



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y  
AUTOMATISMO**

TEMA:

**Implementación de un brazo robótico que permite realizar  
movimiento en cruz, utilizando elementos de control  
neumáticos y un PLC**

AUTOR:

**Sañay Aguirre, Ermel Joel**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de  
**INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO**

TUTOR:

**Ing. Vega Ureta, Nino Tello Msc.**

Guayaquil, 30 de Agosto del 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y  
AUTOMATISMO**

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr.  
**Sañay Aguirre, Ermel Joel** como requerimiento para la obtención del título  
de **INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO**

TUTOR

---

Ing. Vega Ureta, Nino Tello MSc.

DIRECTOR DE CARRERA

---

Ing. Heras Sánchez, Miguel Armando MSc

Guayaquil, 30 de Agosto del año 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y  
AUTOMATISMO**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

**Yo, Sañay Aguirre Ermel Joel**

**DECLARO QUE:**

El trabajo de titulación **Implementación de un brazo robótico que permite realizar movimiento en cruz utilizando elementos de control neumáticos y un PLC**, previo a la obtención del Título de **Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, 30 de Agosto del año 2018

---

Sañay Aguirre Ermel Joel



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y  
AUTOMATISMO**

**AUTORIZACIÓN**

**Yo, Sañay Aguirre Ermel Joel**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **Implementación de un brazo robótico que permite realizar movimiento en cruz utilizando elementos de control neumáticos y un PLC**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 30 de Agosto del año 2018

---

Sañay Aguirre Ermel Joel

## Reporte de Urkund

URKUND

Documento: [TESIS SAÑAY FINAL.pdf](#) (D41205069)  
Presentado: 2018-09-05 19:18 (-05:00)  
Presentado por: orlandophilco\_7@hotmail.com  
Recibido: orlando.philco.ucsg@analysis.orkund.com  
Mensaje: [Mostrar el mensaje completo](#)  
2% de estas 31 páginas, se componen de texto presente en 1 fuentes.

Categoría	Enlace/nombre de archivo
	<a href="#">Trabajo de Titulación - W Romero.docx</a>
	<a href="http://community.fortunecity.ws/campus/essay/680/ANATOM%25CDA.html">http://community.fortunecity.ws/campus/essay/680/ANATOM%25CDA.html</a>
	Documento Final v4.1.pdf
	tesis.docx

1 Advertencias. Reiniciar. Exportar. Compartir.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO TEMA: Implementación de un brazo robótico

que permite realizar movimiento en cruz, utilizando elementos de control neumáticos y un PLC  
AUTOR: Sañay Aguirre, Ermel Joel

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO TUTOR: Ing. Vega Ureta, Nino Tello Msc. Guayaquil, 30 de agosto del 2018

II UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO CERTIFICACION Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. Sañay Aguirre, Ermel Joel como requerimiento para la obtención del título de INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO TUTOR \_\_\_\_\_, Ing. Vega Ureta, Nino Tello MSc. DIRECTOR DE CARRERA \_\_\_\_\_, Ing. Heras Sánchez, Miguel Armando MSc Guayaquil, 30 de Agosto del año 2018

Reporte Urkund del trabajo de titulación denominado: **Implementación de un brazo robótico que permite realizar movimiento en cruz, utilizando elementos de control neumáticos y un PLC** del estudiante **Sañay Aguirre, Ermel Joel**. Se encuentra al 2% de coincidencias.

Atentamente.

MSc. Orlando Philco Aquí

Revisor

## **Dedicatoria**

El presente trabajo de titulación lo dedico especialmente a Dios, por ser el inspirador y por darme la fuerza para culminar con éxito la carrera.

A mis madre ALINE AGUIRRE VITE a mi hermana ALINE SAÑAY AGUIRRE y a mi enamorada, por su amor incondicional en todos estos años, por estar siempre presente, demostrándome su apoyo y comprensión para concretar con éxito mi tan anhelada meta, de convertirme en un profesional.

A todas las personas que me han apoyado y han hecho que este trabajo se realice con éxito, en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

EL AUTOR

## **Agradecimiento**

Agradezco a los directivos de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, a mis profesores que tuve a lo largo de mi vida estudiantil universitaria y en especial al ing. Nino Vega por la dirección acertada como tutor para la culminación del presente trabajo de titulación.

EL AUTOR



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y  
AUTOMATISMO**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

**M.Sc. ROMERO PAZ MANUEL DE JESÚS**  
DECANO

---

**M.Sc. PALACIOS MELENDEZ EDWIN FERNANDO**  
COORDINADOR DE AREA O DOCENTE DE LA CARRERA

---

**ING. SUÁREZ MURILLO EFRAÍN**  
OPONENTE



## **Índice General**

<b>Reporte de Urkund .....</b>	<b>V</b>
<b>Dedicatoria .....</b>	<b>VI</b>
<b>Agradecimiento.....</b>	<b>VII</b>
<b>Índice General.....</b>	<b>IX</b>
<b>Índice de Figuras .....</b>	<b>XI</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>XVI</b>
<b>Capítulo 1: Descripción General.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Introducción.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Definición del Problema. ....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Justificación del Problema.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Objetivos del Problema de Investigación.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4.1 Objetivo General.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4.2 Objetivos Específicos. ....</b>	<b>4</b>
<b>1.5 Hipótesis.....</b>	<b>4</b>
<b>1.6 Metodología de Investigación. ....</b>	<b>4</b>
<b>Capítulo 2: Fundamentación Teórica .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Definición de Brazo robot manipulador .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2 Clasificación de robots .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.1 Categorías de clasificación por área de aplicación .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.2 Clasificación atendiendo al tipo de Actuadores.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.3 Clasificación atendiendo al Tipo de Control.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.4 Clasificación atendiendo al Número de Ejes.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2.5 Clasificación atendiendo a la Configuración.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3 Síntesis de articulaciones y tecnologías del robot .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3.1 Sistemas de control de robots .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.2 Efectores finales.....</b>	<b>26</b>

2.3.3 Sensores en Robótica.....	29
2.4 Aplicaciones de Robots Industriales.....	30
2.5 Programación del robot.....	33
2.5.1 Caso: Posición y orientación de efector final.....	35
2.6 Ventajas tecnológicas de los robots .....	42
2.7 Sensores avanzados .....	42
2.8 Cobot .....	46
<b>CAPÍTULO 3: DISEÑO DE BRAZO MANIPULADOR .....</b>	<b>49</b>
3.1 Diseño de circuito de fuerza .....	49
3.2 Diseño mecánico .....	51
3.2.1 Selección de materiales .....	51
3.2.2 Diseño de pinza .....	53
3.3 Diseño neumático .....	55
3.3.1 Dimensionamiento de cilindros.....	55
3.4 Diseño de hardware.....	58
3.4.1 Programación de control de movimiento .....	60
3.4.2 Diagrama de bloques .....	63
3.4.3 Diagrama de estados.....	64
3.4.4 Descripción del sistema.....	65
3.5 Implementación del brazo neumático .....	66
<b>CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....</b>	<b>72</b>
4.1 Conclusiones. ....	72
4.2 Recomendaciones .....	73
Bibliografía.....	74

## Índice de Figuras

### Capítulo 2

Figura 2. 1 Brazo manipulador.....	8
Figura 2. 2 Procedimiento simplificado de recopilación de datos estadísticas	9
Figura 2. 3 Brazo manipulador con ventosas.....	11
Figura 2. 4 Brazo manipular con accionamiento eléctrico en ejes .....	12
Figura 2. 5 Robot controlado por trayectoria.....	12
Figura 2. 6 Robot teleoperado .....	13
Figura 2. 7 Grados de libertad (6 ejes) .....	14
Figura 2. 8 Dos tipos de uniones/juntas.....	14
Figura 2. 9 Clasificación según su configuración.....	15
Figura 2. 10 Tipos de articulaciones habituales.....	16
Figura 2. 11 Área trabajo y tipo de movimiento del IRB 120 de ABB.....	17
Figura 2. 12 Articulación robótica de la muñeca .....	20
Figura 2. 13 Volumen de trabajo.....	22
Figura 2. 14 Estructura básica del control del robot.....	24
Figura 2. 15 Pinza y herramienta robóticas (soldadura por puntos).....	26
Figura 2. 16 Herramientas en efector del brazo robot.....	28
Figura 2. 17 Esquema de programación en PLC de un robot manipulador .	33
Figura 2. 18 Caso: sistemas de coordenadas de un brazo robot.....	35
Figura 2. 19 Dimensiones del Brazo robot manipulador .....	36
Figura 2. 20 Diagrama de Cuerpo Libre (FBD) definiendo los parámetros DH .....	37
Figura 2. 21 Matriz de Ecuaciones para cada articulación del Brazo Robótico .....	38

Figura 2. 22 Diagrama que muestra el uso del controlador del motor DC ...	39
Figura 2. 23 <b>Diagrama del uso del Amplificador de Potencia</b> .....	40
Figura 2. 24 Conexión del sistema de control al PLC .....	41
Figura 2. 25 Proceso de comunicación básico entre un manipulador y sistema de registro basado en OPC .....	43
Figura 2. 26 Brazo robot con sistema visión laser (comunicación por RS232 y Ethernet) .....	44
Figura 2. 27 Robot móvil KMR iiwa de KUKA.....	45
Figura 2. 28 Cobot en proceso industrial .....	47

### **Capítulo 3**

Figura 3. 1Detalle de borneras de conexión pa circuito de fuerza .....	49
Figura 3. 2 Configuración de conexión predeterminada(seguridad) .....	50
Figura 3. 3 Dimensión de la pinza.....	53
Figura 3. 4 Brazo manipulador.....	54
Figura 3. 5 Medidas de la mesa.....	54
Figura 3. 6 Vista de cilindro doble efecto del manipulador.....	57
Figura 3. 7 Cilindros neumáticos doble efecto en manipulador .....	58
Figura 3. 8 Diseño de un circuito neumático.....	58
Figura 3. 9 PLC Zelio SR2A201FU .....	59
Figura 3. 10 Pantalla Inicio del PLC.....	62
Figura 3. 11 Programa o secuencia del PLC Zelio SR2A201FU .....	63
Figura 3. 12 diagrama de bloques del varazo manipulador .....	63
Figura 3. 13 Diagrama de estados del funcionamiento del brazo manipulador .....	65

Figura 3. 14 Brazo manipulador movimiento de efector.....	66
Figura 3. 15 Vista brazo movimiento izquierda a derecha .....	67
Figura 3. 16 Vista superior brazo con cilindros .....	67
Figura 3. 17 cilindros efectuando movimiento vertical .....	68
Figura 3. 18 Visión rayos x del brazo manipulador .....	68
Figura 3. 19 Visión rayos x del cilindro y efector/pinza .....	69
Figura 3. 20 Cilindro con vástagos operando .....	69
Figura 3. 21 Conexión del Brazo manipulador.....	70
Figura 3. 22 Brazo manipulador.....	70
Figura 3. 23 Pinza del manipulador .....	71
Figura 3. 24 Brazo manipulador operando.....	71

## Índice de Tablas

### Capítulo 2

Tabla 2. 1 Categorías de robots por sector y aplicación .....	8
Tabla 2. 2 Robots de servicio por áreas de aplicación y tipos de robots. ....	10
Tabla 2. 3 Datos de área de trabajo de brazo manipulador IRB 120 .....	17
Tabla 2. 4 Resumen de unión/juntas mecánicas para robots .....	17
Tabla 2. 5 Configuraciones comunes de cuerpo y brazo. ....	19
Tabla 2. 6 Características del control para robots manipuladores .....	25
Tabla 2. 7 Características de efectores para brazos robots.....	27
Tabla 2. 8 Tecnologías avanzadas de sensores para robótica.....	29
Tabla 2. 9 Características donde los robots pueden sustituir a los humanos. .....	30
Tabla 2. 10 Aplicaciones de manejo de materiales.....	31
Tabla 2. 11 Operaciones de procesos robóticos.....	32
Tabla 2. 12 Métodos de programación paso a paso para robots industriales .....	34
Tabla 2. 13. Ventajas comerciales y tecnológicas generales del uso del robot .....	42

### Capítulo 3.

Tabla 3. 1 Configuración predeterminada para conexión de circuito fuerza	50
Tabla 3. 2 Composición química (según ASTM A240) .....	51
Tabla 3. 3 Propiedades mecánicas (según ASTM A666) .....	51
Tabla 3. 4 Propiedades físicas.....	52

Tabla 3. 5 Tabla referencial para determinar el cilindro según diámetro de émbolo (mm).....	56
Tabla 3. 6 Especificaciones del PLC.....	60

## **Resumen**

El presente trabajo de titulación en ingeniería Electrónica en Control y Automatismo aporta con el estudio de los brazos manipuladores y su implicancia en procesos industriales, el estado de arte inicia con la aparición de los primeros brazos robóticos hasta los denominados cobots, robots o brazos robóticos colaborativos, estos emplean sensores avanzados y hasta pueden ‘aprender’ mediante el uso de algoritmos basados en machine learning. La metodología que se emplea es bibliográfica para establecer un estado de arte actualizado, es descriptiva por cuanto detalla características de sensores y tecnologías avanzadas asociadas para desarrollar tareas complejas. También se emplea el método empírico pues se implementa un brazo manipulador básico que utiliza un PLC como controlador y la ‘energía’ de movimiento es por aire comprimido, a través del PLC y sensores se puede obtener movimientos. El brazo implementado estará instalado en el laboratorio de Neumática de la FETD.

**PALABRAS CLAVES: ROBÓTICA, PLC, MECATRÓNICA, BRAZO MANIPULADOR, COBOTS.**



## **ABSTRACT**

The present work of degree in Electronic Engineering in Control and Automatism contributes with the study of the manipulative arms and their implication in industrial processes, the state of art begins with the appearance of the first robotic arms up to the so-called cobots, robotics or collaborative robotic arms, these employ advanced sensors and can even 'learn' by using algorithms based on machine learning. The methodology used is bibliographic to establish an updated state of art, it is descriptive in that it details the characteristics of sensors and associated advanced technologies to develop complex tasks. The empirical method is also used since a basic manipulator arm is developed that uses a PLC as controller and the 'energy' of movement is obtained with the use of compressed air, by means of the PLC and various sensors other tasks can be achieved and/or movements. The implemented arm will be installed in the Pneumatics laboratory of the FETD.

**KEYWORDS:** ROBOTICS, PLC, MECHATRONICS, MANIPULATORS, COBOTS.

## **Capítulo 1: Descripción General**

### **1.1 Introducción.**

Un brazo manipulador es máquina mecatrónica que está diseñada para completar tareas cuando sea necesario, estas tareas comúnmente son repetitivas y peligrosas, a través de tecnologías como la electrónica, informática, neumática etc. estos brazos pueden mover, alzar grandes volúmenes de peso con precisión e incluso con contacto blando en movimiento de piezas industriales. Se puede observar ampliamente en diversas industrias. Estas aplicaciones robóticas se emplean en línea de montaje y manejo de materiales.

El uso de manos robóticas (pinzas) o efector, permite que este mecanismo realice recogida y colocación de objetos o productos para completar tareas en las que toma el producto de un lugar y lo coloca en una ubicación diferente. Hoy en día los sensores que se emplean en robots son más sofisticados, permitiendo a un brazo robótico capacidades para optimizar no solo procesos industriales, sino comerciales y de asistencia a personas. Por ejemplo, a través de sensores de detección táctil en la mano robótica, esta puede ser lo suficientemente bueno para medir o captar varias propiedades de un objeto y proporcionar información a través del contacto físico entre un sensor y un objeto.

Los investigadores han reconocido que equipar a un robot con diferentes sensores es una forma de realizar tareas en un entorno no estructurado y que permite al robot lidiar con incertidumbres significativas. Debido a la

demanda de garantizar la seguridad entre los robots y los objetos durante el contacto mecánico.

### **1.2 Definición del Problema.**

En la actualidad los costos de los equipos didácticos en la línea de la robótica son elevados, lo que genera que las universidades se limiten en la compra por lo que los laboratorios son incompletos, lo que genera a su vez que los docentes dicten cátedras de manera teórica y a su vez, no genera conocimientos prácticos en los estudiantes.

### **1.3 Justificación del Problema.**

El despliegue de robots en las producciones o manufacturas aumentará la productividad en ese sector industrial. El uso de controladores lógicos programables (PLC) permite controlar el mecanismo de un brazo manipulador. A nivel académico se pone en práctica conocimiento teórico de teoría de control, uso de sensores y programación del PLC. Dentro del alcance del trabajo de titulación se prevee implementar un brazo manipulador que servirá en la enseñanza de automática, neumática y otras asignaturas de la malla de la carrera.

En la industria, un brazo manipulador tiene la ventaja de reducir el proceso de riesgo asociado con los operadores humanos durante el proceso de fabricación. Además, también ahorra tiempo y energía necesarios para el trabajo u operación monótona.

## **1.4 Objetivos del Problema de Investigación.**

### **1.4.1 Objetivo General.**

Implementar un brazo robótico que permite realizar movimiento en cruz utilizando elementos de control neumáticos y un PLC para el laboratorio de Neumática de la FETD

### **1.4.2 Objetivos Específicos.**

1. Establecer el estado de arte actualizado de la operación del brazo robot manipulador.
2. Definir características de hardware y software para controlar un brazo manipulador
3. Implementar un brazo manipulador controlado por PLC y accionado por actuadores neumáticos.

## **1.5 Hipótesis.**

El conocimiento y despliegue de brazos robóticos permitirá aprovechar la ventaja tecnológica del brazo manipulador y su posible eficiencia en 'mano' de obra barata en la manufactura o procesamiento industrial.

## **1.6 Metodología de Investigación.**

El tipo de investigación utilizado en este proyecto es de tipo descriptiva ya que se detalla las características de operación, clasificación y control del brazo robot manipulador. También se emplea el método sintético- analítico pues se examina la información para de esta manera generar tablas resumidas de la operación, clasificación, control del brazo robot manipulador. Se aplica el método empírico por la puesta en marcha de un

brazo manipulador didáctico que utiliza actuadores neumáticos. El control de movimiento del brazo se lo realiza con un PLC.

## **Capítulo 2: Fundamentación Teórica**

### **2.1 Definición de Brazo robot manipulador**

La Asociación Internacional de Estándares (ISO) define un manipulador industrial como: máquina mecatrónica manipuladora de 3 o más ejes, con control automático reprogramable, móvil o no, destinado a ser utilizado en aplicaciones de automatización industrial. Incluye al mecanismo del manipulador; sistema mecánico y accionadores y al sistema de control: software y hardware de control y potencia.

### **2.2 Clasificación de robots**

La clasificación de un robot en robot industrial o robot de servicio se realiza de acuerdo con su aplicación prevista. El Comité Técnico ISO 184 elaboró un nuevo estándar ISO 8373 que entró en vigencia en 2012. Esta Norma Internacional especifica la nomenclatura utilizada en relación con los robots y dispositivos robóticos que operan en entornos industriales y no industriales. A su vez proporciona definiciones y explicaciones de los términos más comúnmente utilizados, que se agrupan en cláusulas por temas principales de robótica. Sus definiciones de terminología se relacionan con la robótica industrial y de servicio (Pernas, 2018).

La Federación Internacional de Robótica (International Federation of Robotics, IFR), al respecto indica las definiciones relacionadas con robótica relevantes son:

- Un robot es un mecanismo accionado programable en dos o más ejes con un grado de autonomía, que se mueve dentro de su entorno, para realizar las tareas previstas. La autonomía en este contexto significa la capacidad de realizar las tareas previstas en función del estado y la detección actuales, sin intervención humana (IFR, 2004).
- Un robot de servicio es un robot que realiza tareas útiles para humanos o equipos, excluida la aplicación de automatización

industrial.

- Un robot de servicio personal o un robot de servicio para uso personal es un robot de servicio utilizado para una tarea no comercial, por lo general por personas discapacitadas. Algunos ejemplos son el robot de servicio doméstico, la silla de ruedas automatizada y el robot de asistencia de movilidad personal.
- Un robot de servicio profesional o un robot de servicio para uso profesional es un servicio 'robotizado' utilizado para una tarea comercial, por lo general operado por un operador debidamente capacitado. Algunos ejemplos son robots de limpieza para lugares públicos, robots de entrega en oficinas u hospitales, robots de lucha contra incendios, robots de rehabilitación y robots de cirugía en hospitales. En este contexto, un operador es una persona designada para iniciar, controlar y detener el funcionamiento previsto de un robot o un sistema de robot (IFR, 2004).
- Un sistema de robot es un sistema que comprende robot (es), efector (es) final (es) y cualquier maquinaria, equipo, dispositivo o sensor que soporte al robot que realiza su tarea.

De acuerdo con la definición, se requiere "un grado de autonomía" para los robots de servicio, que van desde la autonomía parcial (incluida la interacción humano-robot) hasta la autonomía total (sin la intervención operativa humano-robot). Por lo tanto, además de los sistemas totalmente autónomos, las estadísticas de los robots de servicio incluyen sistemas que también pueden basarse en cierto grado de interacción humano-robot (físico o informativo) o incluso en la tele operación completa (Buitrago & Ramos, 2016).

En este contexto, la interacción humano-robot significa información e intercambios de acción entre humanos y robots para realizar una tarea mediante una interfaz de usuario.



Figura 2. 1 Brazo manipulador

Fuente: (Robotikits, 2015)

### 2.2.1 Categorías de clasificación por área de aplicación

La Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (United Nations Economic Commission for Europe UNECE) e IFR han adoptado una definición preliminar y un sistema para clasificar los robots de servicio por categorías y tipos de interacción que han convergido a través de los años en el esquema de clasificación actual.

Dado que muy pocas organizaciones nacionales han tenido estadísticas exhaustivas sobre robots de servicio, la IFR decidió recopilar estadísticas directamente de los fabricantes de robots de servicio en todo el mundo (IFR, 2004). A los fabricantes de robots de servicio se les pidió que informaran los datos desglosados por áreas de aplicación.

En la Tabla 2.1, se indica la clasificación según el sector, la categoría y la aplicación que realizan según la IFR.

Tabla 2. 1 Categorías de robots por sector y aplicación



000	Sin especificar
110	Manipulación en fundición.
130	Manipulación en moldeo de
140	Manipulación en tratamientos
150	Manipulación en la forja y
160	Soldadura.
170	Aplicación de materiales.
180	Mecanización.
190	Otros procesos.
200	Montaje.
210	Paletización y empaquetado.
220	Medición, inspección, control de
230	Manipulación de materiales.
240	Formación, enseñanza e
900	Otros.

Fuente: (IFR, 2004)

Desde entonces, este proceso se ha mantenido (y mejorado) con la única diferencia de transferir todas las actividades relacionadas con estadísticas al Departamento de Estadística IFR (ubicado en Frankfurt, Alemania) desde el año 2005.

La base de datos de las empresas se expande continuamente. La base para nuevos contactos son servicios de noticias, blogs, ferias comerciales y publicaciones. En la figura 2.2, se muestra una representación de gestión estadística en la recepción de datos y desarrollos de robots que realiza la IFR.

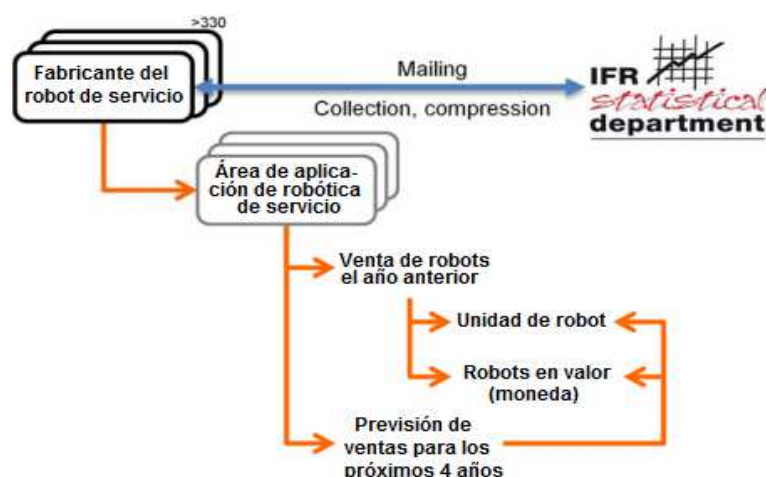


Figura 2. 2 Procedimiento simplificado de recopilación de datos estadísticas

Fuente: (IFR, 2004)

Se estima que cerca de 300 ideas desarrolladores de productos, prototipos y productos en servicio robótico están documentados para casi cualquier tipo de tareas físicas (IFR, 2004). Estos tipos de robots están clasificados como robots de servicio. Véase en la tabla 2.2 la clasificación de robots, según el IFR en cuanto al servicio al que está dirigido.

Tabla 2. 2 Robots de servicio por áreas de aplicación y tipos de robots.

<b>Sección I</b>	<b>Robots personales y domésticos</b>
1-5	Robots para tareas domesticas
6-0	Robots de entretenimiento
11-14	Asistencias , ayuda a discapacidades
15	Transporte Personal
16	Seguridad y vigilancia de la vivienda
17	Otros usos personales y domésticos
<b>Sección II</b>	<b>Robots de servicios profesionales</b>
18-23	Robots de exteriores
24-28	Limpieza profesional
29-31	Sistemas de inspección
32-36	Construcción y demolición
37-40	Sistemas logísticos
41-44	Medicina
45-50	Defensa, rescate y seguridad
51	Submarinos
52	Plataformas móviles de uso general
53-55	Robots de laboratorio
56-59	Relaciones publicas
60-61	Propósito especial
62	Humanoides
63	Robots a medida
64	Otros no especificados
<b>Sección III</b>	<b>I+D en robótica</b>
64	Percepción
65-67	Actuación
68	Micro y nano robots
69	Arquitecturas e integración
70	Navegación y control
71	Interfaces con usuario y otras
72	Otras actividades de I+D no especificadas
73	Investigación básica

Fuente: (IFR, 2004)

Otras formas de aplicación contemplan: tipo de actuador, tipo de control, número de ejes y por configuración.

### 2.2.2 Clasificación atendiendo al tipo de Actuadores

Dependiendo de cuál sea el tipo de energía utilizada por los ejes principales del robot, este puede ser clasificado como:

\* Neumático: Utiliza aire comprimido. Los actuadores son cilindros neumáticos. En generación de vacío se utilizan ventosas para sostener o recoger objetos con delicadeza.



Figura 2. 3 Brazo manipulador con ventosas

Fuente: (Informe BID, 2018)

\* Hidráulico: Utiliza un fluido hidráulico, normalmente algún tipo de aceite. los actuadores son cilindros y motores hidráulicos.

\* Eléctrico: Utiliza la energía eléctrica para alimentar motores u otro tipo de dispositivos eléctricos.



Figura 2. 4 Brazo manipular con accionamiento eléctrico en ejes

(Informe BID, 2018)

### 2.2.3 Clasificación atendiendo al Tipo de Control.

El tipo de control utilizado también se emplea para clasificar a los robots en:

- \* Robot secuencial: Los movimientos son generados eje por eje por un sistema de control. Al finalizar el movimiento de un eje comienza el siguiente.
- \* Robot controlado por trayectoria: Los ejes del robot se mueven de forma simultánea controlados por un sistema de control que les marca la trayectoria a seguir por el extremo (García, 2010).

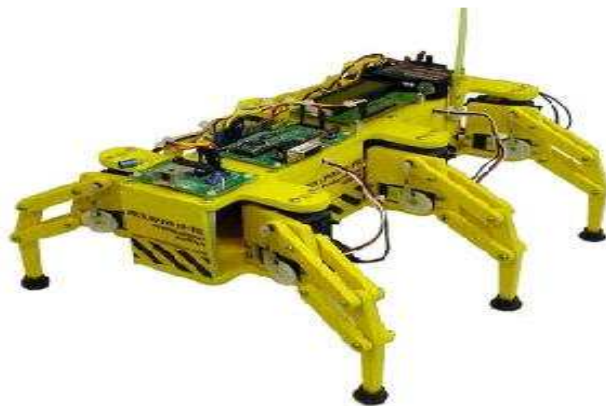


Figura 2. 5 Robot controlado por trayectoria

Fuente: (Robotikits, 2015)

\* Robot adaptativo: Este tipo de control se ayuda de sensores que definen los movimientos a realizar.

\* Robot teleoperado: Este robot se dirige remotamente por un operador humano.



Figura 2. 6 Robot teleoperado

Fuente: (Informe BID, 2018)

#### **2.2.4 Clasificación atendiendo al Número de Ejes.**

Según la definición ISO, el manipulador industrial debe tener al menos 3 ejes, sin embargo, para posicionar y orientar en cualquier posición el extremo de un brazo robótico es necesario que disponga al menos de 6 grados de libertad, 6 parámetros para definir el punto, tres de posición y tres de orientación. Por lo que en la práctica la mayor parte de robots tienen 6 ejes, seguidos por los de 4 ejes. (Córdova, 2016).

Cabe indicar que la supervisión constante de las posiciones y orientaciones de los enlaces del manipulador, las herramientas, los objetos que maneja y

otros objetos cercanos son esenciales. En la figura 2.7 se muestra un brazo manipulador con 6 ejes o glp.

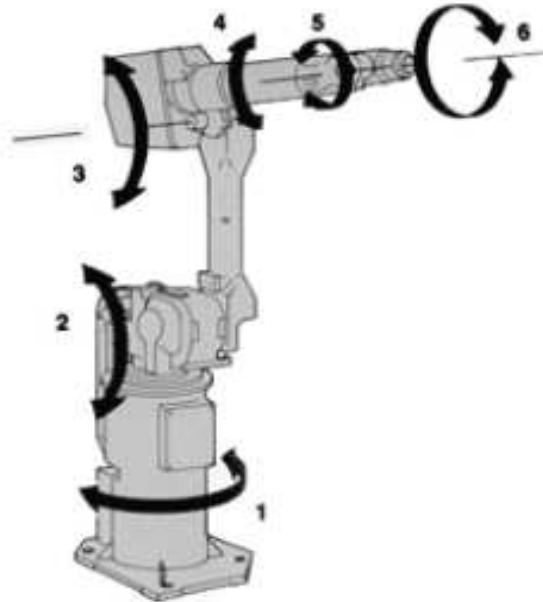


Figura 2. 7 Grados de libertad (6 ejes)

Fuente: (Córdova, 2016)

### 2.2.5 Clasificación atendiendo a la Configuración

Según Córdoba (2016) La mayoría de robots industriales están formados por cadenas cinemáticas de varios eslabones, los cuales se unen entre ellos con diferentes configuraciones y articulaciones. Según los expertos a partir de dos tipos de articulaciones (uniones, juntas) primitivas, se pueden diseñar muchos mecanismos útiles para la manipulación y locomoción del robot combinando dos articulaciones primitivas.

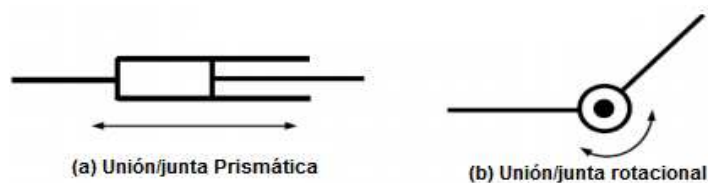


Figura 2. 8 Dos tipos de uniones/juntas

Fuente: (Munasinghe, 2014)

- Unión prismática (deslizante): un par de enlaces realiza un desplazamiento traslacional a lo largo de un eje fijo. Un enlace se desliza por el otro a lo largo de una línea recta.
- Unión rotacional (rotativa): dos enlaces giran alrededor de un eje fijo. Este tipo de articulación a menudo se conoce como articulación de bisagra, articulada o giratoria.

Por consiguiente, el empleo de diferentes combinaciones de estas proporciona un abanico de posibilidades a la hora de clasificar un robot siendo las más habituales la configuración cartesiana, cilíndrica, esférica, angular y el brazo robótico ensamblado con cumplimiento selectivo (Selective Compliant Assembly Robot Arm, SCARA) (Munasinghe, 2014). Véase la figura 2.9.

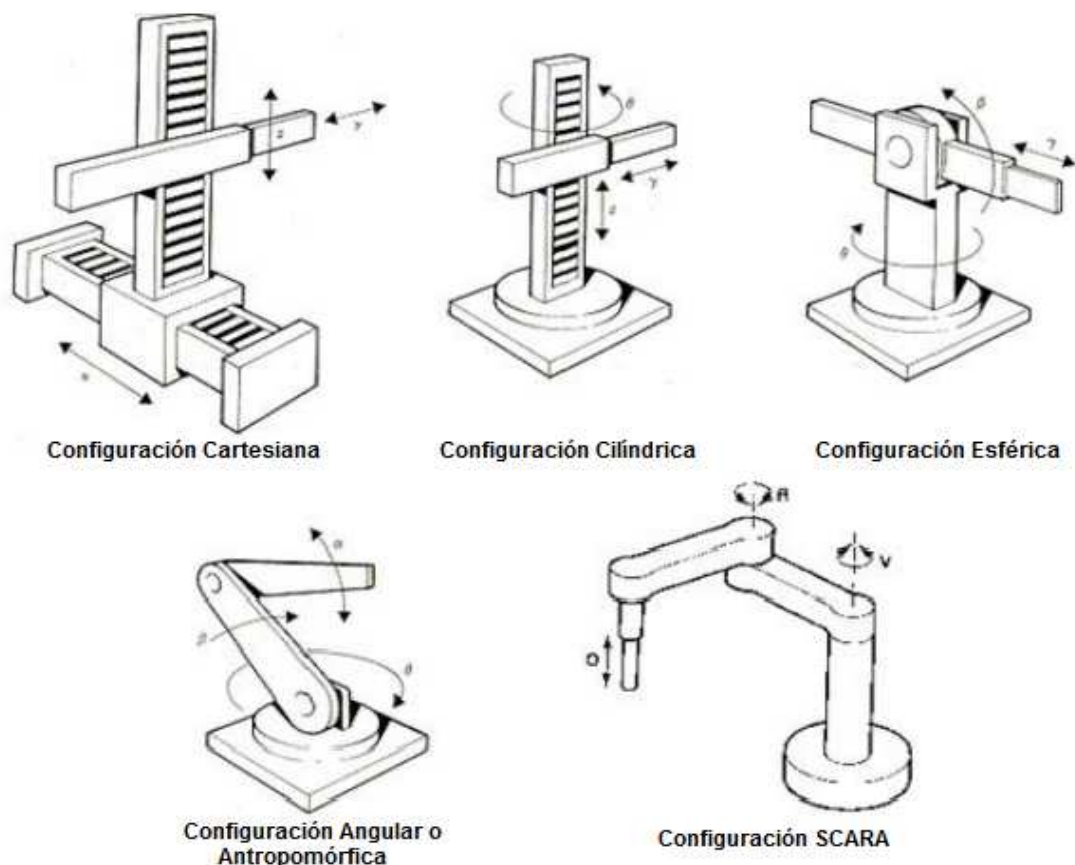


Figura 2. 9 Clasificación según su configuración

Fuente: (Córdova, 2016)

Estas configuraciones hacen uso de distintas combinaciones de articulaciones, siendo las más utilizadas las que disponen de un solo grado de libertad como son la prismática y de rotación. Véase la figura 2.10.



Figura 2. 10 Tipos de articulaciones habituales

Fuente: (Córdova, 2016)

Dependiendo de estas configuraciones, el robot dispondrá de un área de trabajo diferente. El área de trabajo o campo de acción es el volumen espacial al que puede llegar el extremo del robot. Este volumen está determinado por el tamaño, forma y tipo de los eslabones que integran el robot, así como por las limitaciones de movimiento impuestas por el sistema de control (Córdova, 2016).

En los catálogos suministrados por los fabricantes se suele indicar el área de trabajo mediante un dibujo acotado. Véase la figura 2.11.

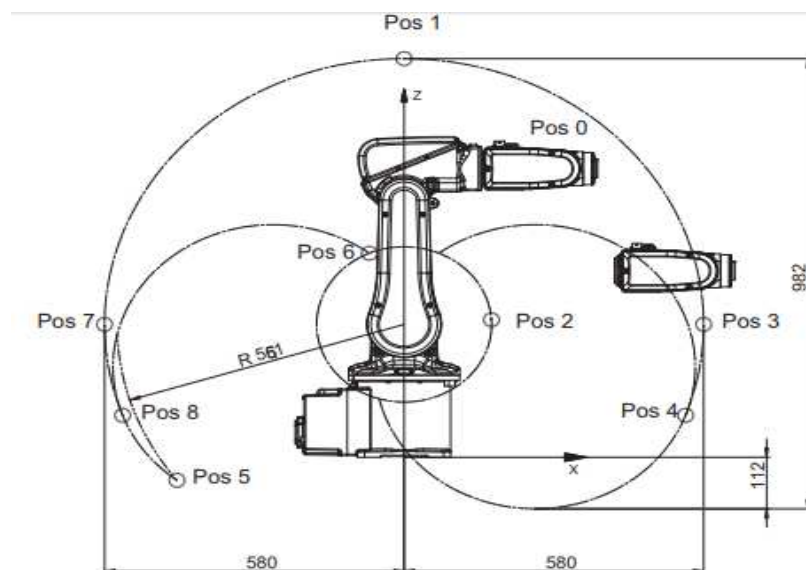




Figura 2. 11 Área trabajo y tipo de movimiento del IRB 120 de ABB

Fuente: (ABB, 2017)

Tabla 2. 3 Datos de área de trabajo de brazo manipulador IRB 120

Posición	Posición en centro de la muñeca (mm)		Ángulo (grados)	
	X (mm)	Z(mm)	Eje 2(grados)	Eje 3(grados)
A	302	630	0	0
B	0	870	0	-77
C	169	300	0	+70
D	580	270	+90	-77
E	545	91	+110	-77
F	-440	-50	-110	-110
G	-67	445	-110	+70
H	-580	270	-90	-77
J	-545	91	-110	-77

Fuente: (ABB, 2017)

### 2.3 Síntesis de articulaciones y tecnologías del robot

A continuación, se describen en tablas resumidas aspectos esenciales de los robots.

En la Tabla 2.4 se describen los cinco tipos de articulaciones (juntas mecánicas) para robots.

Tabla 2. 4 Resumen de unión/juntas mecánicas para robots

Articulación	Descripción	Esquema
Articulación lineal	Conjunto Tipo L; el movimiento relativo entre el enlace de entrada y el enlace de salida es un movimiento deslizante de traslación, con los ejes de los dos enlaces paralelos.	
Articulación ortogonal	Conjunto Tipo O; el movimiento relativo entre el enlace de entrada y el de salida es un movimiento deslizante de traslación, pero el enlace de salida es perpendicular	

	al enlace de entrada.	
Articulación Rotacional	Conjunto Tipo R; esto proporciona un movimiento relativo de rotación, con el eje de rotación perpendicular a los ejes de los enlaces de entrada y salida.	
Tercer articulación	Conjunta Tipo T; esto proporciona movimiento giratorio, pero el eje de rotación es paralelo a los ejes de los dos enlaces.	
Articulación Giratoria	Conjunto Tipo V; el eje del enlace de entrada es paralelo al eje de rotación de la unión, y el eje del enlace de salida es perpendicular al eje de rotación.	


Nota: elaborado por el autor

Hay dos partes principales del manipulador: un conjunto de cuerpo y brazo, con típicamente tres grados de libertad; y un conjunto efector, con dos o tres grados de libertad. Al final del ensamblaje de la 'muñeca' del manipulador hay un dispositivo relacionado con la tarea que debe realizar el robot. El dispositivo es llamado efector final, y puede ser una pinza para sostener una pieza de trabajo o una herramienta específica para realizar algún proceso. El cuerpo y el brazo del robot se utilizan para posicionar el efector final, y la muñeca del robot se usa para orientar al efector final. En total, un robot normalmente tiene hasta seis grados de libertad para posicionar y orientar el efector final a un punto o línea en el espacio (Yaguana, 2010).

Para configuraciones de cuerpo y brazo, hay muchas combinaciones diferentes posibles para un manipulador de robot de tres grados de libertad, que comprende cualquiera de los cinco tipos de unión descritos anteriormente. Las cinco configuraciones comunes de cuerpo y brazo se describen en la tabla 2.5.

Tabla 2. 5 Configuraciones comunes de cuerpo y brazo.

Configuración	Descripción	Ejemplo
Configuración polar	Consiste en una articulación L de brazo deslizante, accionada en relación con el cuerpo, que gira alrededor de un eje vertical (articulación T) y un eje horizontal (articulación R).	
Configuración cilíndrica	Consiste en una columna vertical, relativa a lo cual un conjunto de brazo se mueve hacia arriba o hacia abajo. El brazo puede moverse dentro y fuera del eje de la columna. La configuración común es usar una junta en T para girar la columna sobre su eje. Una junta en L se utiliza para mover el conjunto del brazo verticalmente a lo largo de la columna, mientras que se usa una junta en O para lograr el movimiento radial del brazo.	
Robot de coordenadas cartesianas	También conocido como robot rectilíneo y robot x, y-z. Consiste en tres juntas deslizantes, dos de las cuales ortogonales (articulación).	
Robot articulado	Configuración general de un brazo humano, esto consiste en una columna vertical que gira alrededor de la base usando una junta en T. En la parte superior de la columna hay una articulación del hombro (una articulación R), salida a una articulación del codo (otra articulación R)	

SCARA	Brazo robótico. De construcción similar al robot de brazo articulado, excepto que los ejes de rotación del hombro y el codo son verticales, lo que significa que el brazo es muy rígido en la dirección vertical, pero cumple con la dirección horizontal.	
-------	--	---

Nota: Elaborado por el autor

**Muñeca del robot:** Los ensambles de la muñeca del robot constan de dos o tres grados de libertad. Una articulación de la muñeca típica de tres grados de libertad se representa en la Figura 2.12 la articulación del rodillo se logra mediante el uso de una articulación en T; la articulación de paso se logra mediante el recurso a una articulación R; y la articulación de guiñada, un movimiento de derecha e izquierda, se obtiene al desplegar una segunda articulación R. Se debe tener cuidado para evitar movimientos de cabeceo y ‘guiñada’ imprecisa, ya que ambos utilizan la articulación R (Penisi, Rojas, Aguilar, Manzano, & Isoglio, 2012).

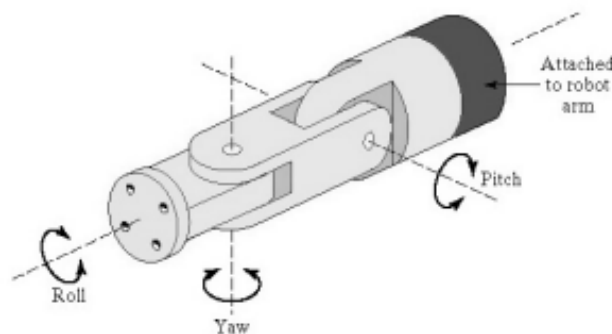


Figura 2. 12 Articulación robótica de la muñeca

Fuente: (Munasinghe, 2014)

La configuración de cuerpo y brazo de SCARA típicamente no usa un ensamble de muñeca separado; su entorno operativo habitual es para operaciones de ensamblaje de inserción donde las articulaciones de las muñecas son innecesarias. Las otras cuatro configuraciones de cuerpo y brazo más o menos siguen la configuración de la articulación de muñeca

dada anteriormente, desplegando varias combinaciones de articulaciones rotatorias tipo R y T (Penisi, Rojas, Aguilar, Manzano, & Isoglio, 2012).

Un sistema de notación conjunta específico, que utiliza los símbolos de letras para los cinco tipos de unión (L, O, R, T y V), se usa a veces para definir una unión particular que se utilizará para el manipulador de robot. En el sistema, el manipulador se describe por sus tipos de articulaciones, y esto es seguido por los símbolos articulares que componen la muñeca separados por dos puntos (Penisi, Rojas, Aguilar, Manzano, & Isoglio, 2012).

Un ejemplo se describe a continuación:

TLR: TR

Manipulador de cuerpo y brazo:

T = articulación de torsión para la articulación 1;

L = articulación lineal para la articulación 2; y

R = articulación rotacional para la articulación 3.

Muñeca:

T = articulación de torsión para la articulación 4; y

R = articulación rotacional para la articulación 5.

Un sistema de notación conjunta específico que utiliza los símbolos de letras para los cinco tipos de unión (L, O, R, T y V) se puede usar para definir las configuraciones conjuntas de un brazo robot.

**El volumen de trabajo;** es el espacio tridimensional en el que el robot puede manipular el extremo de su muñeca. El volumen de trabajo está determinado por el número y los tipos de juntas en el manipulador, los rangos de las diversas articulaciones y el tamaño físico de los enlaces (Pérez, 2014).

Su forma real depende de la configuración del robot: una configuración robótica polar tiende a producir un volumen de trabajo esférico (o casi

esférico); una configuración cilíndrica tiene una envolvente de trabajo cilíndrica; y un robot coordinado cartesiano produce un volumen de trabajo rectangular.

En la figura 2.13 se muestra el volumen de trabajo de algunas configuraciones de brazos robots.

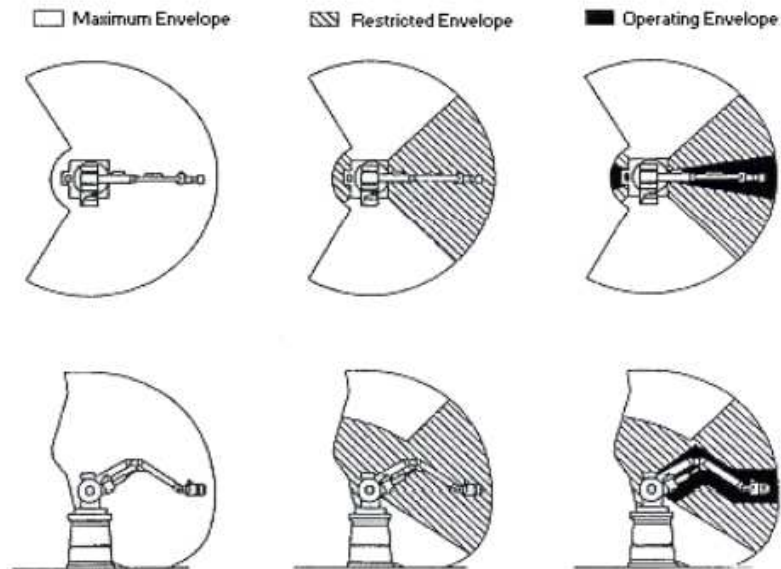


Figura 2. 13 Volumen de trabajo

Fuente: (ABB, 2017)

**Los sistemas de accionamiento:** se utilizan para accionar articulaciones robóticas son de tres tipos: eléctrico; hidráulico; y neumático. Los motores eléctricos constituyen el tipo principal de mecanismo de accionamiento eléctrico que se implementa; típicamente se usan servomotores o motores DC. Los sistemas de accionamiento hidráulico y neumático utilizan dispositivos tales como pistones lineales y actuadores de paletas rotativas para lograr el movimiento de la junta.

La impulsión neumática se utiliza regularmente para aplicaciones robóticas más pequeñas, más simples; mientras que los accionamientos eléctricos e hidráulicos se pueden encontrar en robots industriales más sofisticados. Los propulsores eléctricos son generalmente favorecidos en aplicaciones comerciales, ya que aprovechan rápidamente los avances en la tecnología

de motores eléctricos realizados en los últimos años, y debido a su fácil compatibilidad con los sistemas informáticos; mientras que los sistemas hidráulicos, aunque no tan flexibles, generalmente se destacan por sus mayores velocidades y fuerzas en el despliegue.

**Velocidad del robot;** La combinación de sistema de accionamiento, sensores y sistema de control de retroalimentación determina las características de respuesta dinámica del manipulador. La velocidad en términos robóticos se refiere a la velocidad absoluta del manipulador en su extremo del brazo (Pérez, 2014).

Se puede programar en el ciclo de trabajo para que diferentes partes del ciclo se lleven a cabo a diferentes velocidades. El control de aceleración y deceleración son también factores importantes, especialmente en un sobre de trabajo confinado. La capacidad del robot para controlar esta conmutación entre velocidades es un determinante clave de las capacidades del manipulador.

Otros determinantes clave son el peso (masa) del objeto manipulado, y la precisión que se requiere para localizar y posicionar el objeto correctamente. Todos estos determinantes se recopilan bajo el término "velocidad de respuesta", que se define como el tiempo requerido para que el manipulador se mueva de un punto en el espacio al siguiente. La velocidad de la influencia de respuesta es el tiempo de ciclo del robot, que a su vez afecta la velocidad de producción que se puede lograr.

**La estabilidad:** se refiere a la cantidad de sobre impulso y oscilación que ocurre en el movimiento del robot al final del brazo cuando intenta moverse a la siguiente ubicación programada (Pérez, 2014).

Cuanta más oscilación hay en el movimiento robótico, menos estabilidad en el robot manipulador. Sin embargo, una mayor estabilidad generalmente significa que los tiempos de respuesta de los robots son más lentos. La capacidad de carga también es un factor importante, que se determina por el peso de la pinza utilizada para agarrar los objetos en cuestión.

Claramente, una pinza pesada coloca una mayor carga sobre el manipulador robótico, cuando se combina con la masa del objeto, que la combinación de la masa del objeto y una pinza ligera. Los robots comerciales pueden transportar cargas de hasta 900 kg, mientras que los robots de tamaño mediano diseñados para aplicaciones industriales tienen capacidades de hasta 45 kg. (Pérez, 2014).

### 2.3.1 Sistemas de control de robots

Los movimientos de las articulaciones deben controlarse para que el robot funcione como se desee. Los controladores basados en microprocesador se usan regularmente para realizar esta acción de control.

Normalmente, el controlador está organizado de forma jerárquica, para que cada articulación pueda retroalimentar datos de control individualmente, con un controlador de supervisión general que coordine las actuaciones combinadas de las articulaciones según la secuencia del programa de robot.

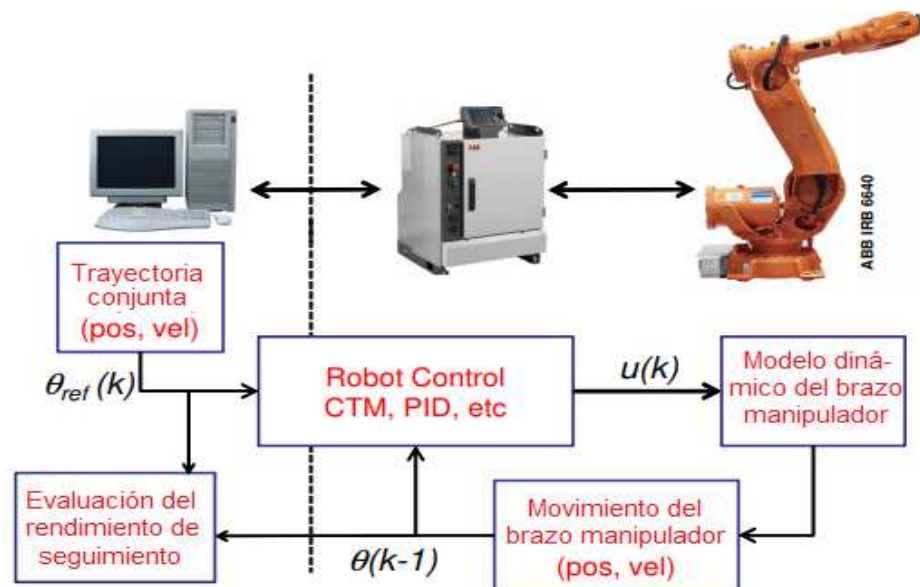


Figura 2. 14 Estructura básica del control del robot

Fuente: (Munasinghe, 2014)

En la Tabla 2.6. se detallan los diferentes tipos de control posibles para brazos robots manipuladores.



Tabla 2. 6 Características del control para robots manipuladores

<b>Tipo de Control</b>	<b>Comentarios</b>
Control de secuencia limitado	El tipo de control elemental, se usa para ciclos de movimiento simples, como operaciones de pick-and-place. Se implementa mediante la fijación de límites o paradas mecánicas para cada articulación y secuenciación del movimiento de las articulaciones para lograr la operación. Los bucles de retroalimentación se pueden usar para informar al controlador que la acción se ha realizado, de modo que el programa pueda pasar al siguiente paso. No hay control de servo para el posicionamiento preciso de la articulación. Muchos robots accionados neumáticamente son de este tipo
Reproducción con control punto a punto	El control de reproducción usa un controlador con memoria para grabar secuencias de movimiento en un ciclo de trabajo, así como ubicaciones asociadas y otros parámetros, y luego reproduce el ciclo de trabajo durante la ejecución del programa. El control de punto a punto significa que las posiciones individuales del robot se registran en la memoria; estas posiciones incluyen paradas mecánicas para cada articulación y el conjunto de valores que representan las ubicaciones en el rango de cada articulación. El control de realimentación se usa para confirmar que las uniones individuales alcanzan las ubicaciones especificadas en el programa.
Reproducción con control de trayectoria continua	La reproducción es como se describió anteriormente. El control de ruta continua se refiere a un sistema de control capaz de control continuo simultáneo de dos o más ejes. Las siguientes ventajas se observan con este tipo de control de reproducción: mayor capacidad de almacenamiento: la cantidad de ubicaciones que se pueden almacenar es mayor que en punto a punto; y se pueden usar cálculos de interpolación, especialmente interpolaciones lineales y circulares.
Control Inteligente	Un robot inteligente es aquel que exhibe un comportamiento que lo hace 'parecer' inteligente; por ejemplo, capacidades para interactuar con su ambiente alrededor; capacidad de toma de decisiones; comunicación con humanos; análisis computacional durante el ciclo de trabajo; y capacidad de

	respuesta a las entradas avanzadas del sensor. Requiere un alto nivel de control de la computadora y un lenguaje de programación avanzado para ingresar la lógica de toma de decisiones y otra 'inteligencia' en la memoria.
--	--

Nota: elaborado por el autor

### 2.3.2 Efectores finales

Un efector final generalmente se adjunta a la muñeca del robot, y permite que el robot lograr una tarea específica. Esto significa que los efectores finales son generalmente diseñados y fabricados para cada operación diferente. Los dos generales las categorías de efectores finales son pinzas y herramientas.

Un efector final generalmente se adjunta a la muñeca del robot: permite que el robot lograr una tarea específica. La figura 2.15 muestra una pinza y una herramienta de muestra.



Figura 2. 15 Pinza y herramienta robóticas (soldadura por puntos)

Fuente: (García, 2010)

Las pinzas agarran y manipulan objetos durante el ciclo de trabajo. Típicamente los objetos captados son piezas de trabajo que deben cargarse o descargarse de una estación a otra. Las pinzas pueden diseñarse a medida para adaptarse a las especificaciones físicas de las partes de trabajo que deben comprender.

Las pinzas como efectores finales se describen con más detalle en la Tabla 2.7.

Tabla 2. 7 Características de efectores para brazos robots

Tipo	Comentario
Pinza mecánica	Dos o más dedos que pueden ser accionados por el controlador del robot para abrir y cerrar en una pieza de trabajo.
Pinza de vacío	Las ventosas se utilizan para sostener objetos planos.
Dispositivos magnetizados	Haciendo uso de los principios del magnetismo, estos se usan para sostener piezas de trabajo ferrosas.
Dispositivos adhesivos	Despliegue de sustancias adhesivas estas sostienen materiales flexibles, tales como tela.
Dispositivos mecánicos simples	Por ejemplo, ganchos y primicias.
Pinzas duales	Pinza mecánica con dos dispositivos de agarre en un extremo efector para carga y descarga de la máquina. Reduce el tiempo de ciclo por parte agarrando dos partes de trabajo al mismo tiempo.
Dedos intercambiables	Pinza mecánica mediante la cual, para acomodar diferentes tamaños de piezas de trabajo, se pueden unir diferentes dedos.
Dedos de retroalimentación sensorial	Pinza mecánica con capacidad de retroalimentación sensorial en los dedos para ayudar a ubicar la pieza de trabajo; y para determinar la fuerza de agarre correcta para aplicar (para piezas de trabajo frágiles).
Varias pinzas con dedos	Pinza mecánica con la anatomía general de la mano humana.
Pinzas estándar	Pinzas mecánicas que están disponibles comercialmente, lo que reduce la necesidad de diseñar a medida una pinza para cada aplicación de robot por separado

Nota: elaborado por el autor

El efector final del robot también puede usar herramientas. Las herramientas se usan para realizar operaciones de procesamiento en la parte de trabajo. Normalmente, el robot usa la herramienta en relación con un objeto estacionario o que se mueve lentamente; de esta manera el

proceso se lleva a cabo. Por ejemplo, la soldadura por puntos, la soldadura por arco y la pintura por pulverización, que utilizan una herramienta para procesar la operación, se pueden llevar a cabo de esta manera (Córdova, 2016).

Otros ejemplos en los que una herramienta es mantenida por el manipulador robótico, y se usa contra la parte de trabajo incluyen: rotación del husillo para taladrar, enrutar, rectificar y operaciones similares; el uso de una antorcha de calefacción; y cuando se utiliza una herramienta de corte por chorro de agua.

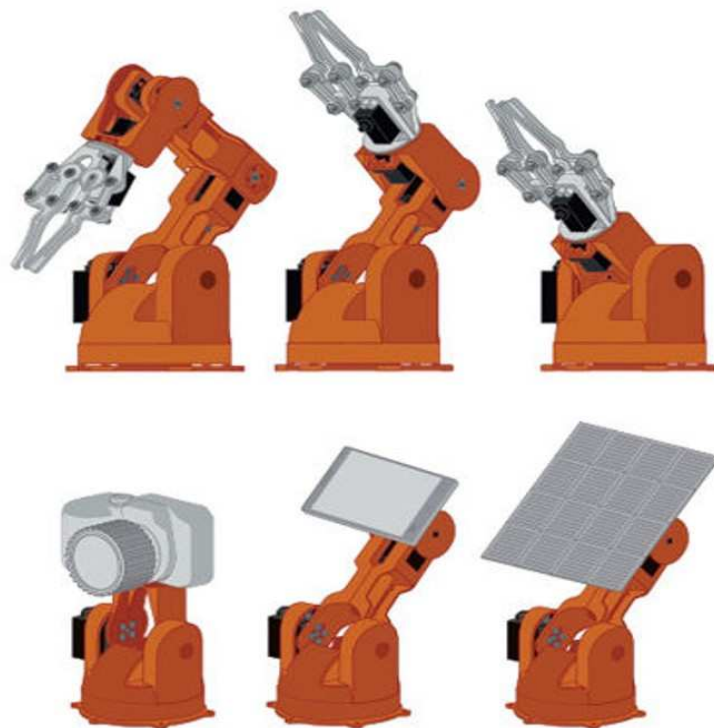


Figura 2. 16 Herramientas en efector del brazo robot

Fuente: (ESA, 2016)

Para cada instancia, el robot controla tanto la posición de la pieza de trabajo como la posición de la herramienta en relación con la parte de trabajo; para este propósito, por lo tanto, el robot debe ser capaz de transmitir señales de control a la herramienta para iniciar, agacharse y regular las acciones de las herramientas.

### 2.3.3 Sensores en Robótica

En general, hay dos categorías de sensores utilizados en robótica; estos son para fines internos y para fines externos. Los sensores internos se utilizan para monitorear y controlar las diversas articulaciones del robot; forman un circuito de control de retroalimentación con el controlador del robot. Los ejemplos de sensores internos incluyen potenciómetros y codificadores ópticos, mientras que tacómetros de varios tipos se pueden implementar para controlar la velocidad del brazo del robot (Pérez, 2014).

Los sensores externos son externos al robot y se utilizan cuando deseamos controlar las operaciones del robot con otras piezas de equipo en el robot célula de trabajo. Los sensores externos pueden ser dispositivos relativamente simples, como los interruptores de límite que determinan si una parte se ha colocado correctamente, o si una parte está lista para ser recogida de una zona/bahía de descarga (Yaguana, 2010).

En general, hay dos categorías de sensores utilizados en robótica; estos son para propósitos internos, y aquellos para propósitos externos. También se pueden usar varias tecnologías avanzadas de sensores; estos están delineados en la Tabla 2.8.

Tabla 2. 8 Tecnologías avanzadas de sensores para robótica

Tipos de Sensores	Descripción
Sensores táctiles	Se usa para determinar si el contacto se hace entre el sensor y otro objeto. Dos tipos: sensores táctiles, que indican cuándo se realiza el contacto, y sensores de fuerza, que indican la magnitud de la fuerza con el objeto
Sensores de proximidad	Se usa para determinar qué tan cerca está un objeto del sensor. También llamado sensor de rango.
Sensores ópticos	Fotocélulas y otros dispositivos fotométricos que se usan para detectar presencia o ausencia de objetos a menudo se usa junto con sensores de proximidad.
Visión por computador	Utilizado en robótica para inspección, identificación de piezas, guía y otros usos.

Otros	Dispositivos para medir: temperatura, presión de fluido, flujo de fluido, voltaje eléctrico, corriente y otras propiedades físicas.
-------	---

Nota: elaborado por el autor

## 2.4 Aplicaciones de Robots Industriales

Las características generales de las situaciones de trabajo industrial que tienden a promover la sustitución de robots por mano de obra humana se resumen en la Tabla 2.9.

Tabla 2. 9 Características donde los robots pueden sustituir a los humanos.

Situación	Descripción
Trabajo peligroso para humanos	En situaciones donde el ambiente de trabajo no es seguro, no es saludable, incómodo, o desagradable para los humanos, aplicación de robot puede ser considerado.
Ciclo de trabajo repetitivo	Si la secuencia de elementos en el ciclo de trabajo es la misma, y los elementos consisten en movimientos relativamente simples, los robots generalmente realizan el trabajo con mayor consistencia y repetibilidad que los humanos.
Difícil manejo para los humanos	Si la tarea requiere el uso de partes o herramientas pesadas o difíciles de manejar para humanos, los robots pueden realizar la operación de manera más eficiente.
Operación de varios turnos	Un robot puede reemplazar dos o tres trabajadores a la vez en segundo o tercer cambios, por lo tanto, pueden proporcionar una recuperación financiera más rápida.
Cambios infrecuentes	El uso del robot está justificado para tiradas de producción largas en las que se producen cambios poco frecuentes, en contraposición a la producción por lotes o taller donde los cambios son más frecuentes.
La posición y la orientación de la parte se establecen en la celda de trabajo	Los robots generalmente no tienen capacidades de visión, lo que significa que deben ser colocado y orientado con precisión para operaciones robóticas exitosas.

Nota: elaborado por el autor

Las situaciones de trabajo industrial que promueven la sustitución de robots por mano de obra humana incluyen: entornos de trabajo peligrosos; ciclos de trabajo repetitivos; manejo difícil; entornos de varios turnos; cambios poco frecuentes; y parte posición y la orientación se establece en la celda de trabajo, es decir, las tareas repetitivas (Yaguana, 2010).

Los robots se utilizan principalmente en tres tipos de aplicaciones: manejo de materiales; operaciones de procesamiento; y montaje e inspección. En el manejo de materiales, los robots mueven piezas entre varias ubicaciones por medio de un efector final tipo pinza. Se pueden observar dos subdivisiones en el manejo de materiales: transferencia de material; y carga y/o descarga de la máquina. Estos se detallan en la Tabla 2.10.

Tabla 2. 10 Aplicaciones de manejo de materiales

<b>Aplicaciones</b>	<b>Descripción</b>
Transferencia de material	<p>El propósito principal es recoger piezas en un lugar y ubicarlas en un lugar nuevo. La aplicación más básica es un procedimiento de pick-and-place, por un robot de baja tecnología (a menudo neumático), que utiliza solo hasta 4 articulaciones.</p> <p>Más complejo es la paletización, donde los robots recuperan objetos de una ubicación y los depositan en un palet en un área específica del palet, por lo que el depósito y la ubicación es ligeramente diferente para cada objeto transferido. El robot debe ser capaz de calcular la ubicación correcta del depósito a través de un método de derivación con alimentación, o mediante un análisis dimensional.</p> <p>Otras aplicaciones de transferencia de material incluyen despaletizado, apilado y operaciones de inserción</p>
Carga y/o descarga de la máquina	<p>El objetivo principal es transferir partes dentro o fuera de una máquina de producción. Hay tres clases a considerar: carga de la máquina, donde el robot carga la máquina solamente; descarga de la máquina: cuando el robot descarga la máquina solo; y la carga y descarga de la máquina, donde el robot realiza ambas acciones. La carga y/o descarga de la máquina se utiliza en los siguientes procesos: fundición a presión, moldeo de plástico, operaciones de mecanizado de metales, forjado, trabajo de prensado y tratamiento térmico.</p>

Nota: elaborado por el autor

En las operaciones de procesamiento, el robot realiza algunas acciones de procesamiento, tales como rectificado, fresado, etc., en la pieza de trabajo. El efector final está equipado con la herramienta especializada requerida para el proceso, y la herramienta se mueve con relación a la superficie de la pieza de trabajo (Anerillas, 2011).

La Tabla 2.11 describe ejemplos de operaciones de procesamiento que implementan robots manipuladores.

Tabla 2. 11 Operaciones de procesos robóticos

<b>Procesos</b>	<b>Descripción</b>
Soldadura de punto	Proceso de unión de metal en el que dos partes de chapa metálica se fusionan en puntos de contacto localizados mediante el despliegue de dos electrodos que aprieta el metal y aplica una corriente eléctrica. Los electrodos constituyen la pistola de soldadura por puntos, que es la herramienta efectora final de la soldadura robot.
Soldadura por arco	Proceso de unión de metal que utiliza una soldadura continua en lugar de contacto punto de proceso, de la misma manera que arriba. De nuevo, el efector final es el electrodo utilizado para lograr el arco de soldadura. El robot debe usar continuo control de ruta, y un robot de brazo articulado que consta de seis articulaciones se utiliza con frecuencia
Recubrimiento en aerosol	El recubrimiento por pulverización dirige una pistola de pulverización hacia el objeto a recubrir. La pintura o algún otro fluido fluye a través de la boquilla de la pistola de pulverización, que es el efector final, y se dispersa y aplica sobre la superficie del objeto. Una vez más, el robot debe usar un control de trayectoria continuo, y normalmente se programa mediante el avance manual. Los robots con brazo articulado parecen ser la anatomía más común para esta aplicación.
Otras aplicaciones	Otras aplicaciones incluyen: perforación, ruteo y otros procesos de mecanizado; rectificado, cepillado con alambre y operaciones similares; Corte por chorro de agua; y corte por láser.

Nota: elaborado por el autor



En ensamblaje e inspección, los robots se pueden usar para el manejo de materiales y para aplicaciones de procesamiento, por lo que es en efecto un híbrido de las dos categorías de aplicaciones anteriores.

Tradicionalmente, el ensamblaje y la inspección se consideran actividades que requieren mucha mano de obra: requieren altos niveles de esfuerzo, aunque pueden ser muy repetitivos y aburridos, lo que ha permitido que los robots se consideren candidatos ideales para el trabajo.

## 2.5 Programación del robot

Un programa de robot es un camino en el espacio que debe seguir el manipulador, combinado con acciones periféricas que respaldan el ciclo de trabajo. Para programar un robot, los comandos específicos son ingresados en la memoria del controlador del robot, y esta acción puede realizarse de varias maneras. Para robots de secuencia limitada, la programación se produce cuando los interruptores de límite y los topes mecánicos se configuran para controlar los puntos finales de sus movimientos. Un dispositivo de secuencia controla la ocurrencia de los movimientos, que a su vez controla el movimiento de las articulaciones que completa el ciclo de movimiento. (Silva, 2011).

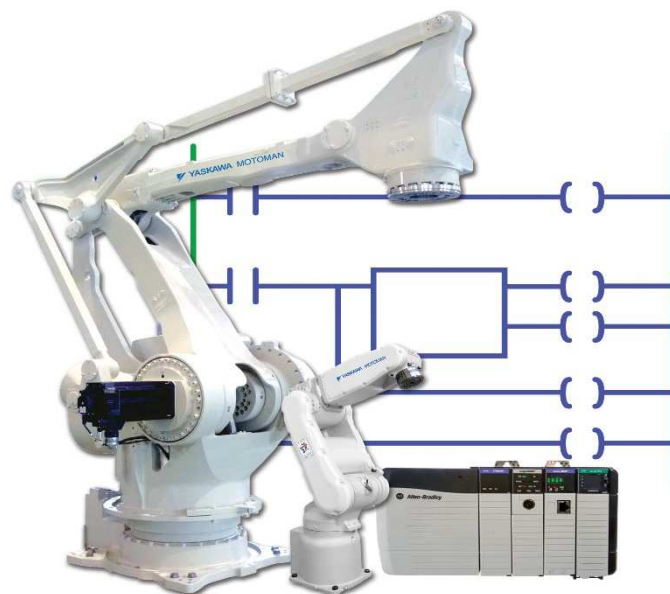


Figura 2. 17 Esquema de programación en PLC de un robot manipulador

Fuente: (ACECATECH, 2017)

Un programa de robot es un camino en el espacio que debe seguir el manipulador, combinado con acciones periféricas que respaldan el ciclo de trabajo.

Para los robots industriales con computadoras digitales como controladores, se pueden distinguir tres métodos de programación; estos son programación directa; lenguajes de programación de robots similares a computadoras; y programación fuera de línea (Silva, 2011). Las metodologías de avance y los métodos de programación asociados se detallan en la Tabla 2.12.

Tabla 2. 12 Métodos de programación paso a paso para robots industriales

<b>Método</b>	<b>Descripción</b>
Programación directa	La tarea se 'enseña' al robot moviendo manualmente el manipulador a través del ciclo de movimiento requerido, y simultáneamente ingresando el programa en la memoria del controlador para la reproducción. Se utilizan dos métodos para la enseñanza: ventaja conducida con alimentación; y guía manual.
Programación de movimiento	Para superar las dificultades de coordinación de las uniones individuales asociadas con la programación directa, se pueden utilizar dos métodos mecánicos: el sistema de coordenadas mundiales, según el cual el origen y los ejes se definen en relación con la base del robot; y el sistema de coordenadas de herramienta, mediante el cual la alineación del sistema de ejes se define en relación con la orientación de la placa frontal de la muñeca. Estos métodos se usan generalmente con robots coordinados cartesianos, y no para robots con juntas rotacionales.  Estos últimos tipos robóticos deben confiar en los procesos de interpolación para obtener el movimiento en línea recta. Se pueden resumir dos tipos de procesos de interpolación: la interpolación en línea recta, donde la computadora de control calcula los puntos necesarios en el espacio que el manipulador debe mover para conectar dos puntos; e interpolación de juntas, donde las juntas se mueven simultáneamente a su propia velocidad constante de manera que todas las uniones se inicien/detengan al mismo

	tiempo.
--	---------

Nota: elaborado por el autor

A continuación, se detalla el análisis de un estudio de caso de un brazo manipulador que será accionado por PLC y se debe determinar posición y orientación del efector final

**2.5.1 Caso: Posición y orientación de efector final**

Una herramienta matemática muy utilizada en robótica para calcular la posición y la orientación del efector final son los parámetros de Denavit-Hartenberg, que también se denominan parámetros DH. Los parámetros DH ayudan a definir las restricciones entre los enlaces de las dos articulaciones. Para cualquier unión, hay cuatro parámetros diferentes definidos como parámetros DH. (Córdova, 2016) La Figura 2.18 muestra las restricciones de los parámetros DH.

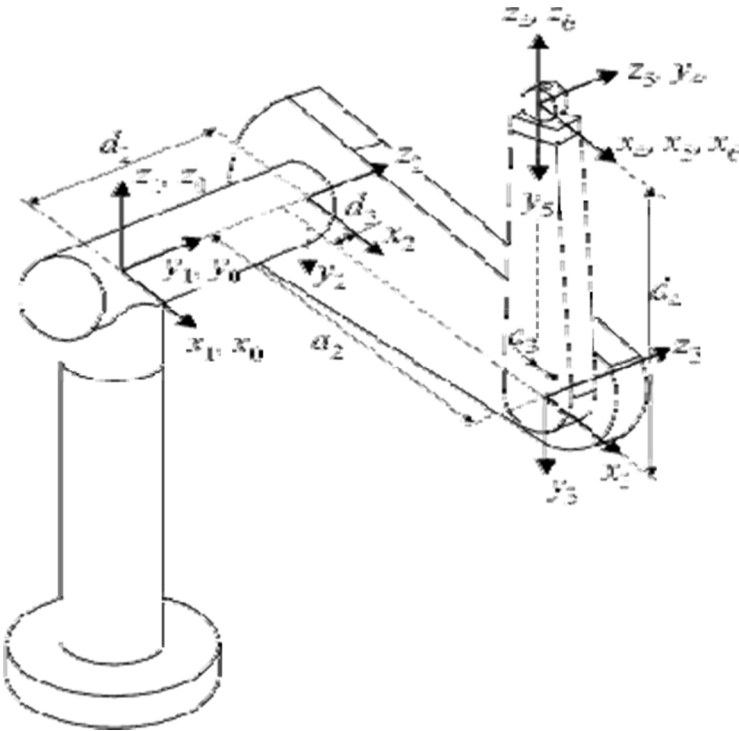


Figura 2. 18 Caso: sistemas de coordenadas de un brazo robot

Fuente: (Córdova, 2016)

a1 = distancia perpendicular entre el eje  $(Z_i, Z_i + 1)$  a lo largo de  $X_i$

$\alpha$  = el ángulo entre  $Z_i$  y  $Z_{i+1}$  sobre  $X_i$

$d_i$  = Distancia entre  $(X_{i-1}, X_i)$  a lo largo de  $Z_i$

$\Theta_i$  = ángulo  $(X_{i-1}, X_i)$  sobre  $Z_i$

Para cada articulación, entre estos cuatro parámetros, solo dos de ellos son variables;  $d_i$  para la junta prismática (articulación lineal) y  $\Theta_i$  para la articulación de rotación. En este caso, el robot solo tiene articulaciones de rotación, por lo que el valor de  $d_i = 0$  en todos los casos y  $\Theta_i$  es la única variable (Córdova, 2016).

Para obtener la solución del brazo robótico, primero los parámetros DH deben definirse usando el diagrama de cuerpo libre (FBD) del brazo robótico. Los diagramas FBD se pueden dibujar como se muestra. (La Valle 2012). La Figura 2,19 a continuación muestra la dimensión del brazo robótico.

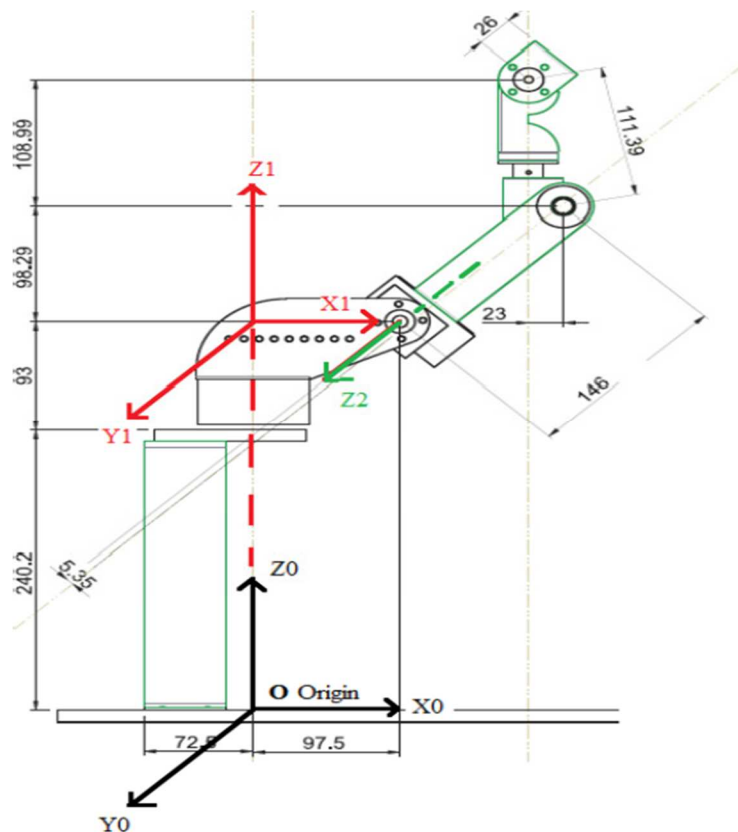


Figura 2. 19 Dimensiones del Brazo robot manipulador

Fuente: (Córdova, 2016)

Las seis variables angulares pueden definir la orientación y la posición de los efectores finales. La convención Denavit-Hartenbert tiene un conjunto de reglas para definir estos parámetros mediante la representación estándar en FBD.

Este FBD define la naturaleza y las restricciones de las articulaciones. Cada articulación tiene su propio sistema de coordenadas que se puede definir con respecto a las coordenadas de la articulación cercana (Córdova, 2016). El diagrama de cuerpo libre (FBD) del brazo robótico se puede dibujar como se muestra en la figura 2.20 a continuación.

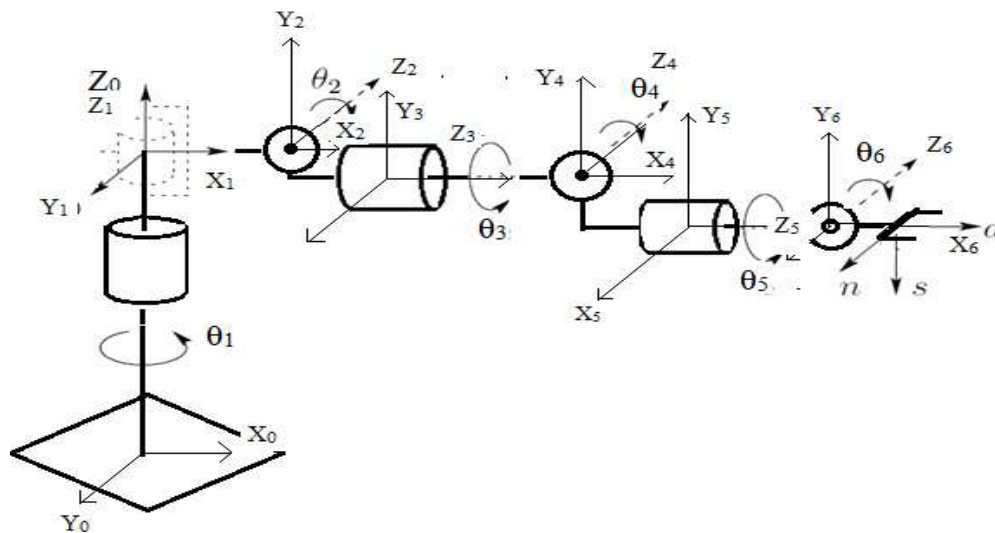


Figura 2. 20 Diagrama de Cuerpo Libre (FBD) definiendo los parámetros DH

Fuente: (Córdova, 2016)

La matriz de transformación para cada articulación se puede formar usando la fórmula dada en la Figura 2.21

$$\begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & a_{(i-1)} \\ \sin \theta_i \cos a_{(i-1)} & \cos \theta_i \cos a_{(i-1)} & -\sin a_{(i-1)} & -\sin a_{(i-1)} d_i \\ \sin \theta_i \sin a_{(i-1)} & \cos \theta_i \sin a_{(i-1)} & \cos a_{(i-1)} & \cos a_{(i-1)} d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_2(\theta_2) = \begin{pmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_2 \\ -\sin\theta_2 & -\cos\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, T_3(\theta_3) = \begin{pmatrix} \cos\theta_3 & -\sin\theta_3 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin\theta_3 & -\cos\theta_3 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_4(\theta_4) = \begin{pmatrix} \cos\theta_4 & -\sin\theta_4 & 0 & d_3 \\ 0 & 0 & -1 & -d_4 \\ -\sin\theta_4 & \cos\theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, T_5(\theta_5) = \begin{pmatrix} \cos\theta_5 & -\sin\theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta_5 & -\cos\theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_6(\theta_6) = \begin{pmatrix} \cos\theta_6 & -\sin\theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ \sin\theta_6 & \cos\theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, T_1(\theta_1)T_2(\theta_2)T_3(\theta_3)T_4(\theta_4)T_5(\theta_5) = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

Figura 2. 21 Matriz de Ecuaciones para cada articulación del Brazo Robótico

Fuente: (Munasinghe, 2014) y (Córdova, 2016)

Los valores angulares desconocidos pueden detectarse mediante la lectura de cada potenciómetro. El potenciómetro envía el valor de voltaje analógico que se convierte a un valor digital dentro del PLC. El valor del potenciómetro se calibra a un valor de ángulo real y se establece en el PLC para la programación. Para cada punto en el espacio, el PLC detectó los seis valores angulares diferentes y sustituye estos valores angulares en la ecuación anterior para obtener las coordenadas de ese punto con respecto al marco fijo (Penisi, Rojas, Aguilar, Manzano, & Isoglio, 2012).

El modelo matemático para posicionar el brazo robótico es muy complicado. Se forman matrices de 4 x 4, que tienen una combinación de variables que prolonga la ecuación. El PLC industrial tiene características de programación muy limitadas. Y para resolver la ecuación que contiene trigonometría, es muy difícil hacer el programa en el PLC (Penisi, Rojas, Aguilar, Manzano, & Isoglio, 2012). Así que se puede optar por dos soluciones:

### **Solución Alternativa A**

El programa del PLC usa el valor del voltaje analógico que viene del potenciómetro y registra cada posición angular. El valor angular se registra

en el PLC como un número digital. Para seguir la posición anterior, el eje girará hasta que el valor digital memorizado sea el mismo. Este proceso es paralelo a cada eje lo que define una posición y orientación de los efectores finales en el espacio. Se puede realizar una secuencia de movimientos automáticos utilizando la posición memorizada en el PLC.

El uso del controlador del motor DC ayuda a reducir la compilación al controlar la velocidad y la dirección del motor. Esta es la forma más efectiva de controlar el motor DC. El controlador del motor está diseñado para proporcionar amplificación a la señal, precisión, cambio de dirección y seguridad. Dependiendo de los fabricantes, el controlador del motor tiene diferentes características. Para esta aplicación, el controlador del motor debe tener los siguientes requisitos básicos.

#### Requerimientos Básicos

Voltaje: <24V>, Corriente: 3Amp, Potencia: 100W

Control de velocidad y dirección: salida analógica ( $\pm 10V$ ,  $\pm 5V$ , 1-10V) o salida digital (3-30V). La figura 2.22 a continuación muestra el uso del controlador del motor DC

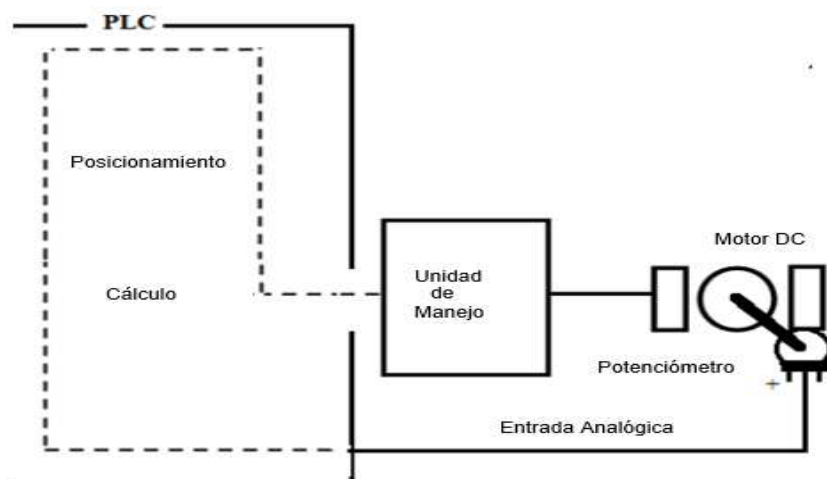


Figura 2. 22 Diagrama que muestra el uso del controlador del motor DC

Fuente: (Córdova, 2016)

#### **Solución Alternativa B**

Este método para controlar la posición del brazo es similar al que se describe arriba. En lugar de usar un controlador para el motor DC, se utiliza un amplificador de potencia. Para conducir el motor, la salida analógica está amplificada. La figura 2.23 a continuación muestra el uso del amplificador de potencia. La amplificación es lineal a la señal de salida analógica. Este amplificador es capaz de acelerar y decelerar el motor de acuerdo con el valor de la señal de salida (García, 2010).

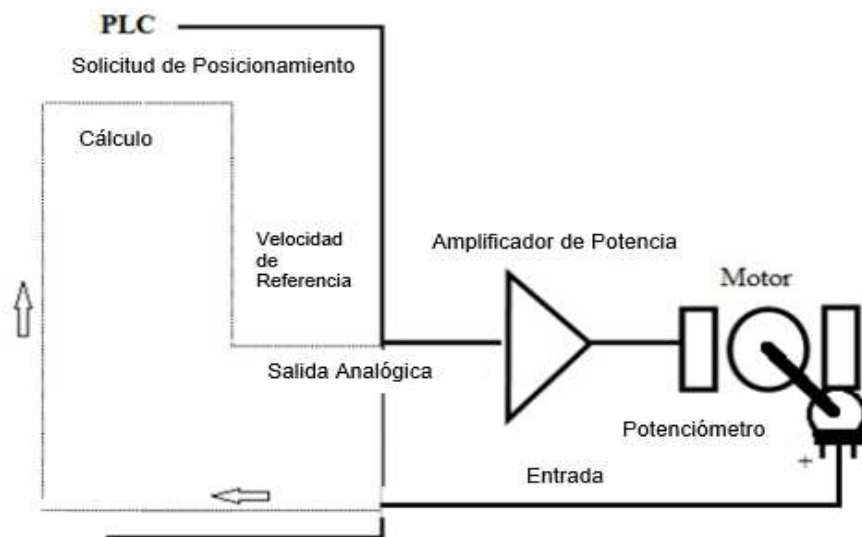


Figura 2. 23 **Diagrama del uso del Amplificador de Potencia**

Fuente: (Córdova, 2016)

A continuación, se muestra la conexión de componentes (hardware) para este sistema de control, están diseñados para operar en los modos automático y manual. La Figura 2.24 muestra la conexión de todos los componentes.



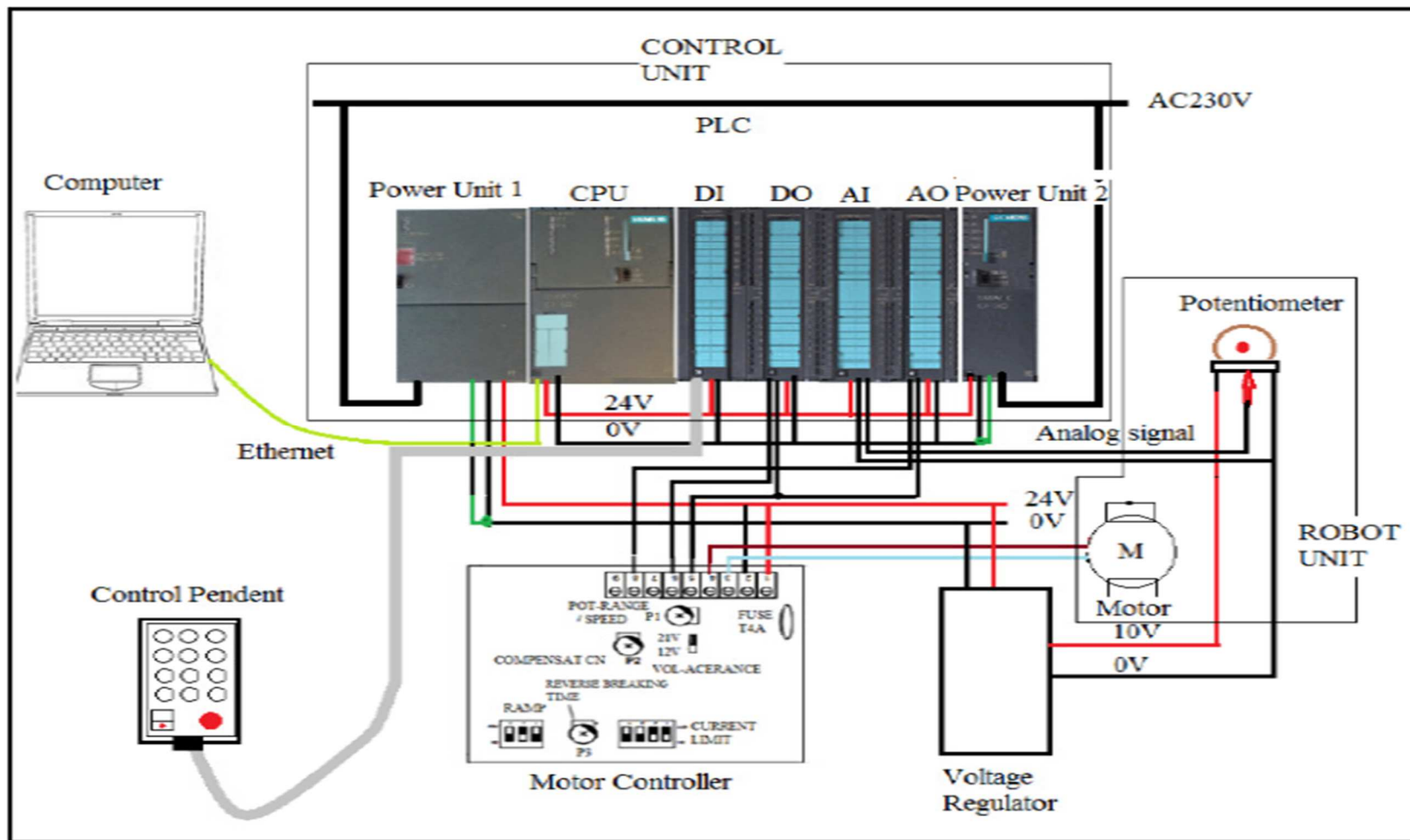


Figura 2. 24 Conexión del sistema de control al PLC

Fuente: (Córdova, 2016)

## 2.6 Ventajas tecnológicas de los robots

Las ventajas comerciales y tecnológicas generales del uso de robots se especifican en la Tabla 2.13

Tabla 2. 13. Ventajas comerciales y tecnológicas generales del uso del robot

Factor	Descripción
Ambiente de trabajo	Los robots son candidatos ideales para muchos entornos de trabajo hostiles y peligrosos que no son adecuados para el personal humano.
Ciclo de Trabajo	Los robots tienen un nivel de consistencia y repetibilidad en la realización del ciclo de trabajo, que no puede ser obtenido por humanos
Reprogramación	Los robots se pueden reprogramar y equipar según sea necesario para realizar diferentes tareas de trabajo una tras otra.
Sistema de Computación	Los robots usan computadores que les permiten conectarse en red con otras computadoras y máquinas, lo que permite la computadora integrarse en la fabricación.

Fuente: el autor

## 2.7 Sensores avanzados

Los sensores se han transformado en sensores inteligentes en el sentido que incluyen capacidad de procesamiento en el punto de medición junto con la transmisión digital de los datos. El bajo costo y consumo energético de los microcontroladores han trasladado a los procesadores de la señal junto al sensor. Con el incremento del número de procesadores en el sistema robótico, surge la necesidad de comunicar los sensores inteligentes generando una red de transmisión de datos. Esta transmisión de información estará administrada por un protocolo de comunicación, el cual habrá que diseñarlo o seleccionarlo de protocolos existentes (Anerillas, 2011).

Por ejemplo, el accionamiento un sensor de contacto le indica al robot que ha alcanzado un obstáculo, mientras que un sensor de distancia le advierte al robot que si continúa desplazándose en esa dirección chocará

con un obstáculo a los  $t$  segundos. En la figura 2,25 se muestra un esquema de comunicación básica entre un manipulador y la cámara integrada (visión por computador) en su efector.



Figura 2. 25 Proceso de comunicación básico entre un manipulador y sistema de registro basado en OPC

Fuente: (Guadalupe, Hernández, & Freyre, 2012)

Del esquema de la figura 2.25 a través de Visual Basic que realiza el acoplamiento de la programación de las etapas anteriores. Logrando el control del brazo y el sistema de visión de forma sincronizada, transfiriendo los datos de lectura y escritura a través de Ethernet por medio del router que

enlaza los dispositivos. (Guadalupe, Hernández, & Freyre, 2012).

Aunque la información de entorno más completa que puede recibir un robot se logra mediante visión artificial combinada con estimación de distancias empleando tecnología LASER. La visión artificial proporciona una representación en dos dimensiones de un espacio de tres dimensiones. Para suplir esta carencia, la visión se combina con sensores de distancia para ubicar en un mapa 3D lo procesado por visión artificial. Los entornos en donde se desempeñan los robots se pueden clasificar en estructurados, semiestructurados y libres (Buitrago & Ramos, 2016).

En un entorno estructurado se conoce de antemano el mundo y no cambia en el tiempo. Si lo hace, el robot deberá aprender nuevamente su entorno con algún mecanismo indirecto, para luego poder volver a ejecutar su misión. Una vez que el robot determina su posición absoluta y orientación, puede desempeñarse correctamente para cumplir su misión. Solo necesitará sensores para posicionamiento absoluto, velocidad, orientación y para evitar obstáculos imprevistos.



Figura 2. 26 Brazo robot con sistema visión láser (comunicación por RS232 y Ethernet)

Fuente: (FANUC, 2016)

El posicionamiento absoluto es necesario como elemento de confirmación de una navegación, ante una pérdida de memoria de la posición o ante un traslado involuntario. Si el entorno lo permite, el GPS (Global Positioning System) otorga un posicionamiento absoluto en forma continua. El margen de error de los GPS comerciales ronda entre los 10 a 20 metros, por ello es conveniente fusionar la información del GPS con otro tipo de sensores de posicionamiento absoluto.

Estos pueden ser RFID (Radio Frequency Identification), identificación por radiofrecuencia, en donde el robot porta un lector y en puntos estratégicos se encuentran las etiquetas. Por ejemplo, podrían ubicarse las etiquetas en el piso y cuando pasa el robot lee la etiqueta y se ubica en forma absoluta.

Las etiquetas RFID, en su versión más simple poseen un código único e irrepetible. Otra posibilidad es que el robot porte un lector de código de barras. Si el entorno lo permite se puede estimar la posición del robot mediante cámaras de video con procesamiento digital. Un esquema simple es colocar en el robot una marca particular, por ejemplo pintarle en la parte superior círculo rojo, y procesar las imágenes en busca de esa particularidad. Es importante destacar que, en entornos estructurados, es posible agregar inteligencia al entorno por lo que se tornan más simples los dispositivos tecnológicos que porta el robot (Yaguana, 2010).

Las normas de seguridad deben ser tenidas en cuenta desde el diseño. Por ejemplo si el robot posee un lector de código de barras es conveniente que se encuentre en la parte inferior y si el robot no se encuentra en su posición normal se debe inhibir la búsqueda para evitar dañar a alguna persona con la emisión del laser es totalmente impredecible. Como ejemplos de este mundo podríamos citar un galpón en donde las vías de circulación varían en función del porcentaje de ocupación de él. También un robot que se mueve en una plantación en donde las vías de circulación se ubican entre ellas. Véase en la figura 2.27 un ejemplo de robot navegador con visión laser, radar, GPS.



Figura 2. 27 Robot móvil KMR iiwa de KUKA

Fuente: (KUKA, 2017)

El robot puede aprender su entorno “offline” para luego desempeñarse correctamente. Por ejemplo podría aprender que es planta y que es camino. En este tipo de entorno, en general, no es viable colocar radiobalizas o etiquetas RFID para el posicionamiento absoluto. Un robot debería cumplir su misión aun cuando nunca estuvo en ese entorno. Él debería discernir que es planta y que es vía de circulación, adaptarse a distintas condiciones ambientales de luz, viento, temperatura y humedad. (KUKA, 2017) En entornos exteriores es muy útil la información proporcionada por un GPS, pero debe complementarse con sensores de obstáculos y visión artificial. Otro ejemplo interesante es un robot que guía un vehículo sobre una ruta señalizada.

El entorno libre es, actualmente, un desafío para la robótica. En esta condición el entorno es completamente impredecible. El robot deberá aprender cuál es su entorno e idear un plan para cumplir su misión. Se requiere un gran poder de cálculo ya que el entorno cambia constantemente, razón por la cual los sensores del robot se adaptan al tipo de misión. Como ejemplo se cita a un robot que detecte presencia humana en una zona. Los sensores de este robot deberán incluir sensores para la navegación y sensores especializados para la misión, como visión infrarroja, etc.

## **2.8 Cobot**

La visión de colaboración entre humanos y robots que se creó hace años se ha convertido en realidad. Con los robots-colegas sensitivos, llamados "Cobots"

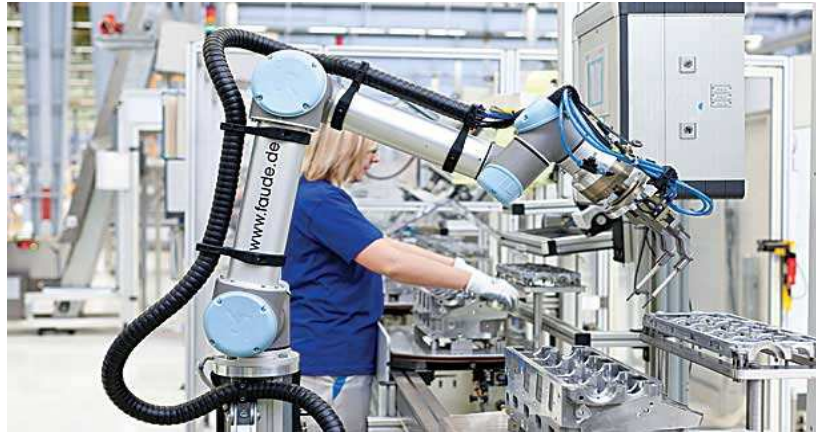


Figura 2. 28 Cobot en proceso industrial

Fuente: (Universal Robot, 2015)

Con sus sensores integrados, en primer lugar, permiten automatizar delicadas tareas de ensamblaje, desde el montaje de transmisiones automotrices hasta la inserción de tapones de goma o el manejo de piezas flexibles. Si se produce un contacto inesperado, los cobots, por ejemplo, reducen su velocidad y, por lo tanto, la energía cinética hasta el punto de evitar lesiones.

Cuando las personas y los robots pueden trabajar de forma segura juntos, muchas precauciones de seguridad convencionales se vuelven redundantes. Se pueden prescindir de los costos adicionales que normalmente se requerirían para la tecnología de seguridad y las cercas de protección. Los trabajadores y los robots pueden compartir el mismo espacio de trabajo sin preocupaciones. De esta forma, se pueden ahorrar costosos sistemas de alimentación y espacio de piso de producción.

Los cobots desempeñará un papel clave en la denominada Industria 4.0, no solo directamente como parte de la producción moderna, sino como recolectores de datos que pueden comunicar toda la información relevante a los sistemas de tecnologías de información (TI) en tiempo real si es necesario. Información que puede procesarse inmediatamente y enviarse a producción.

Hoy en día a través de técnicas de aprendizaje de máquina, el cobot puede 'aprender' y lograr 'conocimiento' que puede usarse para optimizar

la producción de forma sucesiva o de forma autónoma. Esto último es escenario de la inteligencia artificial.

En el siguiente capítulo se detalla componentes de un brazo manipulador accionado por aire comprimido, de diseño simple que aportará en la enseñanza de asignaturas como; neumática y electroneumática, la idea principal es integrar el control adecuado para que realicen movimientos los vástagos de cilindros neumáticos, con aquello se moverá el brazo.



## CAPÍTULO 3: DISEÑO DE BRAZO MANIPULADOR

### 3.1 Diseño de circuito de fuerza

Se deberá hacer conexiones eléctricas o de circuito de fuerza; de esta manera se elabora una caja con E/S (entradas/salidas) del interior de la caja de control. Esta E/S contiene relés/bloque distribuidor de aire comprimido (manifold), PLC y botones de parada de emergencia. Los parámetros del PLC a utilizarse se describirán en subcapítulo 3.4

En la figura 3.1 se muestra el diagrama de la interfaz eléctrica del interior de la caja de control.

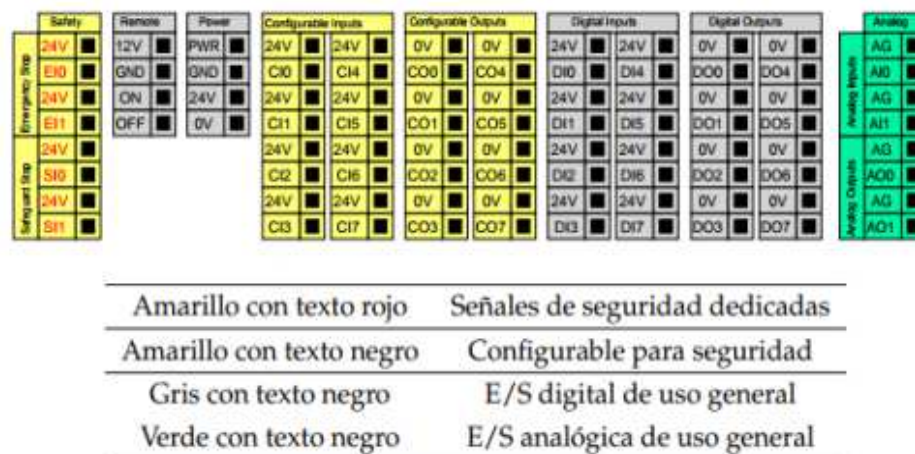


Figura 3. 1Detalle de borneras de conexión pa circuito de fuerza

Fuente: (ACECATECH, 2017)

Es posible alimentar la E/S digital desde una fuente de alimentación interna de 24 V o desde una fuente de alimentación externa configurando el bloque de terminales llamado "Alimentación". Este bloque consta de cuatro terminales. Los dos superiores (alimentación y masa) son de 24 V y obtienen la masa de la fuente interna de 24 V. Los dos terminales inferiores (de 24 V y 0 V) del bloque son la entrada de 24 V que alimenta la E/S.

En la configuración predeterminada (tabla 3.1) se utiliza la fuente de alimentación interna. Como se indica a continuación.

Tabla 3. 1 Configuración predeterminada para conexión de circuito fuerza

Terminales	Parámetro	Mín.	Típ.	Máx.	Unidad
<i>Salidas digitales</i>					
[COx/DOx]	Corriente	0	-	1	A
[COx/DOx]	Caída de tensión	0	-	0,5	V
[COx/DOx]	Corriente de fuga	0	-	0,1	mA
[COx/DOx]	Función	-	PNP	-	Tipo
[COx/DOx]	IEC 61131-2	-	1 A	-	Tipo
<i>Entradas digitales</i>					
[EIx/SIx/CIx/DIx]	Tensión	-3	-	30	V
[EIx/SIx/CIx/DIx]	Región OFF	-3	-	5	V
[EIx/SIx/CIx/DIx]	Región ON	11	-	30	V
[EIx/SIx/CIx/DIx]	Corriente (11-30 V)	2	-	15	mA
[EIx/SIx/CIx/DIx]	Función	-	PNP	-	Tipo
[EIx/SIx/CIx/DIx]	IEC 61131-2	-	3	-	Tipo

Fuente: (ACECATECH, 2017)

Configuración de seguridad predeterminada El robot tiene una configuración predeterminada que permite su funcionamiento sin equipo de seguridad adicional. Véase la figura 3.2



**Conexión de los botones de parada de emergencia**

En la mayoría de las aplicaciones es necesario utilizar uno o más botones extra de parada de emergencia. En la ilustración que aparece a continuación se muestran uno o más botones de parada de emergencia.

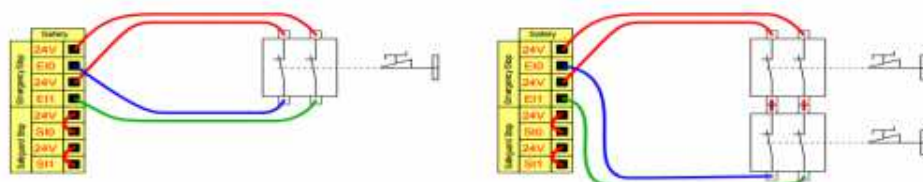


Figura 3. 2 Configuración de conexión predeterminada(seguridad)

Fuente: (ACECATECH, 2017)

### 3.2 Diseño mecánico

Cabe indicar que se necesitará la siguiente materia prima: Cilindros neumáticos. Actuador giratorio neumático. Programador PLC. Mangueras neumáticas. Manifold electro neumático a 120V. Temporizadores eléctricos. Sensores inductivos a 120v Cables. En base al material en acero inoxidable #304 a continuación se describe el procedimiento del diseño mecánico del brazo manipulador que podrá ser accionado (moverse en cruz) por aire comprimido (a través de tres actuadores neumáticos).

#### 3.2.1 Selección de materiales

El material con que está estructurada el brazo manipulador es de acero negro, cuyo contenido posee porcentajes bajos de carbono, comúnmente llamado acero básico. Existen diferentes tipos de acero negro, los cuales se definen por su composición de carbono y pureza, creando de esa manera diferentes calidades en acero negro. Además, existen normas que especifican dicho material y entre las más reconocidas están: ASTM A240, ASTM A666, AMS 5513.

A continuación, en las tres siguientes tablas se detallan: la composición química (según ASTM A240; las propiedades mecánicas (según ASTM A666) y las propiedades físicas (recocido).

Tabla 3. 2 Composición química (según ASTM A240)

Elemento	Tipo 304
Carbón	0.07 máx.
Manganeso	2.00 máx.
Azufre	0.030 máx.
Fósforo	0.045 máx.
Silicio	0.75 máx.
Cromo	17.5 a 19.5
Níquel	8.0 a 10.5
Nitrógeno	0.10 máx.

Fuente. El autor

Tabla 3. 3 Propiedades mecánicas (según ASTM A666)

Tipo	Límite elástico 0,2	Resistencia a la tracción	% de elongación	Dureza Rockwell
------	---------------------	---------------------------	-----------------	-----------------

	% compensa ción (KSI)	(KSI)	(long. calibre 2")	
Recocido 304	30 mín.	75 mín.	40 mín.	HRB 92 máx.
Dureza 304 ¼	75 mín.	125 mín.	12 mín.	HRC 25 a 32 (típico)
Dureza 304 ½	110 mín.	150 mín.	7 mín.	HRC 32 a 37 (típico)
Recocido 304L	25 mín.	70 mín.	40 mín.	HRB 92 máx.
Dureza 304L ¼	75 mín.	125 mín.	12 mín.	HRC 25 a 32 (típico)
Dureza 304L ½	110 mín.	150 mín.	6 mín.	HRC 32 a 37 (típico)

Fuente. El autor

Tabla 3. 4 Propiedades físicas

		<b>304</b>
Densidad (libra/ pulg.2) a RT		0.29
Módulo de elasticidad en tensión (psi x 10 6)		28.0
Calor específico (BTU/o F/libra)	32 a 212 °F (0 a 100 °C)	0.12
Conductividad térmica (BTU/h/pies2/pies)	212 °F	9.4
	932 °F (500 °C)	12.4
Coeficiente promedio de expansión térmica 32 a 212 °F	32 a 212 °F (0 a 100 °C)	9.2
	32 a 600 °F (0 a 316 °C)	9.9
	32 a 1000 °F (0 a 538 °C)	10.2
	32 a 1200 °F (0 a 649 °C)	10.4
Resistencia eléctrica (micro ohmios por cm)	a 70 °F (21 °C)	72
Rango de punto de fusión (°F)		2550 a 2650
Resistencia a la oxidación: Servicio continuo (°F)		1,650
Resistencia a la oxidación: Servicio intermitente (°F)		1,500

Fuente. El autor

A través de cortes en una plancha en acero inoxidable # 304 (cromo/níquel), es un material no magnético. Los aceros tipo # 304 proporcionan resistencia

a la corrosión en una amplia variedad de condiciones de oxidación y reducción moderadas, agua fresca y aplicaciones no marinas.

### 3.2.2 Diseño de pinza

Las siguientes imágenes muestran el diseño de la pinza mecánica para el brazo manipulador. La pinza mecánica utiliza un actuador lineal o cilindro neumático. Usar un sistema neumático para una pinza agrega ventajas y desventajas, en el diseño básico la pinza según el dimensionamiento del cilindro podrá levantar y mover objetos de un poco más de 1 kilogramo de peso.

El mecanismo de trabajo de la pinza se basa en la formación de paralelogramo por cuatro articulaciones. La acción de agarre tiene lugar debido al deslizamiento del perno roscado en un actuador lineal que cambia la orientación del paralelogramo.

La dimensión de la pinza en la posición de cierre es de aproximadamente 6 cm x 10 cm y el espesor de la platina del acero inoxidable es de 3 mm.

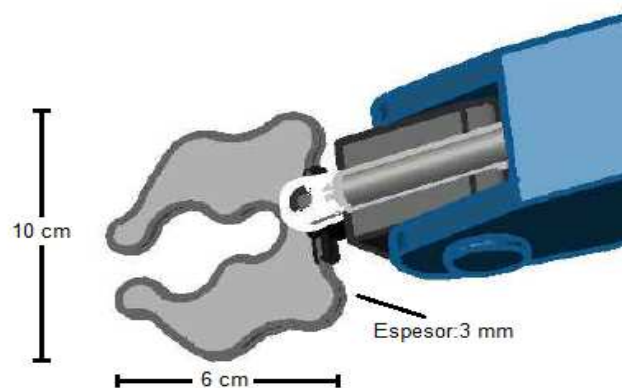


Figura 3. 3 Dimensión de la pinza

Fuente. El autor

En figura 3.4 se observa el brazo manipulador y su mesa, la cual es soporte para la estructura del manipulador. Luego en la figura 3.5 se muestran medidas (1,2 m x 0.6m) de la mesa, previo a construirla.

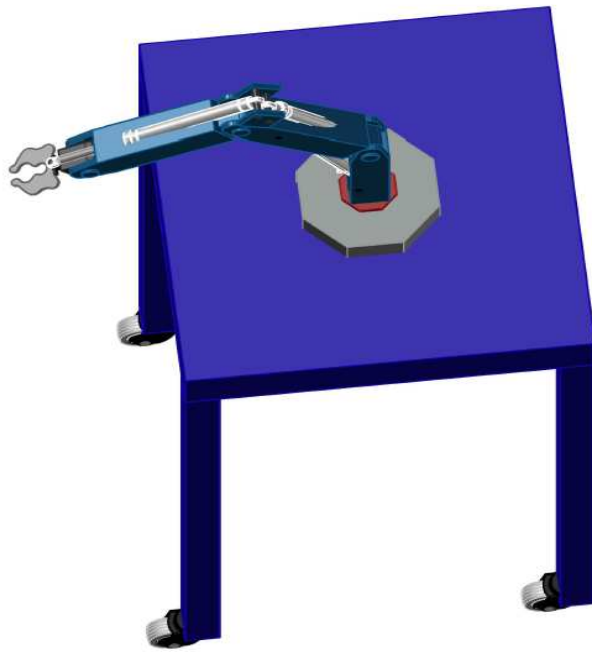


Figura 3. 4 Brazo manipulador

Fuente. El autor

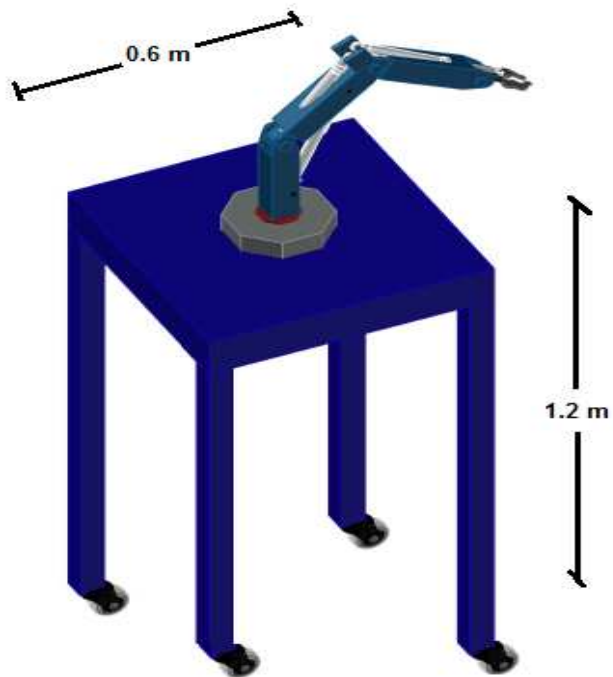


Figura 3. 5 Medidas de la mesa

Fuente. El autor

### 3.3 Diseño neumático

A continuación, se describe el cálculo para dimensionar los cilindros neumáticos, se debe indicar que serán los tres de la misma capacidad de fuerza.

#### 3.3.1 Dimensionamiento de cilindros

A través de fórmulas se halla el diámetro del émbolo del vástago o pistón.

Se aplican fórmulas para dimensionar el o los actuadores neumáticos

$$m = 1.5 \text{Kg}$$

$$P = 6 \text{ bar} \quad 60 \text{ N/cm}^2$$

$$n = 0.94$$

Donde:

m: masa a levantar

P: presión de trabajo del cilindro (6 bar)

n: eficiencia del cilindro, dado por su fabricante.

$$F = m * g = 1.5 * 9.8 \frac{m}{s^2} = 14.7 \text{N}$$

*Ecuación 1 Fórmula para encontrar la fuerza*

Una vez encontrada la fuerza, se utiliza la siguiente fórmula para encontrar el área:

$$F = \rho * A * n$$

*Ecuación 2 Fórmula a despejar para encontrar el área*

Se despeja (2):

$$A = \frac{F}{\rho * n} = \frac{14.7}{(60)(0.94)} = 0.260 \text{cm}^2 \rightarrow 26 \text{mm}^2$$

*Ecuación 3 Fórmula ya despejada de (2) para encontrar el área*

Una vez encontrado el área, se utiliza la siguiente fórmula para realizar el despeje y encontrar el diámetro:

$$A = \left( \frac{D^2 * \pi}{4} \right)$$

Ecuación 4 Fórmula a despejar para encontrar el diámetro

Se despeja (4):

$$4A = D^2\pi = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(26)}{\pi}} 5.753 \text{ mm}$$

Ecuación 5 Fórmula para hallar el diámetro

El valor obtenido del diámetro del émbolo para el cilindro es de aproximadamente 6 mm. Mediante la tabla se puede determinar que la fuerza será de 15 Newtons, y la longitud de la carrera a seleccionarse es de: 80 mm

Tabla 3. 5 Tabla referencial para determinar el cilindro según diámetro de émbolo (mm)

Ø VASTAGO [mm]	Ø EMBOLO [mm]	FUERZA NETA a P = 6 bar [N]	LONGITUDES DE CARRERAS NORMALIZADAS [mm]
—	6	15	10, 25, 40, 80
4	12	60	10, 25, 40, 80, 140, 200
6	16	106	10, 25, 40, 80, 140, 200, 300
10	25	260	25, 40, 80, 140, 200, 300
12	35	509	70, 140, 200, 300
16	40	665	40, 80, 140, 200, 300
18	50	1039	70, 140, 200, 300
22	70	2037	70, 140, 200, 300
25	100	4156	70, 140, 200, 300
30	140	8146	70, 140, 200, 300
40	200	16625	70, 140, 200, 300
50	250	25977	70, 140, 200, 300

Fuente: (Universal Robot, 2015)

### Velocidad del émbolo:

La velocidad del émbolo en cilindros neumáticos depende: de la fuerza antagonista de la presión del aire, de la longitud de la tubería, de la sección entre los elementos de mando y trabajo y del caudal que circula por el elemento de mando. Además, influye en la velocidad la amortiguación final de carrera. Cuando el émbolo abandona la zona de amortiguación, el aire



entra por una válvula antirretorno y de estrangulación y produce una reducción de la velocidad

La longitud de carrera en cilindros neumáticos no debe exceder de 2000 mm. Con émbolos de gran tamaño y carrera larga, el sistema neumático no resulta económico por el elevado consumo de aire. Cuando la carrera es muy larga, el esfuerzo mecánico del vástago y de los cojinetes de guía es demasiado grande.

Se muestran en las figuras siguientes la ubicación de cada cilindro neumático en el manipulador.



Figura 3. 6 Vista de cilindro doble efecto del manipulador

Fuente. El autor



Figura 3. 7 Cilindros neumáticos doble efecto en manipulador

Fuente. El autor

Para evitar el riesgo de pandeo, si las carreras son grandes deben adoptarse vástagos de diámetro superior a lo normal. Además, al prolongar la carrera la distancia entre cojinetes aumenta y, con ello, mejora la guía del vástago

A continuación, con el programa FluidSim P, se diseña en circuito neumático para activar los tres cilindros que conforman el brazo manipulador y por el cual realizará movimientos en cruz.

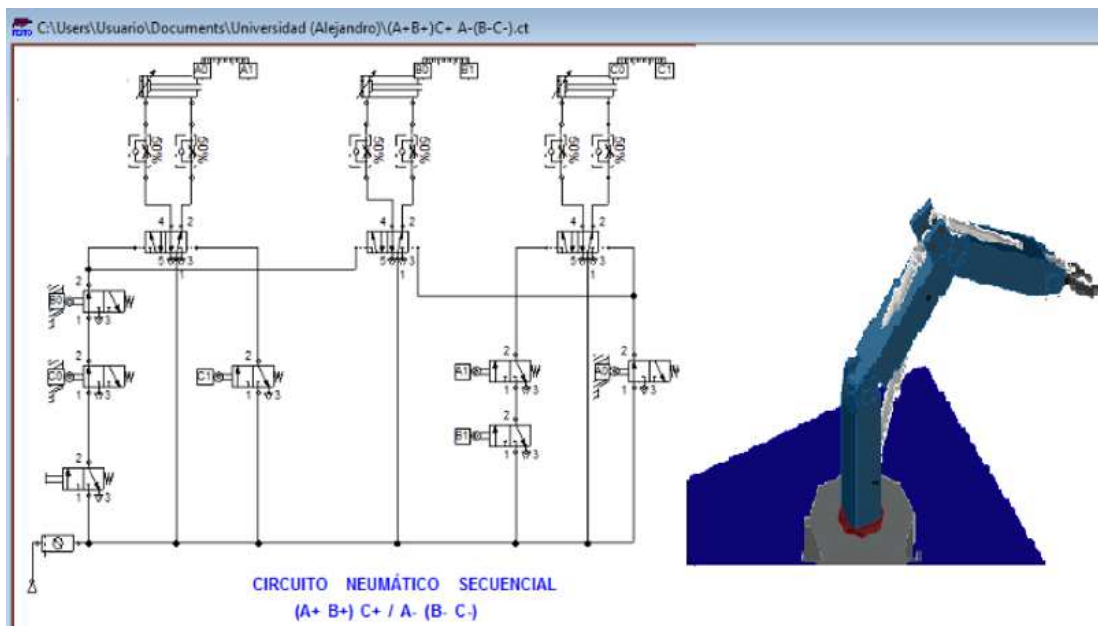


Figura 3. 8 Diseño de un circuito neumático

Fuente: El autor

### 3.4 Diseño de hardware

El sistema de control para controlar el movimiento en cruz del manipulador del brazo robótico, se lo hace por medio del PLC.

A continuación, se detalla las características del PLC Zelio SR2A201FU.



Figura 3. 9 PLC Zelio SR2A201FU

Fuente. (RS, 2010)

### **Programación y software**

La programación resulta sencilla y se lleva a cabo independientemente usando los botones en la parte frontal del relé o en un PC mediante el software "Zelio Soft". Al programar mediante un PC, la programación se realiza con cualquier lenguaje LADDER o en lenguaje de diagrama de bloques de funciones (FBD).

### **Memoria**

Los relés inteligentes Zelio Logic tienen una memoria de seguridad que permite copiar los programas en otros relés inteligentes. La memoria permite guardar una copia de seguridad del programa antes de intercambiar el producto y para relés sin display ni botones, el programa de copia se transfiere automáticamente en el encendido.

- Pantalla LCD retroiluminada
- Montaje en carril DIN o panel
- Incorpora un reloj de tiempo real
- 4 canales de salida analógica
- Tiempo de ciclo de 10 ms
- 10 años de reserva (memoria EEPROM)
- Terminales roscados

- Protección IP20

Tabla 3. 6 Especificaciones del PLC

Atributo	Valor
Serie	Zelio Logic
Tensión de Alimentación	120 V ac, 240 V ac
Tipo de Salida	Relé
Número de Salidas	8
Tipo de Entrada	Discretos
Número de Entradas	12
Tipo de Montaje	Carril DIN
Anchura	107.6mm
Display Incluido	Sí
Profundidad	59.5mm
Longitud	124.6mm
Tipo de Terminación	Roscado
Dimensiones	124,6 x 107,6 x 59,5 mm
Idioma de Programación Utilizado	FBD, Ladder Logic, SFC
Interfaz de Programación	Ordenador, Panel de Funcionamiento
Tipo de Módulo	Módulo de control lógico
Temperatura de Funcionamiento Máxima	+55°C
Temperatura de Funcionamiento Mínima	-20°C

Fuente. El autor

### 3.4.1 Programación de control de movimiento

Las salidas a relé del PLC (Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>, Q<sub>3</sub>, Q<sub>4</sub>), están conectadas a los relés R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub>.

Si se activa por ejemplo Q<sub>1</sub> (cierre del relé en Q<sub>1</sub>), enseguida el relé R<sub>1</sub> cambiaría de posición causando que se activará H<sub>1</sub>, lo cual se traduce en la apertura del cilindro 1.

Esto se repite en forma similar para las demás conexiones.

Entonces los relés R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, funcionan como módulos de ampliación de salidas para el PLC. Por otra parte, los sensores que monitorean las

posiciones de los cilindros van conectados a las entradas (INPUT) desde I<sub>1</sub> hasta I<sub>8</sub> de esta manera:

S<sub>1</sub> conectado a I<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> conectado a I<sub>2</sub>, S<sub>3</sub> conectado a I<sub>3</sub>, S<sub>4</sub> conectado a I<sub>4</sub>,

S<sub>5</sub> conectado a I<sub>5</sub>, S<sub>6</sub> conectado a I<sub>6</sub>, S<sub>7</sub> conectado a I<sub>7</sub> y S<sub>8</sub> conectado a I<sub>8</sub>.

En el proceso de la identificación de variables, se hace necesario introducir algunas que son internas del PLC y facilitan aún más la programación de las secuencias de trabajo.

De esas variables internas, las más importantes son las llamadas M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, las cuales se encargan de memorizar la posición de las salidas a relé Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>, Q<sub>3</sub>, Q<sub>4</sub> así:

M<sub>1</sub> memoriza a Q<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> memoriza a Q<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> memoriza a Q<sub>3</sub> y M<sub>4</sub> memoriza a Q<sub>4</sub>,

Después de haber identificado cada una de las variables que controlan al circuito electroneumático por medio del PLC podemos iniciar el proceso de programación de una secuencia de trabajo.

Es preciso para la correcta programación especificar la secuencia de trabajo deseada. Trabajemos por ejemplo en la secuencia:

Paso 1: Abre cilindro 1 (gira la base 120°)

Paso 2: Abre cilindro 2 (se eleva el bloque del manipulador)

Paso 3: Abre cilindro 3 (se extiende el dispositivo donde va montada la pinza)

Paso 4: Cierra cilindro 4 (se cierra la pinza)

Paso 5: Cierra cilindro 3 (se recoge el dispositivo donde va montada la pinza)

Paso 6: Cierra cilindro 2 (desciende el bloque principal del manipulador)

Paso 7: Cierra cilindro 1 (gira la base -120°)

Paso 8: Abre cilindro 4 (se abre la pinza)

La secuencia de trabajo efectuada por los cilindros neumáticos se muestra en el Plano 4.

Como el lenguaje que maneja el PLC es LADDER se hace necesario aplicar la lógica de la secuencia en escalera, y que da de la siguiente forma.

<b>I</b>	<b>1 2 3 4 5 6 7 8</b>	<b>P</b>
	? ? ? ? ? ? ? ?	<b>LU</b>
	? ? ? ?	<b>03:07</b>
<b>Q</b>	<b>1 2 3 4</b>	<b>STOP</b>

Figura 3. 10 Pantalla Inicio del PLC

Fuente. PLC Zelio SR2A201FU

La figura muestra el programa o secuencia en el PLC.

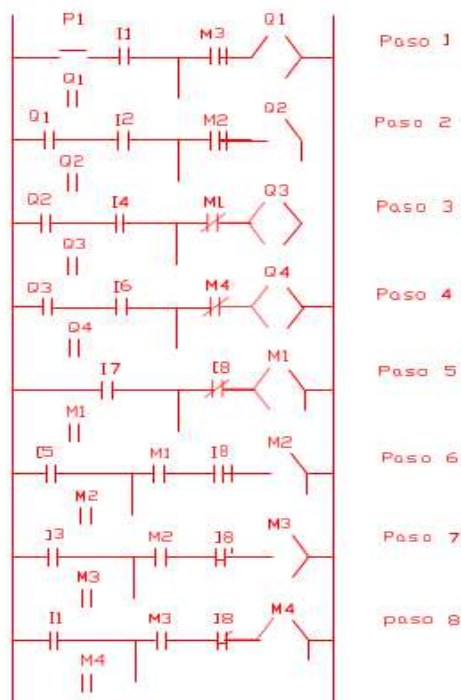


Figura 3. 11 Programa o secuencia del PLC Zelio SR2A201FU

Fuente: Autor

En este muestra la hora y día, las entradas I1 hasta I8, las salidas Q1 hasta Q4 , la palabra STOP que indica que ningún programa se está ejecutando, y P que es la identificación del botón circular. Cuando algunos de los recuadros de las entradas estén sombreados significan que el sensor de dicha conexión está detectando el vástago del cilindro correspondiente. El botón P es cuádruple.

Cada una de las P funcionan como mandos ejecutables al ser presionados. Es decir que, por ejemplo, el START, se puede asignar a P1.

El único botón que funciona en este menú es “OK”, aparte de P que cuando es presionado muestra los P correspondientes. Al presionar “OK” aparece el siguiente menú.

### 3.4.2 Diagrama de bloques

En la figura 3.12 se muestra todos los elementos que se encuentran al mando del controlador PLC-Zelio, estos elementos se encargarán de producir los diferentes movimientos del brazo neumático que en la aplicación tan solo es la activación de electroválvulas que darán paso al aire comprimido para accionar (3) cilindros neumáticos de doble efecto.

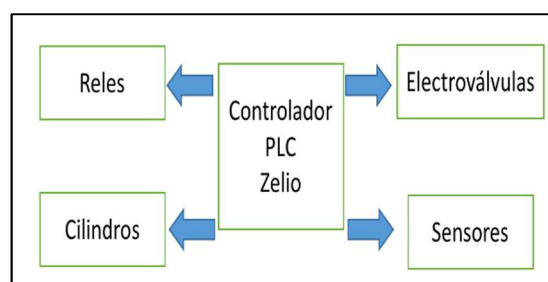


Figura 3. 12 diagrama de bloques del varazo manipulador

Fuente: el autor

**Relés:** Dentro de la estructura del manipulador, los relés juegan un papel importante para poder activar o desactivar el movimiento rotatorio del brazo usando sensores inductivos como finales de carrera que una vez que

detectan un objeto metálico hacen abrir o cerrar los contactos del relé para detener o permitir el movimiento de rotación.

**Cilindros:** Los cilindros son el corazón de todo el manipulador después del PLC ya que son los encargados de los movimientos del efector final y de las articulaciones.

**Electroválvulas:** El funcionamiento de las electroválvulas se basan en activación o desactivación a partir de señales del PLC, estas señales permiten o no el paso del aire comprimido para la salida-entrada del pistón del cilindro. Para poder controlar un cilindro doble efecto se debe utilizar una válvula 5/2 vías accionada por una señal electrónica.

**Sensores:** El diseño consta de dos sensores inductivos que harán la función de un final de carrera para detectar el movimiento rotatorio del brazo. Estos sensores son un ´tope final para el brazo robot, pues este permite que se detenga el movimiento rotacional, protegiendo así que las mangueras por donde circula el aire comprimido no se desconecten o sufran algún daño.

### 3.4.3 Diagrama de estados

Para el brazo manipulador propuesto se elabora el respectivo desgrama de estados del sistema (brazo manipulador), en la figura 3.13 se muestra el diagrama de estados

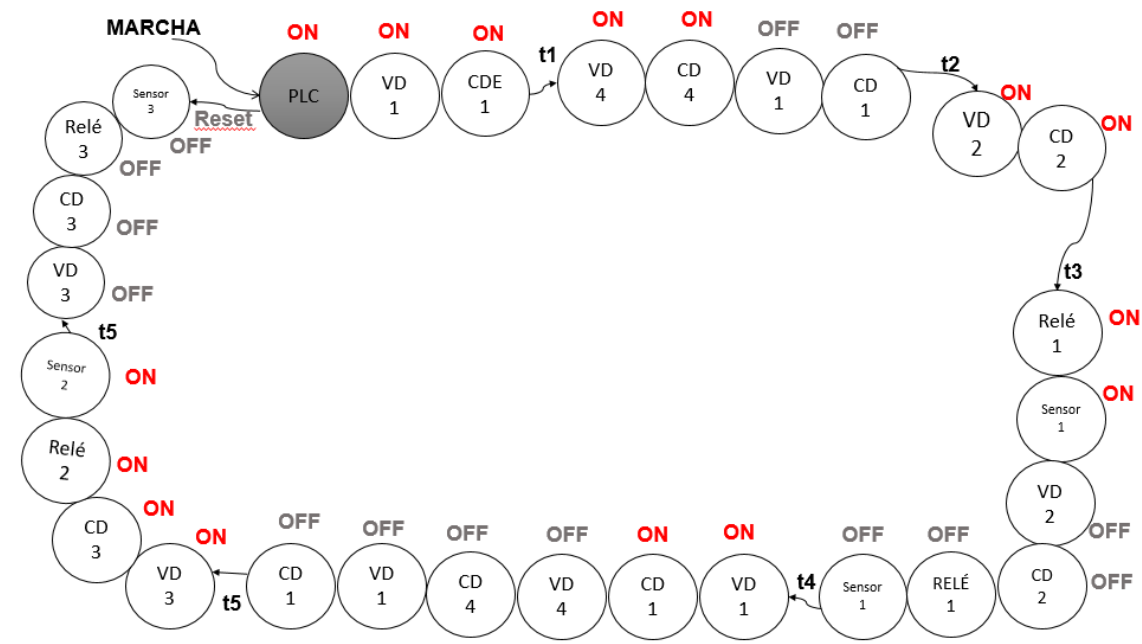




Figura 3. 13 Diagrama de estados del funcionamiento del brazo manipulador

Fuente: el autor

**Nomenclatura:**

**Marcha:**

**Reset:**

**PLC:** Controlador

**VD1:** Válvula Distribuidora 5/2 #1

**VD2:** Válvula Distribuidora 5/2 #2

**VD3:** Válvula Distribuidora 5/2 #3

**VD4:** Válvula Distribuidora 5/2 #4

**CD1:** Cilindro Doble Efecto #1

**CD2:** Cilindro Doble Efecto #2

**CD3:** Cilindro Doble Efecto #3

**CD4:** Cilindro Doble Efecto #4

T1: Tiempo 1

T2: tiempo 2

T3: tiempo 3

T4: tiempo 4

**3.4.4 Descripción del sistema**

Se pone en marcha mediante un PLC que permite dar inicio al funcionamiento del brazo robótico, empezando por la activación de la válvula 1 que a la vez enciende el cilindro de doble efecto 1, pasa un determinado tiempo el cual permite que la válvula 1 se apague y se encienda válvula 2 con su respectivo cilindro de doble efecto 2, pasa un determinado tiempo y se repite de una manera secuencial apagando la válvula 5/2-2 y encendiendo la válvula 3 con el cilindro de doble efecto 3, pasa el tiempo 3 que permite apagar la válvula 3 y enciende la válvula 4 y el cilindro doble

efecto 4, una vez pasando el tiempo 4, apaga en la última válvula 4 y en el mismo estado se apaga todos los cilindros que se han mantenidos encendidos en los estados anteriores, cilindro 1,2,3 y 4, pasa un tiempo determinado y este permite el reseteo de todo el funcionamiento y a la vez permite que se repita las veces que sean necesarias.

Un punto importante es la utilización de válvulas 5/2 vías para el control de cilindros doble efecto, estas válvulas son activadas por medio de una señal desde e PLC.

### **3.5 Implementación del brazo neumático**

A continuación, se muestran imágenes fijas de la simulación del brazo manipulador realizado con el software Autocad 3D.

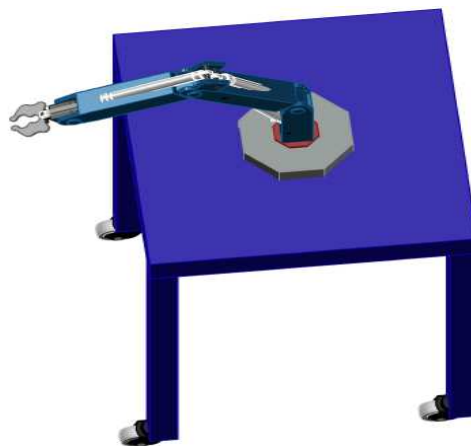


Figura 3. 14 Brazo manipulador movimiento de efector

Fuente. El autor

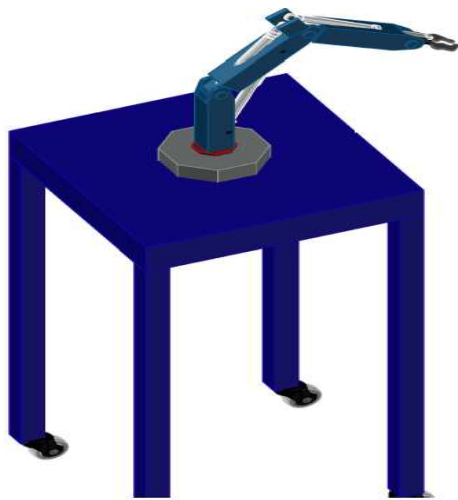


Figura 3. 15 Vista brazo movimiento izquierda a derecha

Fuente. El autor

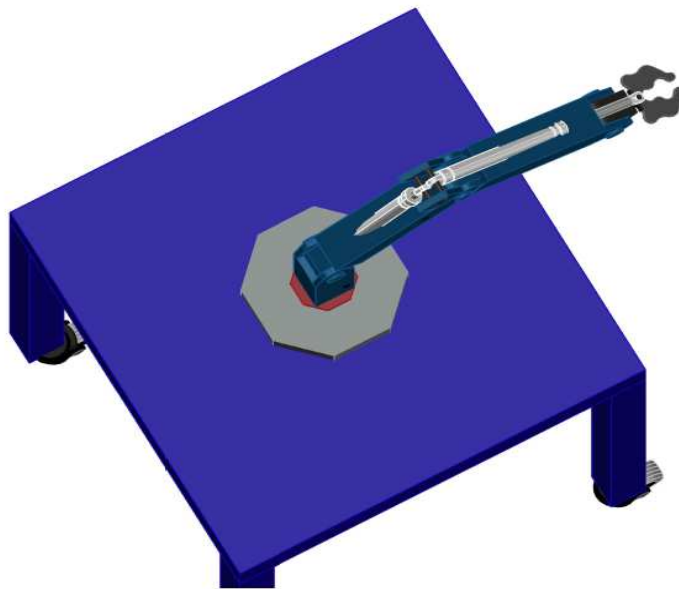


Figura 3. 16 Vista superior brazo con cilindros

Fuente. El autor

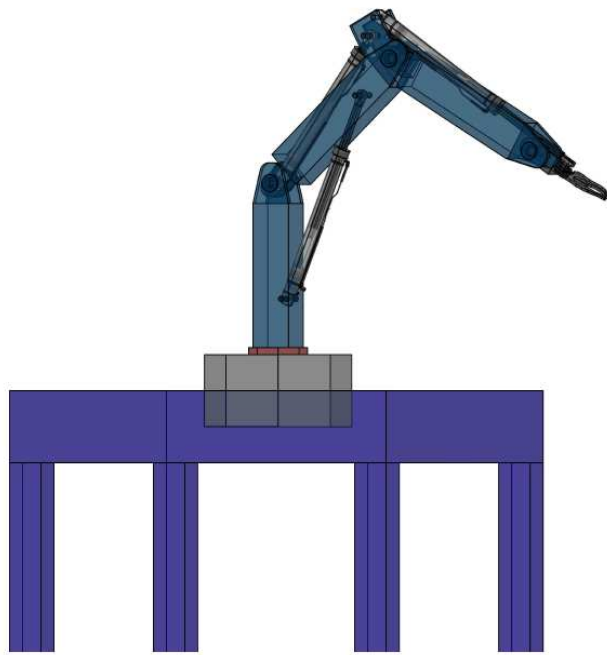


Figura 3. 17 cilindros efectuando movimiento vertical

Fuente. El autor

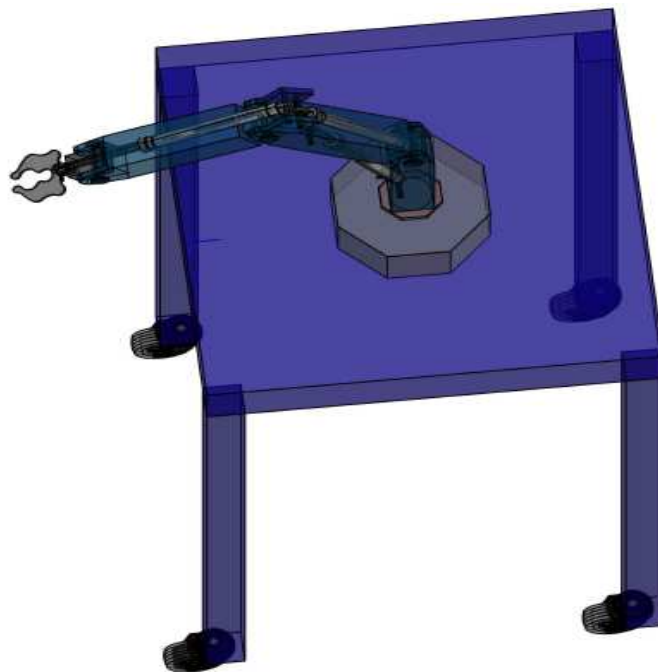


Figura 3. 18 Visión rayos x del brazo manipulador

Fuente. El autor

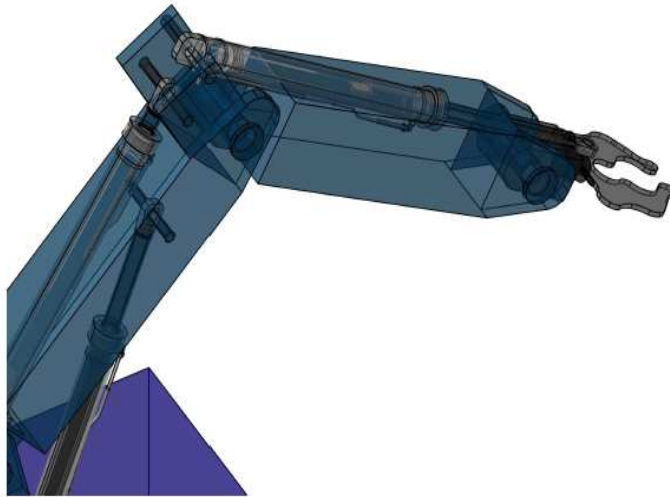


Figura 3. 19 Visión rayos x del cilindro y efector/pinza

Fuente. El autor

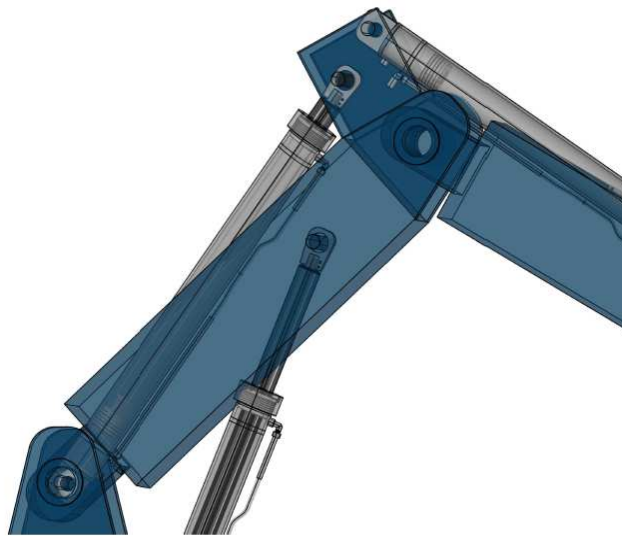


Figura 3. 20 Cilindro con vástagos operando

Fuente. El autor

A continuación, imágenes del brazo manipulador, que estará operando dentro del laboratorio de Neumática de la FETD.



Figura 3. 21 Conexión del Brazo manipulador

Fuente. El autor



Figura 3. 22 Brazo manipulador

Fuente: el autor

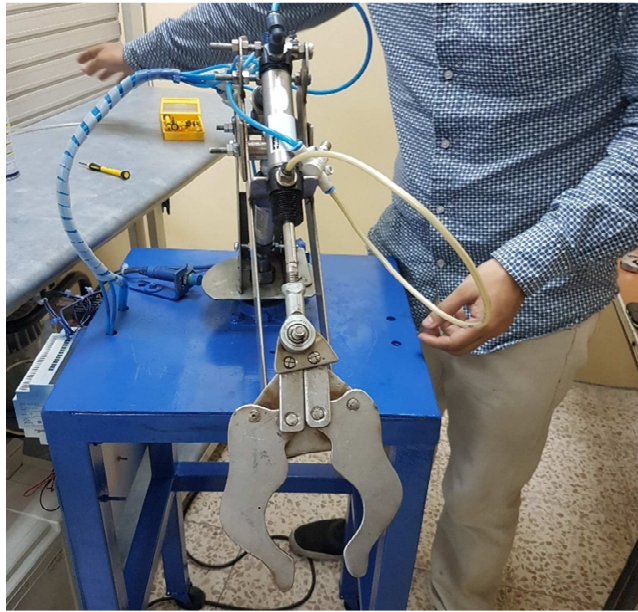


Figura 3. 23 Pinza del manipulador

Fuente: el autor



Figura 3. 24 Brazo manipulador operando

Fuente: el autor

## **CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **4.1 Conclusiones.**

El diseño de brazos robóticos neumáticos ha avanzado notablemente ya que hace unos años estos no presentaban una buena precisión y su velocidad no era muy fácil de controlar.

Cada articulación está conectada a dos enlaces, un enlace de entrada y un enlace de salida, con la articulación proporcionando movimiento relativo

El brazo manipulador realiza movimiento en cruz, es decir de arriba hacia abajo permitiendo el agarre de objetos de más de 1 kilo de peso, el movimiento horizontal abarca 120 grados y por medio de sensores inductivo y del programa del PLC puede moverse de izquierda a derecha.



## **4.2 Recomendaciones**

Se recomienda que estudiantes puedan mejorar las funcionalidades del brazo manipulador, a través del diseño y puesta en marcha de actuadores eléctricos, ejes y demás componentes para facilitar más movimientos

No sobrepasar peso de alzada superior a 1 kilogramos.

Preferible utilizar 6 o 7 bares de presión para el sistema de actuadores neumáticos.

Se pueden usar varias tecnologías avanzadas de sensores; estas incluyen: sensores táctiles; sensores de proximidad; sensores ópticos; y otros.

Se recomienda emplear para prácticas de control con actuadores neumáticos, electroneumáticos.

Que el brazo manipulador pueda ser utilizado en exhibición, ferias de universidades como un equipo desarrollado por estudiantes de la FETD.

Adaptar en lo posible un mecanismo con servomotor para mejorar el movimiento y agarre de la pinza del brazo manipulador.

## Bibliografía

- ABB. (2017). *Especificaciones del producto IRB 120*. Retrieved from <https://library.e.abb.com/public/e7ae26cb96d5491d9852f07b436dd401/3HAC035960-es.pdf>
- ACECATECH. (2017). *Robótica industrial y control*. Retrieved from <http://acecatech.com/training/instrumentation-and-controlautomation/industrial-robotics-control/>
- Anerillas, D. (2011). *Utilización de herramientas de simulación en la robótica industrial*. Retrieved from <https://repositori.udl.cat/bitstream/handle/10459.1/45763/Anerillas.pdf?sequence=1>
- Buitrago, G., & Ramos, O. (2016). *Interfaz de control teleoperado para dos manipuladores industriales usando un marcador visual humano*. Retrieved from EAC vol.37 no.2: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59282016000200003](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282016000200003)
- Córdoba, A. (2016). *Puesta en marcha de brazo robótico y desarrollo de aplicaciones*. Retrieved from Universidad de JAÉN: [http://tauja.ujaen.es/jspui/bitstream/10953.1/3605/1/TFG\\_Cordoba\\_Lopez\\_Axel\\_Jose.pdf](http://tauja.ujaen.es/jspui/bitstream/10953.1/3605/1/TFG_Cordoba_Lopez_Axel_Jose.pdf)
- ESA. (2016). *Building Braccio - The TinkerKit Robot Arm*. Retrieved from <https://www.rs-online.com/designspark/building-braccio-the-tinkerkit-robot-arm>

FANUC. (2016). *R-30iA ArcTool Soldadura al Arco V7.70*. Retrieved from <https://docplayer.es/12135189-R-30ia-arctool-soldadura-al-arco-v7-70.html>

García, G. (2010). *Control Visual-Fuerza autocalibrado para seguimiento de trayectorias en treas cooperativas robóticas*. Retrieved from Tesis doctoral Universidad de Alicante RUA: [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16063/1/Tesis\\_gabrieljesus\\_garcia.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16063/1/Tesis_gabrieljesus_garcia.pdf)

Guadalupe, J., Hernández, J., & Freyre, J. (2012). *Implementación de un sistema de visión para control de un brazo robótico*. Retrieved from Pistas Educativas, No. 99,: <http://pistaseducativas.itc.mx/wp-content/uploads/2012/10/7-ZAVALA-PE-99-87-101.pdf>

IFR. (2004). *International Federation of Robotics and United Nations. Statistics, Market Analysis*,. Retrieved from <https://ifr.org/free-downloads/>

Informe BID. (2018). *El futuro del trabajo: Perspectiva regionales*. Retrieved from coeditores ADBG. ADB, EBRD: <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/8840/El-futuro-del-trabajo-Perspectivas-regionales.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

KUKA. (2017). *KMR iiwa*. Retrieved from <https://www.kuka.com/en-de/products/mobility/mobile-robots/kmr-iiwa>

Munasinghe, R. (2014). *Industrial Robot Manipulators*. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/presentation/f7ac/70d0924d5cf9045fb344add75e288ffebaf3.pdf>

Penisi, O., Rojas, E., Aguilar, H., Manzano, M., & Isoglio, R. (2012). *VALIDACION DE LAS SINGULARIDADES GEOMETRICAS DE UN MANIPULADOR PARALELO 3RPS*. Retrieved from [http://www.caim2012.frba.utn.edu.ar/descargas/trabajos/mecanismos\\_maquinas\\_y\\_mecatronica.pdf](http://www.caim2012.frba.utn.edu.ar/descargas/trabajos/mecanismos_maquinas_y_mecatronica.pdf)

Pérez, F. (2014). *Desarrollo de sistema de control para un manipulador de 6 grados de libertad*. Retrieved from <http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/29532/3/TFMFidelPerezMenendezProteg.pdf>

Pernas, M. (2018). *Al servicio de los robots*. Retrieved from Conexión Intal: <http://conexionintal.iadb.org/2018/05/02/al-servicio-de-los-robots/>

Robotikits. (2015). *Tipos de robots*. Retrieved from [http://robotikits.blogspot.com/p/blog-page\\_14.html](http://robotikits.blogspot.com/p/blog-page_14.html)

RS. (2010). *PLC Zelio SR2A201FU*. Retrieved from <https://es.rs-online.com/web/p/modulos-logicos/4684488/>

Silva, M. (2011). *Construcción y programación de un grupo de robots móviles sobre la base del producto LEGO Mindstorms NXT*. Retrieved from <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3951/1/CD-3719.pdf>

Universal Robot. (2015). *Sickusa*. Retrieved from <http://sickusablog.com/wp-content/uploads/2015/10/collab-robot-image.jpg>

Yaguana, S. (2010). *Automatización y monitoreo de un brazo robótico para la manipulación, transporte y clasificación de piezas en un area de trabajo.* Retrieved from

<http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1050/1/97458.pdf>



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



SENESCYT  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Sañay Aguirre Ermel Joel** con C.C: 120593333-4 autor del Trabajo de Titulación: **Implementación de un brazo robótico que permite realizar movimiento en cruz utilizando elementos de control neumáticos y un PLC**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 30 de Agosto de 2018

---

Sañay Aguirre, Ermel Joel

C.C: 120593333-4



**REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Implementación de un brazo robótico que permite realizar movimiento en cruz utilizando elementos de control neumáticos y un PLC.		
<b>AUTOR(ES)</b>	Sañay Aguirre Ermel Joel		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Ing. Vega Ureta, Nino Tello MSc.		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería Electrónica en Control y Automatismo		
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	30 de Agosto de 2018	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	90
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Manipuladores, PLC, Robótica.		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Neumática, PLC, Mecatrónica, Brazo Manipulador, Cobots.		

**RESUMEN/ABSTRACT** (150-250 palabras):

El presente trabajo de titulación en ingeniería Electrónica en Control y Automatismo aporta con el estudio de los brazos manipuladores y su implicancia en procesos industriales, el estado de arte inicia con la aparición de los primeros brazos robóticos hasta los denominados cobots, robos o brazos robóticos colaborativos, estos emplean sensores avanzados y hasta puede ‘aprender’ mediante el uso de algoritmos basados en machine learning. La metodología que se emplea es bibliográfica para establecer un estado de arte actualizado, es descriptiva por cuanto detalla características de sensores y tecnologías avanzadas asociadas para desarrollar tareas complejas.

También se emplea el método empírico pues se desarrolla un brazo manipulador básico que utiliza un PLC como controlador y la 'energía' de movimiento se obtiene con el uso de aire comprimido, por medio del PLC y sensores se puede conseguir otras tareas y/o movimientos. El brazo implementado estará instalado en el laboratorio de Neumática de la FETD.

<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593 69850709	<b>E-mail:</b> ermeljoel@gmail.com
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE</b>	<b>Nombre: Ing. Edwin palacios melendez</b>	
	<b>Teléfono:</b> +593-68366762	
	<b>E-mail:</b> Edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec	
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>		
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>		
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>		
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>		