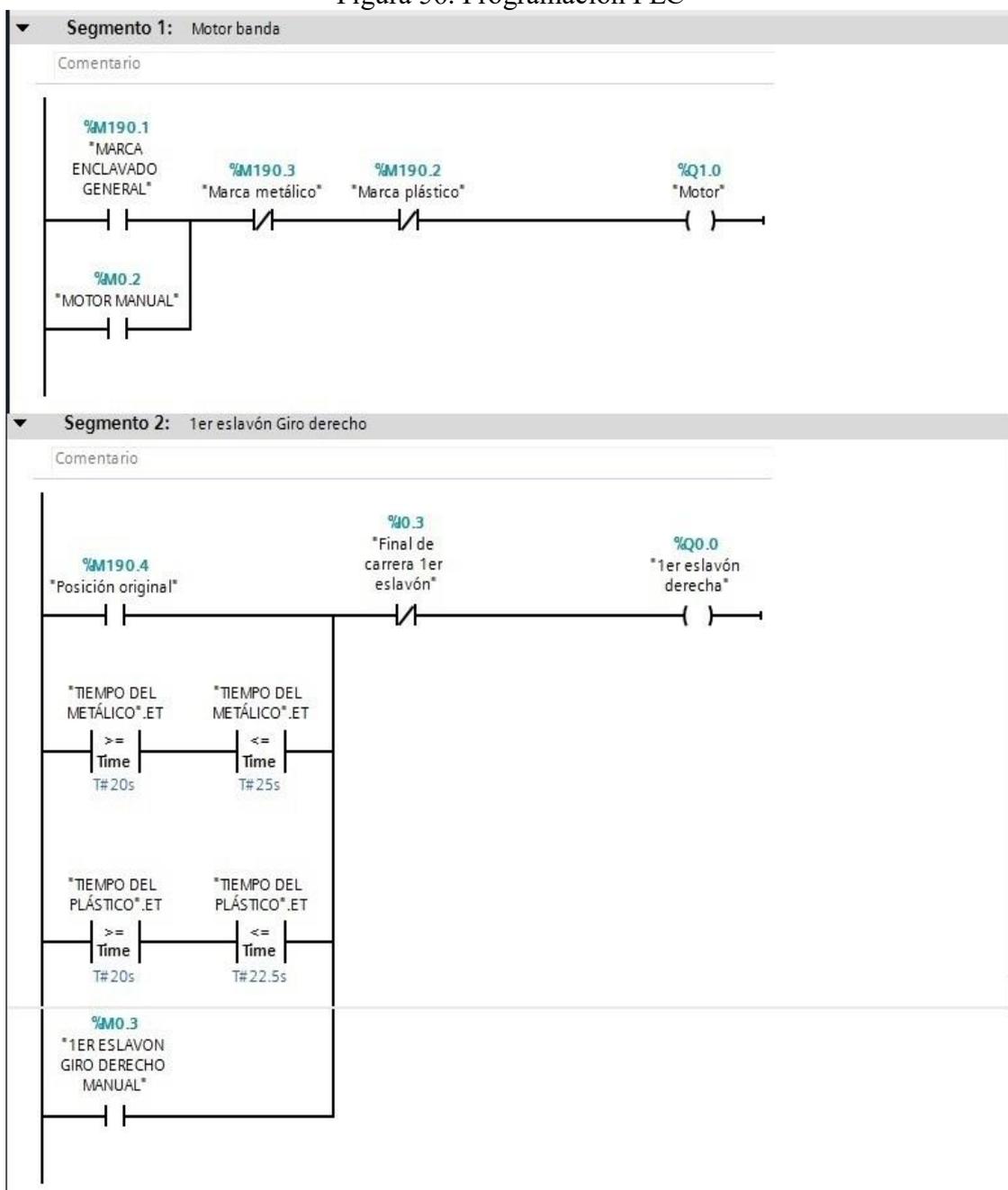


Figura 56. (Continuación)

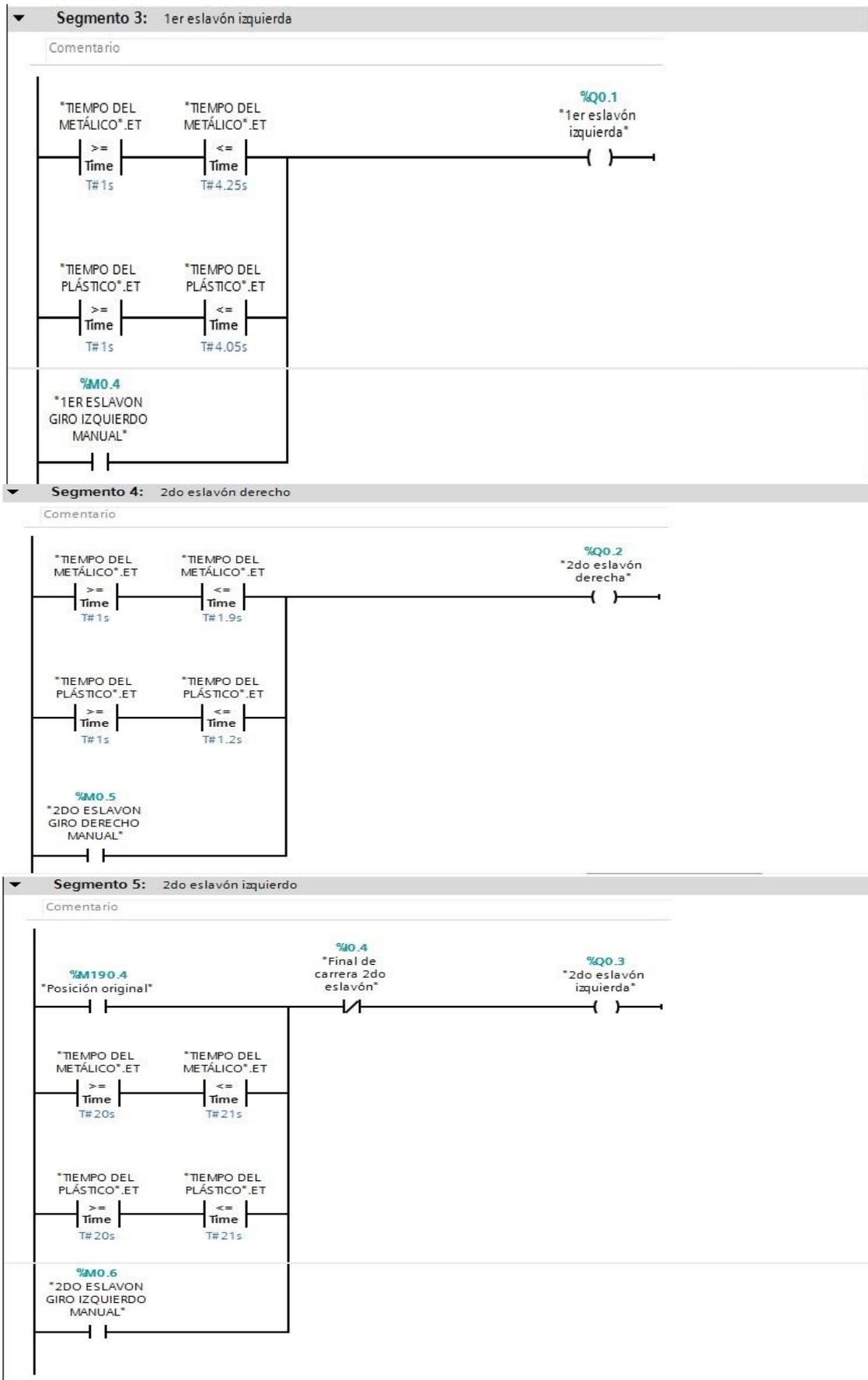


Figura 56. (Continuación)

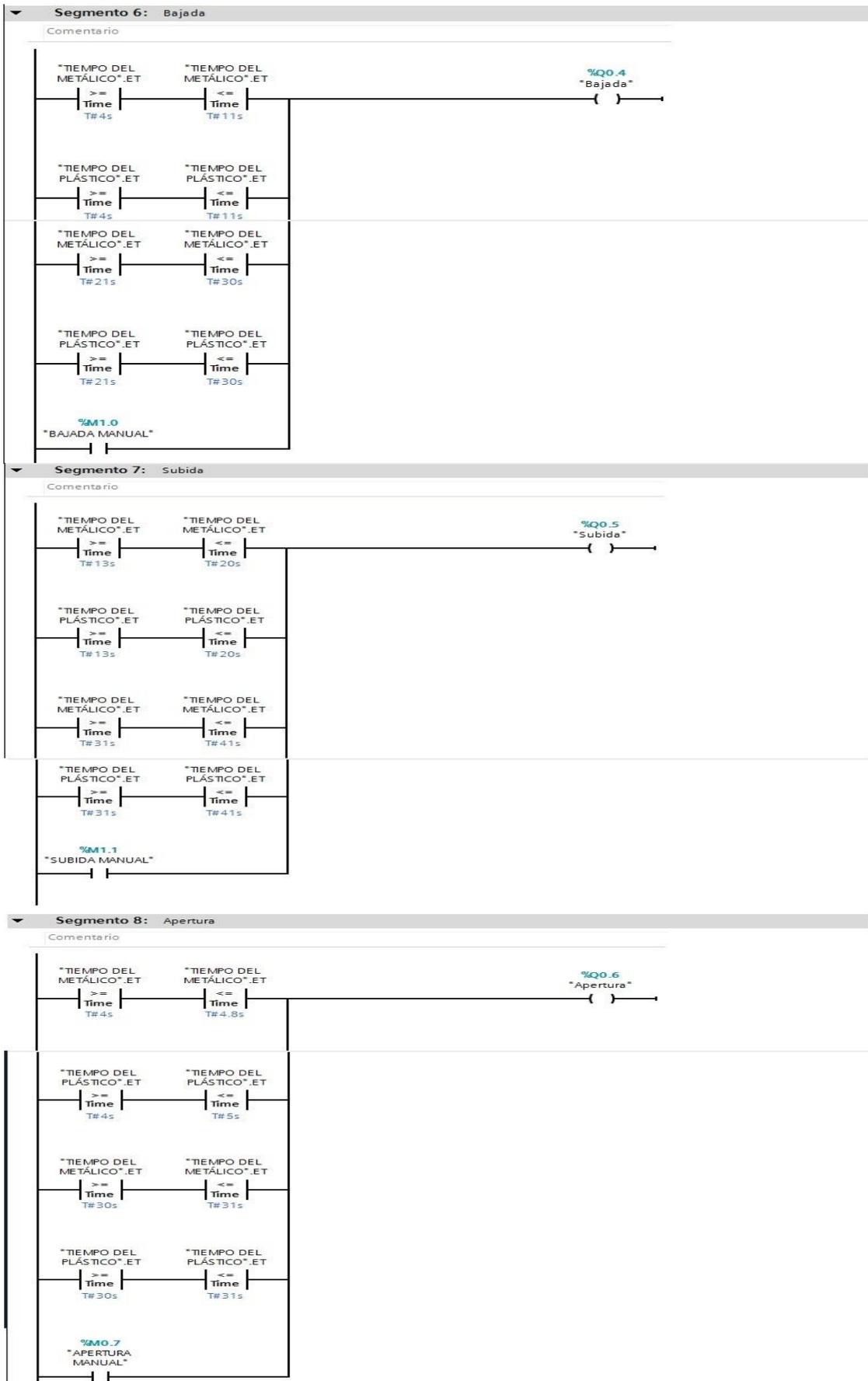


Figura 56. (Continuación)

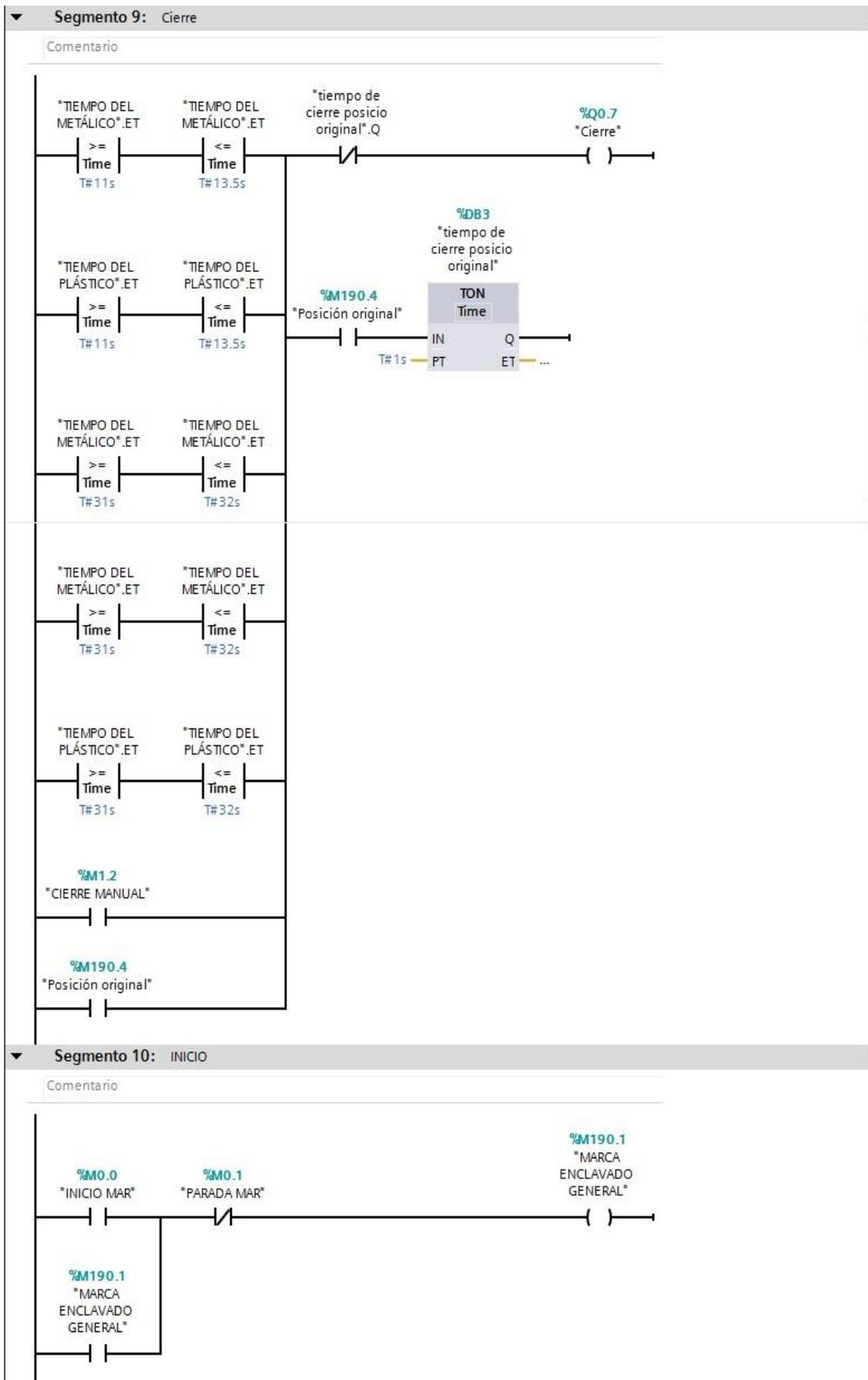


Figura 56. (Continuación)

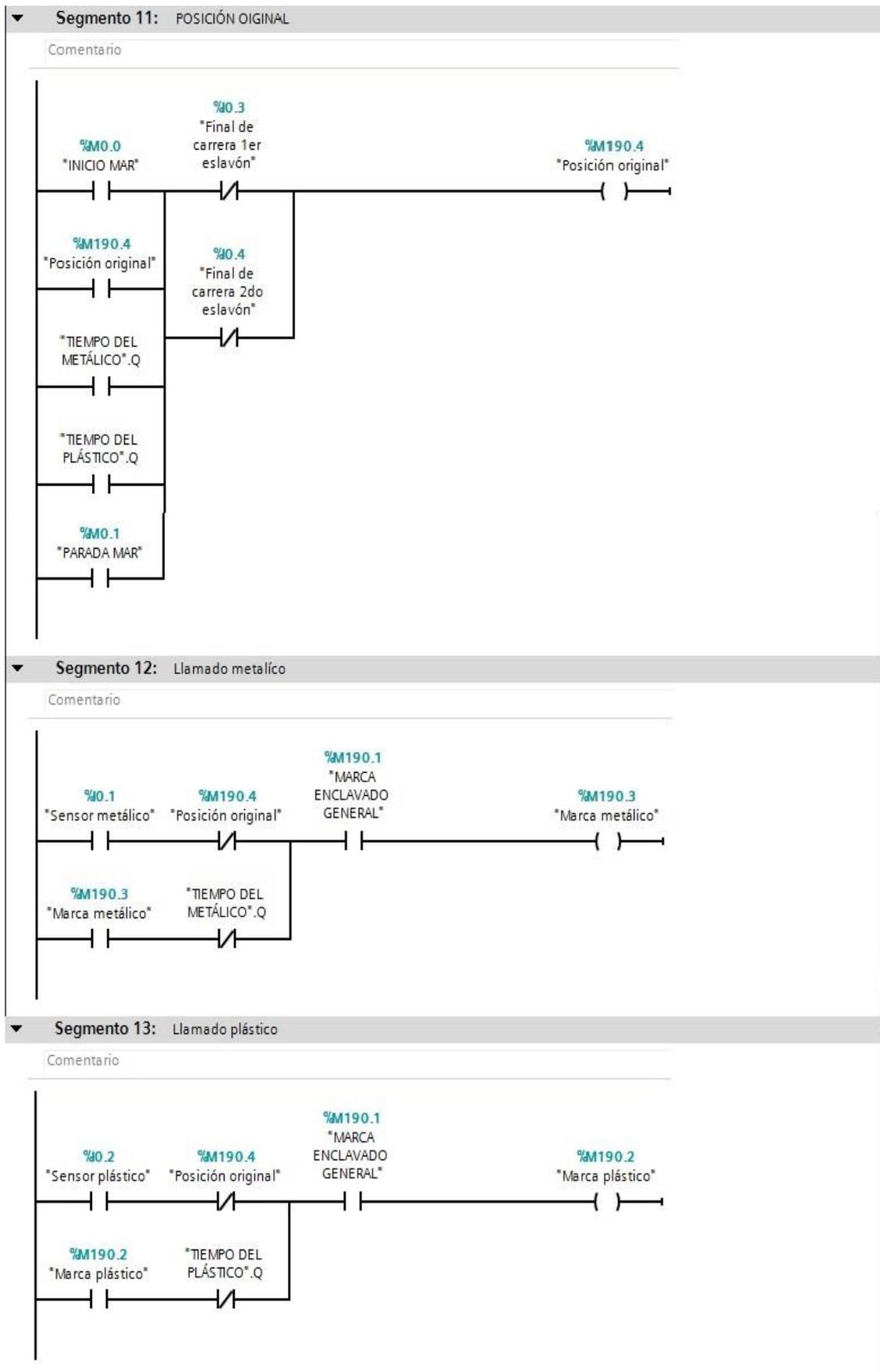
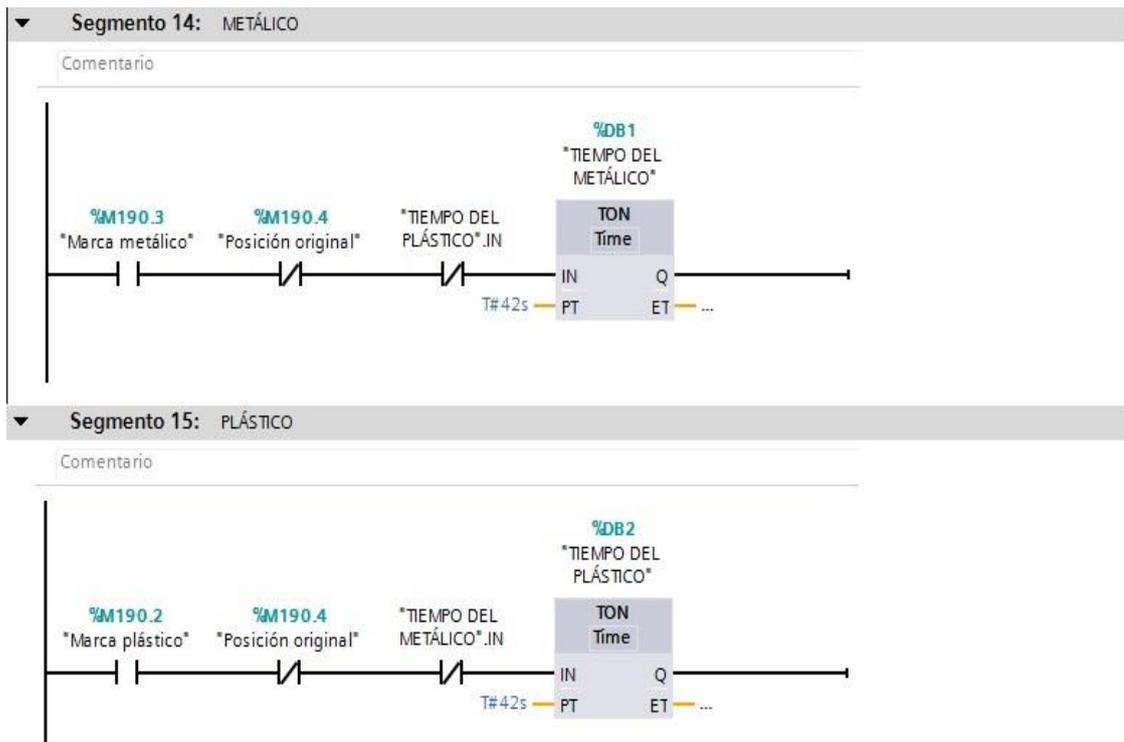


Figura 56. (Continuación)



Fuente: Autores

3.8 Desarrollo del panel HMI BASIC

3.8.1 Pasos para configurar el panel HMI BASIC:

- Abrir la programación del módulo.
- Elegir "dispositivos y redes".
- Se abre un nuevo cuadro de dialogo en el cual seleccionamos "agregar dispositivo" y luego damos clic en HMI.
- Luego seleccionar "SIMATIC Basic Panel", y dar clic en "4" "display" y seleccionar la pantalla KTP600 Basic.
- Elegir el número de serie correspondiente a nuestra pantalla y dar clic en agregar.
- Configurar el modelo de pantalla, luego seleccionar el PLC al cual se encuentra conectada y dar clic en "siguiente".

- Programar el número de ventanas de usuario que se van a crear y dar clic en finalizar.
- Desplegar la pestaña “imágenes” y seleccionar agregar imagen.
- Configurar la pantalla.

3.8.2 Asignación de variables para la HMI KTP600 PN

Tabla 15. Variables del HMI

Nombre	Tipo de datos	Conexión	Variable del PLC
1 ^{er} eslabón giro derecho	Bool	HMI_Conexión_1	1 ^{er} eslabón giro derecho manual
1 ^{er} eslabón giro izquierdo	Bool	HMI_Conexión_1	1 ^{er} eslabón giro izquierdo manual
2 ^{do} eslabón giro derecho	Bool	HMI_Conexión_1	2 ^{do} eslabón giro derecho manual
2 ^{do} eslabón giro izquierdo	Bool	HMI_Conexión_1	2 ^{do} eslabón giro izquierdo manual
Apertura manual	Bool	HMI_Conexión_1	Apertura manual
Bajada manual	Bool	HMI_Conexión_1	Bajada manual
Cierre manual	Bool	HMI_Conexión_1	Cierre manual
Inicio marca	Bool	HMI_Conexión_1	Inicio marca
Marca enclavado general	Bool	HMI_Conexión_1	Marca enclavado general
Motor manual	Bool	HMI_Conexión_1	Motor manual
Parada manual	Bool	HMI_Conexión_1	Parada manual
Subida manual	Bool	HMI_Conexión_1	Subida manual

Fuente: Autores

3.8.3 Programación de la HMI. Con las variables de la HMI mostradas en la tabla anterior se realizó la programación de las pantallas que serán utilizadas para el control del módulo, como se muestra a continuación. En la siguiente figura se puede observar cómo se dimensionó cada botón de las diferentes pantallas, a cada uno de estos se le dio características (Color, bordes, animación, etc.) y finalmente programación.

Figura 57. Programación HMI

The figure displays three screenshots of an HMI software interface, showing the configuration of different elements:

- Template_Button_1 [Botón]:** Shows the 'Propiedades' window for a button. The 'Apariencia' tab is active, showing 'Fondo' (Background) and 'Texto' (Text) color settings, both set to 255; 255; 255. The 'Eventos' tab is also visible, showing a 'Pulsar' (Click) event configured to 'ActivarImagen' (Activate Image) with 'Nombre de imagen' (Image Name) set to 'INICIO' and 'Número de objeto' (Object Number) set to 0.
- Botón_2 [Botón]:** Shows the 'Propiedades' window for another button. The 'Apariencia' tab is active, showing 'Fondo' (Background) and 'Texto' (Text) color settings, both set to 255; 255; 255. The 'Eventos' tab is also visible, showing a 'Pulsar' (Click) event configured to 'ActivarBitMientrasTeclaPulsada' (Activate Bit While Key Pressed) with 'Variable (Entrada/salida)' (Variable (Input/output)) set to 'INICIO MAR' and 'Bit' set to 0.
- Círculo_1 [Círculo]:** Shows the 'Propiedades' window for a circle. The 'Apariencia' tab is active, showing 'Fondo' (Background) and 'Borde' (Border) settings. The 'Fondo' color is set to 255; 255; 255 and the 'Patrón de relleno' (Fill Pattern) is set to 'Compacto'. The 'Borde' settings include 'Ancho' (Width) set to 1, 'Estilo' (Style) set to 'Compacto', and 'Color' set to 0; 0; 0. The 'Eventos' tab is also visible, showing a 'Variable' event configured to 'MARCA ENCLAVADO GENERAL' with 'Dirección' (Direction) set to 'Rango' (Range). The 'Tipo' (Type) is set to 'Rango' (Range). A table below shows the range settings:

Rango	Color de fondo	Color Borde	Parpadeo
0	255; 255; ...	0; 0; 0	No
1	255; 255; 255	0; 0; 0	Sí

Figura 57. (Continuación)

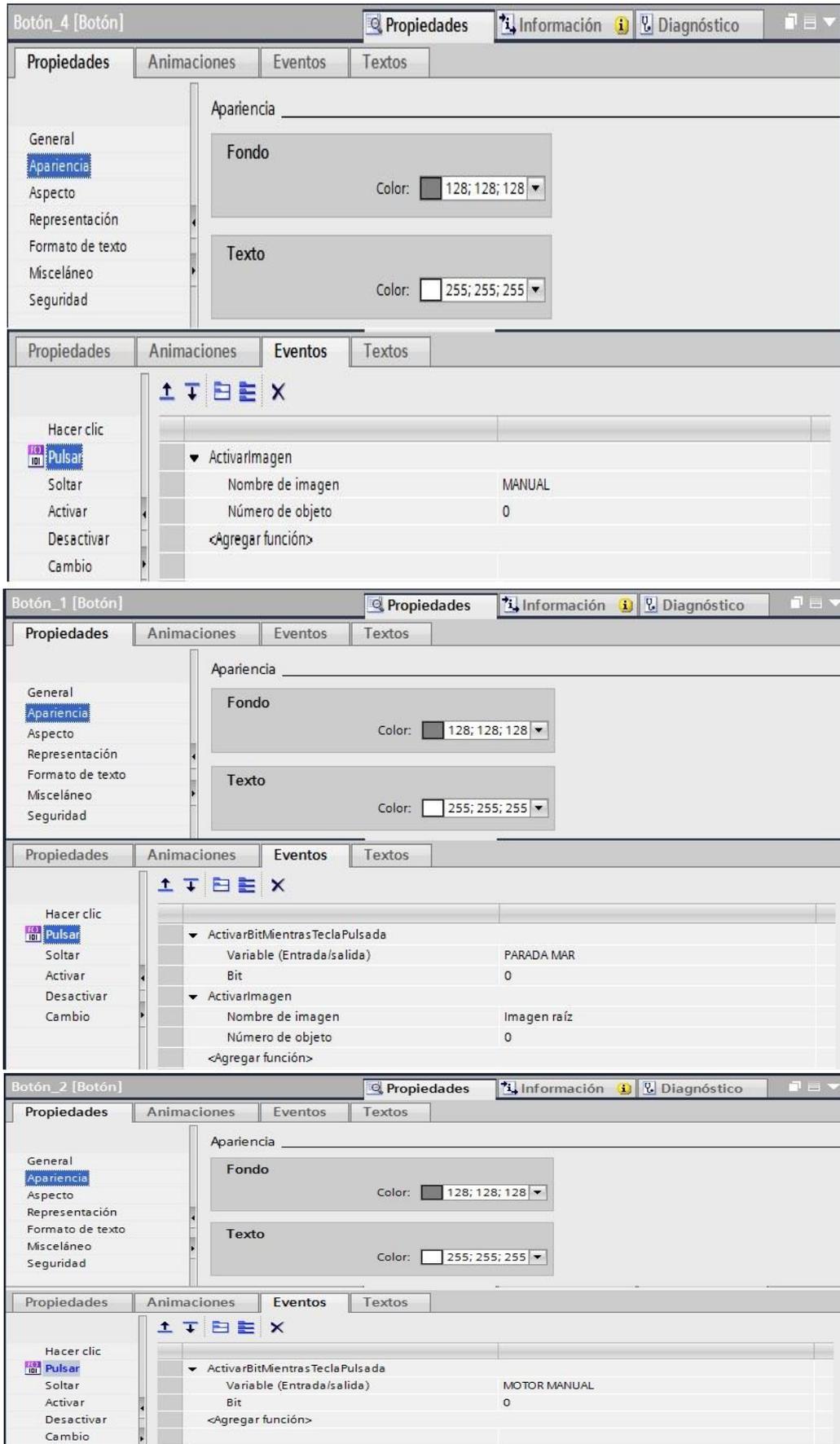


Figura 57. (Continuación)

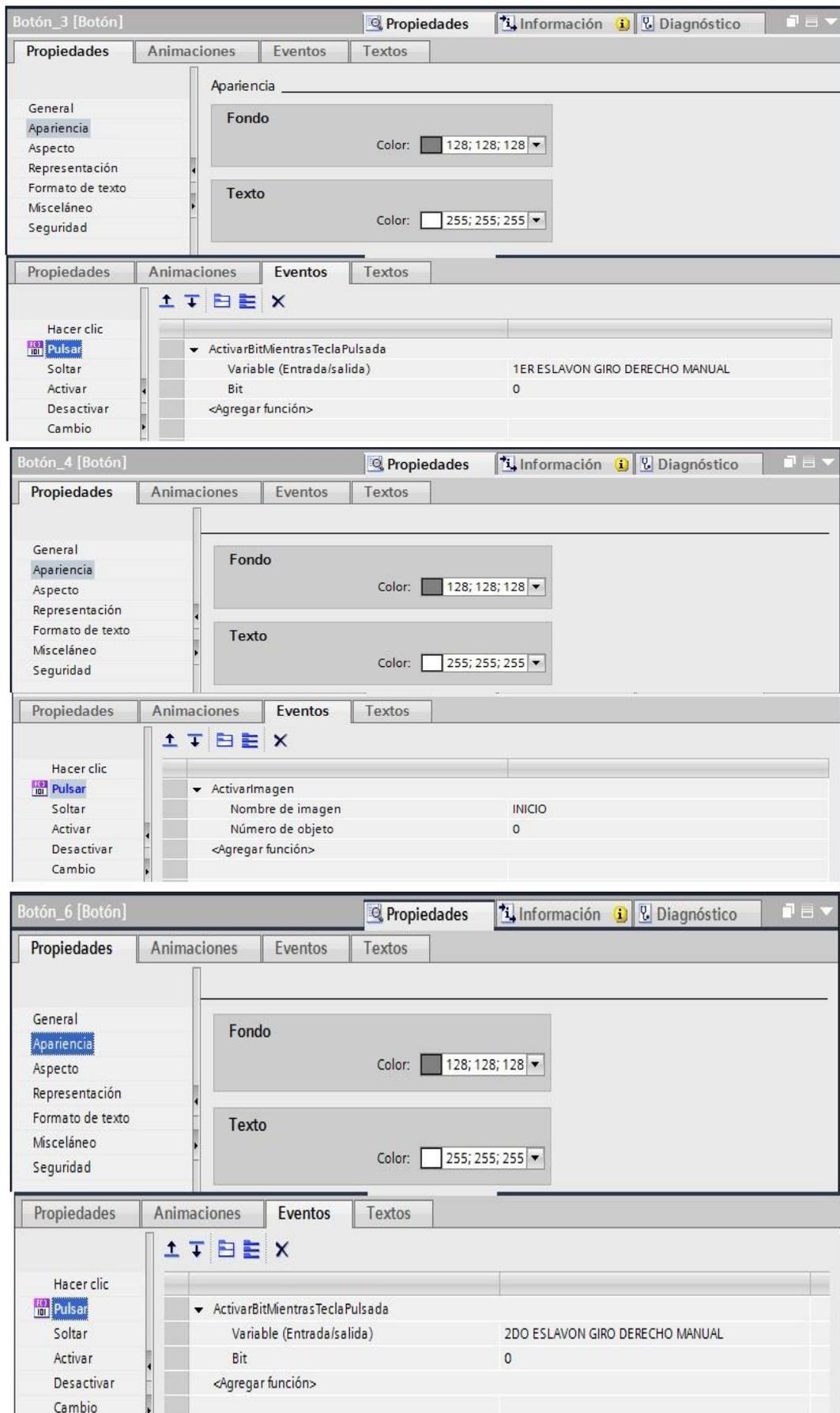


Figura 57. (Continuación)

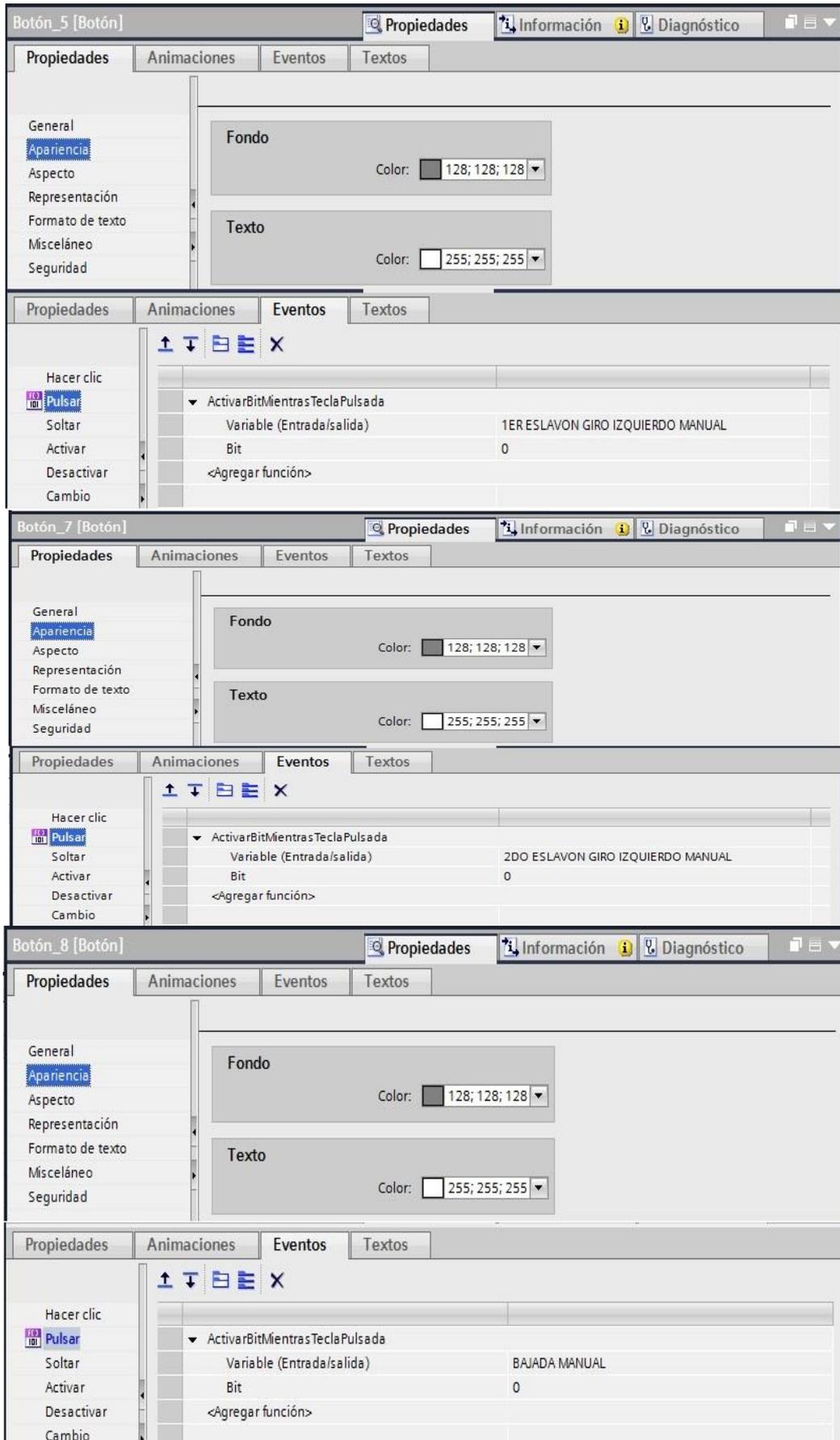
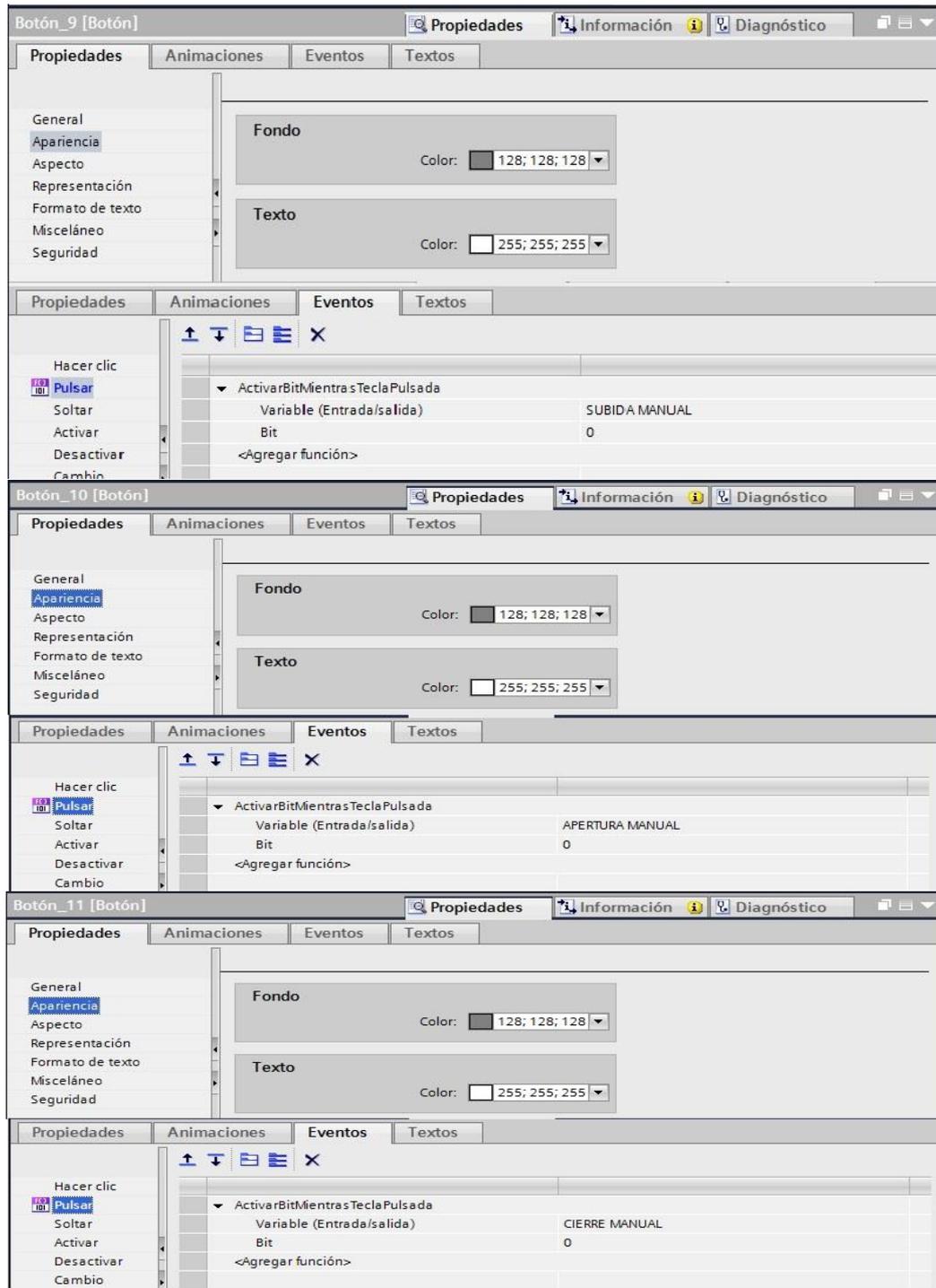


Figura 57. (Continuación)



Fuente: Autores

3.8.4 Descripción del sistema

3.8.4.1 Pantalla de presentación. En la pantalla de presentación se puede visualizar la bienvenida, el sello de la ESPOCH y el botón “Empezar”. Este botón permite el acceso a la pantalla de control automático.

Figura 58. Pantalla de presentación



Fuente: Autores

3.8.4.2 *Pantalla de control automático.* En esta pantalla se encuentran los botones de inicio, parada, finalizar simulación y control manual.

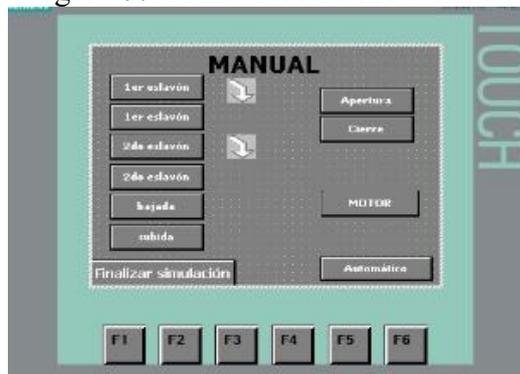
Figura 59. Pantalla de control automático



Fuente: Autores

3.8.4.3 *Pantalla de control manual.* Al seleccionar este último nos llevara a una pantalla que permite el control manual de todos los componentes del brazo.

Figura 60. Pantalla de control manual



Fuente: Autores

3.9 Conexión y comunicación del ordenador con el sistema

3.9.1 *Conexión del PLC y HMI.* Para realizar la conexión entre PLC y HMI, se requiere contar con un elemento indispensable, un cable Ethernet y realizar la interfaz virtual para ello se debe de:

- Conectar un extremo del cable Ethernet al puerto profinet, así como del PLC y del HMI.

En caso de contar con un modem Wi-Fi, la conexión puede realizarse también de esta manera siguiendo el siguiente proceso:

- Conectar los cables ethernet al puerto profinet del PLC y de la HMI.
- Conectar el otro lado de los cables ethernet a las entradas del modem excepto a la numero 1 ya que está siempre viene configurada para el uso de internet.
- Encender el modem.

3.9.2 *Comunicación del ordenador con el PLC.* La comunicación se realizará por medio de un cable Ethernet entre el PLC y el ordenador o en su lugar usando la red Wi-Fi de un modem.

3.9.2.1 *Pasos para comunicar el ordenador con el PLC:*

- Conectar el ordenador al PLC mediante un cable Ethernet o a la red Wi-Fi
- Abrir el proyecto.
- Hacer clic sobre “vista del proyecto”.
- Dar clic derecho sobre la carpeta PLC_1 y seleccionar la opción cargar dispositivos.
- Posteriormente se despliega una ventana dónde se selecciona el tipo de interfaz y el modo de comunicación. (PN/IE RTL 8 188 CE Wireless LAN 802.11n P CI-E NIC)

luego se procede a realizar la búsqueda del dispositivo para cargarlo respectivamente.

- Seguido se puede observar un cuadro de diálogo en el cual se está compilando toda la información seleccionada.
- Seguidamente aparece una nueva ventana en dónde se elige la opción “Aplicar Todas” para de esta manera eliminar todos los errores posibles que pudiese existir en la carga del programa.
- A continuación damos clic nuevamente en la opción cargar y se observará que toda la configuración esta correcta.
- Y por último se procede a correr el programa y elaborar la sincronización final del proceso.

3.9.2.2 *Pasos para comunicar el PC con la pantalla HMI:*

- Conectar el ordenador al HMI mediante un cable Ethernet.
- Poner el panel de operador en el modo de operación “transfer”.
- Abrir el proyecto.
- Seleccionar la pestaña “vista del proyecto”.
- Dar clic derecho en la carpeta HMI_1, para luego seleccionar las opciones cargar dispositivos y todo respectivamente.
- Se desplegará una ventana dónde se seleccionará el tipo de interfaz y el modo de comunicación (PN/IE RTL 8 188CE Wireless LAN 802.11n PCI-E NIC) para luego proceder a realizar la búsqueda del dispositivo y cargar respectivamente.
- A continuación se observará un cuadro de diálogo dónde se compilará toda la información posteriormente seleccionada.

- Luego aparecerá una nueva ventana en la cual pondremos la opción “Aplicar Todas” para así eliminar los errores existentes que pudieren existir en la carga del programa.
- Dar clic una vez más en la opción cargar y se observará que toda la configuración esta correcta.
- Terminada la transferencia sin errores, el proyecto se encontrará en el panel de operador.

3.10 Pruebas y puesta a punto del módulo

3.10.1 *Puesta a punto y en servicio del módulo.* Es el correcto funcionamiento de todo el sistema, en dónde todas sus partes y elementos que lo conforman, se encuentran en perfectas condiciones para su uso. Esto se consigue una vez terminado con todas las fases planteadas de forma rigurosa con respecto al todo el sistema. Para realizar una supervisión correcta del módulo se tomará dos partes importantes para su análisis.

- *Sin tensión:* Se realiza el análisis de la parte física.
- *Con tensión:* Se realiza el análisis del sistema automático.

3.10.1.1 *Análisis de la parte física.* Para el análisis de la parte física se tomará en cuenta los siguientes puntos de gran importancia:

- Correcta conexión de todos los componentes que conforma el sistema, al igual que las fuentes de alimentación.
- Sujeción fija de todos los elementos del módulo: PLC, Pantalla HMI, Fuente de alimentación.
- Identificar elementos y cables a través de colores, señalizadores con letras o números.

3.10.1.2 *Análisis del sistema automático:*

- Con el PLC en stop, alimentar el sistema sin cargas.

- Comprobar que el circuito de mando de inicio, parada, parada de emergencia, entradas y salidas funcionen de manera correcta.
- Con el PLC en modo RUN, cerciorarse que las salidas y entradas respondan conforme al programa, al momento de manipular manualmente sobre las entradas. Esto se visualiza en los diodos LED indicativos al activarse la salida.
- Una vez alimentadas las cargas, realizar la prueba del funcionamiento real del módulo.

3.10.2 *Mediciones y monitoreo.* Para hacer mediciones y monitoreo del módulo selector de materiales se tomará puntos muy relevantes que son:

- Asegurarse que no haya aristas filosas en todos los componentes del módulo, para su correcto funcionamiento y así garantizar la integridad de los usuarios que tengan acceso al módulo.
- Realizar mediciones de tensión y amperaje según correspondan, mediante a cada especificación de los distintos equipos existentes.
- Medir y asegurar que no exista continuidad entre los equipos del módulo y la estructura metálica.
- Monitorear de forma continua para que exista un contacto correcto entre los elementos.

CAPÍTULO IV

4. MANUAL DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y GUÍA DE PRÁCTICAS

4.1 Manual de operaciones

4.1.1 *Objeto del desarrollo del manual.* Se consideró importante el desarrollo de un manual de operaciones para dar al estudiante las instrucciones y lineamientos básicos durante el manejo del módulo de laboratorio para la simulación del proceso de selección de materiales el mismo que puede encontrarse en el anexo C de este trabajo escrito.

4.1.2 *Alcance.* El módulo de laboratorio fue desarrollado con las siguientes opciones de operación:

- Simular un proceso de selección de materiales metálicos y no metálicos por medio de un brazo tipo SCARA.
- Identificar los elementos básicos y necesarios para la automatización del proceso.

4.1.3 *Responsabilidades:*

- *Docente.* Acordar los horarios de prácticas con los estudiantes, capacitar a los estudiantes en el manejo del módulo y el desarrollo de la práctica de laboratorio verificar el procedimiento y participar en la práctica de laboratorio.
- *Estudiantes.* Mantener orden y limpieza en el módulo de laboratorio, Controlar que los voltajes sean los correctos antes de empezar la simulación, presentar el respectivo informe de prácticas.

4.1.4 *Indicaciones generales para el uso del módulo.* Todo proceso cualquiera que este sea implica el uso de componentes eléctricos, electrónicos, mecánicos, etc. Estos componentes pueden representar ciertos riesgos para quienes intervengan en el proceso, por esto es importante tomar en cuenta las siguientes indicaciones:

- Antes de comenzar a trabajar en el módulo de laboratorio es necesario que el docente encargado de una clase introductoria a los estudiantes con el fin de evitar actos inseguros durante la operación del módulo.
- Asegurarse de que las conexiones eléctricas se encuentren completamente aisladas.
- Comprobar que todos los elementos del módulo se encuentren bien fijados a la estructura.
- Los sensores deben ser conectados directamente a las salidas del PLC las mismas que entregarán un voltaje de 24 V DC.
- El PLC debe estar directamente conectado a la fuente de energía con una alimentación de 110 V AC.
- Comprobar que las protecciones estén en su sitio y en estado óptimo.

4.1.5 *Crear el programa.* A continuación se han detallado los pasos y conocimientos básicos requeridos para la creación de un programa en TIA PORTAL, el mismo que será utilizado para la elaboración de la programación del módulo de laboratorio.

4.1.5.1 *Bloques de organización.* “Main [OB1]” contiene todas las funciones necesarias para ejecutar la tarea de automatización requerida, son la interfaz entre el sistema operativo del controlador y el usuario. Este determina el comportamiento del controlador.

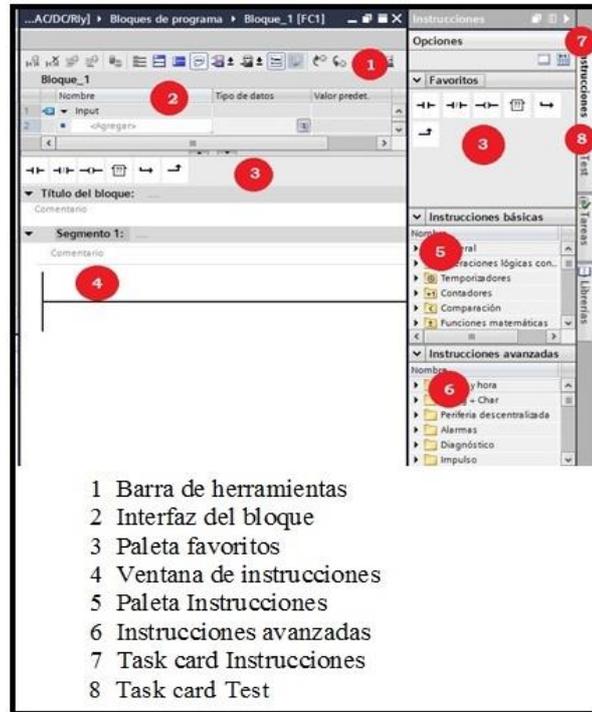
Pasos para abrir un bloque:

- Abrir la carpeta “bloques de programa” en el árbol del proyecto.
- Abrir el bloque de organización “Main OB1”

Es importante decir que si se desea programar en un lenguaje de programación diferente solamente se debe hacer clic derecho sobre el main o cualquier bloque de programa y luego hacer clic en cambiar lenguaje de programación.

4.1.5.2 *Editor de programas.* Este es el que permite crear los bloques de programas, lo conforman varias áreas que ejecutan las tareas de programación.

Figura 61. Estructura del editor de programas



Fuente: Autores

4.2 Manual de Mantenimiento

4.2.1 *Objeto del desarrollo del manual.* Con el fin de mantener en óptimas condiciones de funcionamiento el módulo de laboratorio se ha visto necesario el desarrollo de un manual de mantenimiento que dictará los procedimientos y lineamientos básicos para el mantenimiento de este módulo el mismo que puede encontrarse en el anexo D de este trabajo escrito.

4.2.2 *Alcance.* Mantener en buenas condiciones operativas el módulo de laboratorio para la selección de materiales de la escuela de ingeniería industrial de la ESPOCH.

4.2.3 *Definiciones:*

- *Mantenimiento preventivo.* Conjunto de operaciones realizadas con el fin de precautelar el buen funcionamiento de una máquina.

- *Mantenimiento correctivo.* Acción de reparar, consiste en reemplazar alguna parte del equipo por encontrarse esta fuera de las especificaciones proporcionadas por el fabricante y que está causando el mal funcionamiento de todo el equipo.

4.2.4 *Responsabilidades:*

- *Docente:* Instruir a los estudiantes sobre las operaciones a realizarse durante el mantenimiento del módulo, así como asegurarse del cumplimiento correcto de las mismas.
- *Estudiantes:* Seguir las instrucciones indicadas en el manual, usar equipos de protección personal y las herramientas indicadas en el mismo.

4.3 **Guía de Practicas**

4.3.1 *Introducción.* Se ha considerado que para complementar el aprendizaje por medio del módulo de laboratorio para la simulación del proceso de selección de materiales es necesario la creación de una guía de prácticas, la misma que podrá encontrarse en el anexo E de este trabajo. A continuación veremos los aspectos que deben tomarse en cuenta para el trabajo con esta guía.

4.3.2 *Partes de la guía de práctica.* La guía de prácticas constará de las siguientes partes en el orden que se muestra a continuación, las mismas también cuentan con una descripción de lo que se tratar:

- *Carátula:* En la que se detallarán los datos del o los alumnos, el tema, el número de práctica y la fecha de realización como de entrega.
- *Objetivos:* Habrá un objetivo general y objetivos específicos para determinar a donde se pretende llegar con el desarrollo de esta práctica.
- *Metodología:* En la que se explicará las recomendaciones a considerarse antes y durante el desarrollo de la práctica.

- *Variables:* Se especificarán tanto las variables del PLC como las de la HMI mediante el uso de tablas.
- *Equipos y materiales:* Aquí se detallará todos los elementos necesarios para la realización de la práctica.
- *Marco teórico:* En donde se proporcionará la información más relevante acerca de la práctica y elementos utilizados en la misma.
- *Procedimiento:* Describirá los pasos a seguir para el desarrollo normal de la práctica.
- *Conclusiones y recomendaciones:* Donde se evaluará si la práctica tuvo el efecto deseado en el estudiante.
- *Bibliografía:* Detalle de las fuentes a las que se acudió para el desarrollo de la guía de prácticas
- *Anexos:* Constarán principalmente de los diagramas eléctricos del módulo.

4.3.3 *Resultados que se desean obtener:*

- Al final de la práctica el estudiante debe comprender el uso de PLC, HMI, sensores y el software usado para la programación (TIA PORTAL V13).
- El estudiante habrá mejorado sus habilidades de programación.

CAPÍTULO V

5. PRESUPUESTO

5.1 Introducción

En el presente capítulo se detallan los costos tanto directos como indirectos en que se incurrió para la construcción del presente proyecto de titulación, así como también los costos anuales de mantenimiento del mismo.

Los costos irán detallados en tablas que indicaran la descripción del elemento la cantidad su costo unitario y su costo total.

5.2 Costos de construcción del módulo

Para determinar el costo total de la construcción del módulo, es necesario detallar los costos directos e indirectos.

5.2.1 *Costos directos.* Son aquellos recursos que se han incorporado físicamente a al conjunto final, además de las labores necesarias para el manipuleo y transformación de los ya mencionados recursos.

Para justificar estos costos se deberá analizar los rubros que afectan directamente en la construcción del módulo de forma clara, estos valores corresponden a:

- *Materiales.* Productos transformados que constituyen el producto final y no constituyen parte de él.
- *Equipos y Herramientas.* Aquellos empleados en la transformación de los materiales hasta obtener el producto terminado.
- *Mano de Obra Directa.* Fuerza de trabajo empleada para extraer, producir o transformar la materia prima.

Tabla 16. Costos directos

Costos directos					
N°	Material requerido	Especificaciones	Cantidad	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
1	Tubos cuadrados	1 1/4"	2	24,50	49,00
2	Ruedas	Ø=25cm	4	1,64	6,56
3	Transistores del puente h	modelo: 2N2222,tipo:NPN, Vmáx= 45V,Imax= 600mA,HFE=100	1	24,00	24,00
4	Moto reductor	5-24 vcd,24Kg-cm,Alto Torque	1	20,00	20,00
5	Perfil	CXXX	1	128,00	128,00
6	Perfil marco	CXXX	1	15,00	15,00
7	Cilindro inoxidable	Ø= 2"	1	6,00	6,00
8	Ejes de nylon	26cmx25cm	1	7,00	7,00
9	Autoroscante	1/8" x 2, 8 "	3	0,80	2,10
10	Autoroscante	3/16" x 3/4"	8	0,80	6,40
11	Autoroscante	1/2 "	9	0,75	6,75
12	Tuercas	5/8" ,4,5mm	4	0,75	3,00
13	Pasadores	Ø=2cm	3	0,80	2,10
14	Pernos	1/2"x4,5mm	20	0,75	15,00
15	Rodamiento axial	Iso 9001, numero de modelo 51100, p0, p6	1	1,00	9,50
16	Rodamiento		1	4,75	4,75
17	Rodamiento tipo sanduche	Iso 9001, numero de modelo 51100, p0, p6	1	16,30	16,30
18	Micro motorreductor n20	3-6VCD, 40mA,1,2Kg-cm, 3,5Kg-cm freno, 70rpm; 150:1	3	35,45	106,35
19	Pinza	Apertura max:5cm, tamaño:105x100x30 mm, Peso:350gr	1	72,00	72,00
20	Servomotor pinza	6V,32rpm, 70mA, 9Kg-cm	1	72,00	72,00
21	Ángulo + enrolla cable		1	12,00	12,00
22	Sensor capacitivo + relé + base relé	3008NA,36VCD, Iso 9001,Iso 14001	1	30,30	30,30

Tabla 16. (Continuación)

23	Sensor inductivo + relé + base relé	LM18-3008NA, 36VCD, Iso 9001, Iso 14001	1	21,30	21,30
24	Rueda loca	Ø=9mm	1	8,00	8,00
25	Caja térmica		1	32,10	32,10
26	Plc	1214 ac/ dc/ relé	1	500,00	500,00
27	Pantalla táctil	ktp600 básico mono cromático	1	856,00	856,00
Total					2145,16

Fuente: Autores

5.2.2 Costos indirectos

Tabla 17. Costos indirectos

Costos indirectos		
Nº	Descripción	Costo total [USD]
1	Torneado	20,00
2	Cosido y bordado de sello	16,30
3	Masqui	16,00
4	Silicón	3,50
5	imprevistos	800,00
Total		855,80

Fuente: Autores

5.2.3 Costos totales

Tabla 18. Costos totales

Costos totales		
Nº	Descripción	Costo total [USD]
1	Costo directo	2145,16
2	Costo indirecto	855,80
Total		3000,96

Fuente: Autores

5.3 Costos de mantenimiento y reparación anual

Estos costos son exclusivos para el mantenimiento y reparación del módulo con el fin de mantenerlo en buenas condiciones para su uso y garantizar su vida útil.

Tabla 19. Costos anuales de mantenimiento

Costos por mantenimiento y reparación por anuales			
Descripción	Cantidad	Valor unitario [USD]	Valor total [USD]
Fusibles	12	0,50	6,00
Transistores	14	1,00	14,00
Cables de conexión	2	15,00	30,00
Mantenimiento general	1	50,00	50,00
Total			100,00

Fuente: Autores

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

El módulo de laboratorio para la simulación del proceso de selección de materiales ha sido creado con fin pedagógico, su estructura se presta para la clara observación de cómo es el funcionamiento de varios elementos muy importantes dentro de la materia de automatización, se desarrolló también una guía de prácticas que le permitirá al estudiante familiarizarse con varios conceptos empleados para el manejo de este módulo. Por lo que contribuye al aprendizaje de los estudiantes dentro de la asignatura de automatización.

Por medio del uso de una banda transportadora, sensores y la construcción de un brazo SCARA se logró simular un proceso de selección de materiales bastante interesante y diferente a los ya existentes en el laboratorio. A más de que los estudiantes pueden observar el funcionamiento de un robot tan importante dentro de la industria como lo es el brazo SCARA.

Este módulo es principalmente operado mediante una pantalla touch KTP600 NP Basic y un PLC s71200 1214C AC/DC/RELÉ, no requiere que el estudiante realice ningún tipo de conexión, debido a esto obliga al estudiante a mejorar sus habilidades de programación y uso tanto de la pantalla como del PLC.

6.2 Recomendaciones

Antes de utilizar el módulo el estudiante deberá haber revisado el manual de operaciones del módulo y haber recibido una clase introductoria por parte del docente de la asignatura acerca del manejo de éste.

Dar mantenimiento preventivo al módulo como lo indica el manual de mantenimiento del mismo, confirmar antes de iniciar el proceso con la check list que se encuentran todos los elementos del módulo en condiciones óptimas; esto para preservarlo en buenas condiciones.

Al momento de cargar la programación tanto al PLC como a la pantalla tener en cuenta las asignaciones de direcciones IP de cada uno, ya que de presentarse un error, no se ejecutará la carga de la programación.

BIBLIOGRAFÍA

- BOADA, Yadira y MORALES, Luis. 2010.** Biblioteca virtual de la Escuela Politécnica Nacional. *Biblioteca virtual de la Escuela Politécnica Nacional*. [En línea] Mayo de 2010. <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/9383/1/P66.pdf>.
- CANTO, Carlos. 2015.** Facultad de Ciencias del universiada Autónoma de San Luis Potosi. *Facultad de Ciencias del universiada Autónoma de San Luis Potosi*. [En línea] 25 de Octubre de 2015. http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/automatas/PRESENTACIONES_PLC_PDF_S/3_AU TOMATIZACION_GENERAL.PDF.
- COBO, Raúl. 2008.** Aie.cl. *Aie.cl*. [En línea] 2008. <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/hmi.pdf>.
- COPADATA. COPADATA. COPADATA.** [En línea] <http://www.copadata.com/es/productos/product-features/interfaz-hombre-maquina-hmi.html>.
- Departamento de electrónica automática e informática industrial. 2014.** Plataforma Moodle Departamento de electrónica automática e informática industrial. *Plataforma Moodle Departamento de electrónica automática e informática industrial*. [En línea] 2014. <http://www.elai.upm.es/moodle/mod/resource/view.php?id=905>.
- GRASSI, Miguel. Miguel Grassi Curso Mecatrónica. Miguel Grassi Curso Mecatrónica.** [En línea] <http://www.miguelgrassi.com.ar/mecatronica/puenteh.pdf>.
- LÓPEZ, Diego. 2014.** Universidad de Huevla. *Universidad de Huevla*. [En línea] 1 de Septiembre de 2014. http://www.uhu.es/diego.lopez/AI/auto_trans-tema1.pdf.
- MAINSA. 2006.** Pastranamoreno. *Pastranamoreno*. [En línea] 2006. http://pastranamoreno.files.wordpress.com/2011/03/control_procesos-valvulas.pdf.
- MATEO, Felipe. 2015.** InfoPLC. *InfoPLC*. [En línea] 23 de Mayo de 2015. <http://www.infopl.net/documentacion/5-automatas/2304-sistemas-automatizados>.
- MAZA, Ana. 2009.** Coleccion de tesis digitales Universidad de las América Puebla. *Coleccion de tesis digitales Universidad de las América Puebla*. [En línea] 9 de Enero de 2009. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/maza_c_ac/capitulo4.pdf.
- RIA. Robotic Industri Association. Robotic Industri Association.** [En línea]
- SÁNCHEZ, Rafaél. 2009.** UHU: Escuela Técnica Superior de Ingeniería. *UHU: Escuela Técnica Superior de Ingeniería*. [En línea] 2009. <http://www.uhu.es/rafael.sanchez/ingenieriamaquinas/carpetaapuntes.htm/Apuntes%20Tema%201.pdf>.

SIEMENS. 2009. Siemens.com. *Siemens.com*. [En línea] 2009.
https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/aut_simatic/Documents/Manual%20de%20sistema%20SIMATIC%20S7-1200%20Ed.2009-11.pdf.

TOSHIBA. 2009. Mecatronicatip. *Mecatronicatip*. [En línea] 2009.
http://www.mecatronicatip.com/e107_files/downloads/cursobasmtiptoshi.pdf.

Una Introducción a la robótica industrial. **CAPARROSO, Ivan, AVILÉS, Oscar y HERNANDEZ BELLO, Juan. 1999.** 1999, Revista de la Facultad de Ingeniería, págs. 53-67.

VIOGNI, José. 2002. Instrumentación y Comunicaciones Industriales. [aut. libro] José Viogni. *Instrumentación y Comunicaciones Industriales*. 2002.

ZABALA VILLALVA, I. 2015. IMAC. *Ingeniería Mecánica Aplicada y Computacional*. [En línea] 31 de Agosto de 2015.
http://www.imem.unavarra.es/isidro/mecanica_II/Libro-mecanicaII.pdf.