

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO CON CONTROLADORES PROGRAMABLES; PARA EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE PROCESOS MECÁNICOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

#### **PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**LENIN GIOVANNY POLANCO HERRERA**  
lenin\_polanco\_28mil@hotmail.com

**EDISON JAIR VILLARRUEL CUADRADO**  
jair77villarruel@gmail.com

**DIRECTOR: Ing. ÁLVARO AGUINAGA B. MSc. PhD.**  
alvaro.aguinaga@epn.edu.ec

## DECLARACIÓN

Nosotros, Lenin Giovanni Polanco Herrera y Edison Jair Villarruel Cuadrado, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional.

---

Lenin Giovanni Polanco Herrera

---

Edison Jair Villarruel Cuadrado

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los señores: Lenin Giovanni Polanco Herrera y Edison Jair Villarruel Cuadrado, bajo mi supervisión.

Ing. Álvaro Aguinaga B. MSc. PhD.

**DIRECTOR DE PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestros padres por ser nuestro apoyo y sustento incondicional a lo largo de nuestras vidas.

A nuestros familiares que siempre han estado presentes y pendientes de nuestro desempeño académico.

A la Facultad de Ingeniería Mecánica que durante estos años ha sido nuestro segundo hogar y la fuente de los conocimientos.

Al Dr. Álvaro Aguinaga por su acertada dirección del presente proyecto de titulación.

A nuestros amigos que durante esta etapa de nuestras vidas nos han brindado su apoyo, por todos los grandes y no tan grandes momentos que hemos compartido.

## DEDICATORIA

Dedico la realización de este proyecto a Dios por darme la fuerza y habilidad necesaria para cumplir un sueño que hoy se vuelve realidad.

A mis padres por el apoyo brindado durante toda mi vida estudiantil.

Lenin Polanco

A mi Padre y Madre quienes han estado presentes con su amor y apoyo incondicional durante mi vida.

A mi tía Ampari, Huguito y a mis primos quienes me acogieron en su morada y con quienes compartí momentos importantes durante toda esta etapa tan importante de mi vida.

Edison Villarruel

## CONTENIDO

DECLARACIÓN .....	I
CERTIFICACIÓN .....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
DEDICATORIA.....	IV
CONTENIDO.....	V
LISTA DE ANEXOS .....	XIII
Lista de tablas .....	XIV
Lista de gráficos .....	XVI
Resumen.....	XIX
Presentación .....	XX
CAPÍTULO 1 .....	1
1. MARCO TEÓRICO .....	1
1.1 INTRODUCCIÓN A La automatización industrial.....	1
1.1.1 HISTORIA DE LOS CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES .	2
1.1.2 DEFINICIÓN .....	4
1.1.3 ESTRUCTURA BÁSICA.....	5
1.1.3.1 La Unidad Central de Procesamiento (CPU).....	8
1.1.3.1.1 <i>El Procesador</i> .....	8
1.1.3.1.2 <i>La Memoria</i> .....	9
1.1.3.2 La fuente de Alimentación .....	11
1.1.3.3 Lenguaje de Programación .....	12
1.1.3.3.1 <i>Lenguajes de Programación</i> .....	12
1.1.3.4 Módulos de entradas y salidas .....	16
1.1.4 NORMA IEC 1131 .....	16
1.1.4.1 Elementos comunes .....	17
1.1.4.2 Lenguajes de Programación .....	22
1.1.4.2.1 <i>El Diagrama de contactos (LD)</i> .....	23

1.1.4.2.2	<i>El Diagramas de Bloques Funcionales (FBD)</i> .....	23
1.1.5	VENTAJAS DEL USO DE LOS PLCs .....	24
1.1.6	APLICACIONES DE LOS PLCs .....	24
1.2	INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS ROBÓTICOS INDUSTRIALES ....	25
1.2.1	FUNDAMENTOS DE LA ROBÓTICA.....	25
1.2.2	AUTOMATIZACIÓN Y ROBÓTICA .....	26
1.2.2.1	Automatización Fija .....	26
1.2.2.2	Automatización Programable .....	26
1.2.2.3	Automatización Flexible.....	27
1.2.3	RESEÑA HISTÓRICA DE LOS SISTEMAS ROBÓTICOS .....	27
1.2.4	DEFINICIÓN DE ROBOT INDUSTRIAL.....	28
1.2.5	SISTEMA BÁSICO DE UN ROBOT MANIPULADOR .....	29
1.2.5.1	El brazo (robot).....	30
1.2.5.2	El controlador .....	30
1.2.5.3	Unidad conversora de potencia .....	31
1.2.6	MORFOLOGÍA DE LOS ROBOTS .....	31
1.2.6.1	Estructura de los Robots Manipuladores.....	31
1.2.6.2	Tipos de Articulaciones .....	31
1.2.6.3	Estructuras Básicas.....	34
1.2.6.3.1	<i>Configuración Cartesiana</i> .....	36
1.2.6.3.2	<i>Configuración Cilíndrica.</i> .....	36
1.2.6.3.3	<i>Configuración Polar o Esférica.</i> .....	36
1.2.6.3.4	<i>Configuración Angular.</i> .....	37
1.2.6.3.5	<i>Configuración Scara.</i> .....	37
1.2.6.4	Volumen de trabajo .....	37
1.2.6.5	Actuadores .....	39
1.2.6.5.1	<i>Tipos de actuadores</i> .....	39
1.2.6.6	Efectores finales .....	41

1.2.6.6.1	<i>Tipos de efectores finales</i> .....	41
1.2.6.7	Sensores en robótica.....	44
1.2.7	ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO DEL ROBOT Y CONTROL.....	45
1.2.7.1	Cinemática de robots manipuladores .....	45
1.2.7.2	Cinemática inversa .....	45
1.2.7.3	Dinámica del robot.....	46
1.2.7.4	Análisis estático.....	46
1.2.7.5	Compensación de la gravedad.....	46
1.2.7.6	Dinámica del brazo del robot.....	47
CAPÍTULO 2 .....		48
2. DISEÑO DEL MÓDULO DIDÁCTICO .....		48
2.1 GENERALIDADES.....		48
2.1.1 COMPONENTES DEL MÓDULO DIDÁCTICO .....		48
2.1.1.1 Controlador Lógico Programable (PLC) .....		49
2.1.1.1.1 <i>Características del PLC Allen Bradley MicroLogix 1100</i> .....		50
2.1.1.2 Base .....		53
2.1.1.2.1 <i>Dimensiones de la base</i> .....		54
2.1.1.3 Estructura Modular .....		55
2.1.1.3.1 <i>Selección de la forma de la estructura modular</i> .....		56
2.1.1.3.2 <i>Dimensiones de la estructura modular</i> .....		58
2.1.1.4 Entradas y Salidas del Módulo Didáctico .....		59
2.1.1.4.1 <i>Entradas Digitales de 24 VDC</i> .....		60
2.1.1.4.2 <i>Entradas Analógicas de Voltaje de 0 a 5 VDC</i> .....		61
2.1.1.4.3 <i>Salidas Digitales de 24 VDC</i> .....		61
2.1.1.4.4 <i>Resumen de entradas y salidas</i> .....		62
CAPÍTULO 3 .....		64
3. DISEÑO DEL BRAZO ROBÓTICO MANIPULADOR .....		64
3.1 DISEÑO DE LA APLICACIÓN: BRAZO ROBÓTICO MANIPULADOR... 64		
3.1.1 SELECCIÓN DEL TIPO DE CONFIGURACIÓN DEL BRAZO ROBÓTICO .....		64



3.1.1.1	Perfil de las Configuraciones .....	65
3.1.1.2	Tablas de selección.....	66
3.2	DESCRIPCIÓN DEL BRAZO MANIPULADOR DE CONFIGURACIÓN SCARA .....	69
3.3	PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DEL BRAZO ROBÓTICO DE CONFIGURACIÓN SCARA.....	71
3.3.1	DIMENSIONES GENERALES.....	72
3.3.2	DISEÑO DE ARTICULACIONES .....	73
3.3.2.1	Articulación giratoria A.....	73
3.3.2.2	Articulación de desplazamiento B.....	74
3.3.2.2.1	<i>Perfil de las articulaciones de desplazamiento.....</i>	74
3.3.2.2.2	<i>Tablas de selección.....</i>	76
3.3.2.3	Articulación giratoria C .....	78
3.3.3	DISEÑO DE ESLABONES .....	78
3.3.3.1	Eslabón 2 .....	78
3.3.3.2	Eslabón 3 .....	82
3.3.3.3	Eslabón 4 .....	83
3.3.4	DISEÑO DEL EFECTOR FINAL.....	85
3.3.4.1	Base .....	86
3.3.4.2	Engranés .....	86
3.3.4.3	Pasadores .....	86
3.3.4.4	Eslabones transmisores .....	87
3.3.4.5	Eslabones guías.....	87
3.3.4.6	Dedos .....	87
3.3.5	SELECCIÓN DE ACTUADORES PARA LAS ARTICULACIONES ....	87
3.3.5.1	Perfil de Motores eléctricos .....	88
3.3.5.1.1	<i>Motores de Corriente Continua:.....</i>	88
3.3.5.1.2	<i>Motores Paso a Paso: .....</i>	89

3.3.5.1.3	<i>Servomotores:</i> .....	90
3.3.5.2	Tablas de selección.....	90
3.3.5.2.1	<i>Conclusión:</i> .....	92
3.3.5.3	Selección de los motores paso a paso .....	92
3.3.5.3.1	<i>Perfil de motores paso a paso</i> .....	92
3.3.6	REQUERIMIENTOS DE MOTORES Y SU ALIMENTACIÓN.....	94
3.3.6.1	Fuente utilizada para la alimentación de los motores.....	94
3.3.6.2	Motor paso a paso para la rotación alrededor del eje A (Motor A) .....	94
3.3.6.3	Motor paso a paso para la rotación alrededor del eje C (Motor C).....	94
3.3.6.4	Motor paso a paso para el desplazamiento vertical (Motor B).....	95
3.3.7	SELECCIÓN DE ACTUADORES PARA EL EFECTOR FINAL.....	95
3.3.7.1	Requerimientos del motor .....	95
3.3.8	CINEMÁTICA INVERSA DEL BRAZO ROBÓTICO DE CONFIGURACIÓN SCARA.....	96
3.3.8.1	Resolución del problema Cinemático Inverso por Métodos Geométricos .....	96
CAPÍTULO 4 .....		100
4.	CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO.....	100
4.1	CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA MODULAR .....	100
4.1.1	DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES Y ACTIVIDADES A REALIZAR.....	102
4.1.1.1	Cortar las plancha de tol.....	102
4.1.1.2	Troquelar alojamientos en la rampa .....	103
4.1.1.3	Taladrado de la rampa .....	103
4.1.1.4	Doblar las placas .....	103
4.1.1.5	Soldar los elementos .....	103
4.1.1.6	Retirar exceso de soldadura.....	103
4.1.1.7	Pintar la Estructura Soldada.....	104

4.1.1.8	Secado de la Estructura Previamente Pintada .....	104
4.1.1.9	Montaje de la estructura modular a la base.....	104
4.1.1.10	Colocación de elementos electrónicos en la placa rampa.....	104
4.1.2	CONEXIONADO DEL MÓDULO DIDÁCTICO .....	104
4.2	CONSTRUCCIÓN DEL BRAZO ROBÓTICO.....	107
4.2.1	DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES Y ACTIVIDADES REALIZADAS.....	113
4.2.1.1	Base .....	113
4.2.1.2	Acople A .....	113
4.2.1.3	Disco Base .....	114
4.2.1.4	Base del motor B.....	115
4.2.1.5	Acople B .....	116
4.2.1.6	Base inferior de guías.....	116
4.2.1.7	Base superior de guías y husillo.....	117
4.2.1.8	Guías.....	118
4.2.1.9	Husillo.....	118
4.2.1.10	Tuerca acople.....	119
4.2.1.11	Brazo 1 .....	120
4.2.1.12	Base motor C.....	120
4.2.1.13	Brazo 2 .....	121
4.2.1.14	Base pinza.....	122
4.2.1.15	Eslabones.....	122
4.2.1.16	Palanca de rueda C.....	123
4.2.1.17	Rueda C .....	123
4.2.2	CONTROLADOR DE LOS ACTUADORES.....	123
4.2.2.1	Partes del controlador .....	124
4.2.2.1.1	PIC 16F877A/P.....	125

4.2.2.1.2	<i>Alimentación de los actuadores</i> .....	127
4.2.2.1.3	<i>Configuración de la señal PLC - PIC</i> .....	127
4.2.2.1.4	<i>Configuración de las bobinas de los actuadores</i> .....	129
4.2.2.2	Elementos del controlador.....	129
4.2.3	CONEXIONADO DEL BRAZO ROBÓTICO .....	130
CAPÍTULO 5 .....		132
5.	PROGRAMACIÓN DEL PLC PARA LA APLICACIÓN.....	132
5.1	LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN.....	132
5.1.1	INTRODUCCIÓN AL SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN RS LOGIX 500 .....	132
5.1.1.1	Principales características del software:.....	132
5.1.1.2	La interfaz gráfica del RS Logix 500.....	133
5.1.1.2.1	<i>Selección del procesador</i> .....	134
5.1.1.2.2	<i>Configuración de las entradas/salidas</i> .....	135
5.1.1.2.3	<i>Herramientas del RS Logix 500</i> .....	136
5.1.1.2.4	<i>Ventana Ladder de Trabajo</i> .....	137
5.1.1.2.5	<i>Árbol de Proyecto</i> .....	138
5.1.1.2.6	<i>Barra de Instrucciones SLC 500</i> .....	139
5.1.1.2.7	<i>Barra del Estado del procesador</i> .....	139
5.2	PROGRAMACIÓN DEL PLC PARA LA APLICACIÓN.....	140
5.2.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	140
5.2.2	PROGRAMACIÓN DE LA APLICACIÓN:.....	147
5.2.2.1	LÍNEAS DE LA PROGRAMACIÓN.....	148
CAPÍTULO 6 .....		151
6.	PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	151
6.1	PRUEBAS REALIZADAS.....	151
6.1.1	FUNCIONAMIENTO DE LOS LEDS Y PULSADORES DEL MÓDULO DIDÁCTICO.....	151
6.1.2	VERIFICACIÓN DEL CONEXIONADO DE LOS PULSADORES, LEDS, POTENCIÓMETROS Y LEDS AL PLC .....	151
6.1.3	VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS ACTUADORES	151

6.1.4	VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL CONTROLADOR DE LOS ACTUADORES .....	153
6.1.5	VERIFICACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN .....	153
6.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	154
6.3	PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO .....	154
6.4	PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN DEL BRAZO ROBÓTICO .....	155
6.5	MEDIDAS DE SEGURIDAD.....	155
CAPÍTULO 7 .....		157
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	157
7.1	CONCLUSIONES.....	157
7.2	RECOMENDACIONES .....	160
CAPÍTULO 8 .....		161
8.	BIBLIOGRAFÍA .....	161

## **LISTA DE ANEXOS**

**ANEXO A: MANUALES**

**ANEXO B: CATÁLOGOS**

**ANEXO C: FOTOS DEL MÓDULO Y APLICACIÓN**

**ANEXO D: LINEAS DE PROGRAMACIÓN**

**ANEXO E: PLANOS**

## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1.1 Automatas Históricos.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 2.1 Características de las entradas y salidas para el Micrologix 1100 1763 - L16BBB .....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 2.2 Dimensiones de la base .....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 2.3 Alternativas y criterios de selección para la forma de la estructura modular .....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 2.4 4 Asignación de valores y ponderación para la selección de la forma de la estructura modular ....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 2.5 Asignación de valores y ponderación para la selección.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 2.6 Normalización de la tabla 2.5.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 2.7 Resultados de la multiplicación de matrices.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 2.8 Dimensiones de la estructura modular .....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 2.9 Resumen de la distribución de los materiales según las Entradas y Salidas del PLC .....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 3.1 Alternativas y criterios de selección.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 3.2 Asignación de valores y ponderación para la selección de la aplicación .....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 3.3 Asignación de valores y ponderación para la selección.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 3.4 Normalización de la tabla 3.8.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 3.5 Resultados de la multiplicación de matrices.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 3.6 Dimensiones Generales.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 3.7 Alternativas y criterios de selección.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 3.8 Asignación de valores y ponderación para la selección de la aplicación .....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 3.9 Asignación de valores y ponderación para la selección.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 3.10 Normalización de la tabla 3.14.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 3.11 Resultados de la multiplicación de matrices.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 3.12 Alternativas y criterios de selección.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 3.13 Asignación de valores y ponderación para la selección de la aplicación .....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 3.14 Asignación de valores y ponderación para la selección.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 3.15 Normalización de la tabla 3.14.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 3.16 Resultados de la multiplicación de matrices.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 3.17 Longitudes de los eslabones del brazo robótico .....</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 4.1 Descomposición de la estructura modular .....</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 4.2 Determinación de los materiales e insumos requeridos .....</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 4.3 Descomposición del brazo robótico .....</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 4.4 Determinación de los materiales e insumos requeridos .....</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 5.1 Funciones de los fines de carrera.....</i>	<i>143</i>
<i>Tabla 5.2 Movimiento de los actuadores Posición A .....</i>	<i>145</i>
<i>Tabla 5.3 Movimiento de los actuadores posición B .....</i>	<i>146</i>

<i>Tabla 6.1 Voltaje necesario para los actuadores.....</i>	<i>152</i>
<i>Tabla 6.2 Orden de conexión de los cables de los actuadores paso a paso.....</i>	<i>152</i>



## LISTA DE GRÁFICOS

<i>Figura 1.1 Estructura básica de un PLC</i> .....	4
<i>Figura 1.2 Estructura interna básica de un PLC</i> .....	6
<i>Figura 1.3 Esquema de bloques de un PLC</i> .....	7
<i>Figura 1.4 Ejemplo de un programa escrito en lenguaje AWL</i> .....	14
<i>Figura 1.5 Ejemplo de un programa escrito en lenguaje KOP</i> .....	15
<i>Figura 1.6 Modelo de software</i> .....	19
<i>Figura 1.7 Gráfico Funcional Secuencial</i> .....	21
<i>Figura 1.8 Lenguajes de programación normalizados</i> .....	22
<i>Figura 1.9 Componentes básicos de un sistema robot manipulador</i> .....	30
<i>Figura 0.10 Tipos de articulaciones</i> .....	32
<i>Figura 1.11 Pérdida de grados de libertad en estructura con dos eslabones: a) dos grados de libertad y b) un grado de libertad</i> .....	33
<i>Figura 1.12 Configuraciones básicas de robots manipuladores</i> .....	35
<i>Figura 1.13 Volúmenes de trabajo para diversas configuraciones básicas</i> .....	38
<i>Figura 2.1 Figura del módulo didáctico</i> .....	49
<i>Figura 2.2 PLC Micrologix 1100 de marca Allen Bradley, modelo 1763-L16BBB</i> .....	50
<i>Figura 2.3 Entradas y salidas para el MicroLogix 1100 1763 - L16BBB</i> .....	51
<i>Figura 2.4 Salidas digitales tipo relé Micrologix 1762-OW8 Relay Output Module</i> .....	53
<i>Figura 2.5 Esquema de la base del módulo didáctico</i> .....	53
<i>Figura 2.6 Dimensiones de la base</i> .....	55
<i>Figura 2.7 Bosquejo general de la estructura modular tipo rampa</i> .....	58
<i>Figura 2.8 Dimensiones de la estructura modular</i> .....	59
<i>Figura 2.9 Distribución física de los elementos de las entradas digitales</i> .....	60
<i>Figura 2.10 Distribución física de los elementos de las entradas analógicas</i> .....	61
<i>Figura 2.11 Distribución física de los elementos de las salidas digitales</i> .....	62
<i>Figura 2.12 Distribución física de los elementos de las entradas y salidas del módulo didáctico</i> .....	63
<i>Figura 3.1 Esquema de las articulaciones de la Configuración Scara</i> .....	69
<i>Figura 3.2 Bosquejo de la aplicación</i> .....	71
<i>Figura 3.3 Esquema de las dimensiones generales del brazo robótico</i> .....	72
<i>Figura 3.4 Sistema piñon cremallera</i> .....	75
<i>Figura 3.5 Sistema Tuerca husillo</i> .....	76
<i>Figura 3.6 Eslabón 2</i> .....	79
<i>Figura 3.7 Eslabón 3</i> .....	82

<i>Figura 3.8</i> Eslabón 4 .....	84
<i>Figura 3.9</i> Bosquejo de la pinza .....	85
<i>Figura 3.10</i> Motores de corriente continua .....	89
<i>Figura 3.11</i> Motores paso a paso .....	89
<i>Figura 3.12</i> Servomotor .....	90
<i>Figura 3.13</i> Motores unipolares .....	92
<i>Figura 3.14</i> Motores bipolares .....	93
<i>Figura 3.15</i> Esquema del brazo robótico .....	96
<i>Figura 3.16</i> Solución codo abajo.....	97
<i>Figura 3.17</i> Solución codo arriba .....	97
<i>Figura 4.1</i> Conexionado del módulo .....	106
<i>Figura 4.3</i> Base del brazo robótico .....	113
<i>Figura 4.4</i> Acople A.....	114
<i>Figura 4.5</i> Disco base.....	115
<i>Figura 4.6</i> Base del motor B .....	115
<i>Figura 4.7</i> Acople B.....	116
<i>Figura 4.8</i> Base inferior de guías .....	117
<i>Figura 4.9</i> Base superior de guías.....	118
<i>Figura 4.10</i> Guías.....	118
<i>Figura 4.11</i> Placa tuerca.....	119
<i>Figura 4.12</i> Brazo 1.....	120
<i>Figura 4.13</i> Base motor C .....	121
<i>Figura 4.14</i> Brazo 2.....	121
<i>Figura 4.15</i> Eslabones de l efector final.....	122
<i>Figura 4.16</i> Controlador .....	124
<i>Figura 4.17</i> PIC.....	125
<i>Figura 4.18</i> Configuración para la alimentación del PIC.....	125
<i>Figura 4.19</i> Reset .....	126
<i>Figura 4.20</i> Conexión del oscilador.....	126
<i>Figura 4.21</i> Configuración de alimentación para tres motores .....	127
<i>Figura 4.22</i> Configuración alimentación servomotor .....	127
<i>Figura 4.23</i> Llegada de señales desde el PLC.....	128
<i>Figura 4.24</i> Segunda llegada de señales desde el PLC.....	128
<i>Figura 4.25</i> Configuración de control de la pinza .....	128
<i>Figura 4.26</i> configuración bobinas de los actuadores .....	129
<i>Figura 4.27</i> Configuración bobina servomotor .....	129
<i>Figura 4.28</i> Conexionado del Brazo Robótico.....	131

<i>Figura 5.1 Ventana de bienvenida RSLogix 500.....</i>	<i>134</i>
<i>Figura 5.2 Selección del tipo de procesador a utilizar .....</i>	<i>134</i>
<i>Figura 5.3 Configuración de las entradas y salidas .....</i>	<i>135</i>
<i>Figura 5.4 Configuración de los módulos de expansión .....</i>	<i>136</i>
<i>Figura 5.5 Ventana principal del RS Logix 500 .....</i>	<i>136</i>
<i>Figura 5.6 Ventana ladder .....</i>	<i>138</i>
<i>Figura 5.7 Árbol de proyecto .....</i>	<i>138</i>
<i>Figura 5.8 Barra de instrucciones SLC500.....</i>	<i>139</i>
<i>Figura 5.9 Barra de estado del procesador.....</i>	<i>139</i>
<i>Figura 5.10 Sistema de coordenadas del Módulo didáctico .....</i>	<i>140</i>
<i>Figura 5.11 Elemento a posicionar .....</i>	<i>141</i>
<i>Figura 5.12 Home .....</i>	<i>142</i>
<i>Figura 5.13 Home .....</i>	<i>142</i>
<i>Figura 5.14 Posición A .....</i>	<i>144</i>
<i>Figura 5.15 Posición A .....</i>	<i>144</i>
<i>Figura 5.16 Posición B .....</i>	<i>145</i>
<i>Figura 5.17 Posición B .....</i>	<i>146</i>

## RESUMEN

En el presente proyecto se muestra el diseño y construcción de un módulo didáctico con Controladores Programables, el cual consta principalmente de un PLC Allen Bradley MicroLogix 1100 con 10 entradas digitales de 24 VDC, 2 entradas analógicas de 0 a 10 VDC y 6 salidas digitales de 24 VDC y un módulo de expansión con 8 salidas digitales tipo relé.

Como parte del módulo didáctico se presenta como aplicación un brazo robótico manipulador de configuración "Scara", de carácter didáctico y que tiene como función la manipulación de objetos a nivel demostrativo, en la cual los estudiantes programarán diferentes posiciones del robot adiestrándose así con el entorno de programación del PLC.

Inicialmente se describe el desarrollo de los Controladores Lógicos Programables, su funcionamiento, su estructura, partes, la norma IEC 1131, aplicaciones, ventajas y desventajas. Se muestra también los fundamentos de la robótica conociendo las configuraciones básicas existentes, sus características hasta llegar al análisis de su movimiento.

También se presenta el diseño del módulo didáctico y del brazo robótico partiendo de la selección de alternativas, pasando por el desarrollo de bosquejos hasta llegar al diseño final. Así mismo se muestra la construcción y finalmente las pruebas.

En cuanto a la parte electrónica se presenta el conexionado del módulo didáctico y del brazo robótico, dentro de este último el controlador de los actuadores utilizados en la aplicación.

## PRESENTACIÓN

El presente proyecto muestra un módulo didáctico con Controladores Programables, con el que se pretende lograr una mayor comprensión del campo de la automatización industrial con aplicaciones palpables para los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Mecánica.

Además se desea que los alumnos interactúen con el módulo y de esta forma incentivar la investigación y aplicación del control automático dentro del ámbito académico contribuyendo así a la formación integral de un Ingeniero Mecánico moderno.

La evolución de la industria Ecuatoriana nos compromete a los Ingenieros Mecánicos a incursionar en nuevos ámbitos que hace poco tiempo no eran indispensables dentro de nuestras funciones, en la actualidad se presentan procesos mecánicos altamente automatizados y es nuestro deber el entenderlos y mejorarlos con el pasar de los días



# CAPÍTULO 1

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 INTRODUCCIÓN A LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL<sup>1</sup>

En la industria actual, la mayor parte de los procesos de fabricación son automatizados. En los sistemas automatizados la decisión, la inteligencia que realiza las acciones de fabricación no las realiza el ser humano. La inteligencia del proceso está contenida en la unidad de control o mando del sistema de fabricación.

La realización tecnológica de esa inteligencia ha adoptado diferentes formas o diferentes formas o implementaciones a lo largo de la historia industrial. Desde automatismos puramente mecánicos, hasta los autómatas programables actuales.

El termino Automatización viene de la palabra griega “auto” y significa la ejecución por medios propios de un proceso, en el que materia, información o energía es cambiado o transformado. Lamentablemente aún no hay una definición estandarizada para automatización, que sea ampliamente reconocida por las sociedades de ingenieros o institutos normativos.

La automatización de procesos mecánicos se la realiza mediante dispositivos que permiten a las máquinas o a las instalaciones funcionar automáticamente un automatismo bien concebido:

- Simplifica considerablemente del hombre a quien libera de la necesidad de estar permanentemente situado frente a la máquina pudiendo dedicarse a otras actividades mas nobles.

---

<sup>1</sup> PIEDRAFITA; Ingeniería de la Automatización Industrial, Primera Edición, Alfaomega, México 2001, Pág 1, 2

- Elimina las tareas complejas, peligrosas, pesadas o indeseables haciéndolas ejecutar por la máquina
- Facilita los cambios en los procesos de fabricación permitiendo pasar de una cantidad o de un tipo de producción a otro
- Mejora la calidad de los productos al supervisar la propia máquina los criterios de fabricación y las tolerancias que serán respetadas a lo largo del tiempo
- Incrementa la producción y la productividad.
- Permite economizar material y energía
- Aumenta la seguridad del personal
- Controla y protege las instalaciones y las máquinas

Se pueden diferenciar tres fases:

- La primera fase llega hasta el comienzo del siglo pasado, en la que el componente central es el mecánico.
- Luego en la segunda fase, hubo un desarrollo muy grande y acelerado de la automatización gracias a la introducción de los componentes eléctricos y electrónicos.
- En la actualidad la automatización se encuentra ya en la tercera fase gracias a la puesta en funcionamiento de la computación y la informática

### **1.1.1 HISTORIA DE LOS CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES<sup>2</sup>**

Los primeros controladores programables aparecen en la década de los sesenta y fueron introducidos en sistemas de producción industrial para sustituir paneles de control en base a relés. Cuando nuevos requisitos de control se tornaban necesarios no era económico modificar la lógica de estos paneles frecuentemente, ya que nuevos paneles debían ser proyectados o adquiridos. Los controladores lógicos programables en cambio, podían ser reprogramados, sin

---

<sup>2</sup> MOLINA; Seminario de Controladores Lógicos Programables, Primera Edición, EPN, Ecuador, 1997, Pág 1



modificaciones en el hardware, siendo el mismo equipamiento reutilizado. De esta manera, los PLCs, pasaron a ser usados inicialmente en la industria automovilística; y a partir de ahí se expandió su uso, a otros segmentos industriales.

Así se dieron a conocer con lo cual aparece también la demanda por mejores funciones tales como: mayor capacidad de memoria, mayor número de entradas y salidas y mayor velocidad de procesamiento eran requeridas. Una mayoría de fabricantes respondieron positivamente a estos requisitos, introduciendo nuevos modelos de PLCs, que cubrían aplicaciones de pequeño (50 – 150 relés), medio (150 – 500 relés) y gran (500 – 3000 relés) número de puntos. Generalmente, estos nuevos modelos no eran compatibles unos con otros. Los programas de uno no funcionaban en otro, los módulos de entradas y salidas (E/S) no eran intercambiables, excepto adicionando adaptadores, que aumentaban el costo y los problemas de mantenimiento.

Con el advenimiento del microprocesador, de las facilidades para desarrollar software y una mayor notoriedad del mercado, se da un gran impulso a los PLCs.

En la década de los ochentas, aparecen los microprocesadores y memorias más modernos y compactos, permitiendo una reducción de costos y tamaño, con aumento de la confiabilidad.

En la actualidad los PLCs son más flexibles y cómodos de manejar que sus anteriores generaciones, tal que su uso ha tenido mayor acogida de la que se imaginó. El avance tecnológico en el campo de la microelectrónica ha permitido desarrollar los PLCs en forma más compacta y con precios un tanto más comparativos respecto a otras formas de control tradicionales.

Hoy en día, los PLCs no sólo controlan la lógica de funcionamiento de máquinas, plantas y procesos industriales, sino que también pueden realizar operaciones aritméticas, manejar señales analógicas para realizar estrategias de control, tales como controladores proporcional integral derivativo (PID).

### 1.1.2 DEFINICIÓN<sup>3</sup>

En 1978, la Asociación de Fabricantes de Equipos Eléctricos de los Estados Unidos (NEMA), relevó una estandarización para los controladores programables, después de 4 años de trabajo un comité formado por representantes de los constructores de controladores programables. NEMA STANDARD ICS3-1978, define un controlador programable como:

“Un aparato electrónico de operación digital que usa una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones para funciones específicas tales como: secuencias lógicas, temporización, conteo, aritméticas; para controlar, mediante módulos de entradas y salidas analógicas o digitales, varios tipos de máquinas o procesos”.

Como se observa en la figura 1.1 se muestra el esquema de un PLC, en el cual el programa de control es almacenado en la memoria del PLC, que controla mediante módulos de entrada/salida varios tipos de procesos.

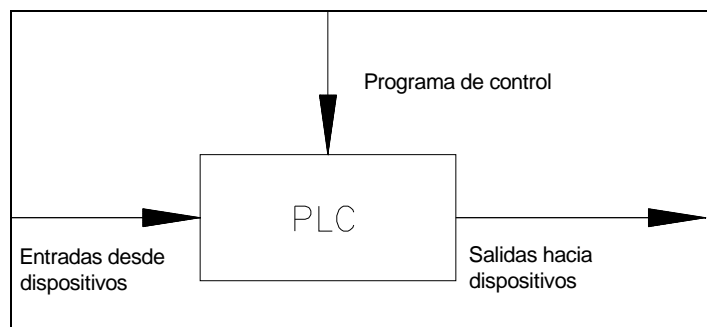


Figura 1.1 Estructura básica de un PLC

FUENTE: Fuente: BOLTON; Mecatrónica, Alfaomega, Tercera edición, México, 2006,

Pág. 444

<sup>3</sup> PIEDRAFITA; Ingeniería de la Automatización Industrial, Primera Edición, Alfaomega, México 2001, Pág 1

Otras definiciones de uso común:

- Un controlador lógico programable es un dispositivo electrónico digital que usa una memoria programable para guardar instrucciones y llevar a cabo funciones lógicas, de secuencia, de sincronización, de conteo y aritméticas para controlar máquinas y procesos y que se ha diseñado específicamente para programarse con facilidad.
- Un aparato electrónico de operación digital que usa una memoria programable para el almacenamiento interno de las instrucciones para funciones específicas tales como: secuencias lógicas, temporización, conteo, aritméticas; para controlar, mediante módulos de entrada/salida analógicos o digitales, varios tipos de máquinas o procesos.
- Es un computador industrial que acepta entradas de interruptores y sensores, evalúa estos en concordancia con el programa almacenado en su memoria y genera salidas para el control de máquinas o procesos.

### **1.1.3 ESTRUCTURA BÁSICA<sup>4</sup>**

En la fig. 1.2 muestra la estructura interna básica de un PLC, que en esencia, consiste en una unidad central de procesamiento CPU, memoria y circuitos de entradas y salidas.

---

<sup>4</sup> BOLTON; Mecatrónica, Alfaomega, Tercera edición, México, 2006, Pág. 445

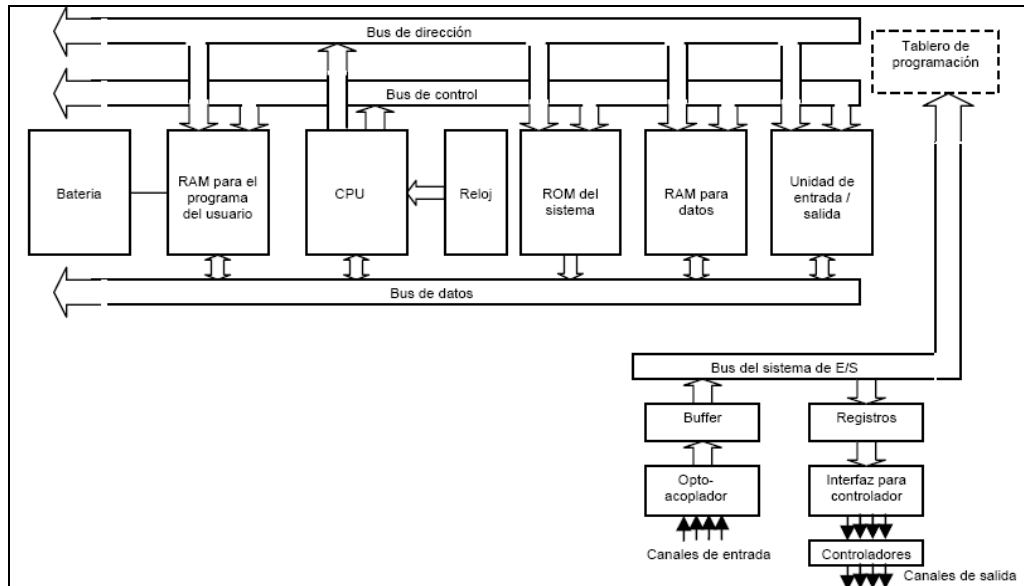


Figura 1.2 Estructura interna básica de un PLC

Fuente: BOLTON; Mecatrónica, Alfaomega, Tercera edición, México, 2006, Pág. 445

La estructura interna básica de un PLC en esencia consta de una unidad central de procesamiento (CPU), memoria y circuitos de entradas y salidas. La CPU controla y procesa todas las operaciones dentro del PLC.

Cuenta con un temporizador cuya frecuencia típica es entre 1 y 8 MHz. Esta frecuencia determina la velocidad de operación del PLC y es la fuente de temporización y sincronización de todos los elementos del sistema de bus se lleva información y datos desde y hacia la memoria y las unidades de entrada/salida.

Los elementos de la memoria son: una ROM para guardar en forma permanente la información del sistema operativo y datos corregidos; una RAM para el programa del usuario y memoria buffer temporal para los canales de entrada/salida.

En la figura 1.3 se presenta un esquema de bloques que muestra los componentes básicos de un controlador programable:

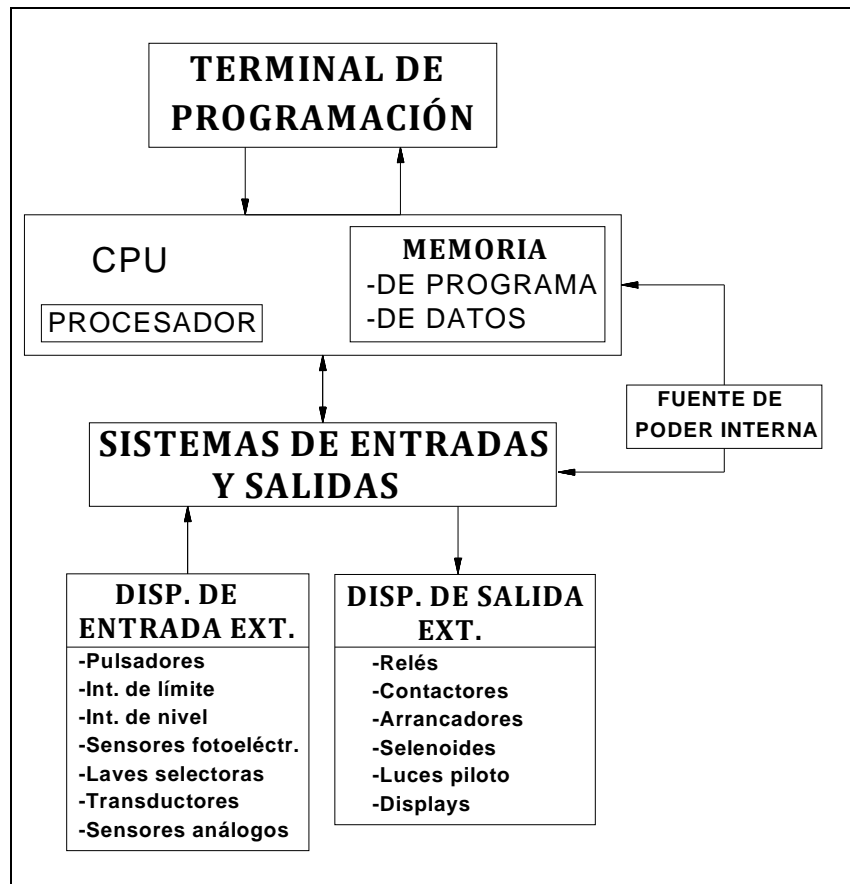


Figura 1.3 Esquema de bloques de un PLC

Fuente: MOLINA; Seminario de Controladores Lógicos Programables, Primera Edición, EPN, Ecuador, 1997, Pág 2

Todos los PLCs están constituidos por ciertas partes básicas y características funcionalmente similares. Un análisis de la arquitectura básica de los PLCs, muestra 4 componentes básicos:

- La unidad central de proceso CPU
- Fuente de alimentación
- Lenguaje de programación
- Módulos de entradas y salidas

El procesador y la memoria son elementos separados; pero usualmente son montados en el mismo encapsulado.

### **1.1.3.1 La Unidad Central de Procesamiento (CPU)<sup>5</sup>**

La Unidad Central de Procesamiento (CPU) incluye: el procesador y el sistema de memoria, es en realidad el “cerebro” del controlador programable. Aquí son tomadas todas las decisiones para controlar una máquina o proceso

#### *1.1.3.1.1 El Procesador*

La función principal del procesador es el control y gobierno de las actividades del PLC. El procesador realiza esta función por interpretación y ejecución del programa del sistema.

En operación el procesador examina continuamente el estado de todos los circuitos de entrada / salida y del programa contenido en la memoria; actualizando el nuevo estado de las salidas.

El proceso evalúa el programa en forma secuencial, paso por paso, ordena y repite la evaluación cíclicamente. El tiempo en que el procesador completa un ciclo de operación es llamado tiempo de exploración, “Scan time”. Durante un “scan”, todas las entradas son leídas, la lógica es resuelta y las salidas son generadas. Los “Scan Time” típicos varían para cada modelo en particular, y de acuerdo al tipo de procesador, tamaño de memoria y el número de entradas y salidas. Los Típicos “Scan Time” para la memoria, varían entre 2.5 y 20 ms por KWords.

Basado en cada inspección, el procesador puede iniciar una o más acciones de control, dependiendo de las condiciones de las entradas y las salidas. Las inspecciones tienen por objeto establecer si las entradas y salidas han actuado.

---

<sup>5</sup> MOLINA; Seminario de Controladores Lógicos Programables, Primera Edición, EPN, Ecuador, 1997, Pág. 2, 3

Estas acciones establecen un lazo de control entre las señales de entrada tales como: interruptores, finales de carrera, pulsadores, sensores y las salidas como: relés, transistores, triacs, etc.

Típicamente la exploración del proceso puede dividirse en dos partes:

- Exploración de entradas y salidas
- Exploración del programa en memoria

La exploración de entradas y salidas implica la lectura de todas las entradas y la actualización de todas las salidas. La exploración del programa en memoria implica la ejecución, paso a paso, de todas las instrucciones dadas en el programa del usuario y en el orden en que éstas han sido ingresadas.

#### *1.1.3.1.2 La Memoria*

El sistema de memoria de un controlador lógico programable es básicamente un arreglo de bits accesibles aleatoriamente, cada uno de los cuales es identificado por una única dirección. El módulo de memoria contiene el programa del usuario y la tabla de datos de cada una de las instrucciones ingresadas en dicho programa.

Cada palabra de memoria usada por el programa de control debe contener la dirección y el código de operación.

La cantidad de memoria requerida para una aplicación es una función de la longitud del programa y del número de entradas y salidas involucradas. En forma aproximada, la cantidad de memoria requerida se obtiene, multiplicando el número de instrucciones por el número de palabras utilizadas por cada instrucción.

Una palabra puede tener diferente significado para diferentes procesadores. Los PLCs antiguos usaban palabras de 8 bits, en cambio las máquinas nuevas usan

16 bits y algunas 24 o 32 bits. Los bits son usados para determinar el tamaño de la memoria. Para referencia se aplican los siguientes términos:

8 bits = 1 byte

16 bits = 1 word (2 bytes)

El tamaño de la memoria es usualmente especificado en bytes o words; y puede variar en tamaño desde 256 bytes hasta 128 KWords.

Los tipos de memoria encontrados actualmente en el PLCs pueden ser:

- Memoria sólo de lectura (Read Only Memory (ROM)): ROM, PROM, EPROM, EEPROM.
- Memoria de lectura-escritura (Read Write Memory (R/W)): CMOS, RAM, CORE.

Frecuentemente, la memoria más usada en los PLCs es una “complementary metal oxide semiconductor (CMOS), una CMOS – RAM (random acces memory). Esta es una memoria basada en un circuito integrado que permite grabar el programa y modificarlo siempre que sea necesario. El acceso es aleatorio, es decir en cualquier orden y número de veces que se requiera, para acceder no se necesita una secuencia pre establecida. La memoria RAM tiene la desventaja de que todo su contenido se pierde o se borra si falta la fuente de energía. Sin embargo, la memoria puede ser protegida de pérdidas usando un condensador o batería de respaldo, pudiendo ser esta última, tipo alcalina, o de litio para caso de largos periodos de desenergización del PLC.

La memoria tipo “core” es otra del tipo de lectura – escritura pero a diferencia del tipo de memoria de semiconductor, el programa es almacenado en un dominio magnético de la memoria y permanece hasta que la información sea reprogramada.



Los datos son no volátiles, pueden ser cambiados y no requiere batería de respaldo. Está ensamblada mecánicamente y posee mayor volumen, siendo su precio mayor que una memoria RAM o PROM.

La memoria PROM es otra muy utilizada, ésta retiene automáticamente la información durante una falta de energía sin necesidad de una batería de respaldo. Un inconveniente de esta memoria es que la información almacenada no puede ser borrada fácilmente.

La memoria EPROM permite que los datos puedan ser cambiados con relativa facilidad. La memoria EPROM puede ser reprogramada y guardar su información por largos periodos sin necesidad de batería de respaldo. El contenido de este tipo de memoria puede ser borrado por exposición a una fuente intensa de luz ultravioleta.

La memoria EEPROM es otra memoria no volátil muy conocida, esta puede ser borrada eléctricamente y reprogramarse con facilidad.

### **1.1.3.2 La fuente de Alimentación<sup>6</sup>**

La fuente de alimentación es la que provee la energía al CPU y al sistema de entrada/salida. La selección y capacidad de la fuente está directamente relacionada con la configuración del sistema PLC y éste a su vez con su aplicación. En los sistemas modulares que permiten módulos de expansión, se requiere una fuente por cada módulo.

o

---

<sup>6</sup> MOLINA; Seminario de Controladores Lógicos Programables, Primera Edición, EPN, Ecuador, 1997, Pág. 6

### **1.1.3.3 Lenguaje de Programación<sup>7</sup>**

El lenguaje de programación es el medio de entendimiento entre el usuario y el sistema de automatización.

El usuario formula su tarea de mando utilizando el lenguaje de programación propio de cada PLC, "programa"; los aparatos de programación le asisten interactivamente durante esta programación. Estos aparatos traducen el programa entrado por el usuario a un código-máquina, interpretable por los procesadores de los autómatas.

#### *1.1.3.3.1 Lenguajes de Programación*

Existen varios lenguajes para la programación de los PLC, de los cuales los más importantes son: KOP (esquema de contactos) y AWL (lista de instrucciones).

a) AWL: Es un lenguaje de programación que comprende un juego de operaciones nemotécnicas que representan las funciones de la CPU. Este lenguaje contiene una lista de instrucciones en el que cada línea del programa tiene una operación que utiliza una abreviatura nemotécnica para representar una función de la CPU. Las operaciones se colocan en secuencia lógica de acuerdo a los requerimientos del programa, La fig. 1.4 muestra un ejemplo de un programa escrito en lenguaje A WL.

La programación con este tipo de lenguaje tiene generalmente las siguientes reglas:

---

<sup>7</sup> AGUINAGA; Autómatas Programables, Primera Edición, EPN, Ecuador, 2006, Pág. 19 - 22

- Cada sección de programación se divide en segmentos, cuya palabra clave es NETWORK.
- Los comentarios se escriben luego de dos barras inclinadas (//). Cada línea adicional de comentario debe comenzar así mismo con dos barras inclinadas. Finalice cada línea pulsando Enter.
- La primera columna corresponde a la operación. La operación es una sentencia lógica.
- La segunda columna, que se separa de la anterior por un espacio en blanco, corresponde al operando. El operando es la dirección del dato sobre el que actúa la operación.  
No introduzca espacios entre el área de memoria y su dirección.
- Los operandos se separan mediante comas, un espacio en blanco o un tabulador.
- Los nombres simbólicos deben ir entre comillas.

Control de un motor Paso a Paso		
<b>Network 1</b> Título de segmento		
Encendido de la memoria M0.0		
LD	I0.0	
S	M0.0	1
<b>Network 2</b>		
Máster para desactivar las salidas y memorias		
LDN	I0.1	
R	Q0.0	10
R	M0.0	10
R	M1.0	10
<b>Network 3</b>		
LD	M0.0	
S	Q0.0	1
S	Q0.3	2
S	Q0.7	1
<b>Network 4</b>		
LD	T37	
R	M0.0	1
S	M0.1	1
<b>Network 5</b>		
LD	M0.1	
R	Q0.3	1
R	Q0.0	1

Figura 1.4 Ejemplo de un programa escrito en lenguaje AWL

b) KOP: es un lenguaje de programación gráfico con componentes similares a los elementos de los esquemas de circuitos, los cuales conforman un segmento de operaciones lógicas. Los diagramas que se establecen son similares a gráficos en escalera (LADDER).

Los elementos básicos de un lenguaje KOP son:

- Contactos: que representan interruptores por los que circula la corriente cuando está cerrado. Esto implica que hay dos tipos de contactos: cerrados y abiertos.
- Bobinas: que representan a relés que se excitan cuando se aplica voltaje.

- Cuadros: que representan una función que se ejecuta cuando la corriente circula por él. Un cuadro puede representar, por ejemplo, un contador, un temporizador, etc.
- Segmentos: que constituyen un circuito completo. La corriente circula desde la barra de alimentación ubicada a la izquierda pasando por los contactos cerrados para excitar las bobinas o cuadros.

La figura 1.5 muestra un ejemplo de un programa en lenguaje KOP.

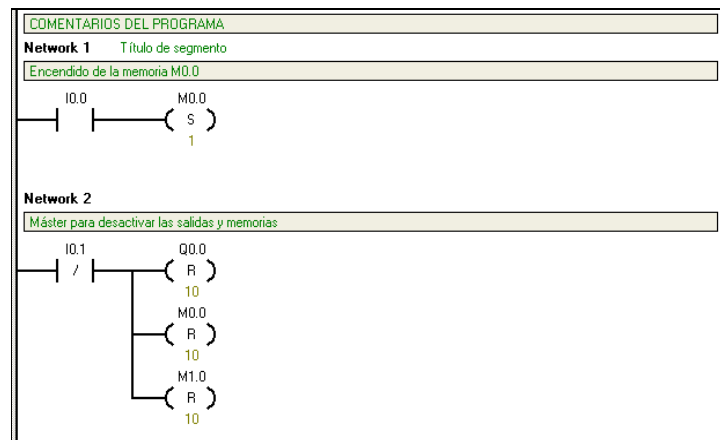


Figura 1.5 Ejemplo de un programa escrito en lenguaje KOP

Debe señalarse que un mismo programa puede ser escrito sea en lenguaje KOP o en AWL.

Una vez escrito el programa el software permite compilarlo para revisar la sintaxis lógica, de tal manera que si existen errores éstos tienen los mensajes respectivos que permiten corregirlos.

El software instalado en el ordenador permite cambiar automáticamente el programa escrito en KOP o AWL, al elegir el comando respectivo y realizar los cambios de presentación requeridos, como por ejemplo: operaciones y direcciones escritos completamente en mayúsculas, tabuladores entre las operaciones y las direcciones, entre otros.

Otra operación importante es la creación de un bloque de datos con el objeto de

predefinir e inicializar las variables utilizadas en el programa. Al efectuar esta labor se puede especificar la columna de dirección, el valor de los datos y los comentarios respectivos.

#### **1.1.3.4 Módulos de entradas y salidas<sup>8</sup>**

La sección de entradas y salidas (E/S) de un controlador lógico programable se encarga del trabajo de intercomunicación entre los dispositivos industriales y los circuitos electrónicos de baja potencia que almacenan y ejecutan el programa de control también conocido como programa de usuario.

Todos los módulos de entrada de los PLC modernos usan convertidores ópticos de señal para llevar a cabo el acoplamiento eléctricamente aislado entre los circuitos de entrada y los elementos electrónicos del procesador.

Cada dispositivo de conmutación de entrada está conectado a una terminal particular de entrada de la regleta de conexiones de un módulo

#### **1.1.4 NORMA IEC 1131**

La norma IEC 1131 es el primer paso en la estandarización de los autómatas programables y sus periféricos, incluyendo los lenguajes de programación que se deben utilizar. Esta norma se divide en cinco partes:

- Parte 1: Vista general
- Parte 2: Hardware
- Parte 3: Lenguaje de programación

---

<sup>8</sup> AGUINAGA; Autómatas Programables, Primera Edición, EPN, Ecuador, 2006, Pág. 9 - 11

- Parte 4: Guías de usuario
- Parte 5: Comunicación

La norma IEC 1131-3 pretende ser la base real para estandarizar los lenguajes de programación en la automatización industrial, haciendo el trabajo independiente de cualquier compañía.

La norma IEC 1131-3 es el resultado del gran esfuerzo realizado por siete multinacionales a los que se añaden muchos años de experiencia en el campo de la automatización industrial que incluye 200 páginas de texto aproximadamente, con más de 60 tablas.

Ésta norma se divide en dos partes:

- Elementos comunes
- Lenguajes de programación

#### **1.1.4.1 Elementos comunes**

Entre los elementos comunes que tenemos en la primera parte de la norma tenemos:

- *Tipos de datos*
- *Variables*
- *Configuración, recursos y tareas*
- *Unidades de Organización de Programa:*
- *Gráfico Funcional Secuencial (SFC):*

##### **a) *Tipos de datos***

Los tipos comunes de datos son: variables booleanas, número entero, número real, byte y palabra, pero también fechas, horas del día y cadenas (strings).

**b) Variables**

Las variables permiten identificar los objetos de datos cuyos contenidos pueden cambiar, por ejemplo, los datos asociados a entradas, salidas o a la memoria del autómata programable.

**c) Configuración, recursos y tareas**

El elemento software requerido para solucionar un problema de control particular puede ser formulado como una configuración. Una configuración es específica para un tipo de sistema de control, incluyendo las características del hardware: procesadores, direccionamiento de la memoria para los canales de I/O y otras capacidades del sistema.

Dentro de una configuración, se pueden definir uno o más *recursos*. Se puede entender el recurso como un procesador capaz de ejecutar programas IEC.

Con un recurso, pueden estar definidas una o más *tareas*. Las tareas controlan la ejecución de un conjunto de programas y/o bloques de función. Cada una de ellos puede ser ejecutada periódicamente o por una señal de disparo especificada, como el cambio de estado de una variable.

Los *programas* están diseñados a partir de un diferente número de elementos de software, escrito en algunos de los distintos lenguajes definidos en esta norma.

Para entender esto mejor, vamos a ver el modelo de software, que define IEC 1131-3 (ver figura 1.6)



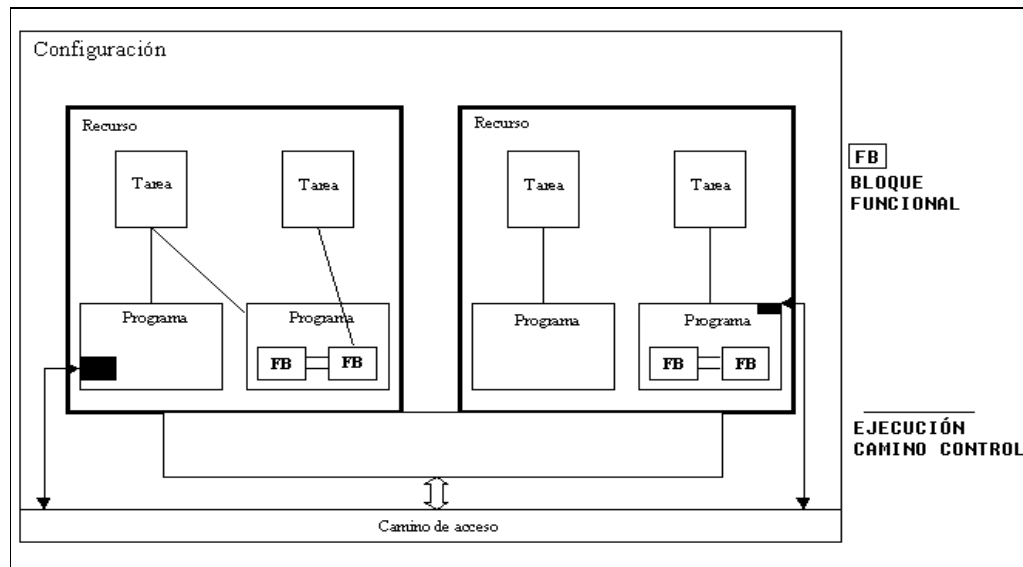


Figura 1.6 Modelo de software

Fuente: <http://www.sea.siemens.com/step/pdfs/plcs.pdf>

Comparado esto con un PLC convencional, éste contiene un solo recurso, ejecutando una tarea que controla un único programa de manera cíclica. La norma IEC 1131-3 incluye la posibilidad de disponer de estructuras más complejas. El futuro que incluye multi-procesamiento y gestión de programas por eventos, observar simplemente las características de los sistemas distribuidos o los sistemas de control en tiempo real. La norma IEC 1131-3 está disponible para un amplio rango de aplicaciones, sin tener que conocer otros lenguajes de programación adicionales.

#### d) Unidades de Organización de Programa

Dentro de la IEC 1131-3, los programas, bloques Funcionales y funciones se denominan Unidades de Organización de Programas, *POU's*.

*Las funciones* estándares y funciones definidas por el usuario se encuentran especificadas dentro de la norma IEC 1131-3. Las funciones estándar son por ejemplo ADD (suma), ABS (valor absoluto), SQRT (raíz cuadrada), SIN (seno), y COS (coseno). Las funciones definidas por el usuario, una vez implementadas pueden ser usadas indefinidamente en cualquier POU.

Las funciones no pueden contener ninguna información de estado interno, es decir, que la invocación de una función con los mismos argumentos (parámetros de entrada) debe suministrar siempre el mismo valor (salida).

*Los bloques funcionales* son los equivalentes de los circuitos integrados, IC's, que representan funciones de control especializadas. Los FB's contienen tanto datos como instrucciones, y además pueden guardar los valores de las variables (que es una de las diferencias con las funciones). Tienen un interfaz de entradas y salidas bien definido y un código interno oculto, como un circuito integrado o una caja negra. De este modo, establecen una clara separación entre los diferentes niveles de programadores, o el personal de mantenimiento. Un lazo de control de temperatura, PID, es un excelente ejemplo de bloque funcional. Una vez definido, puede ser usado una y otra vez, en el mismo programa, en diferentes programas o en distintos proyectos. Esto lo hace altamente reutilizable.

Los *programas* son “un conjunto lógico de todos los elementos y construcciones del lenguaje de programación que son necesarios para el tratamiento de señal previsto que se requiere para el control de una máquina o proceso mediante el sistema de autómatas programables”. Un programa puede contener, aparte de la declaración de tipos de datos, variables y su código interno, distintas instancias de funciones y bloques funcionales.

e) *Gráfico Funcional Secuencial (SFC)*

Este gráfico describe el comportamiento secuencial de un programa de control, para convertir las representaciones de una norma de documentación en un conjunto de elementos de control de ejecución para una POU de un autómatas programables (Ver figura 1.7)

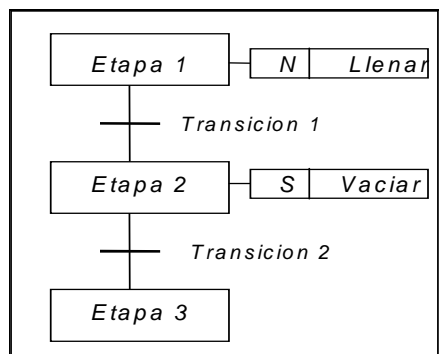


Figura 1.7 Gráfico Funcional Secuencial

Fuente: <http://www.sea.siemens.com/step/pdfs/plcs.pdf>

SFC ayuda a estructurar la organización interna de un programa, y a descomponer un problema en partes manejables, manteniendo simultáneamente una visión global. Los elementos del SFC proporcionan un medio para subdividir una POU de un autómatas programable en un conjunto de etapas y transiciones interconectadas por medio de enlaces directos. Cada etapa lleva asociados un conjunto bloques de acción y a cada transición va asociada una condición de transición que cuando se cumple, causa la desactivación de la etapa anterior a la transición y la activación de la siguiente. Los bloques de acción permiten realizar el control del proceso. Cada elemento puede ser programado en alguno de los lenguajes IEC, incluyéndose el propio SFC. Dado que los elementos del SFC requieren almacenar información, las únicas POU's que se pueden estructurar utilizando estos elementos son los bloques funcionales y los programas.

Se pueden usar secuencias alternativas y paralelas, comúnmente utilizadas en muchas aplicaciones. Debido a su estructura general, de sencilla comprensión, SFC permite la transmisión de información entre distintas personas con distintos niveles de preparación y responsabilidad dentro de la empresa.

### 1.1.4.2 Lenguajes de Programación <sup>9</sup>

Se definen cuatro lenguajes de programación normalizados como se puede observar en la figura 1.8. Esto significa que su sintaxis y semántica ha sido definida, no permitiendo particularidades distintivas (dialectos). Una vez aprendidos se podrá usar una amplia variedad de sistemas basados en esta norma.

Los lenguajes consisten en dos de tipo literal y dos de tipo gráfico:

*Literales:*

- Lista de instrucciones (IL)
- Texto estructurado (ST)

*Gráficos:*

- Diagrama de contactos (LD).
- Diagrama de bloques funcionales (FBD).

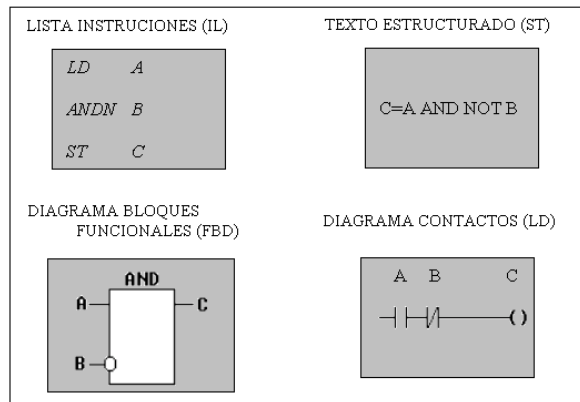


Figura 1.8 Lenguajes de programación normalizados

Fuente: <http://www.sea.siemens.com/step/pdfs/plcs.pdf>

<sup>9</sup> <http://www.sea.siemens.com/step/pdfs/plcs.pdf>

Los cuatro lenguajes están interrelacionados y permiten su empleo para resolver conjuntamente un problema común según la experiencia del usuario.

#### *1.1.4.2.1 El Diagrama de contactos (LD)*

Tiene sus orígenes en los Estados Unidos. Está basado en la presentación gráfica de la lógica de relés. *Lista de Instrucciones* (IL) es el modelo de lenguaje ensamblador basado un acumulador simple; procede del alemán 'Anweisungsliste, AWL.

#### *1.1.4.2.2 El Diagramas de Bloques Funcionales (FBD)*

Muy común en aplicaciones que implican flujo de información o datos entre componentes de control. Las funciones y bloques funcionales aparecen como circuitos integrados y es ampliamente utilizado en Europa. El lenguaje *Texto estructurado* (ST) es un lenguaje de alto nivel con orígenes en el Ada, Pascal y 'C'; puede ser utilizado para codificar expresiones complejas e instrucciones anidadas; este lenguaje dispone de estructuras para bucles (REPEAT-UNTIL; WHILE-DO), ejecución condicional (IF-THEN-ELSE; CASE), funciones (SQRT, SIN, etc.).

La norma también permite dos formas de desarrollar un programa de control: de arriba a abajo (Top-down) y de abajo a arriba (bottom-up). Puedes especificar inicialmente la aplicación completa y dividirla en partes, declarar las variables y demás. También puedes comenzar la programación desde abajo, por ejemplo, por medio de funciones y bloque funcionales. Por cualquiera de los caminos que elijas, IEC 1131-3 te ayudará durante todo el proceso.

### **1.1.5 VENTAJAS DEL USO DE LOS PLCs**

Los controladores programables ofrecen un número considerable de beneficios para su aplicación dentro de la industria. Estos beneficios, traducidos a valores económicos, podrían exceder el costo del sistema PLC que debe ser considerado cuando se selecciona un dispositivo de control industrial.

Como ventajas de la utilización de PLCs., comparados a otros dispositivos de control de aplicación industrial, se puede citar:

- Menor espacio ocupado
- Menor potencia eléctrica requerida
- Son reutilizados
- Programable, si ocurren cambios en los condicionantes
- Mayor confiabilidad
- Facilidad de mantenimiento
- Mayor flexibilidad, satisfaciendo el mayor número de aplicaciones
- Permite la interfase con microcomputadores y computadores
- Proyecto de sistema más rápido

### **1.1.6 APLICACIONES DE LOS PLCs**

Una lista de aplicaciones típicas de los controladores programables, podría ocupar mucho espacio en papel, sin embargo, para ilustrar una larga aceptación de los PLCs, en casi todas las ramas de la industria se citan las siguientes aplicaciones ya en funcionamiento.

- Máquinas industriales: Toda y cualquier tipo de máquina cae dentro de las aplicaciones de los PLCs, para su mando. Máquinas motrices, inyectoras

de plástico, máquinas textiles y otras que puedan tener tareas de secuenciamiento, inserción de piezas, posicionamiento continuo y temporizado comandados por PLCs.

- Equipamientos industriales para diferentes procesos, tales como: siderúrgica, papel, neumáticos, hornos, etc.
- Equipamientos para control de energía: control de demanda y supervisión de energía, vía microcomputador y otros sistemas.
- Control de procesos con realización de señalización e intervención, al igual como lazos PID.
- Control de sistemas robóticos manipuladores

## **1.2 INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS ROBÓTICOS INDUSTRIALES**

En el presente proyecto se presenta un brazo robótico como aplicación del módulo didáctico es por esta razón se presenta una introducción acerca de la robótica.

### **1.2.1 FUNDAMENTOS DE LA ROBÓTICA<sup>10</sup>**

La robótica es un componente esencial de la automatización en los procesos mecánicos de fabricación, afectará la mano de obra humana a todos los niveles y mejorará la calidad de los diferentes productos así como el estilo de vida de los trabajadores y consumidores.

---

<sup>10</sup> GROOVER Robótica Industrial: Tecnología, Programación y Aplicaciones, Primera edición, McGRAW-HILL/INTERAMERICANA, México, 1990. Pág 3, 4

## **1.2.2 AUTOMATIZACIÓN Y ROBÓTICA**

La automatización y la robótica son dos tecnologías estrechamente relacionadas.

La automatización es una tecnología que está relacionada con el empleo de sistemas mecánicos, electrónicos basados en computadoras en la operación y control de la producción.

Ejemplos de esta tecnología son: líneas de transferencia, máquinas de montaje mecanizado, sistemas de control de realimentación (aplicados a los procesos industriales), máquinas con control numérico y robots.

En consecuencia la robótica es una forma de automatización industrial.

Hay tres clases amplias de automatización industrial:

- Automatización fija
- Automatización programable
- Automatización flexible

### **1.2.2.1 Automatización Fija**

S utiliza cuando el volumen de producción es muy alto y por tanto es adecuada para diseñar equipos especializados para procesar el producto (o un componente de un producto) con alto rendimiento y con elevadas tasas de producción.

### **1.2.2.2 Automatización Programable**

S emplea cuando el volumen de producción es relativamente bajo y hay una diversidad de producción a obtener. En este caso el equipo de producción está diseñado para ser adaptable a variaciones en la configuración del producto. Esta



característica de adaptabilidad se realiza haciendo funcionar el equipo bajo el control de un “programa “de instrucciones que se preparó especialmente para el producto dado. El programa se introduce por lectura en el equipo de producción y este último realiza la secuencia particular de operaciones de procesamiento o montaje para obtener el producto.

### **1.2.2.3 Automatización Flexible**

Se considera adecuado utilizarlo cuando se tiene un volumen de producción medio; los sistemas de automatización flexibles suelen estar constituidos por una serie de estaciones de trabajo que están interconectadas por un sistema de almacenamiento y manipulación de materiales.

De los tres tipos de automatización, la robótica coincide más estrechamente con la automatización programable.

## **1.2.3 RESEÑA HISTÓRICA DE LOS SISTEMAS ROBÓTICOS<sup>11</sup>**

A lo largo de toda la historia, el hombre se ha sentido fascinado por las máquinas y dispositivos capaces de imitar las funciones y movimientos de los seres vivos. Los griegos tenían una palabra específica para denominar a estas máquinas: “automatos”. De esta palabra deriva la actual autómeta: máquina que imita la figura y movimientos de un ser animado.

A través de la historia se han realizado importantes sistemas autómetas, en la tabla 1.1 se presenta un resumen de los autómetas a través de la historia:

---

<sup>11</sup> BARRIENTOS, Fundamentos de robótica 1997 MC GRAW, España, Pág 2, 3

Tabla 1.1 Automatas Históricos

<b>Año</b>	<b>Autor</b>	<b>Autómata</b>
1352	Desconocido	Gallo de la catedral de Estrasburgo
1499	L. Da Vinci	León mecánico
1525	J. Turriano	Hombre de palo
1738	J de Vaucanson	Flautista, tamborilero, pato, muñecas mecánicas de tamaño humano
1769	W. Von Kempelen	Jugador de ajedrez
1770	Familia Droz	Escriba, organista, dibujante
1805	H. Maillardet	Muñeca mecánica capaz de dibujar

FUENTE: BARRIENTOS, Fundamentos de robótica, Mc GRAW, España1997, Pág 2

#### 1.2.4 DEFINICIÓN DE ROBOT INDUSTRIAL<sup>12</sup>

La definición comúnmente aceptada posiblemente es la de la *Asociación de Industrias Robóticas* (RIA), que ligeramente modificada, ha sido adoptada por la *Organización Internacional de Estandares* (ISO) que define al robot industrial como:

“Un robot industrial es un manipulador multifuncional reprogramable con varios grados de libertad, capaz de manipular materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas”.

Una definición más completa es la establecida por la *Asociación Francesa de Normalización* (AFNOR) que define primero el manipulador y, basándose en dicha definición, el robot:

##### *Manipulador*

Mecanismo formado generalmente por elementos en serie, articulados entre si, destinado al agarre y desplazamiento de objetos. Es multifuncional y puede ser gobernado directamente por un operador humano o mediante dispositivo lógico.

<sup>12</sup> BARRIENTOS, Fundamentos de robótica 1997 MC GRAW, España, Pág 9, 10

*Robot:*

Manipulador automático servocontrolado, reprogramable, polivalente, capaz de posicionar y orientar piezas, útiles o dispositivos especiales, siguiendo trayectorias variables, reprogramables, para la ejecución de tareas variadas. Normalmente tiene la forma de uno o varios brazos terminados en una muñeca. Su unidad de control incluye un dispositivo de memoria y ocasionalmente de percepción del entorno. Normalmente su uso es el de realizar una manera de tarea cíclica, pudiéndose adaptar a otra sin cambios permanentes en su material.

En todas las definiciones anteriores se concuerda con la aceptación del robot industrial como un brazo mecánico con capacidad de manipulación y que incorpora un control más o menos complejo. Un sistema robotizado, en cambio, es un concepto más amplio, engloba todos aquellos dispositivos que realizan tareas de forma automática en sustitución de un ser humano y que pueden incorporar o no a más de un robot, siendo esto último lo más frecuente.

### **1.2.5 SISTEMA BÁSICO DE UN ROBOT MANIPULADOR<sup>13</sup>**

Un robot manipulador operado individualmente necesita como mínimo los siguientes componentes, tal como se muestra en la figura 1.9:

- El brazo (robot)
- El controlador
- Unidad convertora de potencia

---

<sup>13</sup> : IÑIGO; Robots Industriales Manipuladores, Primera Edición, Ediciones UPC, España, 2004. Pág. 2

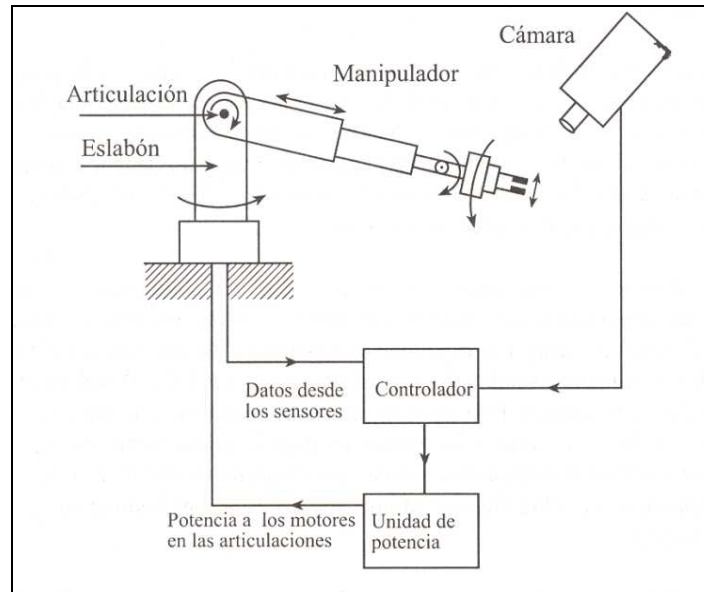


Figura 1.9 Componentes básicos de un sistema robot manipulador

Fuente: IÑIGO; Robots Industriales Manipuladores, Primera Edición, Ediciones UPC, España, 2004. Pág. 2

### 1.2.5.1 El brazo (robot)

Consiste en un sistema de articulaciones mecánicas (eslabones, engranajes, transmisión por cadena o correa), actuadores (motores eléctricos o hidráulicos) y sensores de posición usados en el sistema de control de bucle cerrado.

### 1.2.5.2 El controlador

Generalmente basado en un microcomputador en nuestro caso será un PLC, que recibe las señales de los sensores de posición y envía comandos a la fuente de potencia controlada (o unidad convertora)

### **1.2.5.3 Unidad convertidora de potencia**

Alimenta los motores que actúan las articulaciones.

## **1.2.6 MORFOLOGÍA DE LOS ROBOTS<sup>14</sup>**

### **1.2.6.1 Estructura de los Robots Manipuladores**

Los robots manipuladores son esencialmente brazos articulados de forma más precisa un manipulador industrial convencional es una cadena cinemática abierta formada por un conjunto de eslabones o elementos de la cadena interrelacionados mediante articulaciones o pares cinemáticos, tal como se muestra en la figura 1.10

Las articulaciones permiten el movimiento relativo entre los sucesivos eslabones.

### **1.2.6.2 Tipos de Articulaciones<sup>15</sup>**

Existen diferentes tipos de articulaciones. Las más utilizadas son las que se muestran en la fig. 1.10

---

<sup>14</sup> OLLERO; Robótica manipuladores y robots móviles, Primera Edición, Alfaomega, España, 2001. Pág 16

<sup>15</sup> OLLERO; Robótica manipuladores y robots móviles, Primera Edición, Alfaomega, España, 2001. Pág 16 - 18

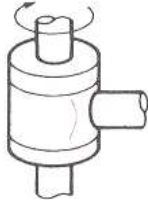
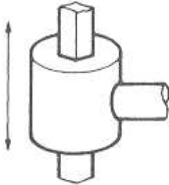
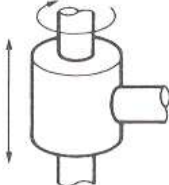
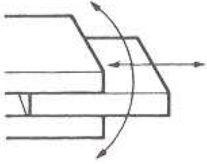
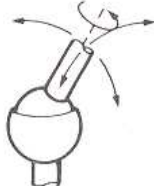
ESQUEMA	ARTICULACIÓN	GRADOS LIBERTAD
	ROTACIÓN	1
	PRISMÁTICA	1
	CILÍNDRICA	2
	PLANAR	2
	ESFÉRICA (RÓTULA)	3

Figura 1.10 Tipos de articulaciones

Fuente: OLLERO; Robótica manipuladores y robots móviles, Primera Edición, Alfaomega, España, 2001. Pág 17.

- La articulación de rotación suministra un grado de libertad consistente en una rotación alrededor del eje de la articulación. Ésta articulación es con diferencia la más empleada.

- En la articulación prismática el grado de libertad consiste en una traslación a lo largo del eje de la articulación.
- En la articulación cilíndrica existen dos grados de libertad: una rotación y una traslación, como se indica en la figura 1.10.
- La articulación planar está caracterizada por el movimiento de desplazamiento en un plano que se muestra en la figura 1.10, existiendo, por tanto, dos grados de libertad.
- Por último, la articulación esférica combina tres giros en tres direcciones perpendiculares en el espacio.

Los grados de libertad son el número de parámetros independientes que fijan la situación del efector final. El número de grados de libertad suele coincidir con el número de eslabones de la cadena cinemática. Así, en la figura.1.11 a) se ilustra una estructura con dos eslabones, dos articulaciones prismáticas y dos grados de libertad.

Sin embargo pueden existir casos degenerados, tal como el que se ilustra en la figura.1.11 b) en la cual se aprecia que, aunque existan dos eslabones y dos articulaciones prismáticas, tan solo se tiene un grado de libertad. Por consiguiente, en general, el número de grados de libertad es menor o igual que el número de eslabones de la cadena cinemática.



Figura 1.11 Pérdida de grados de libertad en estructura con dos eslabones: a) dos grados de libertad y b) un grado de libertad

Fuente: Robótica manipuladores y robots móviles, Primera Edición, Alfaomega, España, 2001. Pág 18.

### 1.2.6.3 Estructuras Básicas<sup>16</sup>

La estructura típica de un manipulador consiste en un brazo compuesto por elementos con articulaciones entre ellos. En el último enlace se coloca un órgano Terminal o efector final tal como una pinza o un dispositivo especial para realizar operaciones.

Se consideran, en primer lugar, las estructuras más utilizadas como brazo de un robot manipulador. Estas estructuras tienen diferentes propiedades en cuanto a espacio de trabajo y accesibilidad a posiciones determinadas. En la figura 1.12 se muestran cuatro configuraciones básicas.

---

<sup>16</sup> OLLERO; Robótica manipuladores y robots móviles, Primera Edición, Alfaomega, España, 2001. Pág 18-22



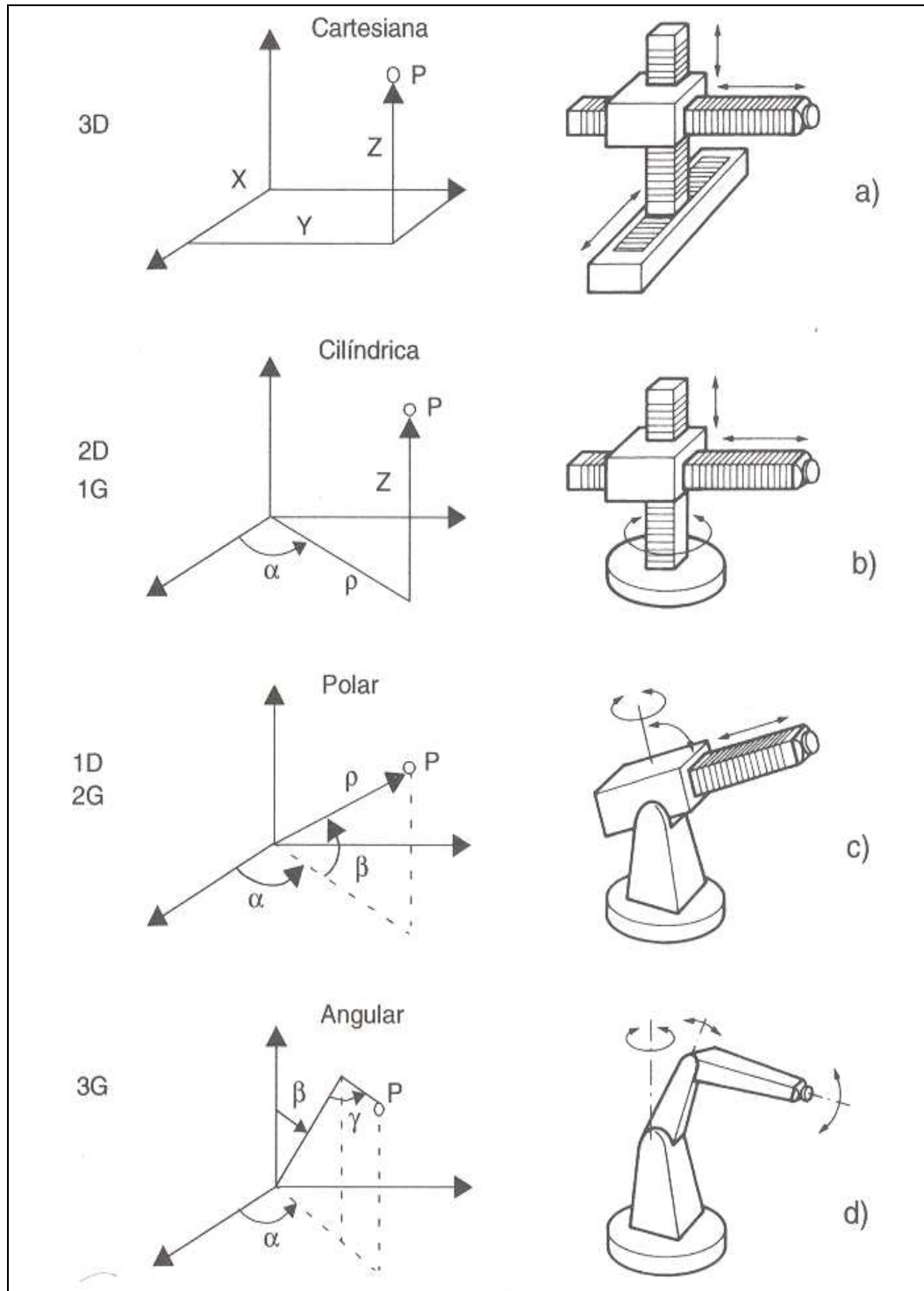


Figura 1.12 Configuraciones básicas de robots manipuladores

Fuente: OLLERO; Robótica manipuladores y robots móviles, Primera Edición, Alfaomega, España, 2001. Pág 19.

#### *1.2.6.3.1 Configuración Cartesiana*

Se ilustra en la figura 1.12 a. La configuración tiene tres articulaciones prismáticas (3D o estructura PPP) esta configuración es bastante usual en estructuras industriales, tales como pórticos, empleadas para el transporte de cargas voluminosas.

La especificación de la posición de un punto se efectúa mediante las coordenadas cartesianas  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . los valores que deben tomar las variables articulares corresponden directamente a las coordenadas que toma el extremo del brazo. Por consiguiente en esta configuración se simplifica la tarea del controlador del robot que debe generar las órdenes para ejecutar una trayectoria definida mediante una secuencia de puntos expresados en coordenadas cartesianas.

Sin embargo, la configuración no resulta adecuada para acceder a puntos situados en espacios relativamente cerrados y su volumen de trabajo es pequeño cuando se compara con el que puede obtenerse con otras configuraciones.

#### *1.2.6.3.2 Configuración Cilíndrica.*

Esta configuración tiene dos articulaciones prismáticas y una de rotación (2D, 1G). la primera articulación es normalmente de rotación (estructura RPP), como se muestra en la fig. 1.12 b) la posición se especifica de forma natural en coordenadas cilíndricas.

#### *1.2.6.3.3 Configuración Polar o Esférica.*

Esta configuración se caracteriza por dos articulaciones de rotación y una prismática (2G, 1D o estructura RRP). En este caso, las variables articulares

expresan la posición del extremo del tercer enlace en coordenadas polares, tal como se muestra en la fig. 1.12 c)

#### *1.2.6.3.4 Configuración Angular.*

Esta configuración es una estructura con tres articulaciones de rotación (3G o RRR), tal como se muestra en la fig. 1.12 d). la posición del extremo final se especifica de forma natural en coordenadas angulares.

La estructura tiene un mejor acceso a espacios cerrados y es fácil desde el punto de vista constructivo. Es muy empleada en robots manipuladores industriales, especialmente en tareas de manipulación que tengan una cierta complejidad.

#### *1.2.6.3.5 Configuración Scara.*

Esta configuración esta especialmente diseñada para realizar tareas de montaje en un plano. Está constituida por dos articulaciones de rotación con respecto a dos ejes paralelos, y una de desplazamiento en sentido perpendicular al plano.

### **1.2.6.4 Volumen de trabajo<sup>17</sup>**

El volumen de trabajo es el término que se refiere al espacio dentro del cual el robot puede manipular el extremo de su muñeca, más no el del efector final, lo cual se lo hace por conveniencia ya que los efectores finales pueden ser de

---

<sup>17</sup> GROOVER Robótica Industrial: Tecnología, Programación y Aplicaciones, Primera edición, McGRAW-HILL/INTERAMERICANA, México, 1990. Pág 31, 32

diferentes tamaños y además no podrían alcanzar algunos puntos dentro del volumen normal de trabajo (Ver figura 1.13).

El volumen de trabajo viene determinado por las siguientes características físicas del robot:

- La configuración física del robot.
- Los tamaños de los componentes del cuerpo, del brazo y de la muñeca.
- Los límites de los movimientos de las articulaciones del robot.

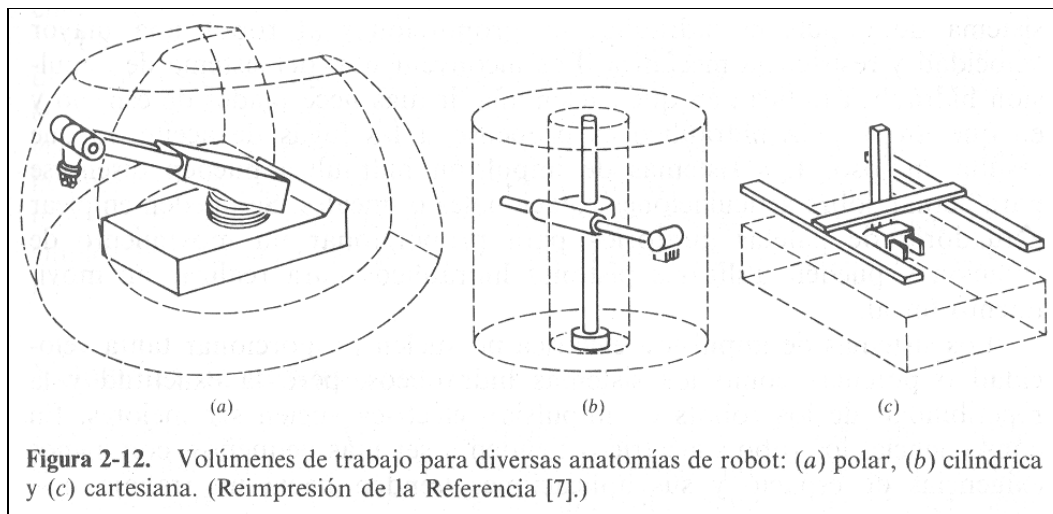


Figura 1.13 Volúmenes de trabajo para diversas configuraciones básicas

Fuente: GROOVER Robótica Industrial: Tecnología, Programación y Aplicaciones, Primera edición, McGRAW-HILL/INTERAMERICANA, México, 1990. Pág 32

### 1.2.6.5 Actuadores<sup>18</sup>

Los actuadores en los robots son sistemas capaces de accionar o actuar los ejes de los eslabones ya sea directamente o mediante cierto tipo de acoplamiento mecánico. Estos sistemas determinan la velocidad de los movimientos del brazo, la resistencia mecánica del robot y su rendimiento dinámico.

Los actuadores suelen obtener su energía a partir de una de estas tres fuentes: aire comprimido, fluido por presión o electricidad. Estos actuadores reciben el nombre de actuadores neumáticos, hidráulicos o eléctricos respectivamente.

#### *1.2.6.5.1 Tipos de actuadores*

Los robots industriales, disponibles en el mercado, están accionados por uno de los tres tipos de actuadores:

- Actuadores hidráulicos
- Actuadores eléctricos
- Actuadores neumáticos

#### *Actuadores hidráulicos y neumáticos*

Estos tipos de actuadores obtienen su energía mediante movimiento de fluidos, en el caso de los actuadores hidráulicos el fluido suele ser aceite a presión, mientras que en los actuadores neumáticos el fluido es aire comprimido. La diferencia entre estos actuadores radica en la capacidad para contener la presión del fluido, los sistemas neumáticos suelen operar a unos 100 psi mientras que los hidráulicos operan de 1000 a 3000 psi.

---

<sup>18</sup> GROOVER Robótica Industrial: Tecnología, Programación y Aplicaciones, Primera edición, McGRAW-HILL/INTERAMERICANA, México, 1990. Pág 72 - 79

### *Actuadores eléctricos*

Los motores eléctricos son los actuadores mas usados en el diseño de los robots ya que proporcionan una excelente controlabilidad, requiriendo un mínimo de mantenimiento. Existe una gran variedad de motores eléctricos utilizados en robots, los más comunes son los servomotores de cc, los motores paso a paso, los servomotores de a.c. y los motores de c.c. sin escobillas.

- Servomotores de c.c.- Estos constan de un rotor y un estator donde generalmente el rotor incluye el inducido y el conjunto del conmutador, mientras que el estator comprende los conjuntos de las escobillas y de los imanes permanentes.

### *Motores paso a paso*

Estos también se denominan motores de velocidad graduable, este tipo de motores proporciona una salida en la forma de incrementos discretos de movimiento angular, que son objeto de actuación por una serie de impulsos eléctricos discretos donde para cada impulso eléctrico hay una rotación de paso único del eje del motor

### *Servomotores de a.c*

Estos motores se diferencian de los de corriente continua por que se construyen de una manera más económica, no tienen escobillas y poseen una potencia de salida alta.

### *Servomotores de c.c. sin escobillas*

Este tipo de motores se construyen de “dentro afuera” los cuales tienen un imán permanente como rotor y un estator de tipo electromagnético y que al no tener escobillas la conmutación se da por medios electrónicos.

### 1.2.6.6 Efectores finales<sup>19</sup>

Estos dispositivos son elementos periféricos de los robots que permiten aumentar las capacidades de los mismos. Estos se utilizan para describir la mano o herramienta que está unida a la muñeca, representando el herramental especial que permite al robot de uso general realizar una aplicación particular.

#### 1.2.6.6.1 Tipos de efectores finales

Existe una amplia gama de efectores finales necesarios para realizar una gran variedad de funciones de trabajo diferentes. Los efectores finales pueden dividirse en dos categorías principales: pinzas y herramientas.

##### a) *Pinzas*

Estos efectores se utilizan para agarrar, sostener, manipular y posicionar objetos o herramientas. En estas aplicaciones de manejo de los objetos se incluyen la carga y descarga de las máquinas, la recogida de objetos depositados en un transportador y la composición de objetos depositados sobre una plataforma.

Existen los siguientes tipos de pinzas:

- Pinzas mecánicas
- Ventosas
- Pinzas magnéticas
- Otros tipos

---

<sup>19</sup> GROOVER Robótica Industrial: Tecnología, Programación y Aplicaciones, Primera edición, McGRAW-HILL/INTERAMERICANA, México, 1990. Pág 116 - 134

### *Pinzas mecánicas*

Este tipo de efector es aquel que utiliza dedos mecánicos impulsados por un mecanismo para agarrar una pieza, los cuales se encuentran unidos al mecanismo o son una parte integral del mismo.

En la mayoría de aplicaciones las pinzas con dos dedos son las más utilizadas por ser estos suficientes para sostener los objetos.

La función de este mecanismo es trasladar algo a partir de un suministro de energía que origina una acción de agarre de los dedos sobre la pieza, ésta entrada de energía puede ser brindada por los diferentes tipos de actuadores.

En este tipo de pinzas utilizan dos formas de sostener el objeto: mediante compresión de la pieza o mediante rozamiento existente entre los dedos y la pieza.

Las pinzas mecánicas se pueden clasificar de acuerdo al tipo de movimiento para abrir y cerrar los dedos y de acuerdo al mecanismo cinemático utilizado para actuar el movimiento del dedo.

En cuanto a los tipos de movimiento utilizados en las pinzas para cerrar y abrir los dedos tenemos los siguientes movimientos: movimiento de pilotaje y movimiento lineal o de traslación

Mientras que entre los mecanismos cinemáticos para actuar el movimiento se tiene la actuación por: articulaciones, engranajes, levas, tornillos, cable y poleas, y otros.

### *Ventosas*

Son casquetes de vacío, que sirven para la sujeción de piezas planas suaves y limpias, con lo cual el vacío generado por la ventosa es satisfactorio. El material de este tipo de dispositivos suele ser caucho o plástico blando y la forma de estas es redonda.

Cabe mencionar que para crear el vacío existen varios principios como son: la bomba de vacío y el tubo Venturi.



### *Pinzas magnéticas*

Sirven para manipular elementos de tipo féreos, teniendo como ventajas: tiempos de captación cortos, piezas a sujetar de diferentes tamaños, sin diseñarse éstas para un trabajo en particular.

Como desventajas en éstas pinzas se tiene el magnetismo residual dejado en las piezas trasladadas, además de que el magnetismo puede penetrar en las piezas a levantar y darse la posibilidad de levantar más de una pieza.

Este tipo de pinzas pueden utilizar tanto electroimanes como imanes permanentes, donde los primeros necesitan de una fuente adicional de corriente continua y un control adecuado, en tanto que los otros tienen la dificultad para liberar la pieza por lo que éstas deben poseer un dispositivo mecánico para separar la pieza.

### *Pinzas adhesivas*

Este tipo de pinzas poseen una sustancia adhesiva para la manipulación de tejidos y otros materiales livianos. Los inconvenientes de este tipo de dispositivos es que sólo agarran la pieza por un lado y el adhesivo pierde su efecto al emplearse repetidamente, para lo cual se requiere de un mecanismo que recargue el adhesivo de forma continua.

Entre otros dispositivos que pueden funcionar como pinzas se tienen los ganchos, las cucharas y dispositivos hinchables.

### b) *Herramientas*

En muchas aplicaciones se requiere que el robot manipule una herramienta en lugar de una pieza de trabajo, encontrándose esta unida directamente a la muñeca del robot.

Cuando se requiere el intercambio de herramientas el efector final es una pinza diseñada para agarrar y manipular la herramienta.

Este tipo de efectores se pueden aplicar en: la soldadura por puntos y arco, en la pintura por pulverización, en sopletes de calentamiento, en corte por chorro de agua, en husillos para el taladrado, ranurado, cepillado, rectificado.

### **1.2.6.7 Sensores en robótica<sup>20</sup>**

Los sensores en robótica son empleados como sensores periféricos y estos incluyen una amplia gama de dispositivos que se pueden dividir generalmente en las siguientes categorías:

- Sensores táctiles
- Sensores de proximidad y alcance
- Sensores de tipos diversos
- Sistemas de visión de máquinas

#### *Sensores táctiles*

Son dispositivos que indican el contacto entre ellos mismos y algún otro objeto sólido. Estos se pueden dividir en dos clases: sensores de contacto y sensores de fuerza.

Los sensores de contacto proporcionan una señal de salida binaria que indica si se ha establecido o no contacto con la pieza, mientras que los sensores de fuerza indican no solo si el contacto ha sido establecido con la pieza, si no también determinan la magnitud de la fuerza de contacto entre los dos objetos.

#### *Sensores de proximidad y alcance*

Los sensores de proximidad son dispositivos que indican cuándo un objeto está próximo a otro, pero antes de que se produzca el contacto, mientras que un sensor de alcance determina la distancia existente entre el objeto y el dispositivo.

---

<sup>20</sup> GROOVER Robótica Industrial: Tecnología, Programación y Aplicaciones, Primera edición, McGRAW-HILL/INTERAMERICANA, México, 1990. Pág 147 - 151

### *Sensores de tipos diversos*

Este tipo de dispositivos cubren los restantes tipos de sensores y transductores que podrían utilizarse para enclavamientos y otros fines, entre estos se incluyen sensores que pueden determinar variables, tales como temperatura, presión, flujo de fluido y propiedades eléctricas.

### *Sistemas de visión de máquinas*

Este sistema es capaz de “visionar” el espacio de trabajo e interpretar lo que ve, los cuales se emplean en robótica para desempeñar tareas de inspección, reconocimiento de piezas y otras similares.

## **1.2.7 ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO DEL ROBOT Y CONTROL**

### **1.2.7.1 Cinemática de robots manipuladores<sup>21</sup>**

La cinemática estudia como controlar el movimiento de los manipuladores; estructuras mecánicas multiarticulados, para lo cual se define un robot en función de dos elementos básicos: las articulaciones y sus eslabones, donde cada articulación representa un grado de libertad y los eslabones son elementos rígidos que unen a las articulaciones

### **1.2.7.2 Cinemática inversa<sup>22</sup>**

El objetivo del problema cinemático inverso consiste en encontrar los valores que deben adoptar las coordenadas articulares del robot para que su extremo se posicione según una determinada localización espacial.

---

<sup>21</sup> IÑIGO; Robots Industriales Manipuladores, Primera Edición, Ediciones UPC, España, 2004. Pág. 35

<sup>22</sup> BARRIENTOS, Fundamentos de robótica 1997 MC GRAW, España, Pág 108

La mayor parte de los robots poseen cinemáticas relativamente simples que facilitan la resolución de su problema cinemático inverso, los métodos geométricos permiten obtener normalmente los valores de las primeras variables articulares, que son las que consiguen posicionar al robot.

### **1.2.7.3 Dinámica del robot<sup>23</sup>**

La dinámica en los manipuladores sirve para el control exacto de cada una de las articulaciones, lo cual depende de las fuerzas que están actuando sobre las articulaciones y de las inercias tanto de las articulaciones como de sus eslabones.

### **1.2.7.4 Análisis estático**

En este análisis se considera como primer punto los pares de torsión requeridos por las articulaciones para proporcionar una fuerza **F** en el extremo del brazo del robot, y equilibrando las fuerzas en cada uno de los eslabones.

### **1.2.7.5 Compensación de la gravedad**

En el análisis estático la fuerza de la gravedad se ignora, la cual se debe incluir añadiendo las fuerzas ejercidas por la gravedad sobre cada eslabón en las ecuaciones de equilibrio obtenidas anteriormente.

---

<sup>23</sup> OLLERO; Robótica manipuladores y robots móviles, Primera Edición, Alfaomega, España, 2001. Pág 116-131

### **1.2.7.6 Dinámica del brazo del robot**

La dinámica del robot se refiere al análisis de los pares de torsión y de las fuerzas generadas por la aceleración y la desaceleración. Los pares de torsión son experimentados por las articulaciones y producidos por la aceleración de los eslabones mientras que las fuerzas son experimentadas por los eslabones y producidas por las articulaciones.

Es difícil proporcionar la resolución para las aceleraciones de los eslabones debido a varios factores relacionados con la inercia del brazo, la cual depende de la configuración del mismo, y que cambia a medida que se mueven las articulaciones, además de la masa de la carga útil y su posición con respecto a las articulaciones.

## **CAPÍTULO 2**

### **DISEÑO DEL MÓDULO DIDÁCTICO**

El objetivo principal de este proyecto de titulación es el diseño e implementación de un módulo didáctico para el Laboratorio de Automatización de Procesos Mecánicos, mediante un PLC MicroLogix 1100 de marca Allen Bradley.

#### **2.1 GENERALIDADES**

El módulo didáctico contiene los componentes básicos y necesarios para el aprendizaje, manejo, adiestramiento y desarrollo de proyectos de automatización de procesos mecánicos con la utilización de Controladores Lógicos Programables (PLCs), permitiendo una mejor comprensión y visualización de los conocimientos impartidos en el laboratorio.

El módulo permite la introducción de programas realizados en lenguaje de programación hacia el PLC y la comprobación del correcto funcionamiento del programa mediante la utilización de dispositivos tangibles conectados a las entradas y salidas tanto digitales como analógicas.

##### **2.1.1 COMPONENTES DEL MÓDULO DIDÁCTICO**

Los componentes del módulo didáctico se pueden apreciar en la figura 2.1 y son los siguientes:

- Controlador Lógico Programable (PLC)
- Base
- Estructura modular

- Entradas y salidas del módulo
- Aplicación

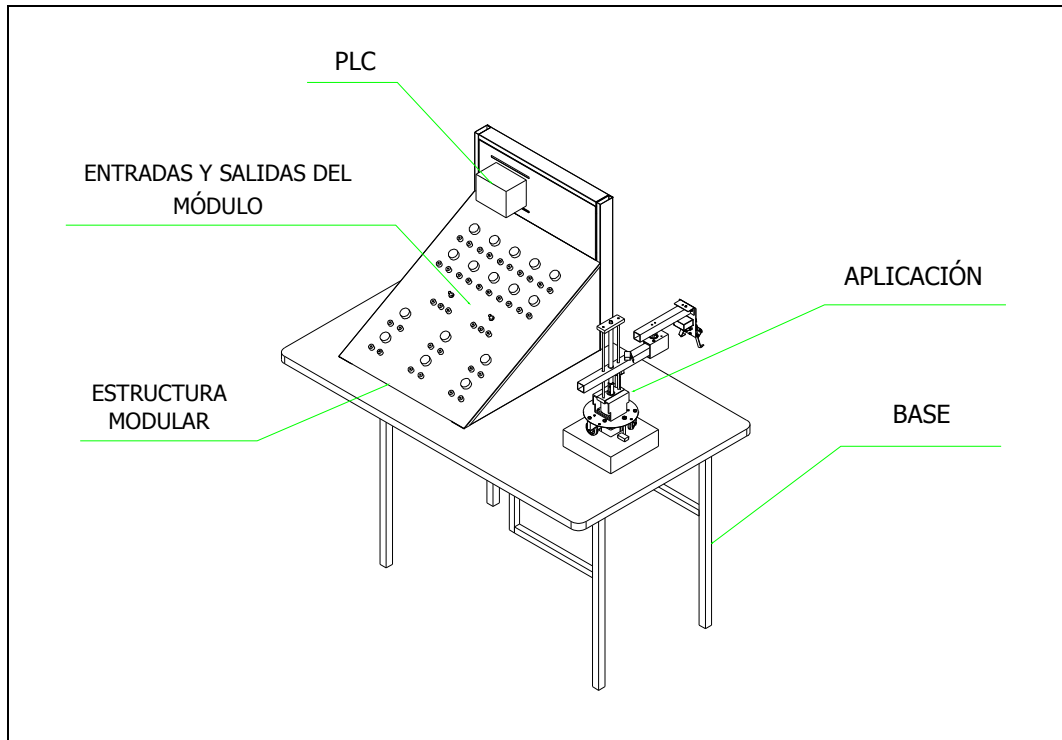


Figura 2.1 Figura del módulo didáctico

A continuación se presenta una descripción detallada de cada uno de los componentes principales del módulo, a excepción de la aplicación que se detalla en el capítulo siguiente

#### 2.1.1.1 Controlador Lógico Programable (PLC)

El PLC es el principal elemento del módulo didáctico, en el cual se basa el presente proyecto, ya que este permite la automatización industrial de diferentes procesos mecánicos.

El PLC utilizado en el módulo didáctico es un MicroLogix 1100 de marca Allen Bradley, y modelo 1763-L16BBB, el cual fue facilitado por el laboratorio de Automatización Industrial de Procesos Mecánicos, mismo que es ampliamente usado en entornos industriales, y que se muestra en la figura 2.2



Figura 2.2 PLC Micrologix 1100 de marca Allen Bradley, modelo 1763-L16BBB

#### *2.1.1.1.1 Características del PLC Allen Bradley MicroLogix 1100*

- Está diseñado para ampliar las aplicaciones a través de módulos de expansión de entradas analógicas o digitales, comunicación Ethernet y visualización.
- Se programa mediante el software RSLogix 500, y puede ser programado con el mismo set de instrucciones de las familias de controladores MicroLogix 1000, 1200, 1500 y SLC 500.



- Posee incorporado un puerto serial que soporta el protocolo RS-232/RS-485 y conexión a una red de comunicaciones, trae además un puerto EtherNet/IP que soporta comunicación “Ethernet peer to peer (punto a punto)”.
- Posee una pantalla LCD que permite el monitoreo de los estados de las entradas y salidas del controlador.
- Además tiene un sistema operativo que puede ser actualizado fácilmente con la más reciente versión mediante una descarga desde su sitio web.
- El controlador MicroLogix 1100 tiene dos (2) entradas analógicas, diez (10) entradas digitales y seis (6) salidas digitales, como se muestran tanto en la figura 2.3, como en la tabla 2.1

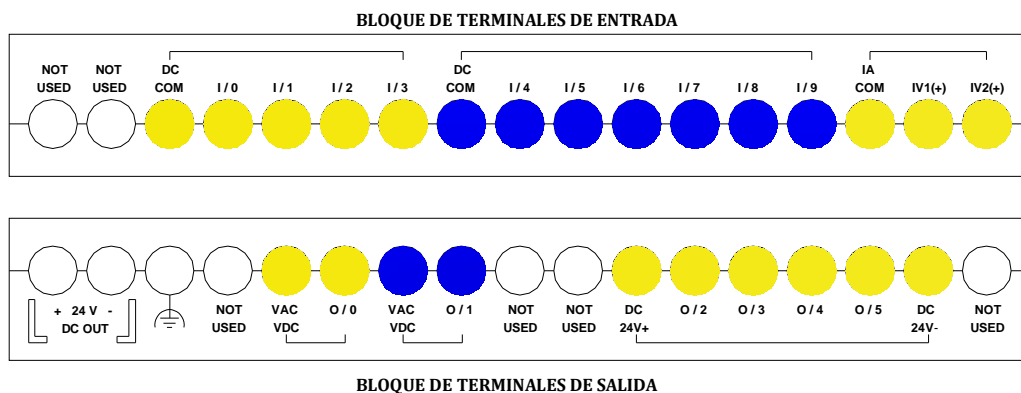


Figura 2.3 Entradas y salidas para el MicroLogix 1100 1763 - L16BBB.

Fuente: Manual de Instrucciones de Instalación de los Controladores Programables MicroLogix 1100 (No de cat. 1763 - L16BBB)

Tabla 2.1 Características de las entradas y salidas para el Micrologix 1100 1763 - L16BBB

<b>Modelo</b>	<b>Alimentación eléctrica de entrada</b>	<b>Entradas digitales</b>	<b>Entradas analógicas</b>	<b>Salidas digitales</b>	<b>Puertos de comunicación</b>
1763-L16BBB	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 24 VDC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6 entradas de 24 VDC.</li> <li>• 4 entradas de alta Velocidad de 24VDC.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 entradas de voltaje de 0 a 10 VDC.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 salidas de relé (aisladas).</li> <li>• 2 salidas de 24VDC FET.</li> <li>• 2 salidas de alta Velocidad de 24 VDC FET.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Un puerto RS-232/485 combinado (aislado).</li> <li>• Un puerto ethernet.</li> </ul>

Fuente: Manual de Instrucciones de Instalación de los Controladores programables  
MicroLogix 1100 (No de cat. 1763 - L16BBB)

Para la aplicación desarrollada el módulo didáctico posee un módulo de expansión de ocho (8) salidas digitales tipo relé Micrologix 1762-OW8 Relay Output Module (Ver figura 2.4).

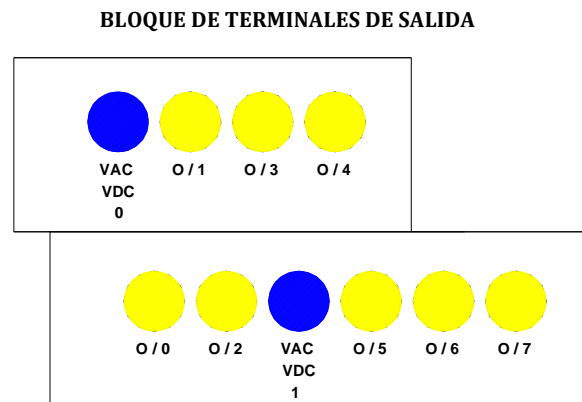


Figura 2.4 Salidas digitales tipo relé Micrologix 1762-OW8 Relay Output Module

### 2.1.1.2 Base

La base es una estructura física en la cual se monta la estructura modular y la aplicación, como se muestra en la figura 2.5

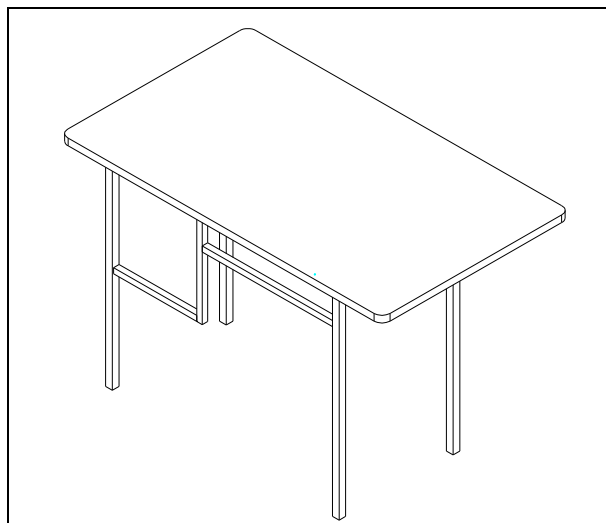


Figura 2.5 Esquema de la base del módulo didáctico

#### 2.1.1.2.1 Dimensiones de la base

Las dimensiones de la estructura se han tomado a partir de los requerimientos del laboratorio de Automatización Industrial de Procesos Mecánicos, y es por esto que se decidió adquirir una mesa de escritorio (ver Tabla 2.2 y figura 2.6)

Las medidas de la base son las siguientes:

Tabla 2.2 Dimensiones de la base

<b>Dimensiones</b>	<b>mm</b>
Alto (A)	760
Largo (B)	120
Ancho (C)	700

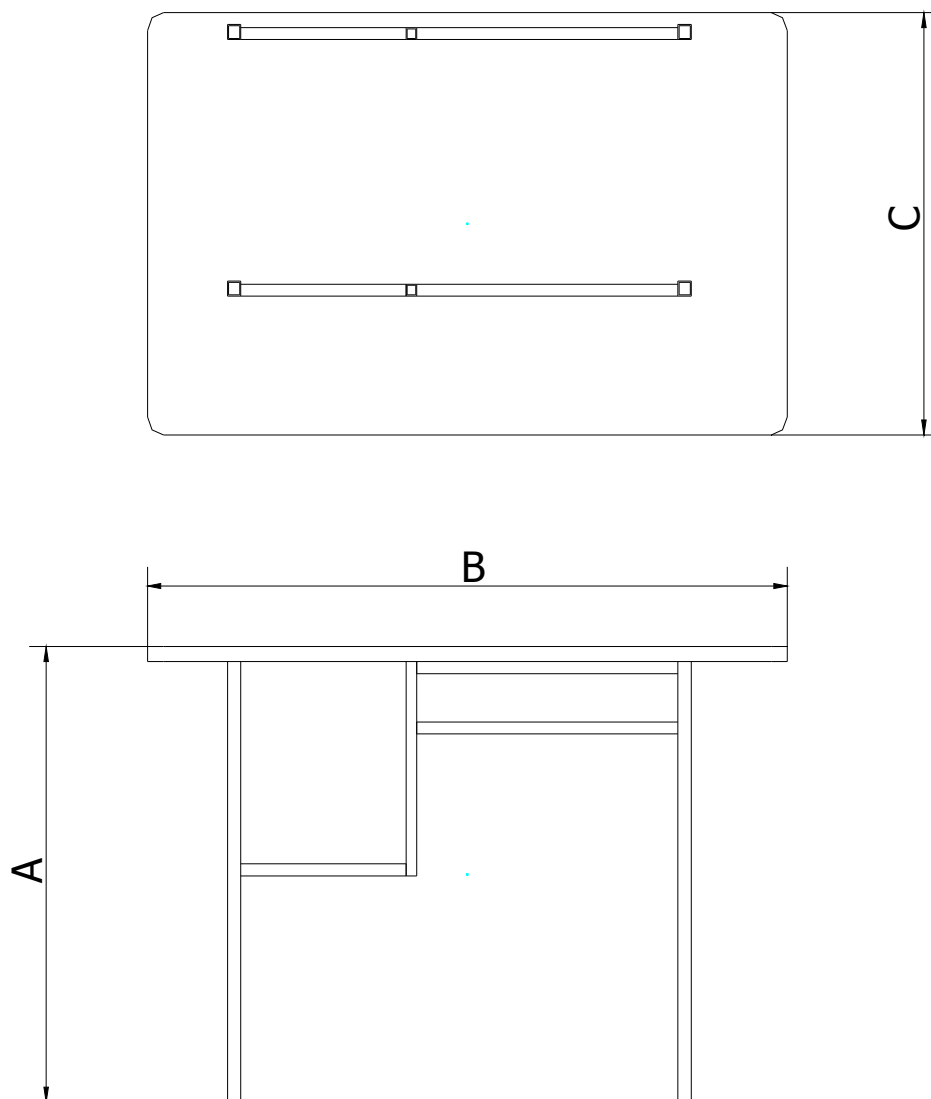


Figura 2.6 Dimensiones de la base

### 2.1.1.3 Estructura Modular

La estructura modular es el componente que sostiene al PLC y a los elementos del módulo didáctico que simulan entradas y salidas del PLC.

### 2.1.1.3.1 Selección de la forma de la estructura modular

Esta selección se realizará mediante el método de ponderación y se puede observar su procedimiento en las tablas 2.3 a 2.7

Tabla 2.3 Alternativas y criterios de selección para la forma de la estructura modular

Alternativas		Criterios de selección	
<b>A</b>	Horizontal	<b>I</b>	Estética
<b>B</b>	Vertical	<b>II</b>	Estabilidad
<b>C</b>	Rampa	<b>III</b>	Ergonomía
		<b>IV</b>	Costo

Tabla 2.4 4 Asignación de valores y ponderación para la selección de la forma de la estructura modular

Escala de Calificación	
Excelente	10
Bueno	7 - 9
Regular	4 - 6
Malo	1 - 3

Tabla 2.5 Asignación de valores y ponderación para la selección

A / C	I	II	III	IV	Ponderación	
<b>A</b>	4	9	5	9	<b>I</b>	0,25
<b>B</b>	6	6	6	8	<b>II</b>	0,25
<b>C</b>	9	8	9	7	<b>III</b>	0,30
					<b>IV</b>	0,20
<b>Total</b>	19	23	20	24		

Tabla 2.6 Normalización de la tabla 2.5

A / C	I	II	III	IV	Ponderación	
					I	0,25
<b>A</b>	0,21	0,39	0,25	0,38	<b>II</b>	0,25
<b>B</b>	0,32	0,26	0,30	0,33	<b>III</b>	0,30
<b>C</b>	0,47	0,35	0,45	0,29	<b>IV</b>	0,20
<b>Total</b>	1,00	1,00	1,00	1,00		

Tabla 2.7 Resultados de la multiplicación de matrices

Alternativas	Valores
<b>A</b>	0,30
<b>B</b>	0,30
<b>C</b>	0,40

*Conclusión:*

Luego de este análisis se concluye que el módulo didáctico del presente proyecto tendrá una forma tipo rampa, debido a que con dicha forma se ajusta a los requerimientos didácticos, esta estructura modular se observa en la figura 2.7 y en el anexo E

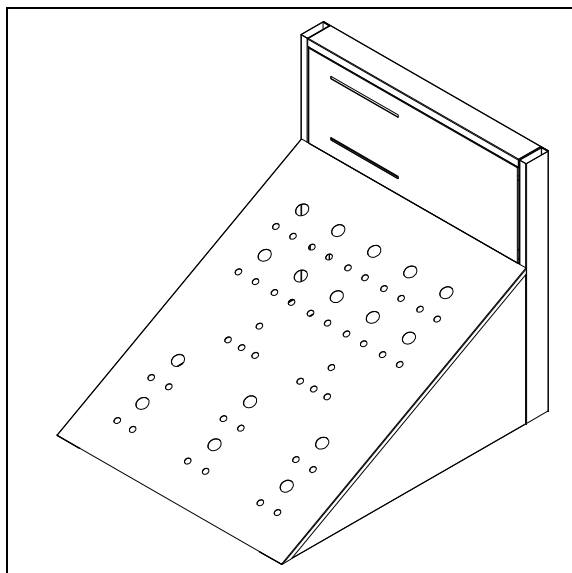


Figura 2.7 Bosquejo general de la estructura modular tipo rampa

#### 2.1.1.3.2 Dimensiones de la estructura modular

Las dimensiones de esta estructura son determinadas a partir de las dimensiones de la base, teniendo en cuenta la ergonomía y la estética (Ver tabla 2.8 y figura 2.8).

Estas medidas son las siguientes:

Tabla 2.8 Dimensiones de la estructura modular

<b>Dimensiones</b>	<b>mm</b>
Alto (A)	500
Largo (B)	605
Ancho (C)	598



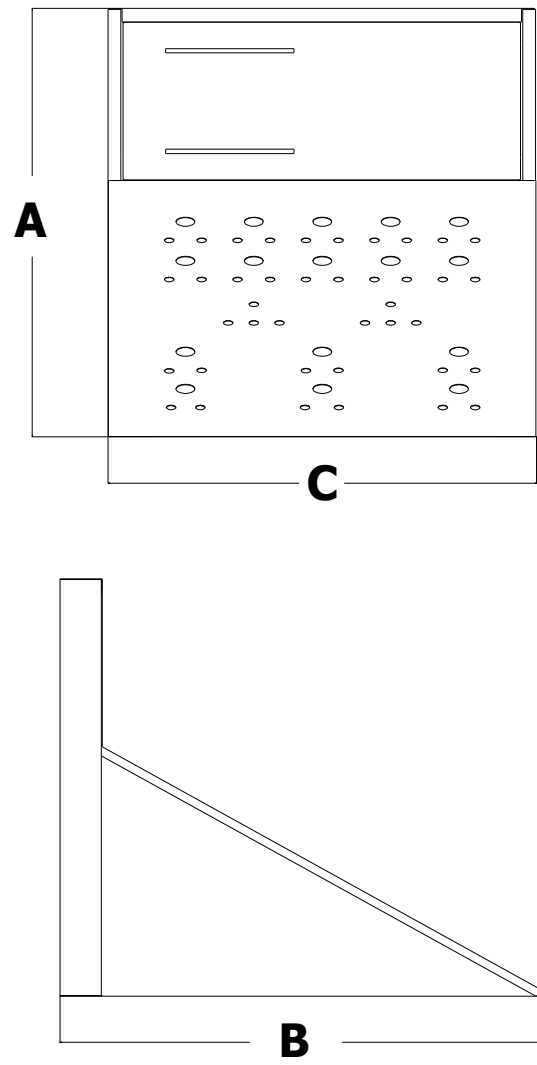


Figura 2.8 Dimensiones de la estructura modular

#### 2.1.1.4 Entradas y Salidas del Módulo Didáctico

Partiendo de la tabla 2.1 las entradas y salidas del módulo son análogas a las entradas y salidas del PLC.

A continuación se describe las características y componentes de cada uno de estos grupos:

#### 2.1.1.4.1 Entradas Digitales de 24 VDC

En el tablero a las entradas de 24 VDC del PLC se conectan pulsadores normalmente abiertos y cerrados, además de borneras, que simulan señales digitales.

En las borneras se pueden conectar dispositivos como: interruptores, finales de carrera, relés térmicos y varios sensores on/off; que emiten señales reales.

Las entradas digitales de 24 VDC se distribuyen como se observa en la figura 2.9 y cuentan con los siguientes elementos:

- Ocho (8) pulsadores normalmente abiertos 110VAC (PNA)
- Dos (2) pulsador normalmente cerrados 110VAC (PNC)
- Veinte (20) borneras (B)

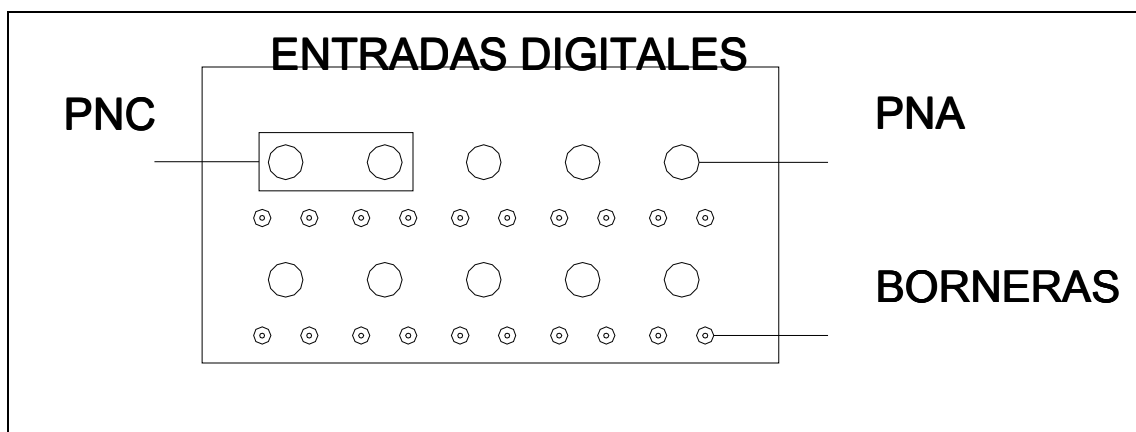


Figura 2.9 Distribución física de los elementos de las entradas digitales

#### 2.1.1.4.2 Entradas Analógicas de Voltaje de 0 a 5 VDC

En este bloque el módulo posee dos (2) entradas analógicas de voltaje, para las cuales se tienen variadores de voltaje que permiten simular señales continuas, además en las borneras se pueden colocar distintas clases de sensores como galgas extensiométricas, termocuplas, etc.

Las entradas analógicas son de 0 – 5 VDC y cuentan con los siguientes elementos:

- Una (1) fuente de 10 VDC (Fuente externa al PLC)
- Dos (2) variadores de voltaje de 600 k $\Omega$
- Seis (6) borneras

En la Figura 2.10 se muestra la sección de entradas analógicas de voltaje del módulo didáctico.

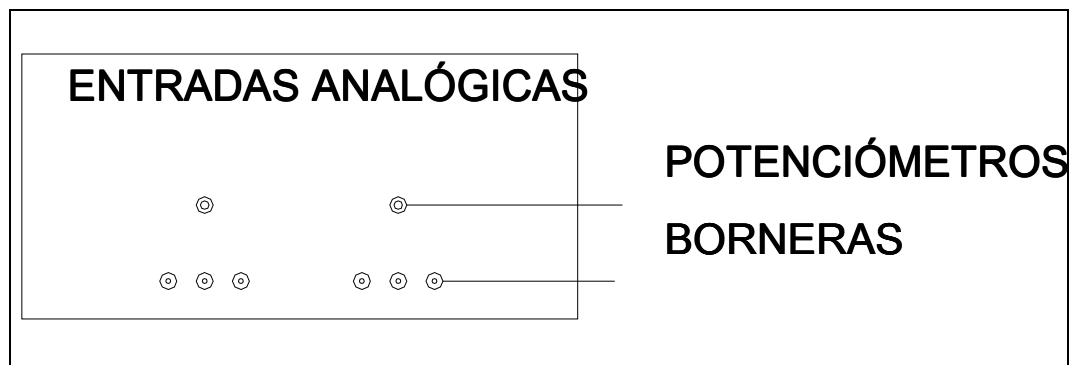


Figura 2.10 Distribución física de los elementos de las entradas analógicas

#### 2.1.1.4.3 Salidas Digitales de 24 VDC

Esta sección se conforma de leds indicadores que se encenderán según la programación que se coloque y de borneras. Ver figura 2.11

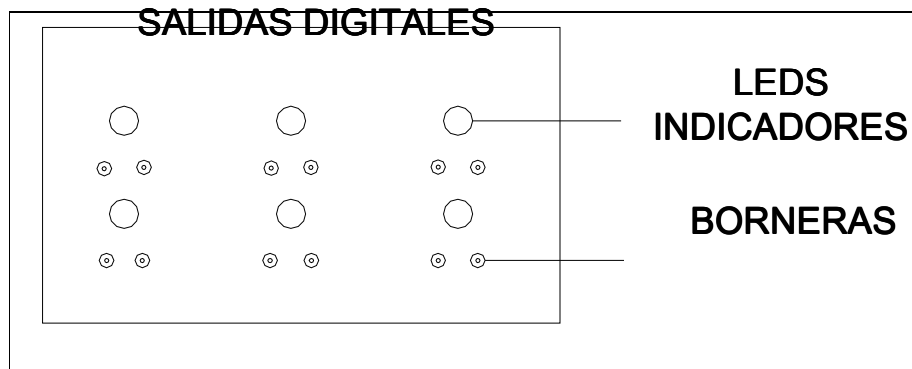


Figura 2.11 Distribución física de los elementos de las salidas digitales

Las borneras serán utilizadas para conectar diferentes dispositivos como: sirenas, bobinas, pistones neumáticos, motores, display, etc. Estos dispositivos deben cumplir con las especificaciones de potencia de las salidas tipo relé.

Las salidas digitales cuentan con los siguientes elementos:

- Seis (6) leds indicadores de 110 VAC
- Doce (12) borneras
- Las borneras requieren 110 VAC para su alimentación y esta se obtiene de la red

#### 2.1.1.4.4 Resumen de entradas y salidas

En la tabla 2.9 y en la figura 2.12 se presenta un resumen de los materiales y su distribución física respectivamente

Tabla 2.9 Resumen de la distribución de los materiales según las Entradas y Salidas del PLC

BLOQUE	Borneras	Pulsadores normalmente abiertos	Pulsadores normalmente cerrados	Resistencia Variable	Leds Indicadores
Entradas Digitales 24 VDC	20	8	2	0	0
Entradas Analógicas de Voltaje	6	0	0	2	0
Salidas Digitales	12	0	0	0	6

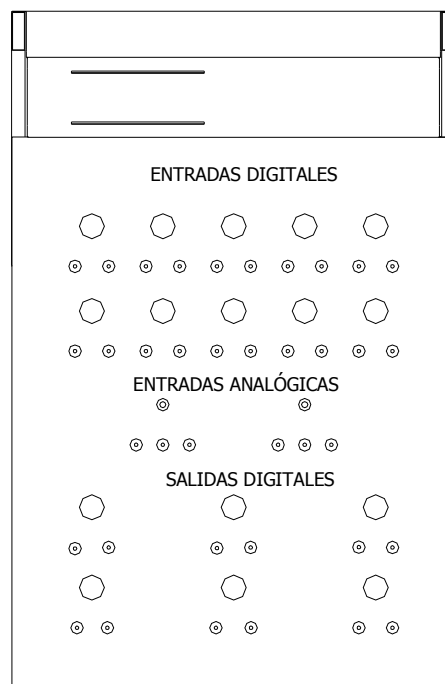


Figura 2.12 Distribución física de los elementos de las entradas y salidas del módulo didáctico

## **CAPÍTULO 3**

### **DISEÑO DEL BRAZO ROBÓTICO MANIPULADOR**

La aplicación a realizar para el módulo didáctico es la simulación de un proceso mecánico, que se automatizará mediante el uso del PLC mencionado en el capítulo anterior.

La aplicación consiste en la creación de un brazo robótico, con la capacidad de manipular objetos livianos utilizando diferentes trayectorias con una precisión media.

#### **3.1 DISEÑO DE LA APLICACIÓN: BRAZO ROBÓTICO MANIPULADOR**

Se analizan las diferentes configuraciones de brazos manipuladores para obtener una configuración adecuada que cumpla con los requerimientos y objetivos del proyecto.

##### **3.1.1 SELECCIÓN DEL TIPO DE CONFIGURACIÓN DEL BRAZO ROBÓTICO**

Para seleccionar la configuración del brazo robótico se consideraron las estructuras básicas para robots manipuladores y se analizaran cada una de ellas

- Configuración Cartesiana
- Configuración Cilíndrica
- Configuración Polar

- Configuración Angular
- Configuración Scara

### **3.1.1.1 Perfil de las Configuraciones**

#### *Configuración Cartesiana*

Consiste en un brazo con tres articulaciones lineales, para lo cual se necesitarán tres actuadores para las respectivas articulaciones más el actuador para el elemento manipulador.

Además se necesitarán 3 ejes roscados ó a su vez tres sistemas piñon-cremallera que permitirán los movimientos dentro de los ejes cartesianos principales.

#### *Configuración Cilíndrica*

Consiste en un brazo con dos articulaciones lineales y una de rotación, para lo cual se necesitarán tres actuadores más el actuador para el elemento manipulador.

Además se necesitarán dos ejes roscados o a su vez dos sistemas piñon-cremallera que permitirán los movimientos lineales y un acople que permita el movimiento de rotación, cumpliendo así con la configuración.

#### *Configuración Polar*

Consiste en un brazo con dos articulaciones de rotación y una lineal, para lo cual se necesitarán tres actuadores más el actuador para el elemento manipulador.

Además se necesitará un eje roscado o a su vez un sistema piñon-cremallera que permitirá el movimiento lineal y dos acoples que permitan los movimientos de rotación, cumpliendo así con la configuración.

### *Configuración Angular*

Consiste en un brazo con tres articulaciones de rotación; para lo cual se necesitarán tres motores más el motor para el elemento manipulador.

Además se necesitarán tres acoples que permitan los movimiento de rotación, cumpliendo así con la configuración.

Este tipo de configuración es de fácil construcción y muy utilizada pero es una configuración muy inestable.

### *Configuración Scara*

Consiste en un brazo con dos articulaciones de rotación y una de desplazamiento; para lo cual se necesitarán tres motores más el motor para el elemento manipulador.

Además se necesitarán dos acoples que permitan los movimiento de rotación, y un eje roscado o sistema piñon – cremallera que permita el desplazamiento lineal, cumpliendo así con la configuración.

### **3.1.1.2 Selección de la Configuración del Brazo Robótico**

Las tablas 3.1 a 3.5 son las usadas para la selección de la configuración del brazo robótico manipulador



Tabla 3.1 Alternativas y criterios de selección

Alternativas (Configuraciones)		Criterios de selección	
<b>A</b>	Cartesiana	<b>I</b>	Facilidad de construcción
<b>B</b>	Cilíndrica	<b>II</b>	Volumen de trabajo
<b>C</b>	Polar	<b>III</b>	Estabilidad
<b>D</b>	Angular	<b>IV</b>	Costo
<b>E</b>	Scara		

Tabla 3.2 Asignación de valores y ponderación para la selección de la aplicación

Escala de Calificación	
Excelente	10
Bueno	7 – 9
Regular	4 – 6
Malo	1 – 3

Tabla 3.3 Asignación de valores y ponderación para la selección

A / C	I	II	III	IV	Ponderación	
<b>A</b>	5	5	10	5	<b>I</b>	0,3
<b>B</b>	7	7	7	8	<b>II</b>	0,15
<b>C</b>	6	7	6	8	<b>III</b>	0,25
<b>D</b>	9	10	5	9	<b>IV</b>	0,3
<b>E</b>	10	5	8	10		
<b>Total</b>	37	34	36	40		

Tabla 3.4 Normalización de la tabla 3.8

A / C	I	II	III	IV	Ponderación	
					I	0,3
<b>A</b>	0,14	0,15	0,28	0,13	<b>II</b>	0,15
<b>B</b>	0,19	0,21	0,19	0,20	<b>III</b>	0,25
<b>C</b>	0,16	0,21	0,17	0,20	<b>IV</b>	0,3
<b>D</b>	0,24	0,29	0,14	0,23		
<b>E</b>	0,27	0,15	0,22	0,25		
<b>Total</b>	1,00	1,00	1,00	1,00		

Tabla 3.5 Resultados de la multiplicación de matrices

Alternativas	Valores
<b>A</b>	0,17
<b>B</b>	0,20
<b>C</b>	0,18
<b>D</b>	0,22
<b>E</b>	0,23

*Conclusión:*

Del análisis anterior se encontró que la configuración Scara es la que se ajusta a los requerimientos del presente proyecto debido a la facilidad que presenta en la construcción y su costo bajo.

### 3.2 DESCRIPCIÓN DEL BRAZO MANIPULADOR DE CONFIGURACIÓN SCARA

La presente aplicación simula la traslación automatizada de elementos mediante un brazo robótico que posee cuatro tipos de articulaciones (ver figura 3.1) las cuales son:

1. Dos articulaciones giratorias alrededor de dos ejes paralelos al eje z.
2. Una articulación de desplazamiento paralela al eje z.
3. Una articulación restringida en el efector final para la manipulación del objeto a posicionar.

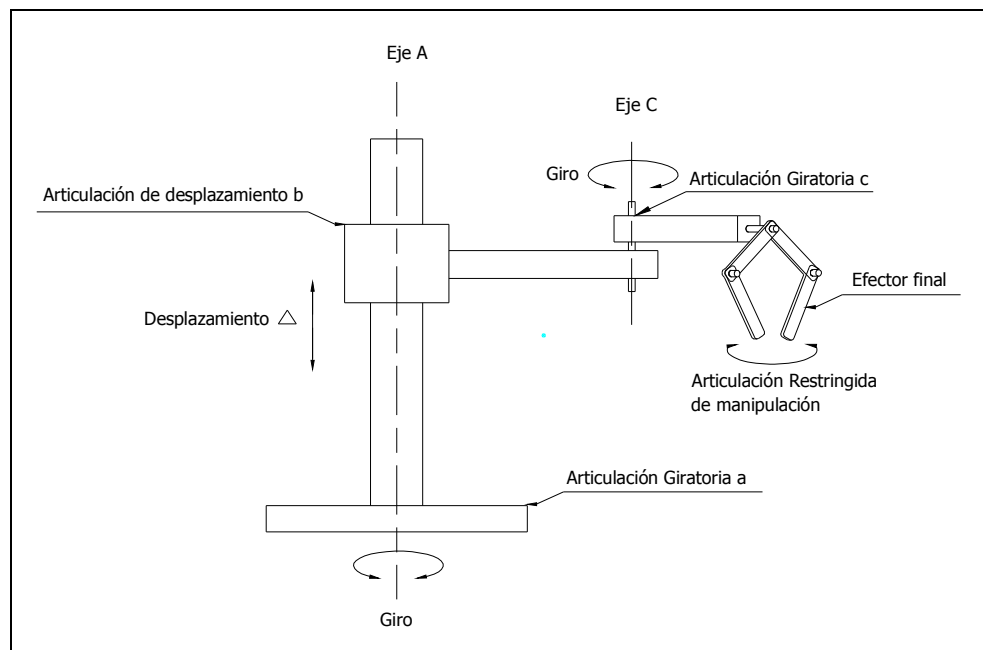


Figura 3.1 Esquema de las articulaciones de la Configuración Scara

Esta aplicación consiste en levantar objetos desde un punto mediante un efector final, para luego ser trasladado al siguiente punto del proceso.

Para detectar el objeto se utilizará un sensor inductivo, el cual activará el brazo robótico iniciando una secuencia de movimientos, luego de los cuales dicho objeto se encontrará en una nueva posición.

Para lograr el giro alrededor del eje A se utilizará un actuador controlado para dar el giro que sea necesario pudiendo dar una revolución completa si se lo requiere.

Este actuador se encuentra empotrado en la base inferior o bastidor, para lograr el movimiento de giro el eje del motor, este se encuentra acoplado a una base intermedia que sostiene al brazo.

El desplazamiento vertical sobre el eje B del brazo se lo realiza mediante otro actuador ubicado sobre una base intermedia, el motor mueve un husillo en donde se encuentra el brazo articulado acoplado mediante una rosca.

El movimiento del motor se detendrá dependiendo de las alturas que se quieran alcanzar, estas alturas varían dependiendo del número de revoluciones que de el motor.

Al final del primer brazo se encuentra fijo un tercer actuador que permite el giro del antebrazo alrededor del eje C.

Este actuador puede girar cerca de una revolución si se lo requiere, y al final de este se encuentra localizado el efector final.

El efector final es un sistema que mediante un cuarto actuador permite la sujeción del elemento a manipular.

Se puede observar un bosquejo general de la aplicación en la figura 3.2

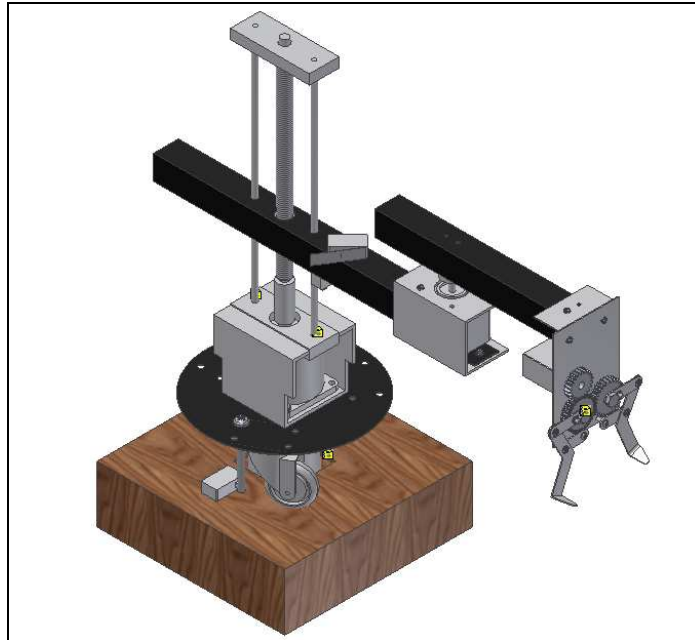


Figura 3.2 Bosquejo de la aplicación

### 3.3 PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DEL BRAZO ROBÓTICO DE CONFIGURACIÓN SCARA

Los parámetros de diseño a considerarse son los siguientes:

- Dimensiones generales
- Diseño de articulaciones
- Diseño de eslabones
- Diseño del efector final
- Selección de actuadores para las articulaciones
- Selección del actuador para el efector final

### 3.3.1 DIMENSIONES GENERALES

Debido al carácter didáctico del proyecto las dimensiones se regirán al espacio disponible en la base del módulo como se observa en la Tabla 3.6 y Fig 3.3

Tabla 3.6 Dimensiones Generales

Dimensiones	mm
Alto (A)	430
Largo (B)	440
Ancho (C)	190

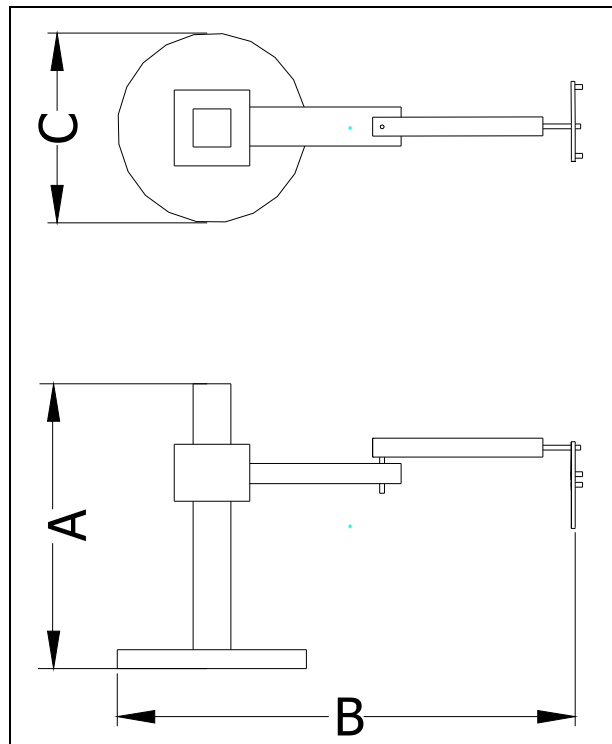


Figura 3.3 Esquema de las dimensiones generales del brazo robótico

Estas dimensiones no corresponden a características específicas requeridas dentro de un proceso determinado.

### **3.3.2 DISEÑO DE ARTICULACIONES**

Para la configuración Scara se requieren de tres articulaciones dos de las cuales son giratorias y una de desplazamiento vertical.

#### **3.3.2.1 Articulación giratoria A**

Esta articulación sirve para unir el eslabón 1 (bastidor) con el eslabón 2, para realizar la rotación del brazo articulado, para lo cual se requiere que el motor A transmita su movimiento a la estructura.

Para la transmisión del movimiento se decidió entre prisioneros o un sistema de engranes reductores.

Los reductores son un conjunto de engranes que sirven para transmitir la velocidad, los cuales posee ciertos inconvenientes como son: la dificultad para conjugarlos, encontrar este tipo de elementos en el mercado y su precio; y tienen como ventaja que pueden mantener la inercia de la estructura.

Los prisioneros son elementos que nos sirven para transmitir el movimiento desde un eje a otro tipo de elementos, para lo cual se requiere de un acople, su inconveniente sería la inercia de la estructura, lo cual se puede arreglar con una rueda estabilizadora y como ventaja tiene la facilidad de construcción y montaje, además de su facilidad de encontrarlos.

Por lo tanto se decidió que para la transmisión del movimiento del motor-A a la estructura se lo realizará mediante prisioneros.

### 3.3.2.2 Articulación de desplazamiento B

Esta articulación unirá los eslabones 2 y 3, en donde el eslabón 3 se desplaza verticalmente sobre el eslabón 2.

La obtención del desplazamiento vertical se puede lograr utilizando diferentes mecanismos, los más idóneos son:

- Piñón - cremallera
- Husillo

#### 3.3.2.2.1 Perfil de las articulaciones de desplazamiento

##### a) *Piñón-cremallera*

Este mecanismo tiene por finalidad la transformación de un movimiento de rotación o circular (piñón) en un movimiento rectilíneo (cremallera) o viceversa.

Este mecanismo como su mismo nombre indica está formado por dos elementos componentes que son el piñón y la cremallera.

- El piñón es una rueda dentada normalmente con forma cilíndrica que describe un movimiento de rotación alrededor de su eje.
- La cremallera es una pieza dentada que describe un movimiento rectilíneo en uno u otro sentido según la rotación del piñón.

El mecanismo piñón-cremallera funciona como un engranaje simple, esto significa que tanto la cremallera como el piñón han de tener el mismo paso circular y, en consecuencia, el mismo módulo, (ver fig. 3.4).



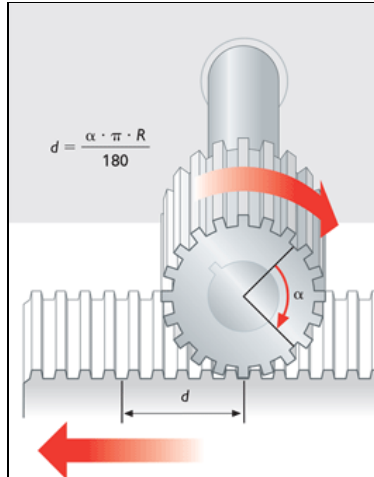


Figura 3.4 Sistema piñón cremallera

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

Habitualmente el piñón actúa como elemento motor y la cremallera, como elemento conducido, así podemos realizar la transformación de movimientos circulares en movimientos rectilíneos.

**b) Tuerca-husillo:**

Como se observa en la fig. 3.5 es un tipo de mecanismo constituido por un tornillo (husillo) que al girar produce el desplazamiento longitudinal de la tuerca en la que va enroscado (movimiento rectilíneo).

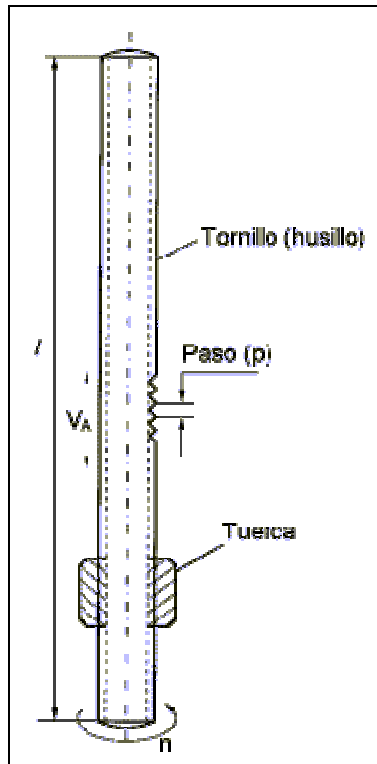


Figura 3.5 Sistema Tuerca husillo  
Fuente: <http://almez.pntic.mec.es>

*Tablas de selección*

En las tablas 3.7 a .3.11 se determina el sistema a ser utilizado

Tabla 3.7 Alternativas y criterios de selección

Alternativas		Criterios de selección	
<b>A</b>	Piñon-cremallera	<b>I</b>	Disponibilidad
<b>B</b>	Tuerca- Husillo	<b>II</b>	Estabilidad
		<b>III</b>	Costo

Tabla 3.8 Asignación de valores y ponderación para la selección de la aplicación

<b>Escala de Calificación</b>	
Excelente	10
Bueno	7 – 9
Regular	4 – 6
Malo	1 – 3

Tabla 3.9 Asignación de valores y ponderación para la selección

<b>A / C</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>Ponderación</b>	
<b>A</b>	7	10	7	<b>I</b>	0,35
<b>B</b>	10	9	10	<b>II</b>	0,35
				<b>III</b>	0,3
<b>Total</b>	17	19	17		

Tabla 3.10 Normalización de la tabla 3.14

<b>A / C</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>Ponderación</b>	
<b>A</b>	0,41	0,53	0,41	<b>I</b>	0,35
<b>B</b>	0,59	0,47	0,59	<b>II</b>	0,35
				<b>III</b>	0,3
<b>Total</b>	1,00	1,00	1,00		

Tabla 3.11 Resultados de la multiplicación de matrices

<b>Alternativas</b>	<b>Valores</b>
<b>A</b>	0,45
<b>B</b>	0,55

*Conclusión:*

Se determinó que para realizar la articulación prismática se usará el sistema tuerca-husillo, esto debido a la disponibilidad, facilidad en la construcción y al bajo costo de este tipo de mecanismo.

En cuanto a la transmisión del movimiento del motor B hacia el husillo se lo hará mediante prisioneros al igual que en la transmisión de movimiento del motor A, para lo cual estos elementos necesitarían de un acople.

**3.3.2.3 Articulación giratoria C**

Esta articulación sirve para unir el eslabón 4 (brazo 2) al eslabón 3, para realizar la rotación del brazo 2, alrededor del eje C, para lo cual se requiere que el motor C transmita su movimiento al brazo 2.

Para la transmisión del movimiento se decidió entre pasadores o un sistema de engranes reductores y con la misma concepción que para el diseño de la articulación A se decidió que para la transmisión del movimiento del motor C a la estructura se lo realizará mediante pasadores.

**3.3.3 DISEÑO DE ESLABONES****3.3.3.1 Eslabón 2**

Está conformado por la unión de los siguientes elementos (Ver figura 3.6)

- Acople A
- Disco Base
- Rueda estabilizadora A

- Base del motor B
- Acople B
- Base inferior de columnas guías
- Base superior de columnas guías y husillo
- Husillo
- Columnas guías

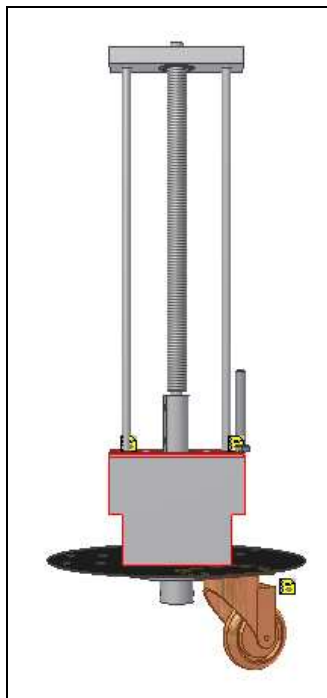


Figura 3.6 Eslabón 2

#### *Acople A*

Este acople sirve para transmitir el movimiento del motor A, a la estructura mediante prisioneros, el material utilizado será aluminio debido a la facilidad para ser maquinado. Para su funcionalidad poseerá los siguientes alojamientos para los prisioneros y para su sujeción.

El acople A se puede observar en el anexo E

### *Disco base*

El disco base tiene la finalidad de aumentar la estabilidad de la estructura se la construirá a partir de una placa de tool. Este elemento poseerá alojamientos para su sujeción y para sostener la rueda estabilizadora y el tope del fin de carrera A.

### *Rueda estabilizadora A*

Será colocada en el disco base y su propósito es eliminar vibraciones y dar mayor estabilidad al brazo robótico, esta será adquirida y sus dimensiones serán establecidas por la disponibilidad en el mercado.

### *Base del motor B*

La base del motor B se colocará principalmente para la sujeción de la base inferior de las columnas guías mediante un ajuste en apriete, además poseerá varios alojamientos para su sujeción.

El material a ser utilizado debe ser capaz de abarcar al motor B y sostener a la base inferior de las columnas guías por lo que se ha decidido que se utilizará un perfil de aluminio.

La base del motor B puede ser vista en el anexo E

### *Acople B*

Este será el encargado de transmitir el movimiento del motor B al husillo, mediante dos prisioneros. Este acople será de acero y construido con alta precisión para que la transmisión del movimiento al husillo no produzca vibración ni juegos que desestabilicen la estructura.

El acople B puede ser visto en el anexo E

### *Base inferior para las columnas guías*

Este elemento permite sostener las guías verticales del brazo uno para su desplazamiento vertical, para lo cual posee dos (2) alojamientos en los cuales

mediante apriete serán colocadas las guías, y un alojamiento que permite el paso del husillo.

La base inferior para las columnas guías se puede observar en el anexo E

#### *Columnas guías*

Estos elementos sirven de guías al brazo 1 cuando se da el desplazamiento vertical mediante el sistema tuerca-husillo.

Estos elementos se construirán a partir de una varilla lisa y poseerán un ajuste de apriete en sus extremos para su sujeción en las bases.

La columna guía se puede observar en el anexo E

#### *Base superior para las columnas guías y husillo*

Este elemento permite sostener las columnas guías al igual que la base inferior, además posee un alojamiento para la colocación de un rodamiento, sobre el cual rodará el husillo, El alojamiento para el rodamiento posee una tolerancia para un ajuste en apriete.

La base superior para las columnas guías se puede observar en el anexo E

#### *Husillo*

El husillo del brazo es el elemento que poseerá el movimiento del motor B, para el desplazamiento vertical del brazo robótico. Para el husillo se utilizará un eje roscado de paso grueso, debido a su facilidad de conseguirlo. Este elemento poseerá en sus extremos facilidades para su montaje.

El husillo se puede observar en el anexo E

### 3.3.3.2 Eslabón 3

Está conformado por la unión de los siguientes elementos (Ver figura 3.7)

:

- Acople tuerca
- Brazo1
- Base del Motor C
- Acople C

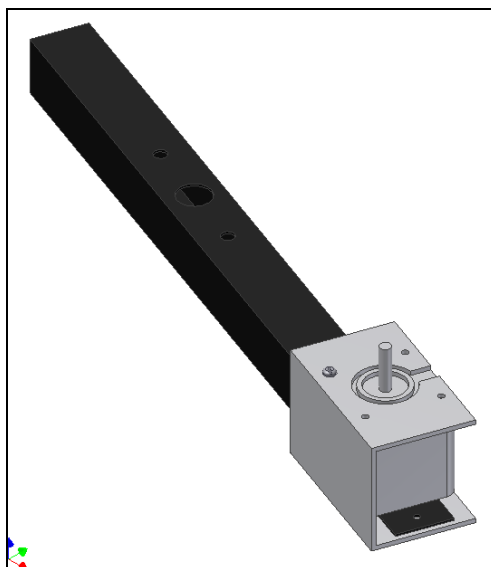


Figura 3.7 Eslabón 3

#### *Acople tuerca*

La tuerca a utilizar debe ser del mismo paso que el husillo, la cual transformará el movimiento circular del husillo en lineal con dirección vertical, la tuerca transmitirá su movimiento al brazo 1. La tuerca a utilizar se unirá a una placa que permita transmitir el movimiento lineal al brazo 1.

El acople tuerca se muestra en el anexo E



*Brazo 1:*

El brazo 1 estará conectado a la tuerca mediante pernos y poseerá alojamientos guías para desplazarse verticalmente a través de las columnas y su paso del mecanismo tuerca husillo.

En el extremo de este brazo se colocará un actuador para obtener el giro del brazo 2, por lo que este elemento poseerá alojamientos para su sujeción.

Este brazo será construido con un perfil de aluminio debido a su peso, facilidad para ser trabajado y disponibilidad.

El brazo 1 se muestra en el anexo E

*Base del Motor C*

Se colocará una base para el motor C, la cual sirve para la sujeción del motor C y para la rueda estabilizadora C. Para su funcionalidad poseerá varios alojamientos para su sujeción al brazo 1, y para sujetar al motor C.

El material a ser utilizado debe ser capaz de abarcar al motor C por lo que se utilizará un perfil de aluminio.

La base del motor C puede ser vista en el anexo E

**3.3.3.3 Eslabón 4**

Está conformado por la unión de los siguientes elementos (Ver figura 3.8)

- Brazo2
- Palanca
- Rueda estabilizadora C

Este se encuentra conformado por el brazo 2 y por la rueda estabilizador con su palanca respectiva, a continuación se presenta una breve descripción de cada uno de ellos.

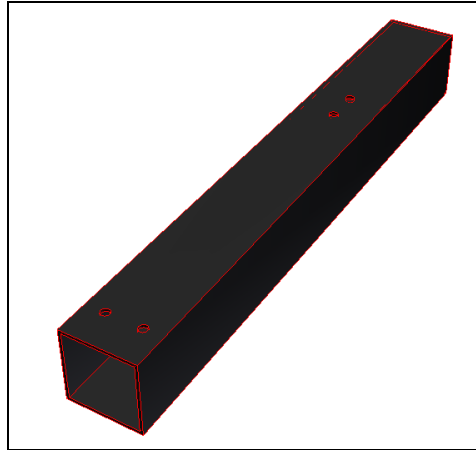


Figura 3.8 Eslabón 4

#### *Brazo 2:*

Este elemento es un elemento que girará alrededor del eje C, para lo cual requiere alojamientos que permitan su sujeción al actuador C y al efector final y dos alojamientos para la colocación de la rueda estabilizadora del brazo 2.

Este brazo será construido con un perfil de aluminio debido a su peso, facilidad para ser trabajado y disponibilidad.

El brazo 2 se puede observar en el anexo E

#### *Palanca de rueda estabilizadora*

Este elemento junto con la rueda estabilizadora C sirve al brazo 2, para evitar los efectos de la inercia. Para su funcionalidad poseerá alojamientos para su sujeción al brazo 2 y para la colocación del eje de la rueda estabilizadora, será realizada de baquelita debido a que no soportará grandes esfuerzos y por su facilidad para ser trabajada

La palanca de la rueda estabilizadora se puede observar en el anexo E

### *Rueda estabilizadora*

Como se dijo esta rueda esta se sujeta a la palanca, y tiene un recubrimiento de goma que permite un mejor agarre.

### **3.3.4 DISEÑO DEL EFECTOR FINAL**

En un robot de configuración scara se pueden tener diferentes efectores como por ejemplo: taladro, pistola soldadora, etc, pudiéndose realizar también manipulación de objetos, es por esta última opción que se ha decido que el efector final tendrá forma de pinzas, en la figura 3.9 se puede observar un bosquejo de la pinza.

El efector aumenta un grado de libertad al brazo robótico siendo éste de tipo restringido, utilizando para su animación un actuador que no gire completamente.



Figura 3.9 Bosquejo de la pinza

El efector final posee los siguientes elementos:

- Base
- Engranés
- Pasadores
- Eslabones transmisores
- Eslabones guías
- Dedos

#### *Base*

La base de la pinza sirve para sostener los diferentes elementos de la pinza la cual se la construirá mediante una placa de aluminio que constará de alojamientos para su sujeción al brazo 2 y otros que permitirán la sujeción de los diferentes elementos del efector final.

La base de la pinza se la puede observar en el anexo E

#### *Engranés*

Estos elementos transmiten el movimiento desde el actuador hacia los sujetadores, se tendrán tres engranes uno de los cuales es el motriz que se encontrará acoplado al actuador, este transmitirá el movimiento a los otros 2 conducidos que a su vez moverán los eslabones transmisores de movimiento.

La relación de transmisión entre los engranes motriz y conducido es de 28/30 los cuales se obtuvieron del mecanismo de una impresora.

#### *Pasadores*

Estas son las articulaciones del efector final que sirven de ejes a los engranes y unen los eslabones.

Estos pasadores no son más que pernos que se utilizarán como conexiones entre los eslabones y como ejes para los engranes.

#### *Eslabones transmisores*

Estos eslabones sirven para la transmisión del movimiento desde los engranes a los dedos de la pinza, los cuales serán dos (2) y estarán provistos de alojamientos que permitan su sujeción en los engranes conducidos y la colocación de los pasadores para la conexión.

El eslabón se puede observar en el anexo E

#### *Eslabones guías*

Estos eslabones restringen el movimiento de los dedos, guiándolos para que se cierren o abran, estos eslabones serán dos (2) y estarán provistos de alojamientos en sus extremos que servirán para colocar pasadores.

El eslabón se puede observar en el anexo E

#### *Dedos*

Son los elementos que sujetarán los objetos a posicionar por el brazo, poseerán una forma que permita que se cierren y abran.

El dedo se puede observar en el anexo E

### **3.3.5 SELECCIÓN DE ACTUADORES PARA LAS ARTICULACIONES**

Los actuadores generan las fuerzas o pares necesarios para animar la estructura mecánica.

Se pueden utilizar actuadores neumáticos o hidráulicos si el requerimiento de potencia es grande y además motores eléctricos.

En la presente aplicación se utilizarán motores eléctricos de corriente continua servocontrolados debido a su costo y a la baja demanda de potencia.

La selección de estos motores se la realiza en base al torque que suministran, facilidad para ser controlados, facilidad para ser acoplados.

Los tipos de motores usados en la construcción de robots a nivel didáctico son los siguientes:

- Motores de Corriente Continua
- Motores Paso a Paso
- Servomotores

### **3.3.5.1 Perfil de Motores eléctricos**

#### *3.3.5.1.1 Motores de Corriente Continua:*

Dentro de la gran variedad de tipos existentes en el mercado los más económicos son los que se utilizan en algunos juguetes, pero tienen el inconveniente de que su número de revoluciones por segundo es muy elevado ver figura 3.10.

Debido al bajo torque y altas velocidades que estos motores entregan se necesitará una caja reductora por cada motor a utilizarse.

Se necesitará fabricar bases para cada motor que nos permitan sujetar los mismos a los diferentes eslabones y bastidor según corresponda.



Figura 3.10 Motores de corriente continua

Fuente: [http://robots-argentina.com.ar/MotorPP\\_basico.htm](http://robots-argentina.com.ar/MotorPP_basico.htm)

#### 3.3.5.1.2 Motores Paso a Paso:

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos ver figura 3.11.

Estos motores poseen varias bobinas haciendo que la precisión en el movimiento sea la deseada.



Figura 3.11 Motores paso a paso

Fuente: [http://robots-argentina.com.ar/MotorPP\\_basico.htm](http://robots-argentina.com.ar/MotorPP_basico.htm)

### 3.3.5.1.3 Servomotores:

Es un dispositivo pequeño que tiene un eje de rendimiento controlado. Este puede ser llevado a posiciones angulares específicas al enviar una señal codificada ver figura 3.12.

Para la utilización del servomotor se deberá construir un acople especial que permita la traslación de movimiento de su eje a los diferentes eslabones



Figura 3.12 Servomotor

Fuente: [http://robots-argentina.com.ar/MotorPP\\_basico.htm](http://robots-argentina.com.ar/MotorPP_basico.htm)

### 3.3.5.2 Selección de los Actuadores para el Brazo Robótico.

En las tablas 3.12 a 3.16 se puede observar el proceso de selección que se realizó para la determinación del tipo de actuadores a usar

Tabla 3.12 Alternativas y criterios de selección

Alternativas		Criterios de selección	
<b>A</b>	Motor DC pequeños	<b>I</b>	Facilidad de Control
<b>B</b>	Motor PaP	<b>II</b>	Precisión
<b>C</b>	Servo Motor común	<b>III</b>	Costo



Tabla 3.13 Asignación de valores y ponderación para la selección de la aplicación

<b>Escala de Calificación</b>	
Excelente	10
Bueno	7 – 9
Regular	4 – 6
Malo	1 – 3

Tabla 3.14 Asignación de valores y ponderación para la selección

<b>A / C</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>Ponderación</b>	
<b>A</b>	5	5	10	<b>I</b>	0,35
<b>B</b>	10	10	7	<b>II</b>	0,35
<b>C</b>	10	9	7	<b>III</b>	0,3
<b>Total</b>	25	24	24		

Tabla 3.15 Normalización de la tabla 3.14

<b>A / C</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>Ponderación</b>	
<b>A</b>	0,20	0,21	0,42	<b>I</b>	0,35
<b>B</b>	0,40	0,42	0,29	<b>II</b>	0,35
<b>C</b>	0,40	0,38	0,29	<b>III</b>	0,3
<b>Total</b>	1,00	1,00	1,00		

Tabla 3.16 Resultados de la multiplicación de matrices

<b>Alternativas</b>	<b>Valores</b>
<b>A</b>	0,27
<b>B</b>	0,37
<b>C</b>	0,36

*Conclusión:*

Los motores a utilizar como actuadores del brazo robótico serán los de tipo paso a paso debido principalmente a su precisión y facilidad de control.

### 3.3.5.3 Selección de los motores paso a paso

Los motores Paso a Paso se clasifican en dos tipos:

- Motores Unipolares
- Motores Bipolares

#### 3.3.5.3.1 Perfil de motores paso a paso

##### *Motores Unipolares*

Estos motores suelen tener 6 o 5 cables de salida, dependiendo de su conexionado interno como se muestra en la figura. 3.13

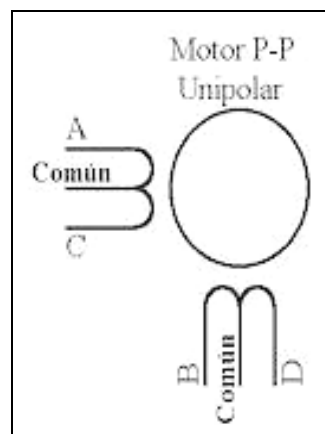


Figura 3.13 Motores unipolares

Fuente: <http://www.electroportal.net>

Este tipo de motores se caracteriza por ser más simple de controlar gracias a que poseen devanados duplicados.

Para la utilización de estos motores se necesitará una fuente y el control respectivo.

### *Motores Bipolares*

Estos tienen generalmente cuatro cables de salida ver figura 3.14. Son difíciles de controlar, debido a que requieren del cambio de dirección del flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento.

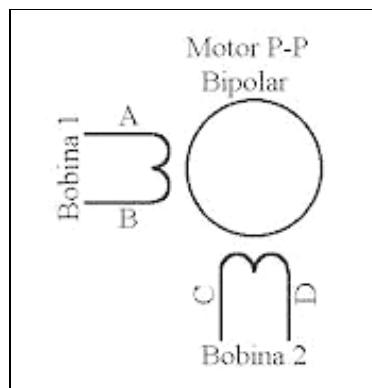


Figura 3.14 Motores bipolares

Fuente: <http://www.electroportal.net>

Para la utilización de estos motores se necesitará un control con un grado de dificultad mayor que para controlar un motor unipolar.

### *Conclusión*

Los motores paso a paso a utilizar como actuadores en el brazo robótico serán los unipolares debido a la facilidad de control

### **3.3.6 REQUERIMIENTOS DE MOTORES Y SU ALIMENTACIÓN**

#### **3.3.6.1 Fuente utilizada para la alimentación de los motores**

La fuente seleccionada para la alimentación de los motores paso a paso es una fuente de computadora que posee dos salidas la primera entrega 5 v y 18 A, mientras que la segunda entrega 12 v y 4,5 A.

#### **3.3.6.2 Motor paso a paso para la rotación alrededor del eje A (Motor A)**

Este motor paso a paso posee las siguientes características:

- Torque que servirá para mover la estructura que contiene el brazo articulado
- Voltaje de 5 v
- Facilidad para poder ser empotrado al bastidor

#### **3.3.6.3 Motor paso a paso para la rotación alrededor del eje C (Motor C)**

Este motor posee las siguientes características:

- Torque pequeño suficiente para la el mover el brazo 2
- Voltaje de 5 v
- Facilidad para poder ser sujeto al brazo 1.
- Liviano para que el par generado por este no desestabilice la estructura

### **3.3.6.4 Motor paso a paso para el desplazamiento vertical (Motor B)**

Este motor posee las siguientes características:

- Torque para lograr el desplazamiento del brazo articulado, mediante el sistema husillo-tuerca.
- Voltaje igual a 5 v
- Facilidad para ser sujeto.

### **3.3.7 SELECCIÓN DE ACTUADORES PARA EL EFECTOR FINAL**

Para la animación de el efector final se deberá utilizar un actuador que presente un bajo peso y un torque considerable, se debe tomar en cuenta que dicho actuador deberá presentar facilidad en su control.

El actuador a utilizar es un servomotor debido al torque que entrega y a su capacidad de mantener diferentes posiciones angulares.

#### **3.3.7.1 Requerimientos del motor**

Este motor debe poseer las siguientes características

- Torque suficiente para mover las pinzas y sujetar un objeto
- Un peso pequeño con el cual; el par generado por este no desestabilizará la estructura

Debido a los requerimientos se decidió que el motor a utilizar para el efector final será un servomotor

### 3.3.8 CINEMÁTICA INVERSA DEL BRAZO ROBÓTICO DE CONFIGURACIÓN SCARA

#### 3.3.8.1 Resolución del problema Cinemático Inverso por Métodos Geométricos

El procedimiento se basa en encontrar el suficiente número de relaciones geométricas en las que intervendrán las coordenadas del extremo del robot, sus coordenadas articulares y las dimensiones físicas de sus elementos. (Ver figura 3.15)

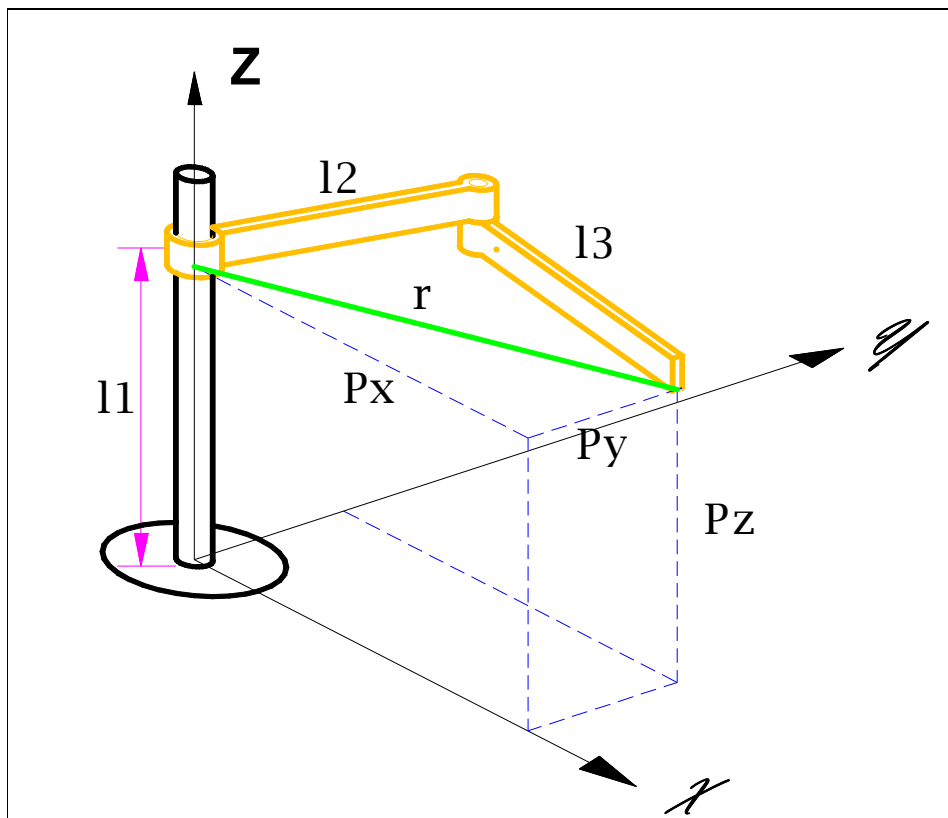


Figura 3.15 Esquema del brazo robótico

El valor  $l_1$  se obtiene con el giro del motor 1 siendo:

$$1 \text{ rev} = 3 \text{ mm}$$

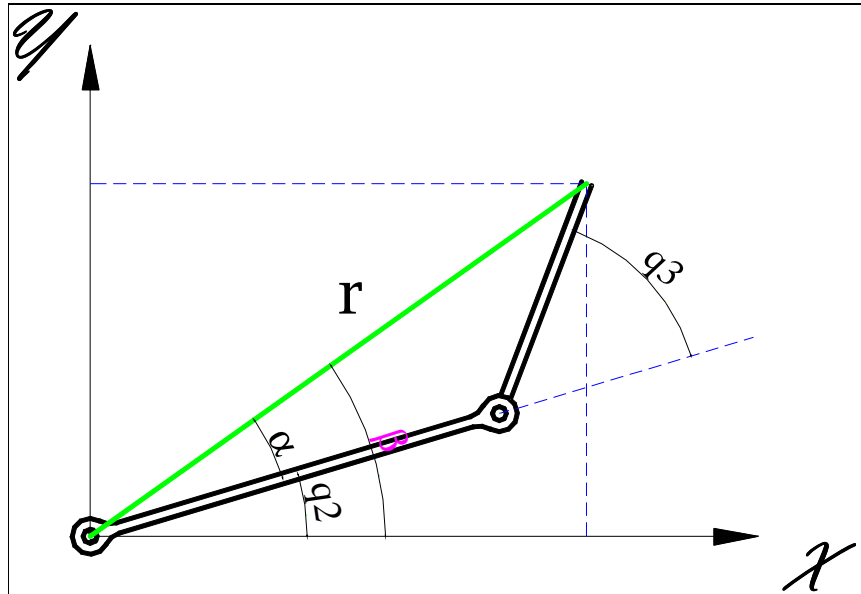


Figura 3.16 Solución codo abajo

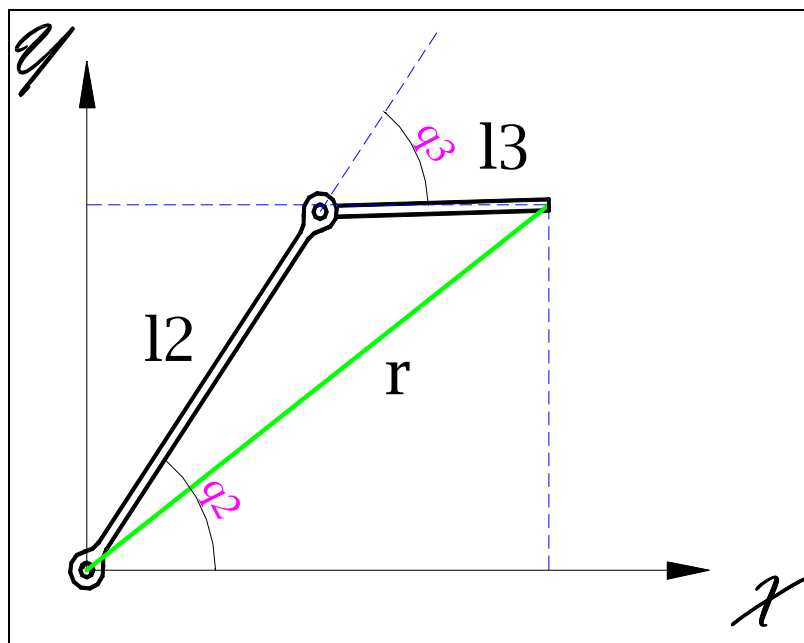


Figura 3.17 Solución codo arriba

$$r^2 = Py^2 + Px^2 \quad [1]$$

$$r^2 = l_2^2 + l_3^2 + 2l_2l_3\cos(q_3) \quad [2]$$

Igualando las ecuaciones 1 y 2 se tiene:

$$Py^2 + Px^2 = l_2^2 + l_3^2 + 2l_2l_3\cos(q_3)$$

$$\cos(q_3) = \frac{Py^2 + Px^2 - l_2^2 - l_3^2}{2l_2l_3} \quad [3]$$

Sabemos:

$$\text{Sen}(q_3) = \pm\sqrt{1 - \text{Cos}^2(q_3)} \quad [4]$$

Reemplazando 4 en 3 se tiene:

$$q_3 = \text{Arc tan} \left( \frac{\pm\sqrt{1 - \text{Cos}^2(q_3)}}{\text{Cos}^2(q_3)} \right) \quad [5]$$

Al reemplazar el coseno de  $q_3$  (ecuación 3) en la ecuación 4 se obtienen dos soluciones, como se puede ver en las figuras 1.16 y 1.17, estas soluciones corresponden a las denominadas codo abajo y codo arriba.



$$q_2 = \beta - \alpha \quad [6]$$

$$\beta = \text{Arc tan}\left(\frac{Py}{Px}\right) \quad [7]$$

$$\alpha = \text{Arc tan}\left(\frac{l_3 \text{Sen}(q_3)}{l_2 + l_3 \text{Cos}(q_3)}\right) \quad [8]$$

$$\Rightarrow q_2 = \text{Arc tan}\left(\frac{Py}{Px}\right) - \text{Arc tan}\left(\frac{l_3 \text{Sen}(q_3)}{l_2 + l_3 \text{Cos}(q_3)}\right) \quad [9]$$

En la tabla 3.17 se presenta un resumen de las longitudes del brazo robótico de configuración que se presenta en este proyecto

Tabla 3.17 Longitudes de los eslabones del brazo robótico

<b>Eslabón</b>	<b>Longitud mm</b>
2	0 – 184
3	170
4	145

## CAPÍTULO 4

### CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO

#### 4.1 CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA MODULAR

Se construirá a partir de los planos que se presentan en el anexo E, ver tablas 4.1 y 4.2

Tabla 4.1 Descomposición de la estructura modular

N° ELEM.	NOMBRE	MATERIAL	DIMENSIONES mm	CANT. POR UNIDAD	ORIGEN
1	Rampa	Placa de acero (tol)	500 x 620	1	Corte, doblado, troquelado, taladrado y pintado
2	Soportes laterales triangulares	Placa de acero (tol)	300 x 540	2	Corte, doblado, taladrado y pintado
3	Caja posterior	Placa de acero (tol)	500 x 500 x 50	1	Corte, doblado y pintado
4	Perfiles de estabilidad	Placa de acero (tol)	450 x 10	3	Corte, doblado y pintado

Tabla 4.1 Continuación Descomposición de la estructura modular

<b>N° ELEM.</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>DIMENSIONES mm</b>	<b>CANT. POR UNIDAD</b>	<b>ORIGEN</b>
5	Perfiles estructurales	Placa de acero (tol)	480 x 25 x 40	2	Corte, doblado y pintado
6	Tapa frontal	Placa de acero (tol)	460 x 180 x 10	1	Corte, doblado, taladrado y pintado
7	Riel DIN	Acero	500	1	Comprado y cortado
8	Pulsadores NA	Plástico	22	8	Comprado
9	Pulsadores NC	Plástico	22	2	Comprado
10	Leds Indicadores	Plástico	22	6	Comprado
11	Potenciómetros	Plástico	5	2	Comprado
12	Borneras	Plástico	10	36	Comprado
13	Tornillos	Acero	6,3 mm de diámetro	6	Comprado
14	Bisagra	Acero	50 mm de longitud	1	Comprado

Tabla 4.2 Determinación de los materiales e insumos requeridos

N° ELEM.	ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL	DIMENSIONES	N° ELEMS. REQS.	VALOR	
				UNIT.	TOTAL
1	Placa de acero Tol	1,20 x 2,40 m	1	33,50	33,50
2	Electrodo E6010	----	2	1,00	2,00
3	Pintura	1/8 de galón	1	5,00	5,00
4	Lijas de agua N° 400	----	2	0,50	1,00
5	Riel DIN	0,5 m de longitud	1	5,61	0,39
6	Tornillos	6,3 mm de diámetro	6	0,20	1,20
7	Bisagra	50 mm de longitud	1	0,70	0,70
8	Adhesivo	----	1	5,00	5,00

#### 4.1.1 DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES Y ACTIVIDADES A REALIZAR

La construcción de los elementos: que conformar la estructura modular se construyeron y montaron con las operaciones que se presentan a continuación:

##### *Cortar las plancha de tol*

Esta operación consiste en realizar cortes a la plancha de tol mediante una cizalla, según las medidas especificadas en los planos, para lo cual se requiere una cizalla de poca capacidad de corte.

Los cortes para la realización de los elementos de la estructura modular se encuentran en los anexos de cada elemento, cabe mencionar que en los planos se encuentra el desarrollo para realizar la forma deseada de cada elemento

*Troquelar alojamientos en la rampa*

Esta operación consiste en realizar alojamientos a la plancha de tol que va a funcionar como rampa mediante un troquel para espesores menores a 1mm y sus dados respectivos, la ubicación de los alojamientos y los diámetros de los mismos se encuentran en los planos.

Los alojamientos servirán para la colocación de los distintos elementos electrónicos a colocar en la estructura modular.

*Taladrado de la rampa*

Esta operación consiste en realizar alojamientos a las placas cortadas, y a la base según medidas especificadas en los planos, esto para el montaje respectivo.

*Doblar las placas*

Esta operación consiste en realizar los dobleces a las placas de tol mediante una dobladora. La ubicación de los dobleces se encuentra en el desarrollo de cada elemento.

*Soldar los elementos*

Esta operación consiste en soldar los elementos que constituyen el módulo dándole estabilidad y forma.

Se soldarán básicamente los perfiles estructurales con las tapas laterales y los perfiles de estabilidad a la rampa.

*Retirar exceso de soldadura*

Esta operación consiste en retirar las sobremontas, que no son más el exceso material de aporte que queda luego del proceso de soldar.

#### *Pintar la Estructura Soldada*

Esta operación consiste en colocar una capa de pintura a la estructura soldada, con lo cual se evitará la corrosión de la estructura, como también le brindará un aspecto estético y llamativo.

#### *Secado de la Estructura Previamente Pintada*

Esta operación consiste en dejar la estructura a la intemperie, durante un tiempo adecuado, y así obtener un secado óptimo.

#### *Montaje de la estructura modular a la base*

Esta operación consiste en montar la estructura modular a la base mediante tornillos.

#### *Colocación de elementos electrónicos en la placa rampa*

Esta operación consiste en colocar los elementos electrónicos como son las pulsadores, borneras, leds indicadores, y potenciómetros.

### **4.1.2 CONEXIONADO DEL MÓDULO DIDÁCTICO**

El conexionado del módulo didáctico contempla las siguientes conexiones:

- Alimentación del PLC
- Módulo de expansión al PLC
- Entradas digitales
- Entradas analógicas
- Salidas digitales

El PLC se alimenta mediante una fuente de 24 voltios DC, siendo el conexionado como se indica en la figura 4.1. Cabe mencionar que el catálogo de la fuente se lo puede hallar en el anexo B1.

Para las entradas digitales tenemos diez (10) pulsadores y veinte (20) borneras, los cuales se conectan al PLC tal como se indica en la figura 4.1

En las entradas analógicas tenemos dos (2) potenciómetros y seis (6) borneras, los cuales se conectan al PLC y a una fuente de 5 voltios tal como se indica en la figura 4.1

Para las salidas digitales tenemos seis (6) luces o "leds" indicadores y (12) borneras, los cuales se conectan al PLC tal como se indica en la figura 4.1

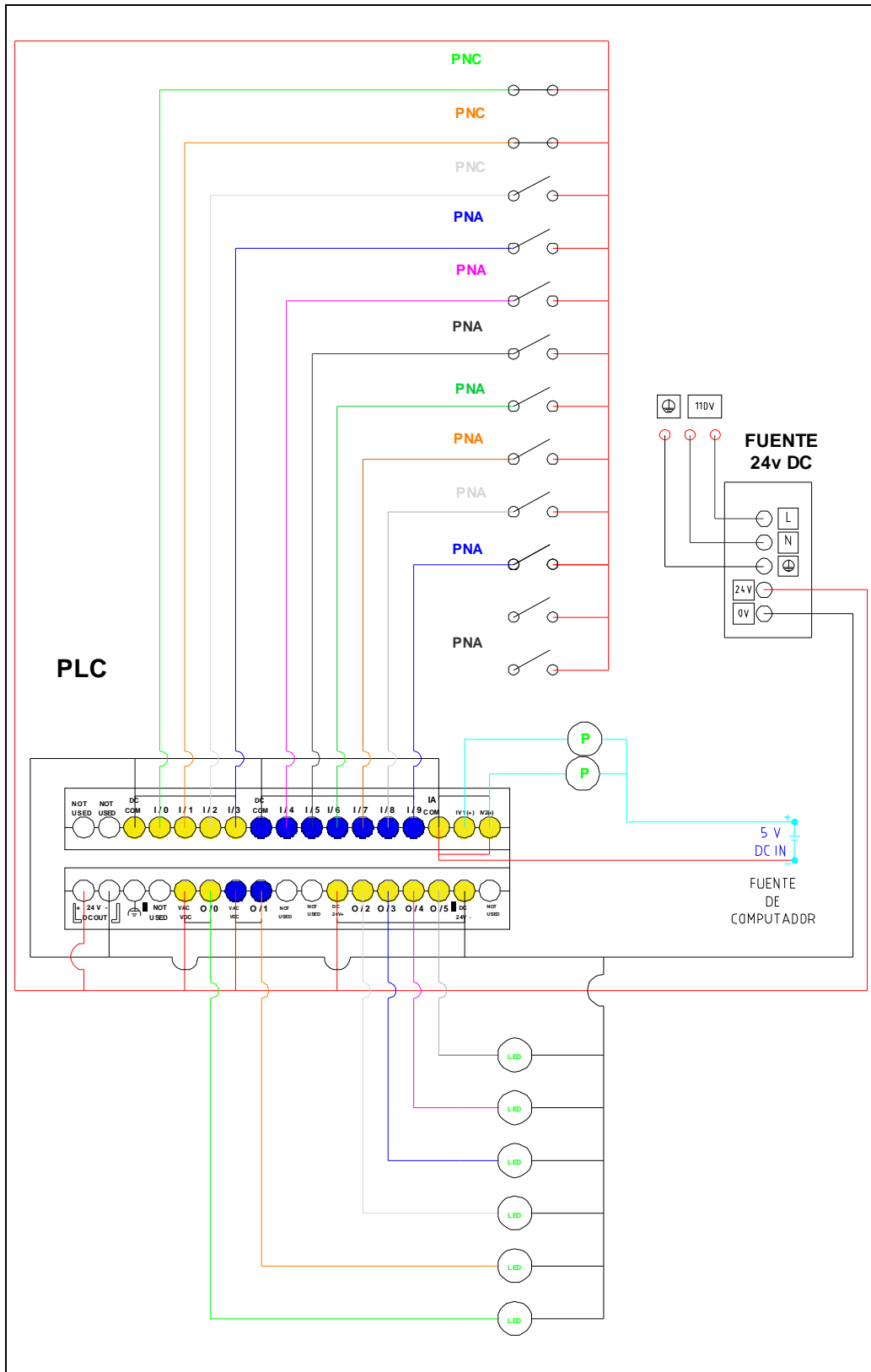


Figura 4.1 Conexionado del módulo



## 4.2 CONSTRUCCIÓN DEL BRAZO ROBÓTICO

Se construirá a partir de los planos que se presentan en el anexo E, ver tablas 4.3 y 4.4

Tabla 4.3 Descomposición del brazo robótico

N° ELEM.	NOMBRE	MATERIAL	DIMENSIONES (mm)	CANT. POR UNIDAD	ORIGEN
1	Base	Madera	190 x 190 x 55	1	corte, atornillado, lijado, fondeado, lacado
2	Motor A	----	$\varnothing = 52$ L = 51	1	Comprado
3	Pernos con su respectiva tuerca	Acero	---	4	Comprado
4	Acople A	Aluminio	$\varnothing = 52$ L = 25	1	torneado, taladrado y machuelado
5	Prisioneros	Acero	M3X1,75	2	Comprado
6	Pernos con su respectiva tuerca	Acero	$\varnothing = 5$	14	Comprado
7	Disco Base	Placa de acero (tol)	$\varnothing = 155$ e= 0,75	1	corte, taladrado y pintado
8	Llantas	-----	---	1	Comprado

Tabla 4.3 Continuación: Descomposición del brazo robótico

N° ELEM.	NOMBRE	MATERIAL	DIMENSIONES (mm)	CANT. POR UNIDAD	ORIGEN
9	Base del Motor B	Aluminio	64 x 64 x 3	1	corte, taladrado, limado y pintado
10	Motor B	—	$\varnothing = 57$ L = 47	1	comprado
11	Base Inferior de guías	Aluminio	80 x 30 e = 10	1	corte, fresado, taladrado, y pintado
12	Guías	Acero	$\varnothing = 5,5$ L = 252	2	corte, torneado,
13	Base superior de guías y husillo	Aluminio	80 x 30 e = 10	1	corte, fresado, taladrado, torneado y pintado
14	Rodamiento	Acero	$\varnothing_i = 22$ $\varnothing_e = 8$	1	comprado
15	Acople B	Acero	$\varnothing = 15$ L = 35	1	cortado, torneado, taladrado, machuelazo y pintado
16	Husillo (varilla roscada)	Acero	M 12x1,75 L = 235	1	cortado, torneado, y pulido

Tabla 4.3 Continuación: Descomposición del brazo robótico

N° ELEM.	NOMBRE	MATERIAL	DIMENSIONES (mm)	CANT. POR UNIDAD	ORIGEN
17	Placa tuerca	Acero	M12x1,75 75 x 20 x 20,8	1	cortado, taladrado, limado, soldado y pintado
18	Brazo 1	Aluminio	25 x 25 x 325	1	cortado, taladrado, limado y pintado
19	Motor C	_____	Ø = 25 L = 15	1	comprado
20	Acople C	Plástico	Ø = 20 L = 7	1	taladrado
21	Pernos con su respectiva tuerca	Acero	M3 x1,5 L = 30	2	comprado
22	Brazo 2	Aluminio	25 x 25 L = 200	1	cortado, taladrado, limado y pintado
23	Base de la pinza	Aluminio	65 x 100	1	cortado, taladrado, limado y pintado
24	Servomotor	_____	30 x 40 x 20	1	comprado
25	Engrane motriz	Plástico	Ø = 28	1	comprado
26	Engranajes conducidos	Plástico	Ø = 30	2	comprado

Tabla 4.3 Continuación: Descomposición del brazo robótico

<b>N° ELEM.</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>DIMENSIONES (mm)</b>	<b>CANT. POR UNIDAD</b>	<b>ORIGEN</b>
27	Pernos con su respectiva tuerca	Acero	$\varnothing = 6$ L = 25	2	comprado
28	Eslabones transmisores	Aluminio	40 x 10 x 1	2	cortado, taladrado, limado y pintado
29	Pernos con su respectiva tuerca	Acero	$\varnothing = 3$ L = 5	2	comprado
30	Eslabones guías	Aluminio	34 x 10 x 1	2	cortado, taladrado, limado y pintado
31	Pernos con su respectiva tuerca	Acero	$\varnothing = 3$ L = 25	2	comprado
32	Manipuladores	Aluminio	70 x 10 x 1	2	cortado, taladrado, limado y pintado
33	Pernos con su respectiva tuerca	Acero	$\varnothing = 3$ L = 5	4	comprado
34	Palanca de rueda estabilizadora	Baquelita	70 x 10 x 1	1	Cortado y limado
35	Rueda C	Baquelita	$\varnothing = 14$	1	Comprado

Tabla 4.4 Determinación de los materiales e insumos requeridos

N° ELEM.	ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL	DIMENSIONES mm	N° ELEMS. REQS.	VALOR	
				UNIT.	TOTAL
1	Madera	600 x 600	1	3,00	3,00
2	Clavos para madera	Ø = 1 L = 15	8	0,02	0,16
3	Lijas para madera	_____	2	0,25	0,50
4	Laca	_____	1	1,00	1,00
5	Tocho aluminio	Ø = 28 L = 52	1	2,00	2,00
6	Tol	200 x 200	1	0,30	0,30
7	Perfil de aluminio	64 x 64 x 3 L = 120	1	0,80	0,80
8	Varilla lisa	Ø = 25 L = 40	1	0,50	0,50
9	Cubo de aluminio	100 x 100 x 100	1	5,00	5,00
10	Varilla lisa	Ø = 5,5 L = 500	1	1,00	1,00
11	Varilla roscada	Ø = 12 L = 250 M12x1,75	1	2,00	2,00
12	Placa de acero	80 x 25 E = 3	1	0,40	0,40
13	Tuerca	M12x1,75	2	0,20	0,40

Tabla 4.4 Continuación: determinación de los materiales e insumos requeridos

N° ELEM.	ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL	DIMENSIONES mm	N° ELEMS. REQS.	VALOR	
				UNIT.	TOTAL
14	Electrodo E6010	----	1	1,00	1,00
15	Perfil de aluminio	25 x 25 x 1,5 L = 400	1	2,00	2,00
16	Lijas de agua N° 400	----	2	0,50	1,00
17	Pintura en spray diferentes colores	¼ de galón	3	2,50	7,50
18	Rodamiento				
19	Pernos con su respectiva tuerca	Ø = 5	24	0,10	2,40
20	Pernos con su respectiva tuerca	Ø = 3	16	0,02	0,32
21	Pernos con su respectiva tuerca	Ø = 6	2	0,12	0,24
22	Motor Paso a Paso A	---	1	7,00	7,00
23	Motor Paso a Paso B	---	1	6,00	6,00
24	Motor Paso a Paso C	---	1	4,00	4,00
25	Servomotor	---	1	17	17
26	Engranés	---	3	1,50	4,50
27	Baquelita	-----	1	1,50	1,50

## 4.2.1 DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES Y ACTIVIDADES REALIZADAS

### 4.2.1.1 Base

Este elemento se construyó en base al anexo E y se realizaron las siguientes operaciones (Ver figura: 4.3):

- Corte: Se cortó la madera acorde a los planos
- Taladrado: Se realizó cuatro (4) alojamientos de 5mm para empernar el motor A
- Lacado: Se laco con el uso de un compresor



Figura 4.2 Base del brazo robótico

### 4.2.1.2 Acople A

Este elemento se construyó en base al anexo E y se realizaron las siguientes operaciones (Ver figura 4.4):

- Torneado: Se cilindró el tocho de aluminio dejándolo de una longitud de 16 mm y un diámetro de 20 mm, además se refrentó los extremos

- Taladrado: Se realizó dos (2) alojamientos de 5mm para empinar el acople A al disco base y un (1) alojamiento de 18 mm de profundidad para unir el acople A al motor A
- Pintado: Se pintó el acople A mediante pintura en spray color plata

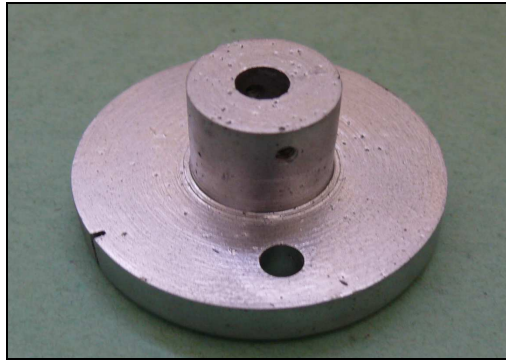


Figura 4.3 Acople A

#### 4.2.1.3 Disco Base

Este elemento se construyó en base al anexo E y se realizaron las siguientes operaciones (Ver figura 4.5):

- Corte: Se cortó la plancha en forma circular, mediante el uso de una tijera
- Taladrado: Se realizó dos (2) alojamientos de 5mm para empinar el disco base al acople A y cuatro (4) alojamientos de 5mm para empinar el disco a la base del motor B.
- Pintado: Se pintó el disco base mediante pintura en spray color negro





Figura 4.4 Disco base

#### 4.2.1.4 Base del motor B

Este elemento se construyó en base al anexo E y se realizaron las siguientes operaciones (Ver figura 4.6):

- Corte: Se cortó el perfil dejándolo de 81 mm de acuerdo a los planos
- Limado: Se limó manualmente las caras eliminando aristas vivas
- Taladrado: Se realizó cuatro (4) alojamientos de 5mm para empernar esta base al disco y dos (2) alojamientos de 17mm para el montaje.
- Pintado: Se pintó este mediante pintura en spray color plata

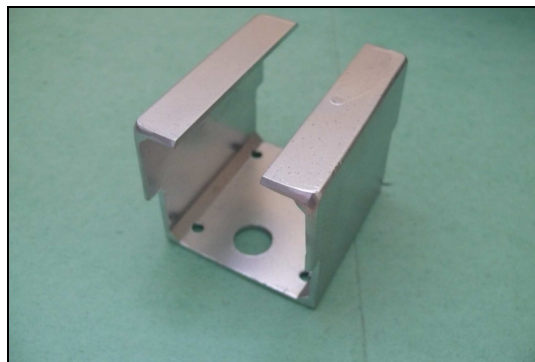


Figura 4.5 Base del motor B

#### 4.2.1.5 Acople B

Este elemento se construyó en base al anexo E y se realizaron las siguientes operaciones (Ver figura 4.7):

- Corte: Se cortó el tocho dejándolo de 37 mm de longitud
- Torneado: Se cilindró el tocho a un diámetro de 16 mm, además se refrentó los extremos
- Taladrado: Se realizó un (1) alojamiento de 8mm para unir este acople al husillo y al motor B, además de dos (2) alojamientos para la colocación de prisioneros.
- Machuelado: Se machueló los 2 alojamientos para la colocación de prisioneros
- Pintado: Se pintó este mediante pintura en spray color plata



Figura 4.6 Acople B

#### 4.2.1.6 Base inferior de guías

Este elemento se construyó en base al anexo E y se realizaron las siguientes operaciones (Ver figura 4.8):

- Corte: Se cortó el cubo de aluminio a dimensiones aproximadas a las indicadas en el plano.
- Fresado: Se fresó el aluminio a las dimensiones indicadas en los planos
- Torneado: Se torneó interiormente un alojamiento de 22 mm para permitir el montaje.
- Taladrado: Se taladró dos (2) alojamientos en los que se colocará en apriete las guías.
- Pintado: Se pintó mediante pintura en spray color plata

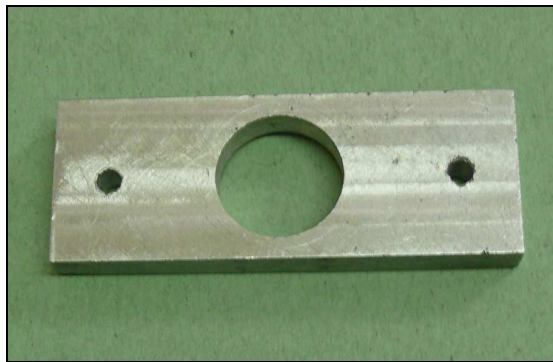


Figura 4.7 Base inferior de guías

#### 4.2.1.7 Base superior de guías y husillo

Este elemento se construyó en base al anexo E y se realizaron las siguientes operaciones (Ver figura 4.9):

- Corte: Se cortó el cubo de aluminio a dimensiones aproximadas a las indicadas en el plano.
- Fresado: Se fresó el aluminio a las dimensiones indicadas en los planos
- Torneado: Se torneó interiormente un (1) alojamiento de 22 mm para permitir la colocación en apriete de un rodamiento.
- Taladrado: Se taladró dos (2) alojamientos en los que se colocará en apriete las guías.
- Pintado: Se pintó este mediante pintura en spray color plata



Figura 4.8 Base superior de guías

#### 4.2.1.8 Guías

Este elemento se construyó en base al anexo E y se realizaron las siguientes operaciones (Ver figura 4.10):

- Corte: Se cortó la varilla lisa a dimensiones cercanas a las indicadas al plano.
- Torneado: Se cilindró los extremos hasta dejarlos del diámetro y longitud indicados en el plano, además se refrentó



Figura 4.9 Guías

#### 4.2.1.9 Husillo

Este elemento se construyó en base al anexo E y se realizaron las siguientes operaciones:

- Corte: Se cortó la varilla hasta dejarla de una longitud de 23mm
- Torneado: Se cilindró el un extremo una longitud de 35 mm y a un diámetro de 8 mm y el otro extremo una longitud de 15 mm y a un diámetro de 8 mm, además se refrentaron los extremos
- Pulido: Se pulieron los extremos

#### 4.2.1.10 Tuerca acople

Este elemento se construyó en base al anexo E y se realizaron las siguientes operaciones (Ver figura 4.11):

- Corte: Se cortó la placa dejándola a las dimensiones de 20 x 75 mm
- Taladrado: Se taladró en la placa un (1) alojamiento de 18 mm y cuatro (4) alojamientos de 6 mm, para su sujeción y guías
- Limado: Se limó el alojamiento de 18 mm, para soldar la tuerca
- Soldado: Se soldó la placa a 2 tuercas
- Retiro de soldadura: Se retiró el exceso de la junta soldada
- Pintado: Se pintó este mediante pintura en spray color negro



Figura 4.10 Placa tuerca

#### 4.2.1.11 Brazo 1

Este elemento se construyó en base al anexo E y se realizaron las siguientes operaciones (Ver figura 4.12):

- Corte: Se cortó el perfil de aluminio cercano a las dimensiones indicadas en el plano.
- Taladrado: Se realizaron dos (2) alojamientos para el paso de las guías, dos (2) para la sujeción de la placa tuerca, uno (1) para el paso del husillo y dos (2) para la sujeción del motor C
- Limado: Se limó un extremo del brazo para el montaje del motor C, además de las aristas vivas

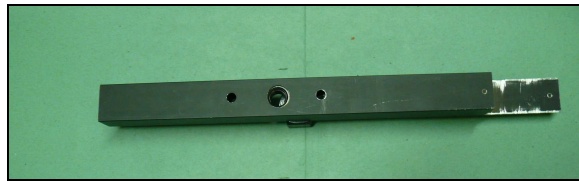


Figura 4.11 Brazo 1

#### 4.2.1.12 Base motor C

Este elemento fue construido en base al anexo E realizándose las siguientes operaciones (Ver figura 4.13):

- Corte: Se cortó el perfil de aluminio cercano a las dimensiones indicadas en el plano.
- Taladrado: Se realizaron cuatro (4) alojamientos para la sujeción del motor, dos (2) para la sujeción de este elemento al brazo 1 y uno (1) que permita el paso del eje del motor.
- Limado: Se limó el alojamiento que permite el paso del eje y las aristas vivas

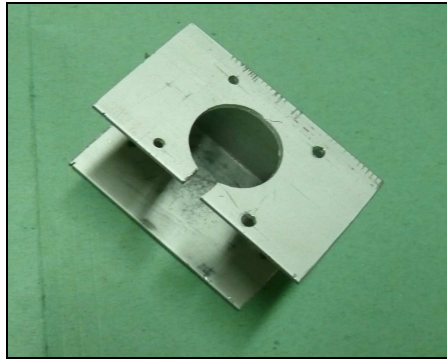


Figura 4.12 Base motor C

#### 4.2.1.13 Brazo 2

Este elemento se construyó en base al anexo E y se realizaron las siguientes operaciones (Ver figura 4.14):

- Corte: Se cortó el perfil de aluminio cercano a las dimensiones indicadas en el plano.
- Taladrado: Se realizaron dos (2) alojamientos para el montaje del motor C, dos (2) para la sujeción de la base de la pinza y tres (3) para la colocación de la palanca de la rueda estabilizadora
- Limado: Se limó corredera para ajuste de la palanca de la rueda estabilizadora y aristas vivas



Figura 4.13 Brazo 2

#### 4.2.1.14 Base pinza

Este elemento se construyó en base al anexo E y se realizaron las siguientes operaciones:

- Corte: Se cortó el aluminio a las dimensiones indicadas en el plano.
- Taladrado: Se realizaron cuatro (4) alojamientos para la sujeción del servomotor, uno (1) para la colocación del servomotor y cuatro (4) para la colocación de ejes para los engranes y eslabones guías de sujetadores
- Limado: Se limó las aristas vivas

#### 4.2.1.15 Eslabones.

Estos elementos se construyeron en base al anexo E para los eslabones transmisores de movimiento, para los guías de sujetadores y para los manipuladores respectivamente; se realizaron las siguientes operaciones (Ver figura 4.15):

- Corte: Se cortó el aluminio a las dimensiones indicadas en el plano.
- Taladrado: Se realizaron tres (3) alojamientos en los transmisores de movimiento, dos (2) alojamientos en los guías de sujetadores y dos (2) en los manipuladores
- Limado: Se limó las aristas vivas

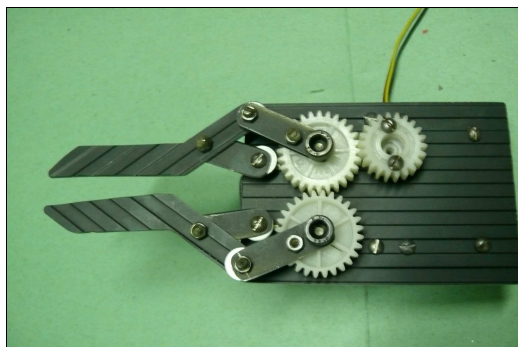


Figura 4.14 Eslabones de l efector final



#### **4.2.1.16 Palanca de rueda C**

Este elemento se construyó en base al anexo E y se realizaron las siguientes operaciones.

- Corte: Se cortó la baquelita cercana a las dimensiones indicadas en el plano.
- Taladrado: Se realizó dos (2) alojamientos para el montaje al brazo 2 y su seguro correspondiente, uno (1) para la colocación del eje de la rueda C
- Limado: Se limó las aristas vivas

#### **4.2.1.17 Rueda C**

Este elemento se lo realizó utilizando elementos existentes en el mercado, no se lo compró listo para su uso ni se necesitaron operaciones para dejarlo operativo, solo se realizó un ensamblaje.

### **4.2.2 CONTROLADOR DE LOS ACTUADORES**

El controlador de los actuadores es un circuito de baja potencia que es accionado por el PLC; el cual nos permite controlar:

- El giro y velocidad de los tres motores paso a paso
- El abrir y cerrar de los dedos del efector final

Este controlador se encuentra en la figura 4.16.

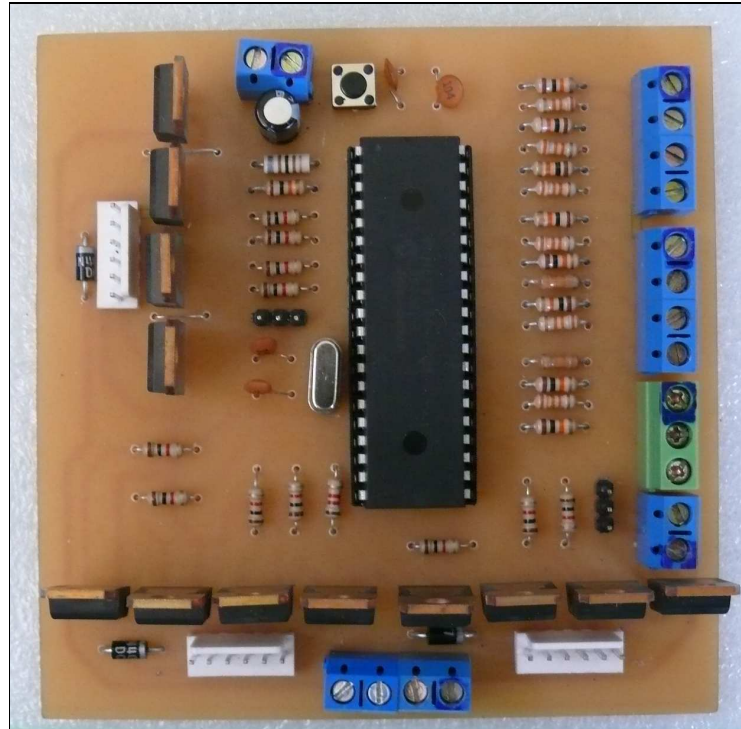


Figura 4.15 Controlador

#### 4.2.2.1 Partes del controlador

El controlador es un circuito que consta de las siguientes partes:

- El PIC, su alimentación, “reset” y la configuración del oscilador
- Alimentación de los actuadores
- Configuración de las bobinas de los actuadores
- Entrada de la señal desde el PLC para el giro en los dos sentidos de los motores paso a paso.
- Entrada de la señal desde el PLC para abrir y cerrar el efector final.

#### 4.2.2.1.1 PIC 16F877A/P

El PIC es el componente base del controlador y es el que se indica en la figura 4.17 y el catálogo del mismo se encuentra en el anexo B5

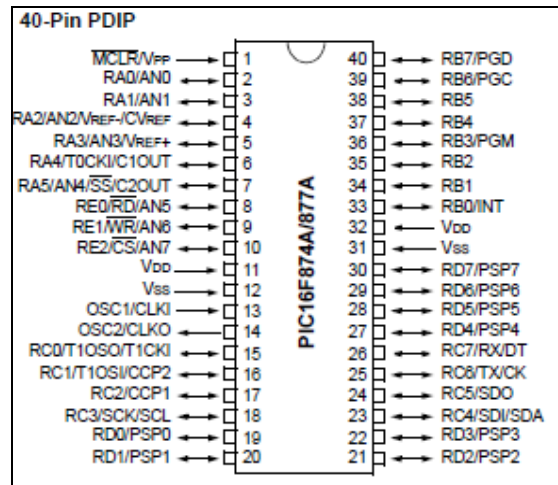


Figura 4.16 PIC

#### Alimentación

El PIC es el elemento principal del controlador que debe ser alimentado con 5 voltios DC para su funcionamiento, en la figura 4.18 se tiene la configuración para que al PIC lleguen 5 voltios limpios mediante el uso de un circuito Condensador-Bobina.

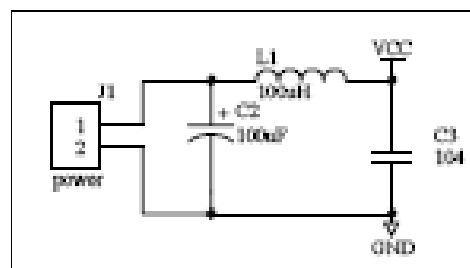


Figura 4.17 Configuración para la alimentación del PIC

### Reset

El PIC consta de un “reset” representado físicamente por el interruptor S2, el cual setea la programación existente en el PIC, este se alimenta con el mismo voltaje del PIC como se observa en la figura 4.19.

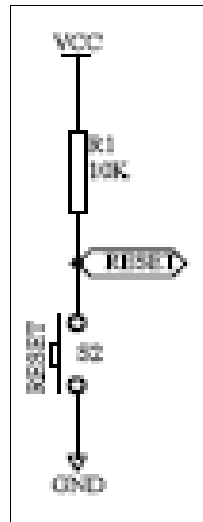


Figura 4.18 Reset

### Oscilador

El oscilador es un elemento que envía una señal al PIC para su funcionamiento, este elemento se conecta entre dos entradas del PIC, como se observa en la figura 4.20. El oscilador para este tipo de PIC debe ser de 20 MHz.

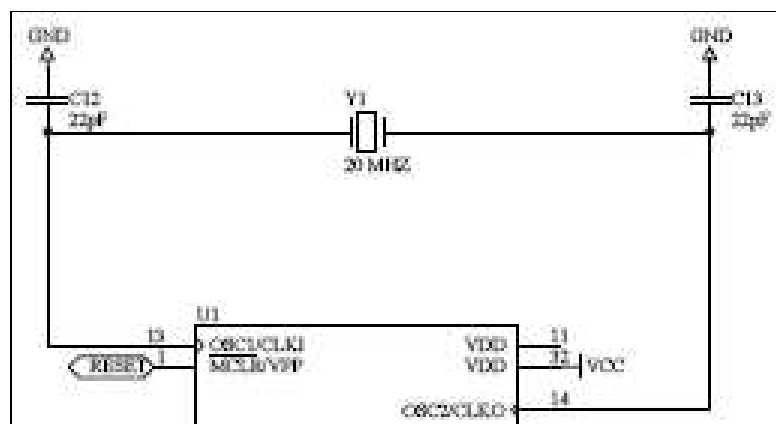


Figura 4.19 Conexión del oscilador

#### 4.2.2.1.2 Alimentación de los actuadores

En el gráfico 4.21 se observa la configuración para la alimentación de los tres motores paso a paso usados en la aplicación, se observan los diodos existentes para proteger los motores del voltaje a recibir. El voltaje de alimentación de los motores A y C es de 5 voltios DC, mientras que el del motor B es de 12 voltios DC.

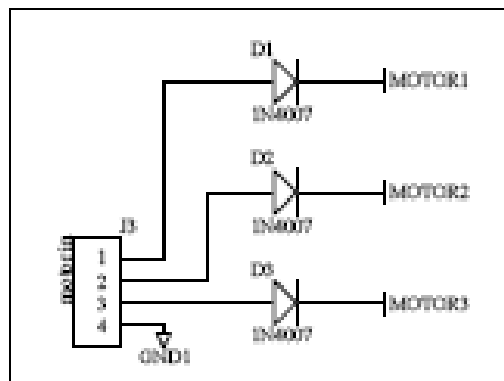


Figura 4.20 Configuración de alimentación para tres motores

En el gráfico 4.22 se observa la configuración para la alimentación del servomotor, en nuestra aplicación se alimenta con 5 voltios DC.

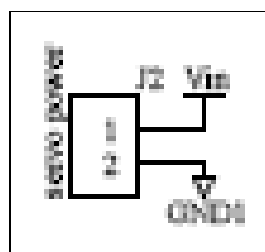


Figura 4.21 Configuración alimentación servomotor

#### 4.2.2.1.3 Configuración de la señal PLC - PIC

En el gráfico 4.23 se observa la configuración para la llegada de señales desde el PLC al PIC para accionar los motores paso a paso en sentido antihorario. Cabe

mencionar que los motores paso a paso deben recibir una señal por cierto tiempo dependiendo de cuántos grados requieran girar los motores.

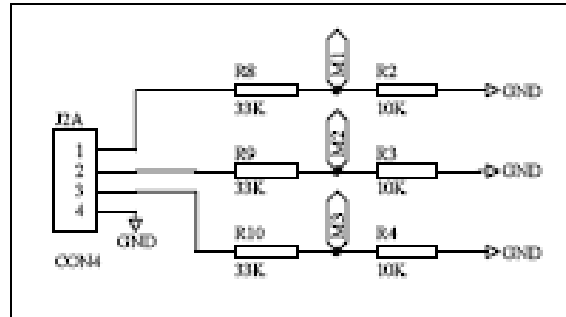


Figura 4.22 Llegada de señales desde el PLC

Para que los motores paso a paso giren en sentido contrario; por motor deben recibir dos señales tanto las del gráfico 4.23 como las del gráfico 4.24.

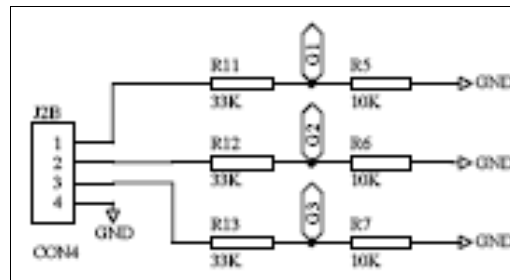


Figura 4.23 Segunda llegada de señales desde el PLC

En el gráfico 4.25 se observa la configuración para la llegada de señales desde el PLC al PIC para abrir y cerrar los dedos del efector final. El efector final debe recibir un pulso para que se cierren los dedos de la pinza y otro para abrirlos.

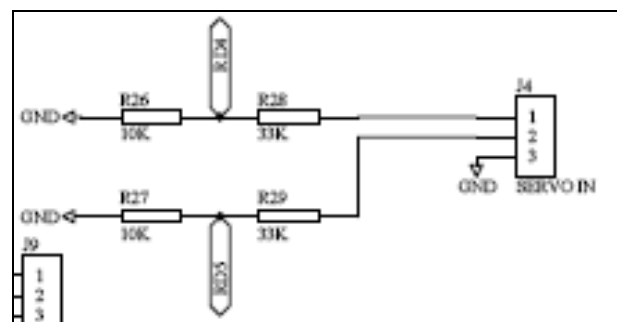


Figura 4.24 Configuración de control de la pinza

#### 4.2.2.1.4 Configuración de las bobinas de los actuadores

En el gráfico 4.26 se observa la configuración de las bobinas para los tres motores paso a paso, es decir; como se conectan las bobinas de los motores paso a paso a los pines del PIC, para que reciban la señal de la programación del PIC

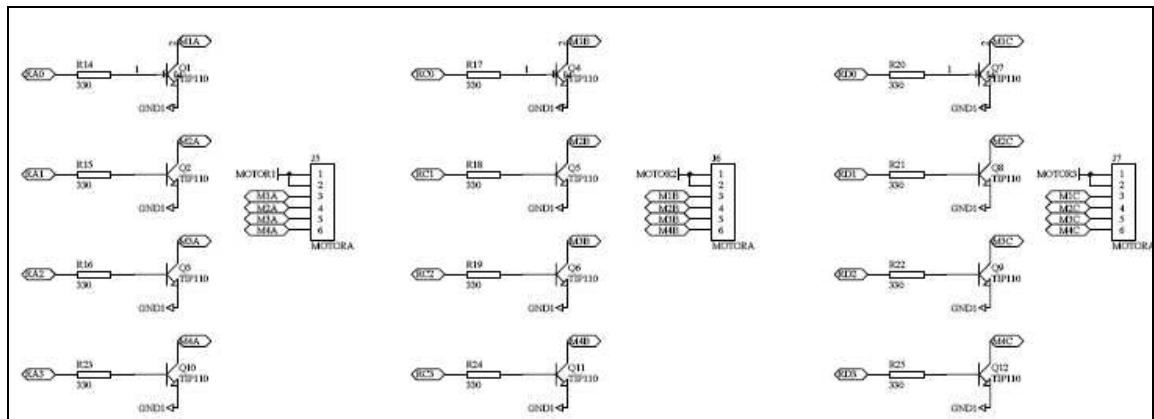


Figura 4.25 Configuración bobinas de los actuadores

En el gráfico 4.27 se observa la configuración de las bobinas para el servomotor, es decir como se conectan las bobinas del servomotor a los pines del PIC, para que reciban la señal de la programación.

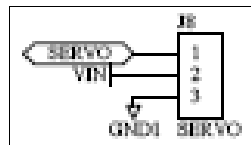


Figura 4.26 Configuración bobina servomotor

#### 4.2.2.2 Elementos del controlador

El controlador es un circuito que consta de los siguientes elementos:

- Un (1) PIC 16F877A/P
- Un oscilador de 20 MHz

- Una (1) bobina de 100  $\mu$ H
- Dos (2) condensadores de 22  $\rho$ F
- Un (1) condensador de 100  $\mu$ F
- Un (1) interruptor de baja potencia
- Dos (2) condensador de 0,1  $\mu$ F (104)
- Nueve (9) resistencias de 10K
- Ocho (8) resistencias de 33K
- Doce (12) resistencias de 330
- Doce (12) transistores TIP110
- Dos (2) borneras dobles
- Tres (3) borneras cuádruples
- Una (1) bornera triple
- Tres (3) borneras séxtuples

#### **4.2.3 CONEXIONADO DEL BRAZO ROBÓTICO**

El conexionado del brazo robótico (ver figura 4.28) se lo realiza por separado del conexionado del módulo didáctico y contempla las siguientes conexiones:

- Máster de apagado
- Sensor inductivo
- Fines de carrera del “home” o posición inicial del brazo robótico.
- Actuadores a las salidas del PLC



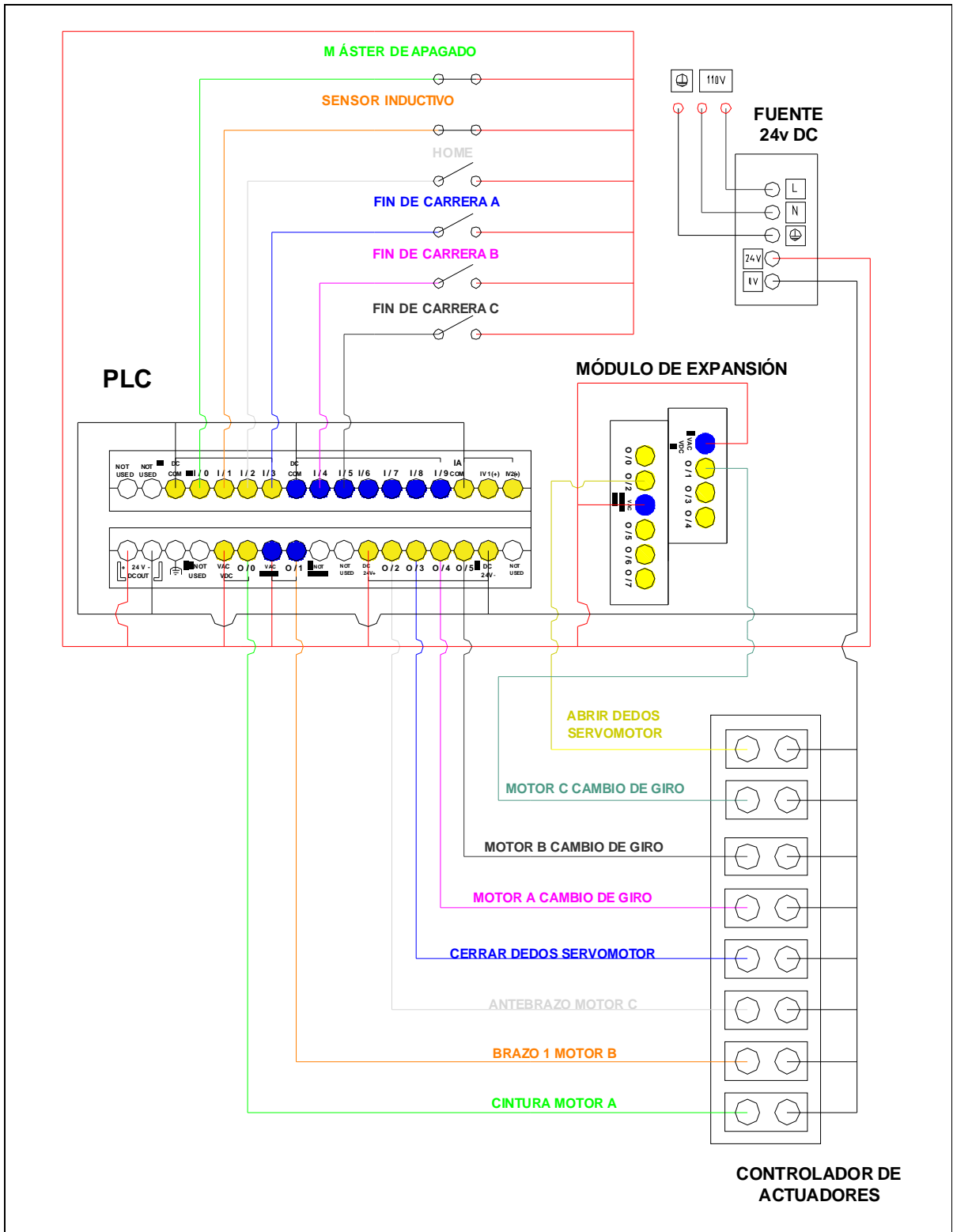


Figura 4.27 Conexionado del Brazo Robótico

## **CAPÍTULO 5**

### **PROGRAMACIÓN DEL PLC PARA LA APLICACIÓN**

#### **5.1 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN**

El lenguaje de programación utilizado en el presente proyecto es el KOP un lenguaje gráfico según la norma IEC 1131-3, esto debido a la facilidad que presenta para la programación.

En el presente proyecto el software utilizado para la programación del PLC es el RS Logix 500.

##### **5.1.1 INTRODUCCIÓN AL SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN RS LOGIX 500**

El PLC Allen Bradley Micrologix 1100 se programa mediante el software RSLogix 500 que es un paquete de programación lógica tipo ladder creado por Rockwell, compatible con ambiente Microsoft Windows.

###### **5.1.1.1 Principales características del software:**

- Este software incluye las siguientes funcionalidades:
- Un editor Ladder enfocado en la lógica, mas no en la sintaxis de las instrucciones
- Un verificador proyectos donde se pueden visualizar una lista de errores

- Un módulo que permite editar errores de una determinada dirección o símbolo
- Un árbol de proyectos que permite el acceso a todas las carpetas y archivos contenidos en un proyecto
- La opción de arrastrar objetos para mover tablas de datos de un archivo, escalones de una subrutina a otra o de un proyecto a otro.

Este software dentro del programa nos permite:

- Crear, editar, probar y corregir programas tipo Ladder
- Forzar instrucciones de E/S en programas tipo Ladder
- Transferir un programa desde y hacia un procesador
- Monitorear la operación del procesador
- Comunicarse con cualquier procesador en la red DH-485
- Transferir un programa desde y hacia una memoria
- Cambiar el modo de operación del procesador (Run/Stop)
- Añadir comentarios a escalones, instrucciones y direcciones en el programa
- Uso de direcciones por medio del uso de símbolos definidos por el usuario

#### **5.1.1.2 La interfaz gráfica del RS Logix 500**

El programa es sencillo de utilizar, en la figura 5.1 se muestra la ventana de bienvenida.

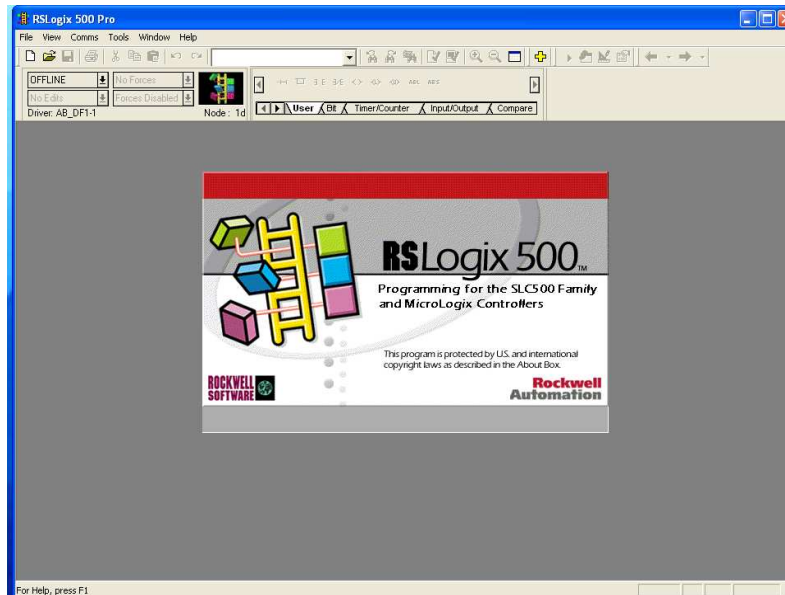


Figura 5.1 Ventana de bienvenida RSLogix 500

#### 5.1.1.2.1 Selección del procesador

Al iniciar algún proyecto se escoge el tipo de procesador a utilizar, para nuestro caso el procesador escogido es el Micrologix 1100 Serie A, como se indica en la figura 5.2.

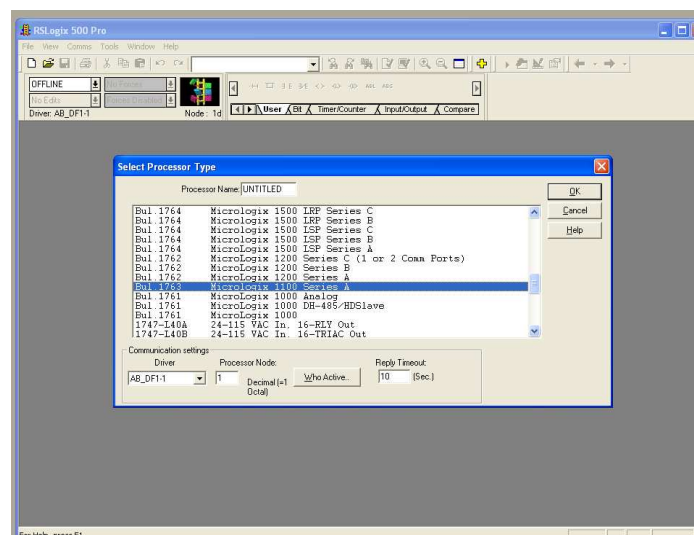


Figura 5.2 Selección del tipo de procesador a utilizar

### 5.1.1.2.2 Configuración de las entradas/salidas

Como primer paso para la programación se tiene la configuración de las entradas y salidas (I/O Configuration), como se muestra en la figura 5.3

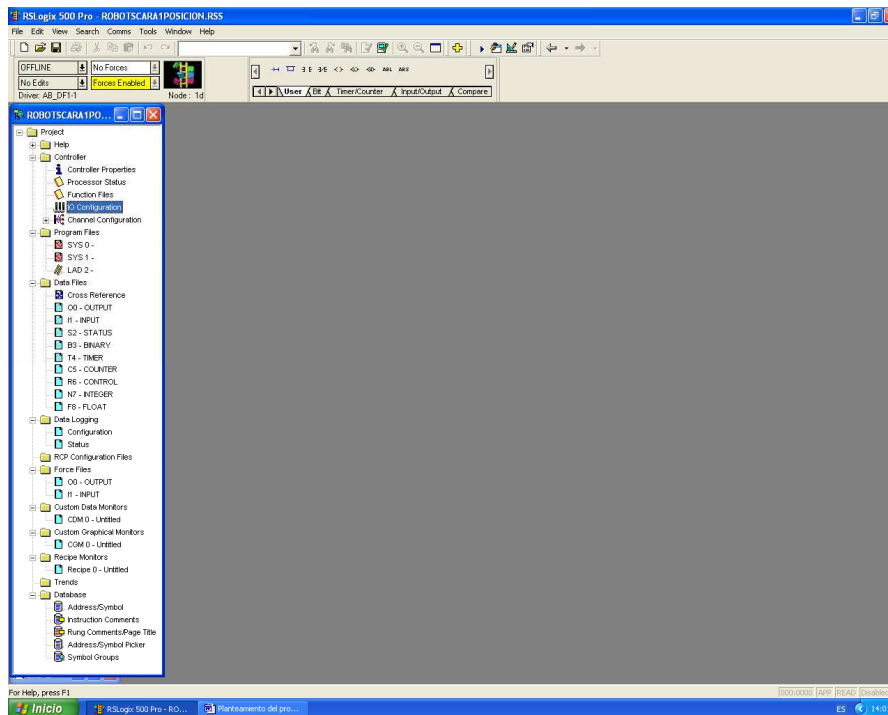


Figura 5.3 Configuración de las entradas y salidas

Además se pueden adherir módulos de expansión, Como se muestra en la figura 5.4, para nuestro caso el módulo de expansión escogido es el 1762-OW8 que es un módulo de expansión de 8 salidas tipo relé.

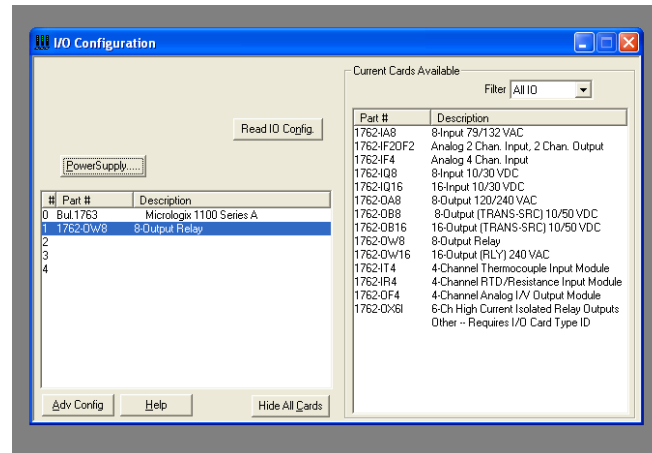


Figura 5.4 Configuración de los módulos de expansión

### 5.1.1.2.3 Herramientas del RS Logix 500

Al tener abierta la aplicación se presenta la ventana principal del RS Logix 500, como se muestra en la figura 5.5. En esta ventana se encuentra la barra de Menú en la cual se encuentran los siguientes menús: File, Edit, View, Search, Comms, Tools, Windows y Help.

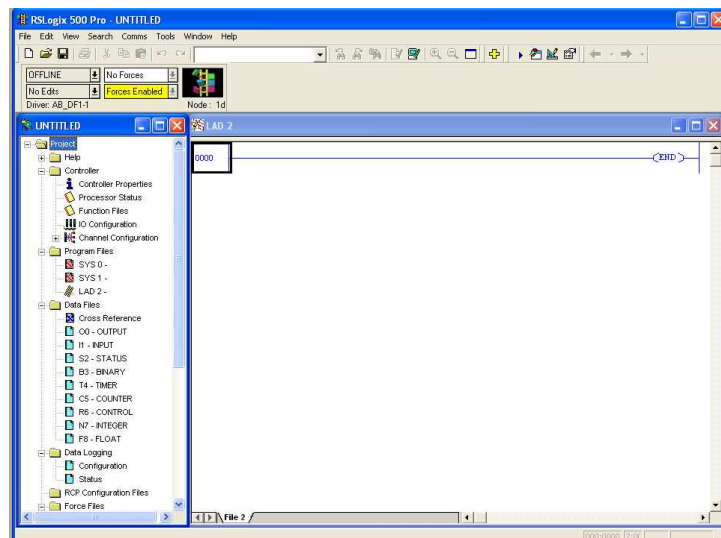


Figura 5.5 Ventana principal del RS Logix 500

*File:*

Es similar al menú de cualquier programa en el cual se pueden crear nuevos proyectos, abrir uno ya existente, copiar, guardar, imprimir, etc.

*Edit*

Este menú también es habitual en diferentes programas y permite deshacer, rehacer, copiar y pegar líneas de programación, lo más importante de este es la opción que permite la verificación de proyectos que nos muestra una lista de errores.

*View*

Esta opción nos permite configurar la visualización del programa

*Search*

Este menú permite buscar distintos proyectos, direcciones y símbolos ya sea para reemplazarlos o diagnosticarlos.

*Comms*

Este permite la comunicación del PLC con la PC, aquí se puede configurar la comunicación, cargar el programa de la PC al PLC a mas de dar órdenes al PLC cuando se encuentra conectado con la PC, etc.

*Tools*

Este permite utilizar las distintas herramientas del software

*5.1.1.2.4 Ventana Ladder de Trabajo*

Es la ventana en la que se realiza la programación se la puede observar en la figura 5.6.

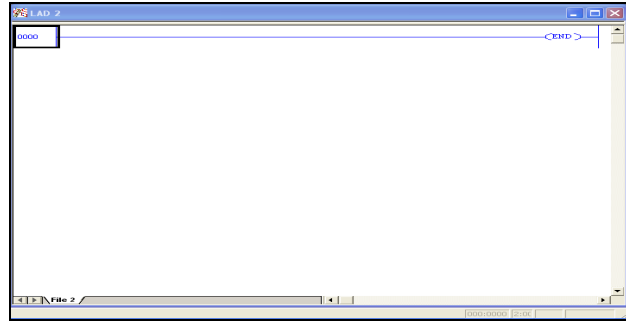


Figura 5.6 Ventana ladder

#### 5.1.1.2.5 Árbol de Proyecto

En este árbol se encuentran detalladas todas las características del proyecto como son: las características del controlador configurado, el estado de los elementos incluidos en la programación y demás, se lo puede observar en la fig 5.7

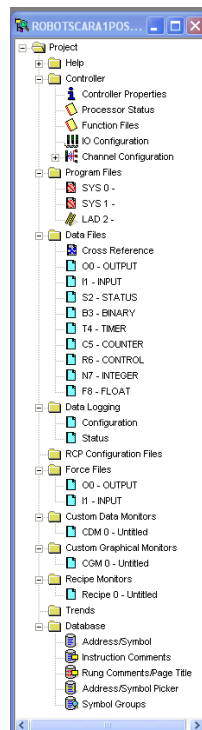


Figura 5.7 Árbol de proyecto



#### 5.1.1.2.6 Barra de Instrucciones SLC 500

En esta barra se encuentran los distintos elementos como: líneas, ramas, contactores, bobinas, timers y demás, que nos sirven para realizar la programación en forma de escalera, se la puede observar en la fig 5.8

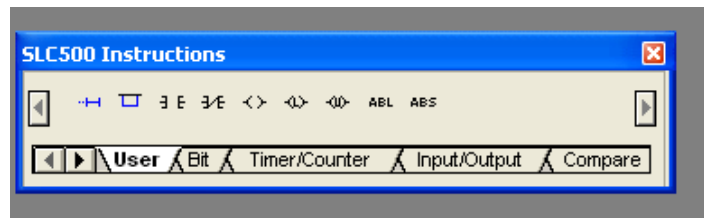


Figura 5.8 Barra de instrucciones SLC500

#### 5.1.1.2.7 Barra del Estado del procesador

En esta barra se encuentra un cuadro que nos indica el estado del PLC cuando se encuentra conectado a la PC, es decir nos indica si el PLC se encuentra en modo: Program, Run o Remote, se la puede observar en la figura 5.9

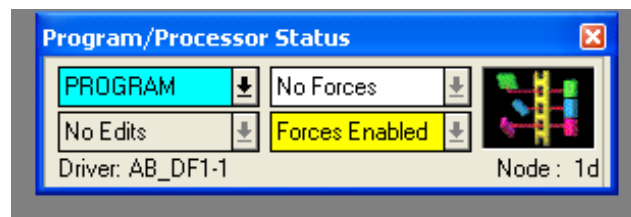


Figura 5.9 Barra de estado del procesador

## 5.2 PROGRAMACIÓN DEL PLC PARA LA APLICACIÓN

### 5.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El brazo robótico físicamente construido que se encuentra montado sobre una base con un sistema de coordenadas como se observa en la figura 5.10, se debe programar de tal manera que los actuadores lleven el elemento de una posición A hacia una posición B.

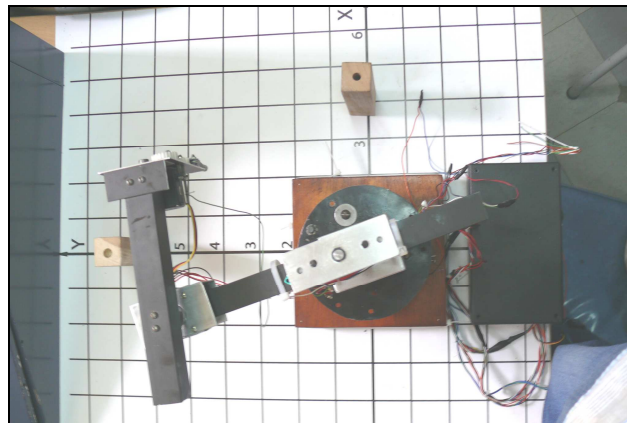


Figura 5.10 Sistema de coordenadas del Módulo didáctico

Las coordenadas se miden en la posición inicial de los eslabones manipuladores del efector final con respecto al motor A (posición (0, 0, 0)).

El elemento a manipular es un perno de 6,6 mm de diámetro y una longitud de 50 mm, como se muestra en la figura 5.11



Figura 5.11 Elemento a posicionar

El brazo robótico manipulador de configuración Scara posee cuatro grados de libertad que físicamente son cuatro actuadores:

<b>ARTICULACIÓN</b>	<b>ACTUADORES</b>
Articulación A	Motor A
Articulación B	Motor B
Articulación C	Motor C
Articulación restringida D	Servomotor D

En la programación se incluirá un “home” o una posición inicial del brazo robótico, la cual es la posición mostrada en la figura 5.12 y 5.13 que posee las siguientes coordenadas:

- $x=1$
- $y=-1$
- $z=3,5$

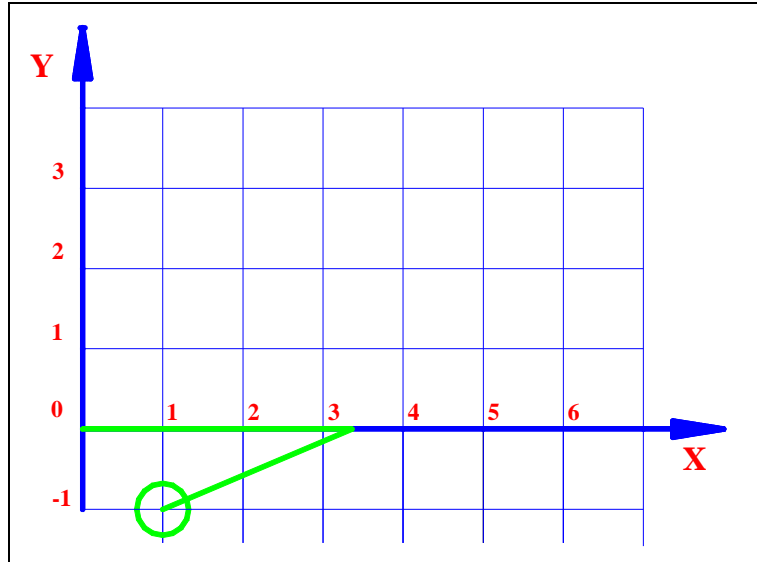


Figura 5.12 Home

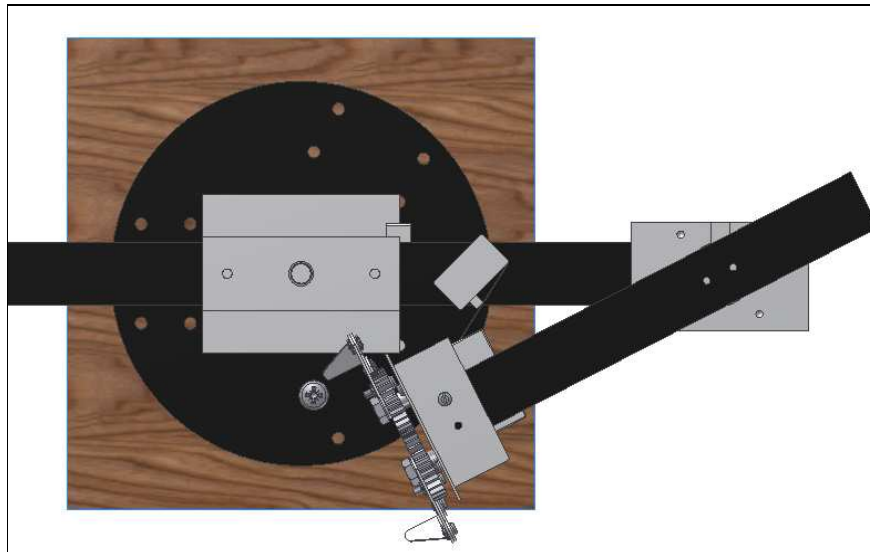


Figura 5.13 Home

Cabe mencionar que el brazo llega a la posición inicial mediante fines de carrera, que envían la señal al PLC; la configuración de estos se indica en la tabla 5.1:

Tabla 5.1 Funciones de los fines de carrera

<b>FIN DE CARRERA</b>	<b>FUNCIÓN</b>
Para el Motor A	Al accionarse detiene el motor A
Para el Motor B	Al accionarse detiene el motor B
Para el Motor C	Al accionarse detiene el motor C

Antes de iniciar cualquier manipulación del elemento; se debe colocar el brazo robótico en la posición inicial o “home”.

Entonces la manipulación del elemento se da luego de que el sensor inductivo detecta la presencia del elemento.

Según el sistema de coordenadas físicamente el brazo llevará el elemento desde una posición “A”, la cual posee las coordenadas que se indica en la figura 5.14 y 5.15

- $x=4$
- $y=0$
- $z=3,5$

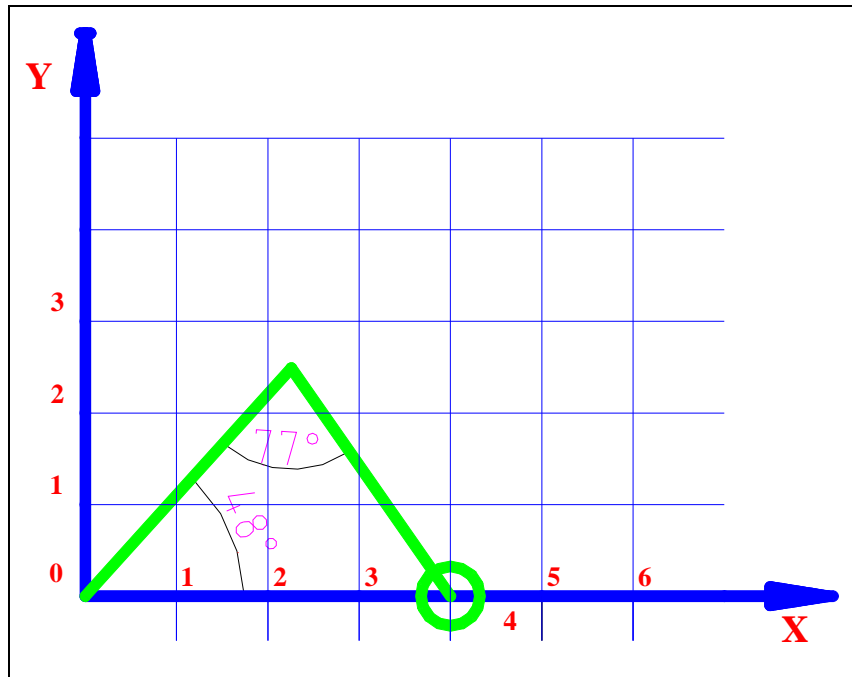


Figura 5.14 Posición A

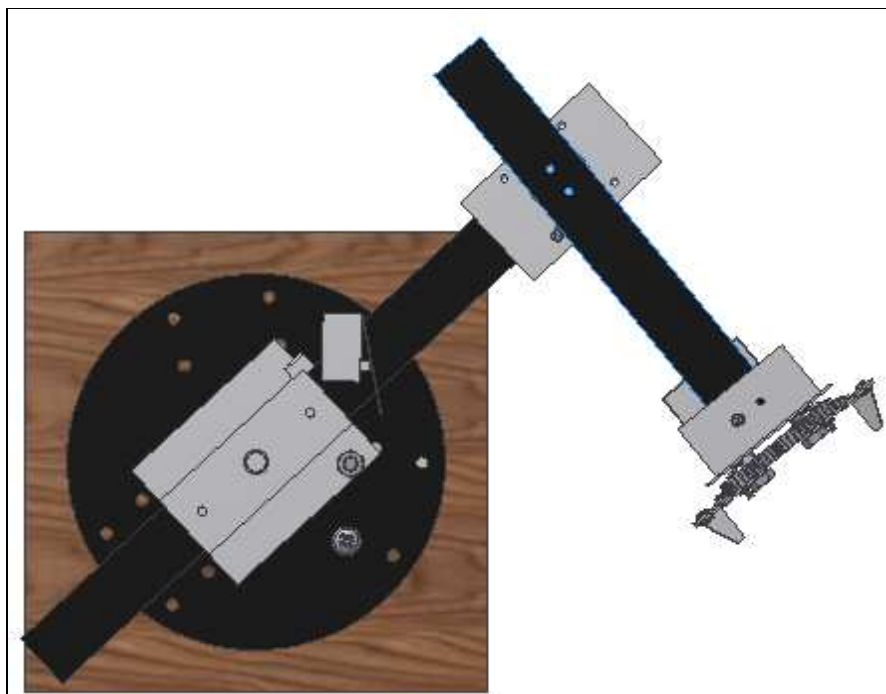


Figura 5.15 Posición A

En la tabla 5.2, se indican los grados que deben girar cada motor y el tiempo a programar con los timers para obtener la posición A.

**Tabla 5.2 Movimiento de los actuadores Posición A**

ACTUADORES	GRADOS QUE DEBEN GIRAR	VELOCIDAD	TIEMPO
Motor A	48°	3,6 °/s	13
Motor B			
Motor C	77°	3,6 °/s	21

El brazo se moverá de la posición "A" a la posición "B" que posee la coordenada que se indica en la figura 5.16 y 5.17:

- x=0
- y=6
- z=4,5

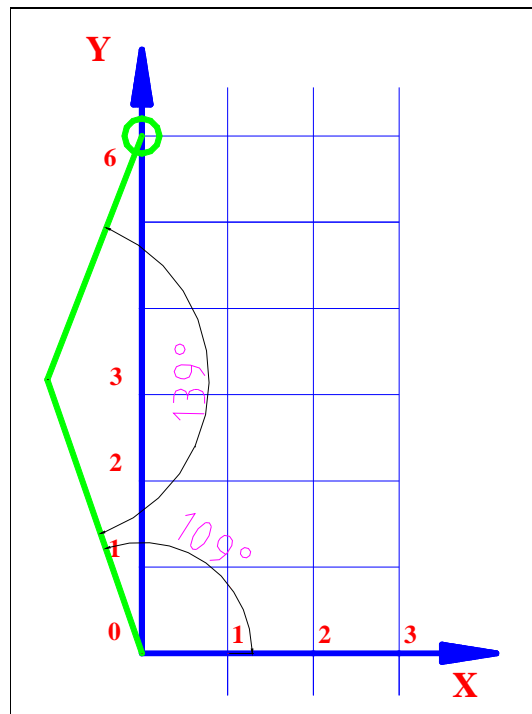


Figura 5.16 Posición B

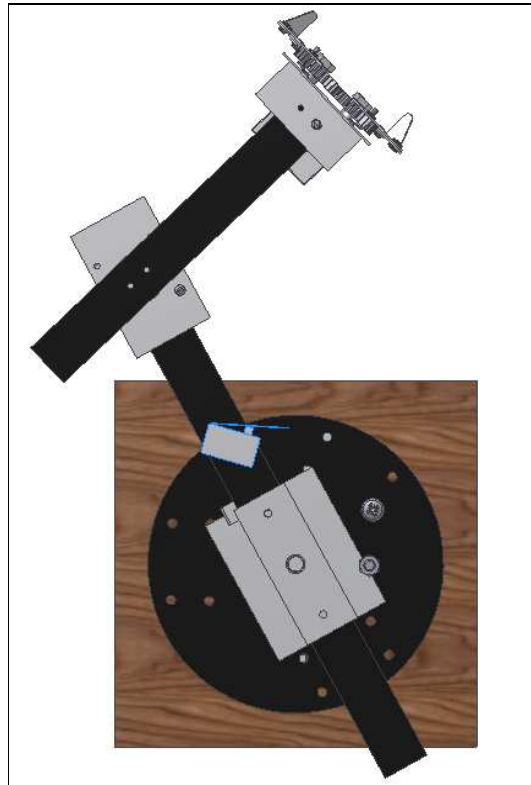


Figura 5.17 Posición B

En la tabla 5.3, se indican los grados que deben girar cada motor y el tiempo a programar con los timers para obtener la posición B.

**Tabla 5.3 Movimiento de los actuadores posición B**

<b>ACTUADORES</b>	<b>GRADOS QUE DEBEN GIRAR</b>	<b>VELOCIDAD</b>	<b>TIEMPO</b>
Motor A	109	3,6 O/s	30
Motor B	-----	-----	-----
Motor C	139	3,6 O/s	38



## 5.2.2 PROGRAMACIÓN DE LA APLICACIÓN:

Para la programación consideraremos lo siguiente:

### ENTRADAS

I:0/0	Máster de apagado total
I:0/1	Sensor de proximidad
I:0/2	Pulsador Home Total
I:0/3	Fin de Carrera del Motor A
I:0/4	Fin de Carrera del Motor B
I:0/5	Fin de Carrera del Motor C

### SALIDAS

O:0/0	Motor A Cintura
O:0/1	Motor B Brazo 1
O:0/2	Motor C Antebrazo (Brazo 2)
O:0/3	Servomotor Cerrar pinza
O:0/4	Cambio de Giro Motor A
O:0/5	Cambio de Giro Motor B

### MÓDULO DE EXPANSIÓN DE SALIDAS

O1/1	Cambio de Giro Motor C
O1/2	Servomotor Abrir pinza

### MEMORIAS

B3:0/0	Memoria de seguridad
B3:0/1	Memoria para enclavamiento de temporizadores

## TEMPORIZADORES

T4:0/DN	Motor A-Posición "A"
T4:1/DN	Motor C-Posición "A"
T4:2/DN	Cierre de la pinza
T4:3/DN	Motor B-Subir
T4:4/DN	Motor A-Posición "B"
T4:5/DN	Motor C-Posición "B"
T4:6/DN	Motor B- Bajar

### 5.2.2.1 LÍNEAS DE LA PROGRAMACIÓN

Las líneas de programación se encuentran en el Anexo D en las cuales se encuentran la programación para llevar un objeto desde la posición "A" hasta la posición "B", la explicación de las líneas de programación se muestra a continuación:

- Inicialmente se programa el *Máster de Apagado* en la línea 0001 y 0002, el máster de apagado es el contacto normalmente cerrado I: 0/0, con el cual se apagará el accionar de todos los actuadores presentes en la aplicación y se resetearán las memorias existentes.
- El brazo robótico como se indicó parte desde una posición inicial llamada "Home", esto se lo realiza en las líneas de programación: 0000, 0003, 0004 y 0005.

El "Home" es el contacto normalmente abierto I: 0/2, con el cual se acciona el *Motor A* (O: 0/0) hasta el que se accione el *fin de carrera A* (I: 0/3): apagando el *Motor A* y encendiendo el *Motor B* (O: 0/1).

Al accionar el *fin de carrera B* (I: 0/4) se apaga el *Motor B* (O: 0/1) y se enciende el *Motor C* (O: 0/2).

Al accionar el *fin de carrera C (I: 0/5)* se apaga el *Motor C (O: 0/2)* y se acciona la *memoria de seguridad B3: 0/0* para que no ocurran errores cuando se accione el sensor inductivo.

- Para llevar el objeto que se encuentra en la posición “A” se procede a accionar el brazo robótico mediante un *sensor inductivo I: 0/1*, que mediante una serie de temporizadores posicionan al brazo robótico en la posición “A”

El sensor *I: 0/1* acciona el *Motor A (O: 0/0)* y enclava la *memoria para los temporizadores B3: 0/1*, dicha memoria setea el *temporizador T4:0/DN*.

El *temporizador T4:0/DN* apaga el *Motor A (O: 0/0)*, enciende el *Motor C (O: 0/2)*. y setea el *temporizador T4:1/DN*, el cual apaga el *Motor C (O: 0/2)*. El brazo robótico ya se encuentra en la posición “A”.

- Para la sujeción del elemento a posicionar se realiza lo siguiente, se acciona el *cierre de la pinza* mediante el *servomotor (O: 0/2)* y se sujeta al elemento a posicionar activándose también el *temporizador T4:2/DN*, que luego desactiva el *cierre de la pinza*.
- Para llevar el objeto de la posición “A” a la posición “B” se procede a accionar el brazo robótico mediante una serie de temporizadores que posicionan al brazo robótico en la posición “B”.

El *temporizador T4:1/DN* acciona el *Motor B (O: 0/1)* y el *temporizador T4:3/DN*, dicho temporizador posiciona al brazo robótico cuando ha subido lo requerido.

El *temporizador T4:3/DN* acciona el *Motor A (O: 0/0)* y al *temporizador T4:4/DN*; este temporizador posiciona al *Motor A* en la posición “B” y activa al *temporizador T4:4/DN*.

El *temporizador T4:4/DN* acciona el *Motor C (O: 0/0)* y al *temporizador T4:5/DN*; este temporizador posiciona al *Motor C* en la posición "B".

El *temporizador T4:5/DN* acciona el *Motor B (O: 0/1)* y el *temporizador T4:6/DN*, dicho temporizador posiciona al brazo robótico cuando ha bajado lo requerido.

- Para depositar el elemento a posicionar se desactiva el *cierre de la pinza (O: 0/2)* mediante el *temporizador T4:2/DN*.
- Las líneas de programación finales sirven para configurar a todos los timers existentes.

## **CAPÍTULO 6**

### **PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **6.1 PRUEBAS REALIZADAS**

##### **6.1.1 FUNCIONAMIENTO DE LOS LEDS Y PULSADORES DEL MÓDULO DIDÁCTICO**

Esta prueba consiste en verificar continuidad en los pulsadores normalmente abiertos y normalmente cerrados al pulsarlos además el encendido de los “leds” al colocar 24 voltios.

##### **6.1.2 VERIFICACIÓN DEL CONEXIONADO DE LOS PULSADORES, LEDS, POTENCIÓMETROS Y LEDS AL PLC**

Esta prueba consiste en verificar que las conexiones se encuentren de acuerdo al diagrama de conexión realizado en el capítulo anterior, y la continuidad de la línea de conexión que va desde los distintos elementos al PLC

##### **6.1.3 VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS ACTUADORES**

Esta prueba consiste en probar que los motores seleccionados y encontrados en el mercado funcionen perfectamente.

Para probar los actuadores se los conectan mediante la fuente de alimentación requerida por los mismos como se muestra en la tabla 6.1.

Tabla 6.1 Voltaje necesario para los actuadores

<b>ACTUADORES</b>	<b>VOLTAJE</b>
Motor A	5 v
Motor B	12 v
Motor C	5 v
Servomotor D	5 v

En el caso de los motores paso a paso que son los motores A, B y C la prueba consiste en determinar el orden de las bobinas para que giren en un sentido, el orden de estos motores puede observarse en la tabla 6.2

Tabla 6.2 Orden de conexión de los cables de los actuadores paso a paso

<b>ACTUADORES</b>	<b>ORDEN DE LAS BOBINAS</b>
Motor A	- Común: Blanco y Negro. - Verde, Tomate, Rojo, Azul
Motor B	- Común: Blanco y Amarillo. - Rojo, Verde, Azul, Negro
Motor C	- Común: Blanco y Negro. - Amarillo, Rojo, Tomate, Café.

#### **6.1.4 VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL CONTROLADOR DE LOS ACTUADORES**

Esta prueba consiste en medir continuidad en las distintas líneas del circuito verificando que todas las líneas del circuito se encuentren conectadas, así como los diferentes elementos como condensadores, resistencias, triacs, diodos, etc, se encuentren perfectamente soldados.

Se procedió a realizar el conexionado de los actuadores en el circuito y se verificó continuidad en los mismos.

Finalmente al estar conectados los actuadores se verificó que el controlador se encuentre adecuadamente programado, con las velocidades requeridas en los motores.

#### **6.1.5 VERIFICACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN**

Luego de haber cargado el programa de la PC en el PLC se procedió a correr la programación en el PLC.

En primera instancia la prueba consistió en observar que los fines de carrera funcionen adecuadamente y que sean accionados adecuadamente por los topes que se encuentran en el brazo robótico.

Luego se observó que el brazo robótico se posicione en los lugares requeridos "home", posición A y en la posición B.

## **6.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Las pruebas eléctricas y electrónicas realizadas para la verificación del funcionamiento de los actuadores y de los distintos elementos del módulo didáctico, arrojaron cierta falla en los elementos por lo cual se tuvo que adquirir nuevos elementos.

En lo que tiene que ver con la programación y especialmente con los tiempos colocados para desplazar el elemento, se observó que se dieron ciertos errores que tienen que ver con la inercia con la que el brazo se mueve y con la medición exacta de los ángulos en la simulación.

## **6.3 PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO**

- Verificar las conexiones de los elementos que se encuentran en el módulo didáctico.
- Poseer un programa previamente simulado
- Encender el PLC
- Encender la fuente de alimentación que alimenta a las entradas analógicas en el caso ser utilizadas
- Colocar el cable tipo serial de comunicación entre la PC y el PLC
- Colocar el PLC en el modo PROGRAM
- Cargar el programa de la PC en el PLC
- Colocar el PLC en el modo "RUN" y en la opción "entradas/salidas". Luego la programación cargada en el PLC correrá físicamente en el módulo didáctico al pulsar los distintos pulsadores o girar los potenciómetros que simulan las entradas digitales y analógicas, y encendiéndose los "leds" que simulan sus salidas digitales.
- El módulo posee borneras para cuando se requieran conectar distintos elementos como ya se explicó en capítulos anteriores.



## **6.4 PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN DEL BRAZO ROBÓTICO**

- Verificar las conexiones de los fines de carrera, sensor inductivo y actuadores del brazo robótico
- Tener en la PC la programación de nombre “SCARA” del brazo robótico o alguna programación para la manipulación y posicionamiento del elemento.
- Encender el PLC
- Colocar el cable tipo serial de comunicación entre la PC y el PLC
- Colocar el PLC en el modo PROGRAM
- Cargar el programa “SCARA” de la PC en el PLC
- Colocar el PLC en el modo “RUN” y en la opción “entradas/salidas”.
- Accionar el Máster de Apagado I:0/0 por medida de seguridad para apagar cualquier actuador y “setear” las memorias existentes en la programación.
- Pulsar el botón “home” para colocar el brazo robótico en la posición inicial
- Luego de que el brazo robótico se encuentra en la posición “home”, se coloca el elemento a ser posicionado en la posición A, esto para que sea detectado por el sensor inductivo, y sea llevado a la posición B.
- Al terminar el posicionamiento del mismo se procede a pulsar el “home” quedando el brazo robótico en dicha posición.
- Finalmente simulado el movimiento se procede a desconectar el PLC y la fuente de alimentación de los actuadores.

## **6.5 MEDIDAS DE SEGURIDAD**

- En el conexionado de los distintos elementos se debe tener un cuidado especial debido a que al conectar incorrectamente los elementos se puede producir un daño en los mismos.
- Se debe tener cuidado con la manipulación de los elementos electrónicos debido a su delicadeza, evitando con esto su posible daño y por ende mal funcionamiento de la aplicación.

- Verificar el estado de las diferentes entradas (sensores) del brazo robótico ya que de encontrarse en mal estado podrían ocasionar fallas mecánicas
- Verificar el estado mecánico de los diferentes elementos mecánicos del brazo robótico asegurándonos así de su correcto funcionamiento
- En el sensor inductivo verificar que la conexión se encuentre correctamente realizada; revisar la conexión de la resistencia de seguridad que se encuentra entre el cable de alimentación positiva de color café y el cable de color negro que envía la señal al PLC, consiguiendo de esta manera que el PLC reciba la señal correctamente, ya que si esta conexión no se encuentra realizada de manera correcta el voltaje que llegará al PLC no será el adecuado.
- No se debe reemplazar o desconectar equipos mientras el PLC se encuentre encendido debido a que existen riesgos de explosión

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 CONCLUSIONES

- El uso de IEC 1131-3 proporciona numerosos beneficios para usuarios/programadores. Los beneficios de la adopción de este estándar son varios, dependiendo de las áreas de aplicación: control de procesos, integrador de sistemas, educación, programación, mantenimiento, instalación, etc. Vamos a nombrar solo algunos de estos beneficios:
  1. Se reduce el gasto en recursos humanos, formación, mantenimiento y consultoría.
  2. Evita las fuentes habituales de problemas por el alto nivel de flexibilidad y reusabilidad del software.
  3. Las técnicas de programación son utilizables en amplios sectores (control industrial en general).
  4. Combinan adecuadamente diferentes elementos que pueden provenir de diferentes fabricantes, programas, proyectos...
  5. Incrementa la conectividad y comunicación entre los distintos departamentos y compañías.
  
- Una vez finalizado el proyecto se ha cumplido el objetivo principal que comprendía el diseño y construcción de un módulo didáctico con controladores programables para el laboratorio de Automatización Industrial de Procesos Mecánicos de la Facultad de Ingeniería Mecánica que posee como aplicación un brazo robótico manipulador.

- El módulo didáctico cumple la función de simular entradas digitales mediante pulsadores, los cuales pueden ser normalmente abiertos y cerrados; simular entradas analógicas mediante potenciómetros conectados a una fuente de voltaje variable. Además de simular salidas digitales mediante LEDs indicadores.
- El módulo didáctico con su aplicación robótica constituye un importante aporte para el aprendizaje en el campo de la Automatización Industrial y la Robótica, debido a que con este equipo los estudiantes podrán entrenarse en la programación de los PLCs de marca Allen Bradley, y además conocerán los conceptos fundamentales en los robots.
- La Robótica al ser un tipo de Automatización Industrial del tipo programable permite lograr una alta productividad, logrando optimizar tiempos y disminuir el error producido por mano de obra eminentemente humana.
- Este es uno de los primeros trabajos en la Facultad de Ingeniería Mecánica que acercan de una manera didáctica a los estudiantes para que adquieran conocimientos en un campo en el que se presentan falencias, como es la Automatización y la Robótica; este es importante para todos nosotros tanto en nuestra vida académica como en la profesional.
- La aplicación del módulo didáctico consiste en un brazo robótico manipulador, de configuración scara, es decir; que posee tres articulaciones por lo tanto, tres grados de libertad con sus respectivos eslabones. para trabajar en el plano xy mediante sus articulaciones giratorias y su articulación prismática (tipo tornillo).
- Con el brazo robótico presentado en este proyecto los estudiantes podrán programar mediante el PLCs Allen Bradley diferentes trayectorias que seguirá la mano del robot y con ésta manipular algunos objetos a diferentes posiciones las cuales se encuentran definidas dentro de los tres ejes cartesianos.

- Es importante el presente proyecto porque en la parte robótica dentro de la Facultad de ingeniería mecánica se estará dando la pauta para que se sigan realizando más proyectos de este tipo, aunque es imprescindible que estos proyectos se realicen en conjunto con estudiantes de otras facultades, relacionadas con el tema de la automatización y la programación.
- Además de lo mencionado se puede aumentar que es importante para los estudiantes de Ingeniería Mecánica realizar proyectos a nivel de Automatización y Robótica, debido a que con estos se podría complementar todos los vacíos dejados en este campo importantísimo que actualmente es usado para la producción en grandes volúmenes; producción que en nuestro país es sólo imaginable.
- Con el presente trabajo de titulación se esta incursionando en un campo nuevo dentro de la industria ecuatoriana, ya que no existe hasta el momento empresas que brinden automatización del tipo robótico.
- Se pueden realizar diferentes proyectos de titulación con temas referentes a automatización industrial, no se debe dejar este tema de lado ya que en la actualidad la automatización se encuentra en la mayor parte de la industria.
- Para colaborar en el crecimiento industrial del país debemos capacitarnos en el control automático, así lograremos mejorar el nivel industrial nacional además de reducir el esfuerzo físico realizado por los trabajadores.

## 7.2 RECOMENDACIONES

- Se deben realizar más trabajos relacionados con la Automatización y la Robótica, por ejemplo se debería formar un conjunto de estudiantes para el diseño, construcción y automatización de un brazo robótico que pueda trabajar en la Industria, siendo estos estudiantes tanto de Ingeniería mecánica; estudiante que sea el encargado del diseño y la construcción del robot en su parte estructural para cumplir un proceso mecánico específico; un estudiante de Ingeniería Electrónica y Control que diseñe los controladores de los actuadores, además de la programación del brazo y un estudiante de Ingeniería en Sistemas que realice un software para facilitar la programación y la interacción del hombre-máquina.
- Se debe tener cuidado con los elementos electrónicos que se encuentran dentro del módulo como son el PLC, el cual debe ser alimentado con una fuente adecuada que no sufra cambios bruscos en las variaciones de voltaje, además del controlador de los actuadores que contiene un circuito en base a un PIC.
- Verificar el estado mecánico del brazo robótico antes de ser utilizado ya que de existir alguna falla se podría ocasionar una avería considerable del mismo
- Revisar que las conexiones de sensores se encuentren correctamente realizadas, para adicionar sensores u otros actuadores verificar que el equipo se encuentre apagado ya que en caso de no estarlo podría ocurrir una sobrecarga dañando así el PLC
- Seguir los pasos de operación del capítulo anterior para evitar problemas con la programación y con los distintos elementos del módulo didáctico.

## CAPÍTULO 8

### BIBLIOGRAFÍA

- ALLEN – BRADLEY; Micrologix 1100 Programmable Logic Controller User's Guide.
- BARRIENTOS; Fundamentos De Robótica; McGRAW-HILL; Madrid, España; 1997.
- BOLTON W; Mecatrónica: Sistemas de Control electrónico en la Ingeniería Mecánica y Electrónica; Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V.; México; 2006.
- CIFUENTES; Análisis Técnico Económico y Posibilidades de Aplicación de los Controladores Lógicos Programables (PLCs), Tesis E.P.N., noviembre 1993.
- CREUS, A.; Instrumentación Industrial.
- GROOVER; Robótica Industrial: Tecnología, Programación y Aplicaciones; McGRAW-HILL; Primera edición; México; 1990.
- IÑIGO VIDAL; Robots Industriales Manipuladores; Alfaomega; México; 2004.
- MOLINA CASTRO; Seminario de Controladores Lógicos Programables Parte I, diciembre 1997.
- OLLERO; Manipuladores y Robots móviles; Alfaomega-Marcombo s.a.; Barcelona, España; 2001.
- NORTON, H.; Sensores y Analizadores; Prentice Hall; México; 2000.
- <http://claymore.engineer.gvsu.edu/~jackh/books>
- <http://literature.rockwellautomation.com>
- <http://www.codeso.com>
- <http://www.electroplaneta.com>
- <http://www.electroportal.net>
- <http://www.plcmanual.com>
- <http://www.plcs.net>
- <http://www.rockwellautomation.es>

- <http://www.watts.com>
- <http://www.wikiciencia.org>



## **ANEXOS**

