

ACONDICIONAMIENTO Y PUESTA A PUNTO DEL  
BRAZO ROBÓTICO TQ MA 2000

JAIRO ANDRÉS MONSALVE ARGUELLO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA

2020

ACONDICIONAMIENTO Y PUESTA A PUNTO DEL  
BRAZO ROBÓTICO TQ MA 2000

JAIRO ANDRÉS MONSALVE ARGUELLO

*Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar  
por el título de Ingeniero Electrónico*

Director:  
DAVID FORERO MARTINEZ  
M.Sc. en Ciencias de la Información y las Comunicaciones

Co-Director:  
JAIME BARRERO PEREZ  
M.Sc. en Electrónica

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2020

# CONTENIDO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN</b>  | <b>13</b> |
| <b>1 MARCO DE REFERENCIA TEÓRICO</b>                       | <b>14</b> |
| 1.1 <b>ROBOT TQ MA 2000</b>                                | 14        |
| 1.1.1 <b>Estructura Mecánica</b>                           | 15        |
| 1.1.2 <b>Cintura</b>                                       | 15        |
| 1.1.3 <b>Brazos</b>  | 16        |
| 1.1.4 <b>Pinza</b>   | 16        |
| 1.2 <b>ACTUADORES</b>                                      | 17        |
| 1.2.1 <b>Motores de corriente continua</b>                 | 17        |
| 1.2.2 <b>Servomotores</b>                                  | 18        |
| 1.3 <b>SENSOR</b>  | 18        |
| 1.3.1 <b>Potenciómetro Lineal</b>                          | 18        |
| <b>2 CARACTERIZACIÓN GENERAL</b>                           | <b>20</b> |
| 2.1 <b>ÁNGULO DE GIRO</b>                                  | 20        |
| 2.2 <b>POSICIÓN DE LA ARTICULACIÓN</b>                     | 21        |
| 2.3 <b>CONSUMOS, RANGOS DE OPERACIÓN Y LIMITES DE CAR-</b> |           |
| <b>GA</b>  | 23        |
| 2.3.1 <b>Servomotor Pinza</b>                              | 23        |
| 2.3.2 <b>Servomotor 2</b>                                  | 24        |
| 2.3.3 <b>Servomotor 3</b>                                  | 24        |
| 2.3.4 <b>Servomotor 4</b>                                  | 25        |
| 2.3.5 <b>Motor 1</b>                                       | 25        |
| 2.3.6 <b>Motor 2</b>                                       | 26        |
| 2.3.7 <b>Motor 3</b>                                       | 26        |
| 2.3.8 <b>Motor 4</b>                                       | 27        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>3 DISEÑO Y DESARROLLO</b>                  | <b>29</b> |
| 3.1 ROBOT EN ESTADO INICIAL . . . . .         | 29        |
| 3.2 TARJETA DE CONTROL . . . . .              | 30        |
| 3.2.1 Divisor de tensión . . . . .            | 31        |
| 3.2.2 Optoacoplador . . . . .                 | 32        |
| 3.2.3 Driver Puente H . . . . .               | 32        |
| 3.2.4 Robot en estado final . . . . .         | 33        |
| <br>  |           |
| <b>4 RESULTADOS Y ANÁLISIS</b>                | <b>36</b> |
| 4.1 PROGRAMA DE CONTROL . . . . .             | 36        |
| 4.2 ETAPA DE ACOPLAMIENTO ÓPTICO . . . . .    | 37        |
| 4.3 PUESTA EN MARCHA DEL SERVOMOTOR . . . . . | 37        |
| 4.4 PUESTA EN MARCHA DEL MOTOR DC . . . . .   | 38        |
| 4.5 MEDICIÓN DE DESEMPEÑO . . . . .           | 38        |
| 4.5.1 Trayectoria 1 . . . . .                 | 39        |
| 4.5.2 Trayectoria 2 . . . . .                 | 41        |
| 4.5.3 Trayectoria 3 . . . . .                 | 42        |
| <br>  |           |
| <b>5 TRABAJOS FUTUROS</b>                     | <b>45</b> |
| <br>  |           |
| <b>6 CONCLUSIONES</b>                         | <b>46</b> |
| <br>  |           |
| <b>REFERENCIAS</b>                            | <b>47</b> |
| <br>  |           |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>                           | <b>48</b> |
| <br>  |           |
| <b>ANEXOS</b>                                 | <b>49</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Figura 1  | Grados de libertad. . . . .                       | 14 |
| Figura 2  | Estructura del manipulador. . . . .               | 15 |
| Figura 3  | Pinza. . . . .                                    | 16 |
| Figura 4  | Motores de corriente continua. . . . .            | 17 |
| Figura 5  | Servomotores. . . . .                             | 18 |
| Figura 6  | Relación de transmisión. . . . .                  | 21 |
| Figura 7  | Dimensiones y rangos de operación. . . . .        | 28 |
| Figura 8  | Robot en estado inicial. . . . .                  | 30 |
| Figura 9  | Articulaciones superiores (servomotores). . . . . | 30 |
| Figura 10 | Tarjeta propia (totalmente dañada). . . . .       | 30 |
| Figura 11 | Esquemático. . . . .                              | 31 |
| Figura 12 | Divisor de tensión. . . . .                       | 31 |
| Figura 13 | Puente H (L298N). . . . .                         | 33 |
| Figura 14 | Robot Modificado. . . . .                         | 34 |
| Figura 15 | Interfaz Robot TQ MA 2000. . . . .                | 37 |
| Figura 16 | Parte posterior. . . . .                          | 37 |
| Figura 17 | Parte frontal. . . . .                            | 37 |
| Figura 18 | Señal PWM (PLC). . . . .                          | 38 |
| Figura 19 | Señal PWM(servomotor). . . . .                    | 38 |
| Figura 20 | Salida Servomotor Pinza. . . . .                  | 39 |
| Figura 21 | Salida Servomotor 4. . . . .                      | 39 |
| Figura 22 | Potenciómetro motor 4. . . . .                    | 40 |
| Figura 23 | Potenciómetro motor 1. . . . .                    | 41 |
| Figura 24 | Potenciómetro motor 3. . . . .                    | 41 |
| Figura 25 | Potenciómetro motor 2. . . . .                    | 42 |
| Figura 26 | Potenciómetro motor 1. . . . .                    | 42 |

|           |                                    |    |
|-----------|------------------------------------|----|
| Figura 27 | Potenciómetro motor 3. . . . .     | 43 |
| Figura 28 | Potenciómetro motor 2. . . . .     | 43 |
| Figura 29 | Potenciómetro motor 4. . . . .     | 44 |
| Figura 30 | Articulaciones superiores. . . . . | 49 |
| Figura 31 | Articulaciones inferiores. . . . . | 50 |

## LISTA DE TABLAS

|          |  |    |
|----------|--|----|
| Tabla 1  | Caracterización de servomotor por tiempo. . . . .      | 21 |
| Tabla 2  | Caracterización de servomotor por posición. . . . .    | 21 |
| Tabla 3  | Caracterización posición de la articulación 1. . . . . | 22 |
| Tabla 4  | Caracterización posición de la articulación 2. . . . . | 22 |
| Tabla 5  | Caracterización posición de la articulación 3. . . . . | 22 |
| Tabla 6  | Caracterización posición de la articulación 4. . . . . | 23 |
| Tabla 7  | Consumos S1. . . . .                                   | 23 |
| Tabla 8  | Rangos de operación S1. . . . .                        | 23 |
| Tabla 9  | Limites de carga S1. . . . .                           | 23 |
| Tabla 10 | Consumos S2. . . . .                                   | 24 |
| Tabla 11 | Rangos de operación S2. . . . .                        | 24 |
| Tabla 12 | Limites de carga S2. . . . .                           | 24 |
| Tabla 13 | Consumos S3. . . . .                                   | 24 |
| Tabla 14 | Rangos de operación S3. . . . .                        | 24 |
| Tabla 15 | Limites de carga S3. . . . .                           | 25 |
| Tabla 16 | Consumos S4. . . . .                                   | 25 |
| Tabla 17 | Rangos de operación S4. . . . .                        | 25 |
| Tabla 18 | Limites de carga S4. . . . .                           | 25 |
| Tabla 19 | Consumos M1. . . . .                                   | 25 |
| Tabla 20 | Rangos de operación M1. . . . .                        | 26 |
| Tabla 21 | Limites de carga M1. . . . .                           | 26 |
| Tabla 22 | Consumos M2. . . . .                                   | 26 |
| Tabla 23 | Rangos de operación M2. . . . .                        | 26 |
| Tabla 24 | Limites de carga M2. . . . .                           | 26 |
| Tabla 25 | Consumos M3. . . . .                                   | 26 |
| Tabla 26 | Rangos de operación M3. . . . .                        | 27 |
| Tabla 27 | Limites de carga M3. . . . .                           | 27 |
| Tabla 28 | Consumos M4. . . . .                                   | 27 |

|          |                                 |    |
|----------|---------------------------------|----|
| Tabla 29 | Rangos de operación M4. . . . . | 27 |
| Tabla 30 | Limites de carga M4. . . . .    | 27 |

# RESUMEN

**Título:** Acondicionamiento y puesta a punto del brazo robótico *TQ MA 2000*<sup>1</sup>

**Autores:** Jairo Andrés Monsalve Arguello<sup>2</sup>

**Palabras Clave:** PLC, robot, Optoacoplador, Pulsegen, servomotor , precision, Rutina, *Siemens 1500*.

## DESCRIPCIÓN:

El proyecto cumple con el propósito de proporcionar una herramienta de entrenamiento adecuada a los retos que presenta la industria, comprometiéndose con el mejoramiento de las potencialidades del laboratorio de automatización y control. Este documento pretende establecer una descripción, detalle a detalle de la repotenciación y reparación del brazo robótico TQ MA 2000, en su interfaz electro óptica, sus componentes mecánicos y su etapa de control, dejando un robot en correcto funcionamiento y permitiendo la adecuada manipulación. El proceso comienza con un diagnostico exhaustivo del estado en el que se encontraba el robot después de haber sido dado de baja y sin uso durante varios años, tomando las decisiones de cambio de elementos y actualizaciones necesarias para la comunicación con el autómeta, logrando observar piezas en muy mal estado, sin parte de potencia y ningún sistema de conexión para ser trabajado con un autómeta programable, lo cual llevó a realizar las mejoras pertinentes, además de realizar una interfaz de programación que permite hacer los movimientos de todas las articulaciones, esto logrando a la hora de manipular una facilidad para realizar movimientos solicitados y contando con trayectorias debidamente programadas y con esto poder entregar un prototipo totalmente funcional en los tres subsistemas, eléctrico, mecánico y electrónico.

---

<sup>1</sup> Trabajo de Grado

<sup>2</sup> Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: David Forero Martinez, MSc.

# ABSTRACT

**Title:** Conditioning and tuning of the TQ MA 2000 robotic arm<sup>1</sup>

**Author:** Jairo Andrés Monsalve Arguello<sup>2</sup>

**Keywords:** PLC, Robot, Optocoupler, Pulsegen, Servo Motor, Precision, Routine, *Siemens 1500*.

## DESCRIPTION:

The project fulfills the purpose of providing a training tool appropriate to the challenges presented by the industry, committing to the improvement of the automation and control laboratory's potential. This document aims to establish a description, detail in detail of the repowering and repair of the TQ MA 2000 robotic arm, in its electro-optical interface, its mechanical components and its control stage, leaving a robot in proper operation and allowing proper handling. The process begins with a thorough diagnosis of the state in which the robot was after having been discharged and unused for several years, making the decisions to change elements and updates necessary for communication with the automaton, managing to observe parts in very bad condition, without part of power and no connection system to be worked with a programmable automaton, which led to make the relevant improvements, in addition to performing a programming interface that allows to make the movements of all joints, this achieving when handling a facility to perform requested movements and having duly programmed trajectories and with this to be able to deliver a fully functional prototype in the three subsystems, electrical, mechanical and electronic.

---

<sup>1</sup> Bachelor Thesis

<sup>2</sup> Faculty of Physics-Mechanics Engineering. School of Electric, Electronic and Telecommunications Engineering. Advisor: David Forero Martinez.

# *INTRODUCCIÓN*

Los sistemas robóticos actuales encuentran en el uso de las técnicas avanzadas de control, la posibilidad de tener características de precisión, habilidad y agilidad iguales o en ocasiones superiores a las que presenta el ser humano, al momento de realizar actividades repetitivas dentro de procesos industriales, con mayor grado de acierto. La robótica es primordial en el desarrollo industrial ya que se hace necesario el uso de un robot para ejecutar tareas de repetición que requiere de una alta exactitud [1].

Por otra la parte, la robótica facilita el desarrollo de actividades de alto riesgo para el operario humano, contribuyendo a la seguridad industrial, la disminución de costos y el aumento de la efectividad, calidad y productividad de las empresas mejorando el tema de sus procesos y el impacto que pueda llegar a tener ante la industria.

Este documento nos muestra la repotenciación y reparación del brazo robótico TQ MA 2000, este cuenta con seis grados de libertad, mejorando su parte mecánica, eléctrica y electrónica, permitiendo al robot ser controlado ser programado mediante un PLC SIEMENS S7-1500,logrando desplazarse de manera correcta en sus ejes. Finalmente se mostrará el paso a paso de su correcto funcionamiento, como puede ser manipulado el prototipo, utilidad, eficiencia y mejoras para proyectos a futuro.

---

<sup>1</sup> GONZALEZ, Victor R. Robots industriales. Robotica industrial, 2002.

# Capítulo 1

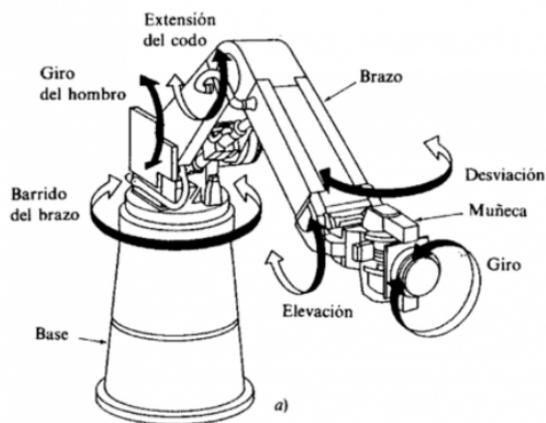
## MARCO DE REFERENCIA TEÓRICO

### 1.1. ROBOT TQ MA 2000

El robot está constituido en tres componentes, mecánico, eléctrico y electrónico permitiendo realizar las funciones propias de un manipulador de tipo eslabón.

Principalmente contiene seis movimientos independientes que son conocidos como los grados de libertad, permitiendo tener una movilidad completa y dirigida del robot, llevando a quien lo manipula a poder ubicarlo donde desee y realizar movimientos con un estricto control.

Figure 1. Grados de libertad.



Tomada de [1]

---

<sup>1</sup> GONZALEZ, Victor R. Robots industriales. Robotica industrial, 2002.

El prototipo se compone de cuatro partes que permiten el adecuado proceso de manipulación:

- Estructura Mecánica
- Sistema de actuación
- Sistema de sensores
- Sistema de control (PLC)

**1.1.1 Estructura Mecánica** El brazo robótico TQ MA 2000 consta de cuatro elementos fundamentales llamados: cintura, brazos, muñeca y pinza, siendo similar al funcionamiento del brazo humano.

Figure 2. **Estructura Mecánica.**



Tomada de [2]

Este tipo de manipulador fue reestructurado para mover materiales, piezas o dispositivos mediante movimientos programados con la finalidad de realizar tareas específicas en un espacio de trabajo dirigido.

**1.1.2 Cintura** El sistema del brazo consta de una base de aluminio y en ella está ubicada la primera articulación.

La descripción de esta articulación está dada principalmente por un mecanismo compuesto por dos piñones, permitiendo dar giro sobre el eje del motor de corriente continua y sobre el sensor de posición, estos dos se encuentran acoplados por una correa dentada, que tiene como objetivo aumentar el torque del actuador, logrando un sentido de la articulación rotatorio.

---

<sup>2</sup> GONZALEZ, Victor R. Morfología. Estructura de un robot industrial, 2003.

**1.1.3 Brazos** Entre el codo y el hombro esta ubicada la segunda articulación que recibe el nombre de brazo superior y entre el codo y la muñeca se muestra la tercera articulación que tiene como nombre brazo delantero, estas dos contiene el mismo mecanismo descrito en la cintura, con la diferencia de su tamaño en las piezas y los elementos usados para su correcto funcionamiento [3].

**1.1.4 Pinza** El brazo recibido se encontraba en mal estado e inservible, siendo imposible darle el uso adecuado para lo que esta diseñado, por lo que no permitía implementar un sistema para poder sostener objetos y ser trasladados hacia direcciones requeridas, por tal motivo se decide ejecutar un sistema que logre dicho objetivo, siendo la Pinza Metálica, la mejor opción en el mercado. La pinza es de fabricación china, contiene un acople que permite el correcto funcionamiento a la hora de su respectivo uso, resiste un peso de 50g y una apertura máxima de 55mm (datos dados por el comprador) y se encuentra instalada en el eje del servomotor final [4].

Figure 3. **Pinza.**



Tomada de [4]

---

<sup>3</sup> BARRIENTOS, ANTONIO. Fundamentos de robótica segunda edición, S.A MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA DE ESPAÑA, pag 28, 2007.

<sup>4</sup> INFANTE, JOSE M. Automatización y robótica. Tenaza robótica metálica, 2016.

## 1.2. ACTUADORES

La definición de actuador se da a los elementos encargados de dar el movimiento al robot en las direcciones requeridas por el manipulador. Los actuadores usados para este brazo robótico son cuatro motores de corriente con sus respectivos potenciómetros, los cuales permiten un correcto posicionamiento de las articulaciones encontradas antes de la muñeca y cuatro servomotores quienes proporcionan precisión en las articulaciones superiores. Estos elementos dan al robot la eficiencia necesaria para cumplir con la orden que el manipulador solicite sobre él [5].

**1.2.1 Motores de corriente continua** Los motores utilizados para este prototipo son alimentados a 12v sin carga, consumiendo una corriente aproximada a 150mA con rotación de 30 R.P.M. El robot usa cuatro de estos para las articulaciones iniciales, su tamaño esta dado en pulgadas y está distribuido así; 5.15 de largo por 1.52 de diámetro y su eje de 0.9 de largo por 0.25 de diámetro, esto lo hace ser el actuador ideal para el uso de las primeras articulaciones [6] .

Figure 4. **Motores de corriente continua.**



Tomada de [6]

---

<sup>5</sup> DEB, SATYARANJAN AND DEB, SANKHA. Robotics Technology and Flexible Automation, Second Edition. McGraw Hill Education (India) Private Limited, Chapter 3 Robot Drives, Actuators and Control. 2010.

<sup>6</sup> UTUREBOTS. Robotic and Electronic. Dc gear motor. 2000.

**1.2.2 Servomotores** El servomotor está formado por tres partes esenciales; un motor (D.C), un potenciómetro lineal para su posición, y por último una tarjeta de control, además cuenta con tres cables, dependiendo el tipo de servomotor puede variar su color, para este caso utilizamos cable color marrón y rojo para su debida alimentación, color naranja para la señal y otros que tienen cable rojo y negro para alimentación y blanco para señal.

El servomotor trabaja a 5v y su grado de funcionamiento esta desde 0° hasta 180°, siendo limitados por el valor del potenciómetro lineal. Para su funcionamiento, el servomotor recibe una señal PWM de 20m seg en su periodo y un ciclo de trabajo de 1m seg a 2m seg, esto permitiéndole adquirir una posición en grados y dando una mayor precisión en la ubicación requerida por el manipulador, haciendo de este servomotor el perfecto para el funcionamiento de las articulaciones finales.

Figure 5. **Servomotores.**



## 1.3. SENSOR

El sensor es el encargado de tener un contacto hacia lo exterior, generando la opción de poder controlar la ubicación o posición de la articulación a manejar. El sensor usado en este prototipo corresponde al potenciómetro lineal.

**1.3.1 Potenciómetro Lineal** El potenciómetro está acoplado al motor de cada articulación, a través de un eje rígido para evitar así los posibles cabeceos que se

puedan encontrar en la articulación a manipular. Este nos darán una retroalimentación sobre el ángulo en el que se puede encontrar cada una de las articulaciones.

## *Capítulo 2*

# ***CARACTERIZACIÓN GENERAL***

Para la caracterización fue necesario hacer pruebas de movimientos de las articulaciones y poder así generar los datos necesarios en cuanto a los consumos de corriente y tensión, rangos de operación y capacidad máxima de carga, estas pruebas se realizaron con ayuda de una pinza amperimétrica, un multímetro y colocando cargas a diferentes pesos, teniendo como punto de referencia una posición cero y la posición final de los sensores de cada una de las articulaciones.

### **2.1. ÁNGULO DE GIRO**

El generador de pulsos o PULSEGEN del PLC s7-1500 de siemens tiene un ciclo de trabajo de la señal pwm en pasos de un milisegundo permitiendo al servomotor que solo se pueda ubicar en dos posiciones  $0^\circ$  y  $180^\circ$  respectivamente. Para poder implementar el ángulo en el que deseo colocar este elemento electrónico, fue necesario estudiar una estrategia que lograra una posición requerida, se llegó a la conclusión que la mejor manera de hacerlo es agregando un temporizador, el cual me va a dar la opción que dependiendo del lugar al que quiero posicionar la articulación dure encendido cierto tiempo. En la siguiente tabla se describe la caracterización de los temporizadores con respecto a los ángulos, esto mismo funciona en todos los servomotores utilizados en cada articulación. Los números ubicados en valor PWM son los que recibe el TIA PORTAL V14 para sus respectivos movimientos.

Tabla 1. **Caracterización de servomotor por tiempo.**

| Temporizador [seg] | Angulo [Grados] |
|--------------------|-----------------|
| Tiempo 0.1         | 18              |
| Tiempo 0.15        | 30              |
| Tiempo 0.2         | 45              |
| Tiempo 0.4         | 90              |

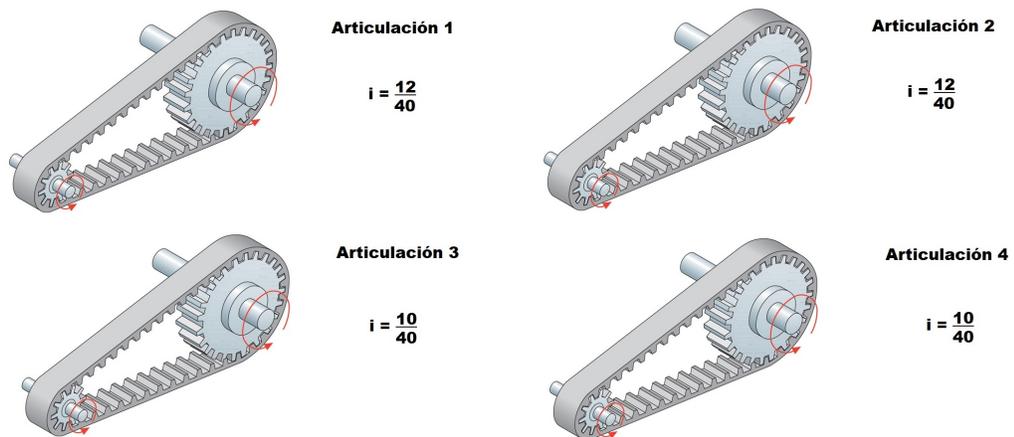
Tabla 2. **Caracterización de servomotor por posición.**

| Servomotor   | Valor PWM | Posición  |
|--------------|-----------|-----------|
| Servomotor 1 | 94        | Abre      |
|              | 88        | Cierra    |
| Servomotor 2 | 94        | Izquierda |
|              | 85        | Derecha   |
| Servomotor 3 | 94        | Izquierda |
|              | 85        | Derecha   |
| Servomotor 4 | 85        | Arriba    |
|              | 95        | Abajo     |

## 2.2. POSICIÓN DE LA ARTICULACIÓN

En cuatro de las articulaciones se encuentra acoplado un sistema mecánico con unos enlaces rígidos, este acople se da entre el motor de corriente continua y el potenciómetro lineal. En la figura 6 se muestra la relación de transmisión de los acoples mencionados.

Figure 6. **Relación de transmisión.**



Para conseguir el posicionamiento, el manipulador tendrá que encender una fuente que alimenta el motor a 12v, además asignar un valor de posición al potenciómetro y por

último dar la orden de desplazamiento desde el TIA PORTAL V14, esto hará que la articulación se mueva y se ubique a la distancia requerida. La siguiente tabla muestra la distancia (D) de ubicación dependiendo del valor que se le asigne al sensor (V.Sensor). Esta lógica se repite con la articulación ubicado en la parte inferior (Articulación 1), hasta la que se encuentra en la parte superior (Articulación 4).

Tabla 3. **Caracterización posición de la articulación 1.**

| V.Sensor | D [cm] | V.Sensor | D [cm] | V.Sensor | D [cm] |
|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
| P 678    | 1      | P 6007   | 32     | P 8429   | 64     |
| P 888    | 2      | P 6219   | 34     | P 8527   | 66     |
| P 1478   | 4      | P 6417   | 36     | P 8632   | 68     |
| P 1906   | 6      | P 6608   | 38     | P 8735   | 70     |
| P 2410   | 8      | P 6787   | 40     | P 8838   | 72     |
| P 2837   | 10     | P 6938   | 42     | P 8923   | 74     |
| P 3194   | 12     | P 7115   | 44     | P 9015   | 76     |
| P 3570   | 14     | P 7270   | 46     | P 9104   | 78     |
| P 3918   | 16     | P 7414   | 48     | P 9190   | 80     |
| P 4224   | 18     | P 7557   | 50     | P 9275   | 82     |
| P 4560   | 20     | P 7692   | 52     | P 9356   | 84     |
| P 4823   | 22     | P 7831   | 54     | P 9432   | 86     |
| P 5095   | 24     | P 7953   | 56     | P 9510   | 88     |
| P 5363   | 26     | P 8078   | 58     | P 9584   | 90     |
| P 5569   | 28     | P 8196   | 60     | P 9640   | 92     |
| P 5787   | 30     | P 8314   | 62     | P 9720   | 94     |

Tabla 4. **Caracterización posición de la articulación 2.**

| Valor sensor | Posición |
|--------------|----------|
| P 9300       | Inicial  |
| P 9950       | Central  |
| P 10606      | Final    |

Tabla 5. **Caracterización posición de la articulación 3.**

| Valor sensor | Posición                                |
|--------------|---|
| P 14184      | Inicial (Totalmente abajo lado derecho) |
| P 14330      | Central (Totalmente Arriba)             |
| P 14460      | Final (Totalmente abajo lado izquierdo) |

Tabla 6. **Caracterización posición de la articulación 4.**

| Valor sensor | Posición                    |
|--------------|-----------------------------|
| P 7998       | Inicial (Totalmente arriba) |
| P 9004       | Central (Centro)            |
| P 10030      | Final (Totalmente abajo)    |

## 2.3. CONSUMOS, RANGOS DE OPERACIÓN Y LIMITES DE CARGA

### 2.3.1 Servomotor Pinza (S1)

Tabla 7. **Consumos S1.**

| Terminales        | Parámetros                 | Min | Tipo | Máx | Unidad |
|-------------------|----------------------------|-----|------|-----|--------|
| [5V - señal- GND] | Tensión                    | 4.8 | 5    | 5.8 | V      |
| [5V - señal- GND] | Corriente sin carga        | 150 | -    | -   | mA     |
| [5V - señal- GND] | Corriente con carga máxima | -   | -    | 322 | mA     |

Tabla 8. **Rangos de operación S1.**

| Terminales        | Parámetros         | Min   | Tipo | Máx  | Unidad |
|-------------------|--------------------|-------|------|------|--------|
| [5V - señal- GND] | Ángulos (Posición) | 0     | -    | 180  | Grados |
| [5V - señal- GND] | Apertura           | 0.5   | -    | 7    | cm     |
| [5V - señal- GND] | Frecuencia         | 48.56 | 50   | 50.4 | Hz     |
| [5V - señal- GND] | Duración del pulso | 1     | -    | 2    | ms     |

Tabla 9. **Limites de carga S1.**

| Terminales        | Parámetros | Min | Tipo | Máx | Unidad |
|-------------------|------------|-----|------|-----|--------|
| [5V - señal- GND] | Pinza      | 5   | -    | 450 | gr     |

### 2.3.2 Servomotor 2 (S2)

Tabla 10. **Consumos S2.**

| Terminales        | Parámetros                 | Min | Tipo | Máx | Unidad |
|-------------------|----------------------------|-----|------|-----|--------|
| [5V - señal- GND] | Tensión                    | 4.8 | 5    | 6   | V      |
| [5V - señal- GND] | Corriente sin carga        | 140 | -    | -   | mA     |
| [5V - señal- GND] | Corriente con carga máxima | -   | -    | 380 | mA     |

Tabla 11. **Rangos de operación S2.**

| Terminales        | Parámetros         | Min   | Tipo | Máx  | Unidad |
|-------------------|--------------------|-------|------|------|--------|
| [5V - señal- GND] | Ángulos (Posición) | 0     | -    | 180  | Grados |
| [5V - señal- GND] | Frecuencia         | 48.56 | 50   | 50.6 | Hz     |
| [5V - señal- GND] | Duración del pulso | 1     | -    | 2    | ms     |

Tabla 12. **Limites de carga S2.**

| Terminales        | Parámetros   | Min | Tipo | Máx | Unidad |
|-------------------|--------------|-----|------|-----|--------|
| [5V - señal- GND] | Servomotor 2 | 5   | -    | 500 | gr     |

### 2.3.3 Servomotor 3 (S3)

Tabla 13. **Consumos S3.**

| Terminales        | Parámetros                 | Min | Tipo | Máx | Unidad |
|-------------------|----------------------------|-----|------|-----|--------|
| [5V - señal- GND] | Tensión                    | 4.8 | 5    | 6   | V      |
| [5V - señal- GND] | Corriente sin carga        | 156 | -    | -   | mA     |
| [5V - señal- GND] | Corriente con carga máxima | -   | -    | 370 | mA     |

Tabla 14. **Rangos de operación S3.**

| Terminales        | Parámetros         | Min   | Tipo | Máx  | Unidad |
|-------------------|--------------------|-------|------|------|--------|
| [5V - señal- GND] | Ángulos (Posición) | 0     | -    | 180  | Grados |
| [5V - señal- GND] | Frecuencia         | 48.56 | 50   | 50.6 | Hz     |
| [5V - señal- GND] | Duración del pulso | 1     | -    | 2    | ms     |

Tabla 15. **Limites de carga S3.**

| Terminales        | Parámetros   | Min | Tipo | Máx | Unidad |
|-------------------|--------------|-----|------|-----|--------|
| [5V - señal- GND] | Servomotor 3 | 0   | -    | 500 | gr     |

### 2.3.4 Servomotor 4 (S4)

Tabla 16. **Consumos S4.**

| Terminales        | Parámetros                 | Min | Tipo | Máx | Unidad |
|-------------------|----------------------------|-----|------|-----|--------|
| [5V - señal- GND] | Tensión                    | 4.8 | 5    | 7   | V      |
| [5V - señal- GND] | Corriente sin carga        | 125 | -    | -   | mA     |
| [5V - señal- GND] | Corriente con carga máxima | -   | -    | 420 | mA     |

Tabla 17. **Rangos de operación S4.**

| Terminales        | Parámetros         | Min   | Tipo | Máx  | Unidad |
|-------------------|--------------------|-------|------|------|--------|
| [5V - señal- GND] | Ángulos (Posición) | 0     | -    | 180  | Grados |
| [5V - señal- GND] | Frecuencia         | 48.56 | 50   | 50.4 | Hz     |
| [5V - señal- GND] | Duración del pulso | 1     | -    | 2    | ms     |

Tabla 18. **Limites de carga S4.**

| Terminales        | Parámetros   | Min | Tipo | Máx | Unidad |
|-------------------|--------------|-----|------|-----|--------|
| [5V - señal- GND] | Servomotor 4 | 0   | -    | 680 | gr     |

### 2.3.5 Motor 1 (M1)

Tabla 19. **Consumos M1.**

| Terminales  | Parámetros                 | Min | Tipo | Máx  | Unidad |
|-------------|----------------------------|-----|------|------|--------|
| [12V - GND] | Tensión                    | 5.2 | 12   | 12.6 | V      |
| [12V - GND] | Corriente sin carga        | -   | 40   | -    | mA     |
| [12V - GND] | Corriente con carga máxima | -   | -    | 520  | mA     |

Tabla 20. **Rangos de operación M1.**

| Terminales  | Parámetros | Min | Tipo | Máx | Unidad |
|-------------|------------|-----|------|-----|--------|
| [12V - GND] | Distancia  | 0   | -    | 100 | cm     |

Tabla 21. **Limites de carga M1.**

| Terminales  | Parámetros | Min | Tipo | Máx  | Unidad |
|-------------|------------|-----|------|------|--------|
| [12V - GND] | Motor 1    | 0   | -    | 1000 | gr     |

### 2.3.6 Motor 2 (M2)

Tabla 22. **Consumos M2.**

| Terminales  | Parámetros                 | Min | Tipo | Máx  | Unidad |
|-------------|----------------------------|-----|------|------|--------|
| [12V - GND] | Tensión                    | 5.2 | 12   | 12.6 | V      |
| [12V - GND] | Corriente sin carga        | -   | 40   | -    | mA     |
| [12V - GND] | Corriente con carga máxima | -   | -    | 480  | mA     |

Tabla 23. **Rangos de operación M2.**

| Terminales  | Parámetros | Min | Tipo | Máx | Unidad |
|-------------|------------|-----|------|-----|--------|
| [12V - GND] | Movimiento | 0   | -    | 180 | Grados |

Tabla 24. **Limites de carga M2.**

| Terminales  | Parámetros | Min | Tipo | Máx | Unidad |
|-------------|------------|-----|------|-----|--------|
| [12V - GND] | Motor 2    | 0   | -    | 900 | gr     |

### 2.3.7 Motor 3 (M3)

Tabla 25. **Consumos M3.**

| Terminales  | Parámetros                 | Min | Tipo | Máx  | Unidad |
|-------------|----------------------------|-----|------|------|--------|
| [12V - GND] | Tensión                    | 5.2 | 12   | 12.6 | V      |
| [12V - GND] | Corriente sin carga        | -   | 40   | -    | mA     |
| [12V - GND] | Corriente con carga máxima | -   | -    | 465  | mA     |

Tabla 26. **Rangos de operación M3.**

| Terminales  | Parámetros | Min | Tipo | Máx | Unidad |
|-------------|------------|-----|------|-----|--------|
| [12V - GND] | Movimiento | 0   | -    | 180 | Grados |

Tabla 27. **Limites de carga M3.**

| Terminales  | Parámetros | Min | Tipo | Máx | Unidad |
|-------------|------------|-----|------|-----|--------|
| [12V - GND] | Motor 3    | 0   | -    | 900 | gr     |

### 2.3.8 Motor 4 (M4)

Tabla 28. **Consumos M4.**

| Terminales  | Parámetros                 | Min | Tipo | Máx  | Unidad |
|-------------|----------------------------|-----|------|------|--------|
| [12V - GND] | Tensión                    | 5.2 | 12   | 12.6 | V      |
| [12V - GND] | Corriente sin carga        | -   | 40   | -    | mA     |
| [12V - GND] | Corriente con carga máxima | -   | -    | 450  | mA     |

Tabla 29. **Rangos de operación M4.**

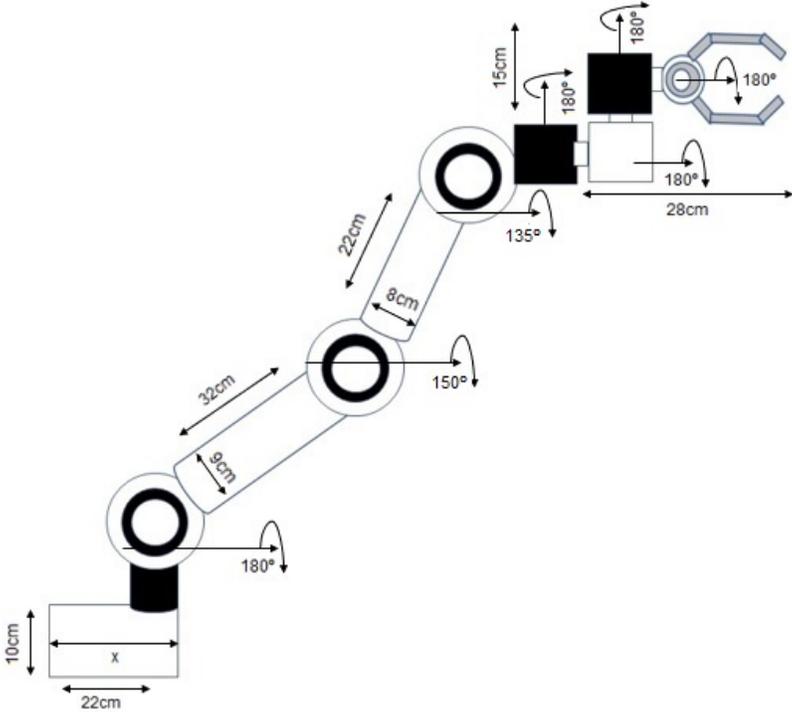
| Terminales  | Parámetros | Min | Tipo | Máx | Unidad |
|-------------|------------|-----|------|-----|--------|
| [12V - GND] | Movimiento | 0   | -    | 180 | Grados |

Tabla 30. **Limites de carga M4.**

| Terminales  | Parámetros | Min | Tipo | Máx | Unidad |
|-------------|------------|-----|------|-----|--------|
| [12V - GND] | Motor 2    | 0   | -    | 900 | gr     |

En la figura 7 se muestra los respectivos rangos de operación y las medidas de las articulaciones.

Figure 7. Dimensiones y rangos de operación.



## *Capítulo 3*

# ***DISEÑO Y DESARROLLO***

### **3.1. ROBOT EN ESTADO INICIAL**

El robot TQ MA 2000 se encontraba destruido y totalmente inoperante, es desde ahí donde nace la idea de este proyecto, cuyo principal objetivo es dejar el autómata completamente operativo en su parte mecánica, eléctrica y electrónica.

En primera instancia se hace una revisión minuciosa del prototipo a la hora de su entrega, encontrando daños graves en su mecanismo, como en elementos para su debido funcionamiento, además de sus conexiones electrónicas; luego se empieza a trabajar en los arreglos correspondientes y mejoras en todas las áreas, haciendo pruebas de alimentación en motores, servomotores y sensores, comprobando que las articulaciones sin ser controladas ya funcionaban correctamente y por último continuar con la parte esencial que es el control de este. A continuación se observa el estado en que se recibió el brazo robótico, se hizo varias tomas de las articulaciones recibidas y una tarjeta sin ninguna funcionalidad.



Figure 8. Robot en estado inicial.

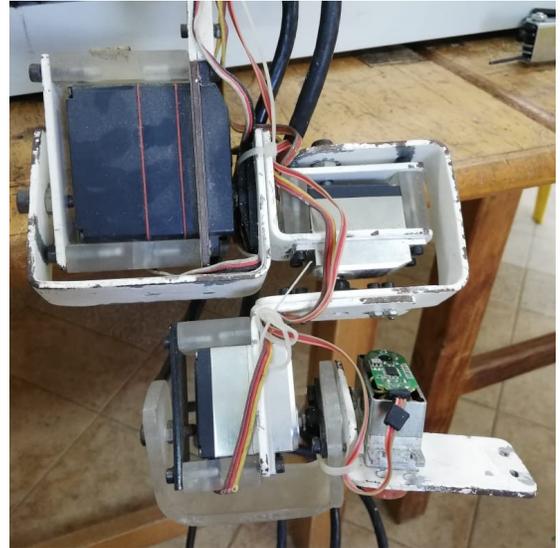


Figure 9. Articulaciones superiores.

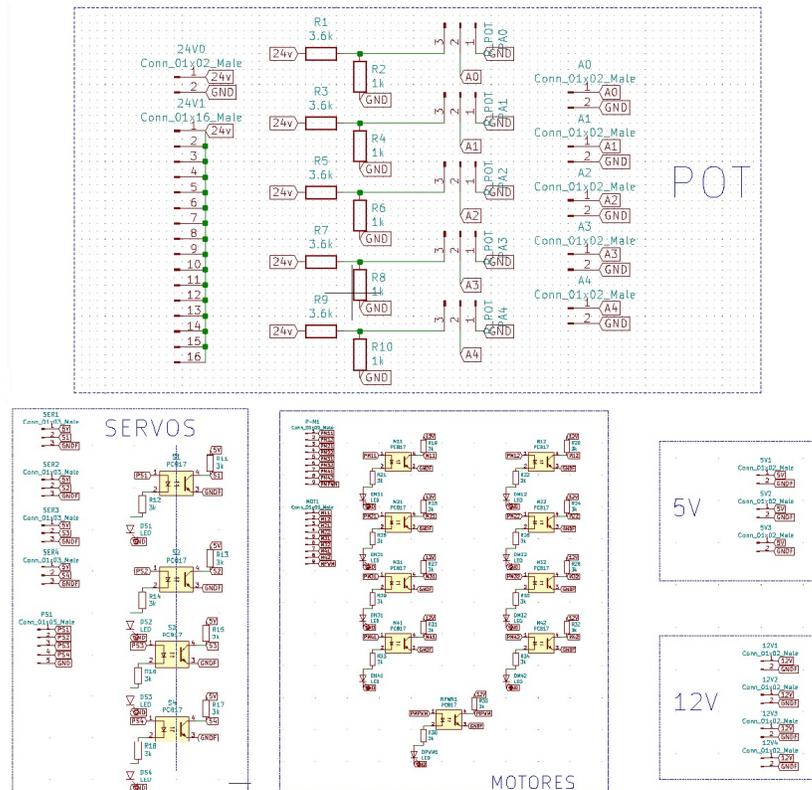
### 3.2. TARJETA DE CONTROL

En el momento de recibir el robot se encontraba con una tarjeta sin funcionamiento alguno y por ende sin ningún sistema para su control, por tal razón se diseña una tarjeta con dos partes fundamentales, la primera etapa es de alimentación, la cual permite energizar los motores, sensores y servomotores, la segunda etapa es de aislamiento usando optoacopladores.

Figure 10. Tarjeta anterior (totalmente dañada).

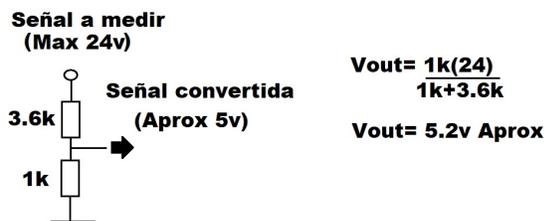


Figure 11. Esquemático.



**3.2.1 Divisor de tensión** El divisor de tensión es fundamental en el funcionamiento de las entradas analógicas del PLC, ya que el Siemens s7-1500 nos entrega en tensión 24v y las entradas analógicas trabajan de 0 a 10v; para ello se utilizo dos resistencias que por medio de un divisor de tensión logran la tensión de 5v que es la que utilizamos en este caso. En la siguiente imagen se muestra las resistencias para trabajar a una tensión aproximada de 5v y su respectivo calculo.

Figure 12. Divisor de tensión.

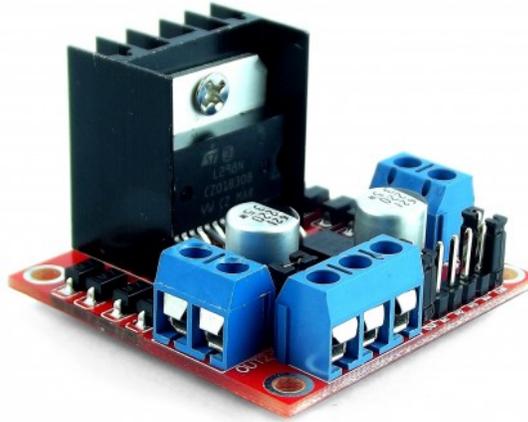


**3.2.2 Optoacoplador** El optoacoplador que se utilizo en la tarjeta de control es el PC817, logrando aislar por completo nuestros sistemas. Este elemento con su respectivo acople de resistencia, permite obtener a la salida entre 0v a 24v, estando ubicada la señal en el rango de tensión necesario para el funcionamiento de los motores y servomotores. Al diseñar esta tarjeta surgió la necesidad de usar trece optoacopladores, los cuales estan distribuidos asi: cuatro usados en los servomotores, ocho en el control de giro de los motores y uno para la señal PWM.

**3.2.3 Driver Puente H** El puente H por medio de una señal PWM actúa sobre el motor de corriente continua, logrando así, controlar su velocidad y realizar cambios de giro, esta es suministrada por el generador de pulso o PULSEGEN del PLC, logrando que por medio de ella llegue una orden al driver y realice la operación deseada por el manipulador. El driver puente H L298N es el modulo más utilizado para manejar motores DC de hasta 2 amperios. El chip internamente posee dos puentes H completos que permiten controlar 2 motores o un motor paso a paso bipolar o unipolar.

El módulo permite controlar el sentido y velocidad de giro de motores con señales TTL que se pueden obtener de microcontroladores y tarjetas de desarrollo como Arduino, Raspberry Pi o Launchpads de Texas Instruments. El control se realiza mediante dos pines para cada motor, la rapidez se puede regular haciendo uso de modulación por ancho de pulso (PWM por sus siglas en inglés). Tiene integrado un regulador de voltaje LM7805 de 5V encargado de alimentar la parte lógica del L298N, el uso de este se hace a través de un Jumper y se puede usar para energizar la etapa de control. [5].

Figure 13. **Puente H (L298N)**.



Tomada de [5]

**3.2.4 Robot en estado final** Para definir los criterios de selección de los componentes faltantes se examinó detalladamente el robot, encontrando elementos que no funcionaban, además de revisar el manual referente al robot TQ MA 2000 donde especifica los motores, sensores y servomotores usados en dicho autómatas, con esto se logra seleccionar los elementos faltantes básicamente en la parte de la muñeca que se encontraba totalmente destruida, la pinza fue la adecuada por el debido acople que tiene directo con el servomotor MG995 usado en esta articulación, se ejecuta la renovación de todo el cableado, seleccionando uno de calibre 18 y 20 soportando una corriente de 2A siendo el ideal para las respectivas conexiones, además de los ductos que protegen la señal con la necesaria flexibilidad cuando este en funcionamiento.

Para la tarjeta de control se realizan pruebas con optoacopladores 4n25 observando en estos que solo están activos hasta 7.5v, permitiendo solo el funcionamiento de los servomotores, es por esto por lo que se toma la decisión de seleccionar los optoacopladores PC817 los cuales trabajan hasta 36v, permitiendo el trabajo deseado.

---

<sup>5</sup> DEB, SATYARANJAN AND DEB, SANKHA. Robotics Technology and Flexible Automation, Second Edition. McGraw Hill Education (India) Private Limited, Chapter 3 Robot Drives, Actuators and Control. 2010.

La fuente de alimentación seleccionada es una fuente de computador ya que nos permite alimentar la tarjeta de control con 5v para los servomotores y 12v para los motores, suministrando la corriente suficiente para el correcto funcionamiento de las articulaciones del prototipo.

Se entrega un robot con el funcionamiento de cada una de las articulaciones, con su respectiva etapa de potencia, además de las especificaciones en su estado actual.

Figure 14. **Robot Modificado.**



### Especificaciones del robot.

|                         |   |
|-------------------------|---|
| NOMBRE                  | Brazo Robótico TQ MA 2000   |
| GRADOS DE LIBERTAD      | 8 Grados  |
| PESO                    | 34 Kg   |
| ALIMENTACIÓN            | Fuente<br>Motores: 12v<br>Servomotores: 5v  |
| CARGA MÁXIMA            | 0.5 Kg  |
| RELACIÓN DE TRANSMISIÓN | Articulación 1: $i= 12/40$<br>Articulación 2: $i= 12/40$<br>Articulación 3: $i= 10/40$<br>Articulación 4: $i= 10/40$  |
| DIMENSIONES             | Cintura: 22cm x 10cm<br>Brazo: 32cm x 9cm<br>Antebrazo: 22cm x 8cm<br>Muñeca completa: 28cm x 15cm  |
| RANGOS DE OPERACIÓN     | Servo 1: 180 Grados<br>Servo 2: 180 Grados<br>Servo 3: 180 Grados<br>Servo 4: 180 Grados<br>Motor 1(Distancia): 100 cm<br>Motor 2: 180 Grados<br>Motor 3: 180 Grados<br>Motor 4: 180 Grados |
| AUTOMATA PROGRAMABLE    | PLC S7-1500 SIEMENS   |
| TARJETA DE CONTROL      | Entradas analógicas:4<br>Entradas digitales:16<br>Salidas digitales: 16<br>Drivers L298N: 2   |
| SOFTWARE                | TIA Portal V.14   |
| INTERFAZ DEL ROBOT      | HMI Basic Panel (7" Display)  |

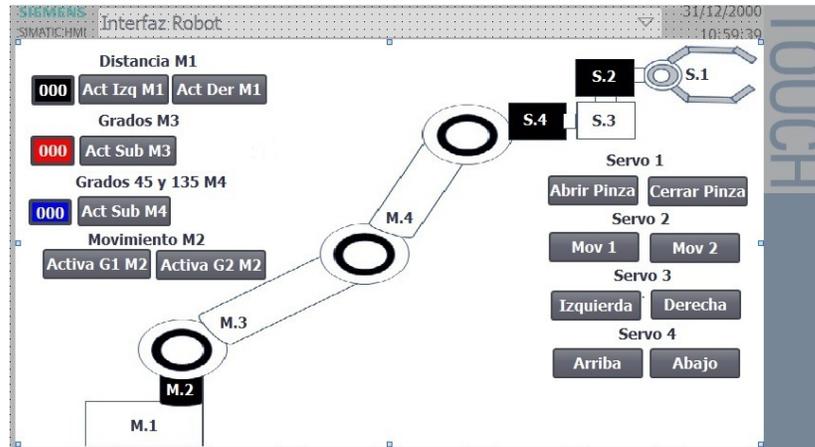
## *Capítulo 4*

# ***RESULTADOS Y ANÁLISIS***

### **4.1. PROGRAMA DE CONTROL**

El ambiente en el cual se desarrolla la programación para este autómata es el TIA PORTAL V14 de Siemens, este programa nos permite controlar de forma intuitiva y eficiente procesos de planeación y producción, además ofrece un entorno en ingeniería unificado para las tareas de control, visualización y accionamientos. Para probar la dinámica del brazo robótico fue necesario hacer una interfaz en donde permite activar cada una de las articulaciones encontradas en este prototipo, para ello se creó un proyecto en donde se agrega la HMI Basic Panel (7" Display) al sistema y se hacen pruebas de funcionamiento. La herramienta se utiliza para crear los botones y a su vez en esta pantalla se describe las variables utilizadas para mover el robot en sus respectivas direcciones, con solo dar un clic a la articulación a manipular el sistema realiza el recorrido o movimiento dirigido.

Figure 15. Interfaz Robot TQ MA 2000.



## 4.2. ETAPA DE ACOPLAMIENTO ÓPTICO

La etapa del acoplamiento óptico es el principal componente en el proceso de comunicación entre el manipulador y el PLC (programador lógico programable), cuya función es separar la etapa de control con la etapa de potencia. Cabe anotar que en estado inicial en que se recibió el manipulador no se contaba con dicha interfaz.

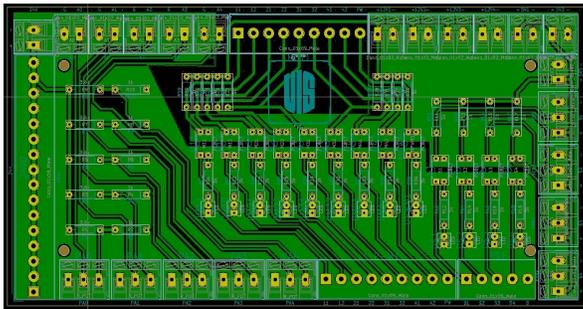


Figure 16. Parte posterior.



Figure 17. Parte frontal.

## 4.3. PUESTA EN MARCHA DEL SERVOMOTOR

El TIA PORTAL V14 cuenta con un modulo embebido ubicado en la libreria Tecnologia, PID que recibe el nombre de PULSEGEN, el cual permite generar una señal PWM que es utilizada para el control de servomotores, cuyas características son 20mseg de periodo y un ciclo de trabajo de 1ms a 2ms. En la Figura 18, 19 se muestran las señales obtenidas

y vistas en un osciloscopio, el tipo de señal generada por el PLC y la señal adecuada para el correcto funcionamiento del servomotor.

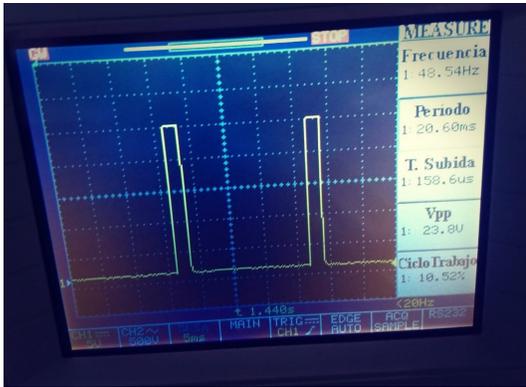


Figure 18. Señal PWM (PLC).

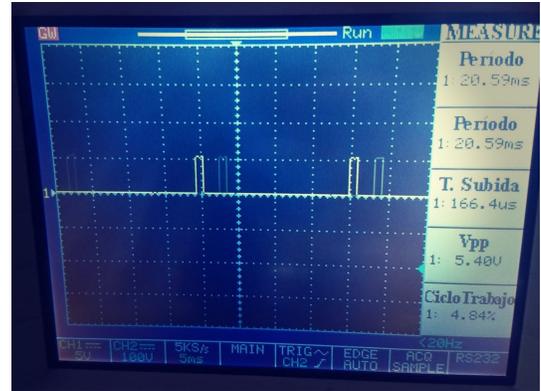


Figure 19. Señal PWM(servomotor).

#### 4.4. PUESTA EN MARCHA DEL MOTOR DC

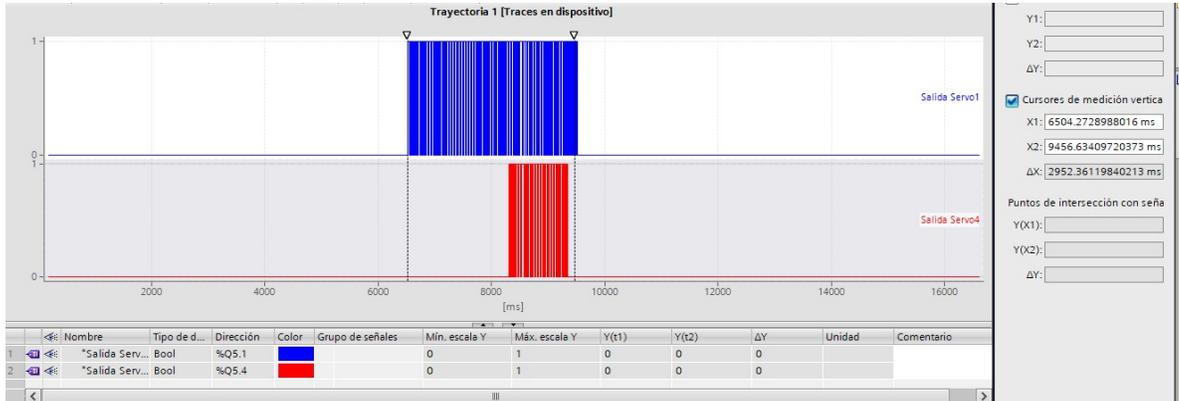
El control del motor de corriente continua necesita una señal PWM como las descritas anteriormente. Esta señal es la que recibe el driver L298N y autoriza variar la velocidad de más lento a lo máximo que él pueden trabajar. Para el posicionamiento y cambio de giro se le da una orden por medio de comparadores al PLC, permitiendo posicionarse en el valor del sensor que el manipulador desea y en el sentido que quiere que sea alimentado el mecanismo.

#### 4.5. MEDICIÓN DE DESEMPEÑO

Para medir el desempeño del robot se utilizó la herramienta TRACES del Tia Portal, esta nos permite visualizar el funcionamiento del robot en trayectorias establecidas desde la programación, logrando observar mediante gráficos tiempo de trabajo, movimientos y desplazamientos realizados por el prototipo.

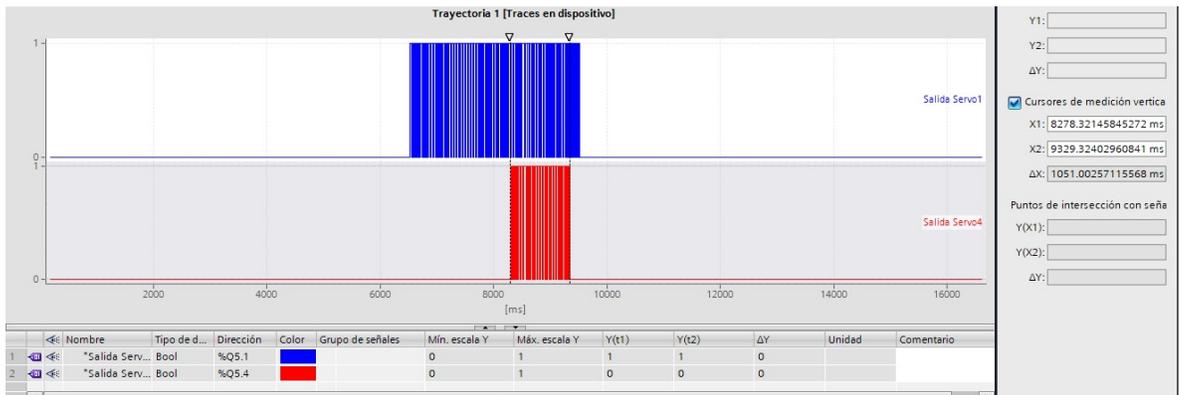
## 4.5.1 Trayectoria 1 (T1)

Figure 20. Salida Servomotor Pinza.



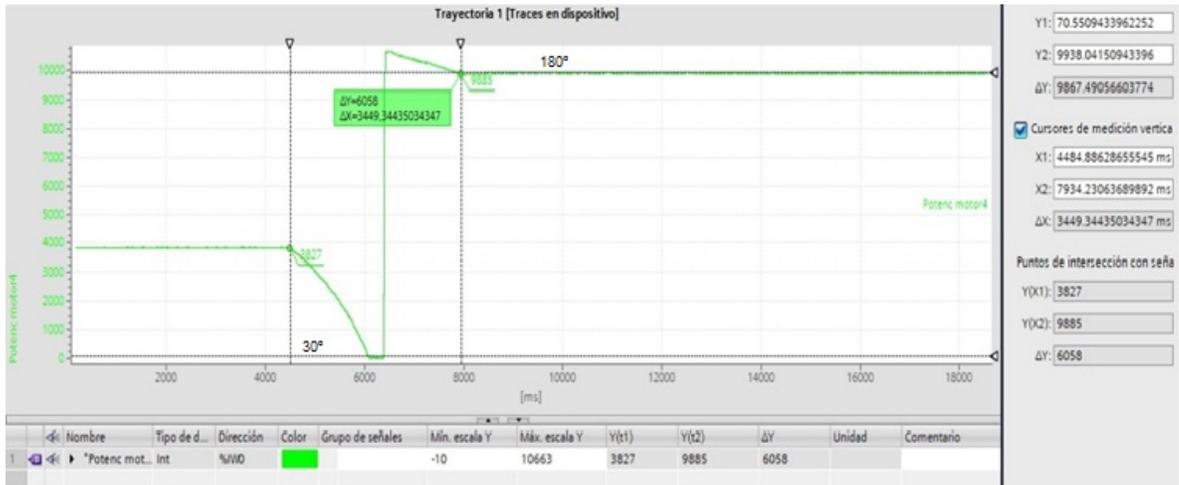
Esta gráfica muestra el funcionamiento de la pinza en un tiempo de encendido de 3 segundos, visualizándolo en el cuadro de medición vertical y ubicando el cursor en el lugar de medición (Salida servo 1), demostrando así el debido trabajo de la pinza en el tiempo establecido. Mostrando un valor de uno cuando la pinza se encuentra abierta y un cero cuando está cerrada.

Figure 21. Salida Servomotor 4.



Con este gráfico observamos el debido funcionamiento del servomotor 4 (Salida servo 4) ubicado en la parte inferior de la muñeca, visualizando el movimiento realizado (Ilustración color rojo), mostrando así el tiempo en que la articulación esta activa.

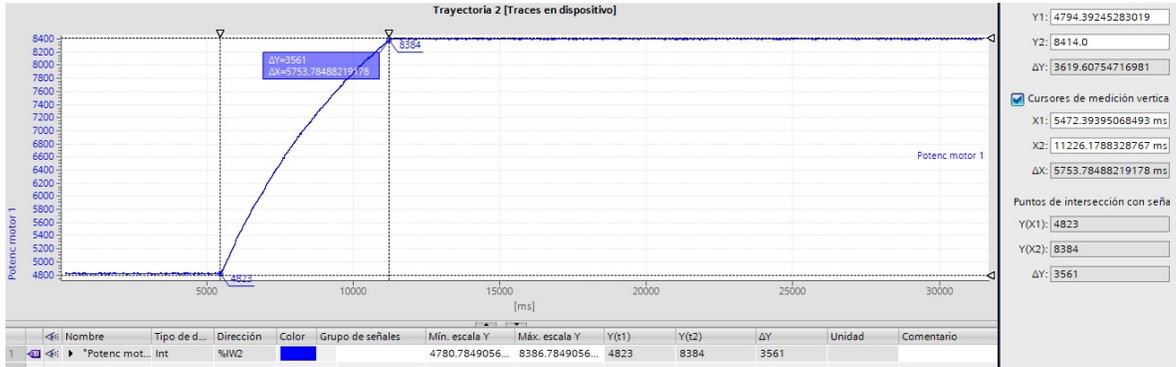
Figure 22. Potenciómetro motor 4.



Se observa en la imagen el trabajo realizado por la articulación del antebrazo, donde inicialmente la articulación está a 30 grados, llevando su recorrido al máximo de 180 grados, mostrando los valores que toma la variable relacionada con el potenciómetro, el punto inicial y final, el tiempo de subida y por último su respectivo posicionamiento.

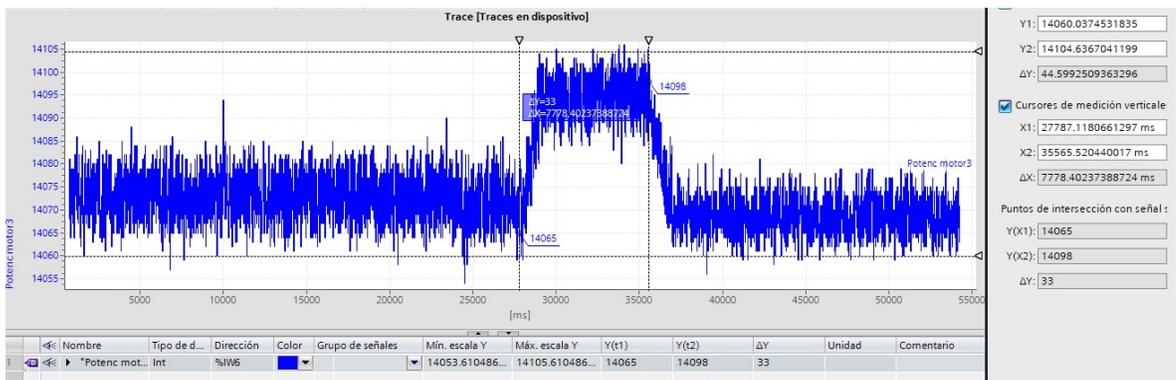
## 4.5.2 Trayectoria 2 (T2)

Figure 23. Potenciómetro motor 1.



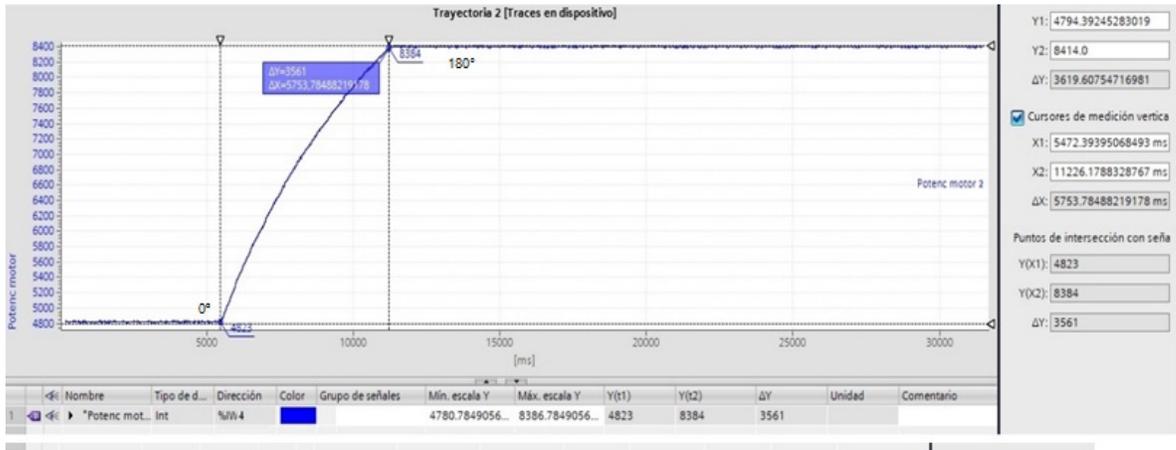
En la ilustración se observa el recorrido realizado por la articulación de la cadera ubicada en la parte inferior del robot, esta se encuentra en una posición inicial permitiendo visualizar el desplazamiento y punto final, observando los datos en la parte derecha de la gráfica.

Figure 24. Potenciómetro motor 3.



En la gráfica se visualiza el movimiento realizado por la articulación del brazo del robot, mostrando la variación generada a la orden dada por el manipulador, tiempo de duración del desplazamiento, ubicación inicial y final. En la parte derecha se observan los tiempos necesarios y diversos puntos de la trayectoria.

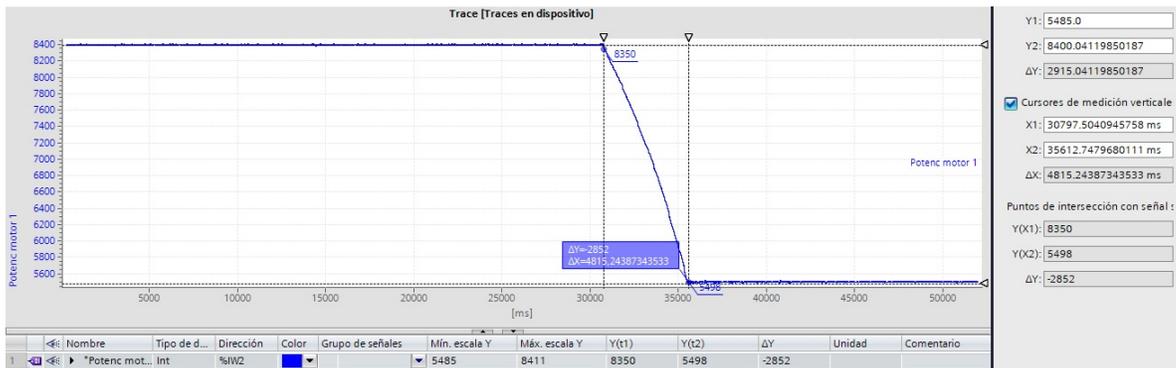
Figure 25. Potenciómetro motor 2.



Se observa la trayectoria realizada desde el punto inicial cero hasta la posición de 180 grados, evidenciando en la parte derecha el tiempo de duración del movimiento y diversos puntos de la trayectoria.

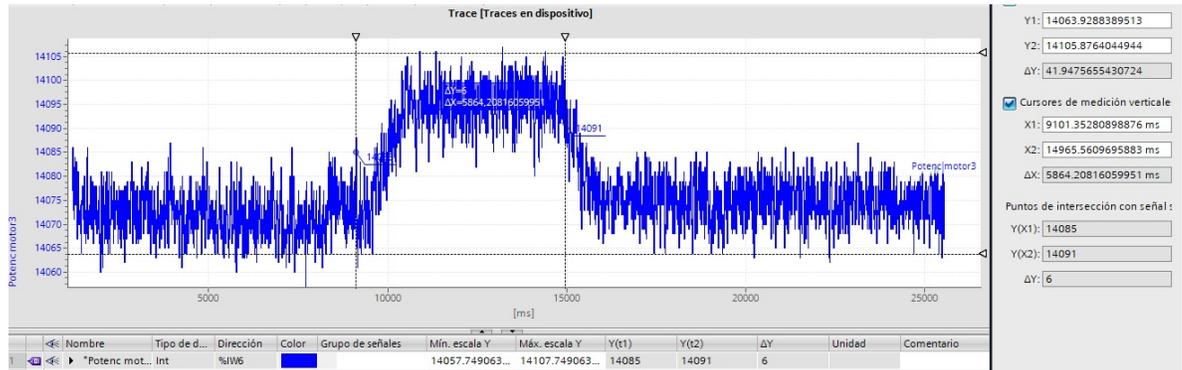
### 4.5.3 Trayectoria 3 (T3)

Figure 26. Potenciómetro motor 1.



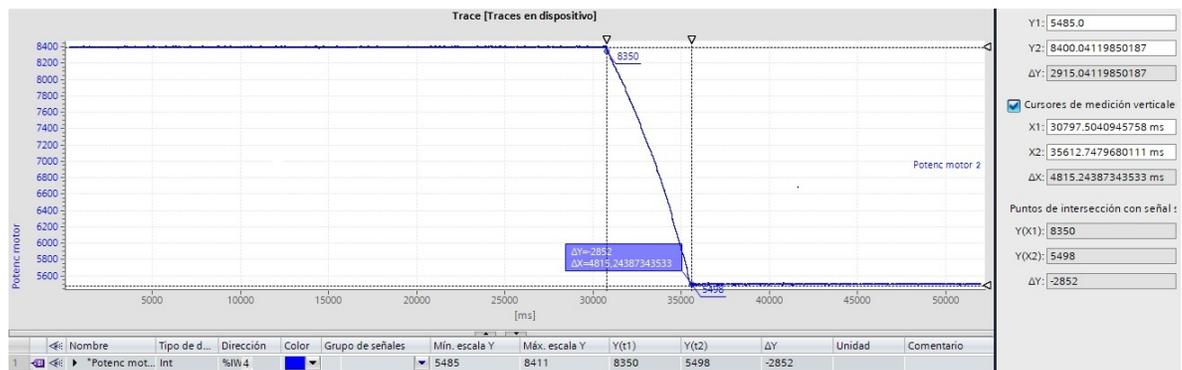
La imagen muestra la posición generada a la orden dada por el manipulador, la cual es regresar al punto inicial de la articulación llamada cadera, observando el traslado y el tiempo de duración, esto se logra evidenciar en la parte derecha de la ilustración.

Figure 27. Potenciómetro motor 3.



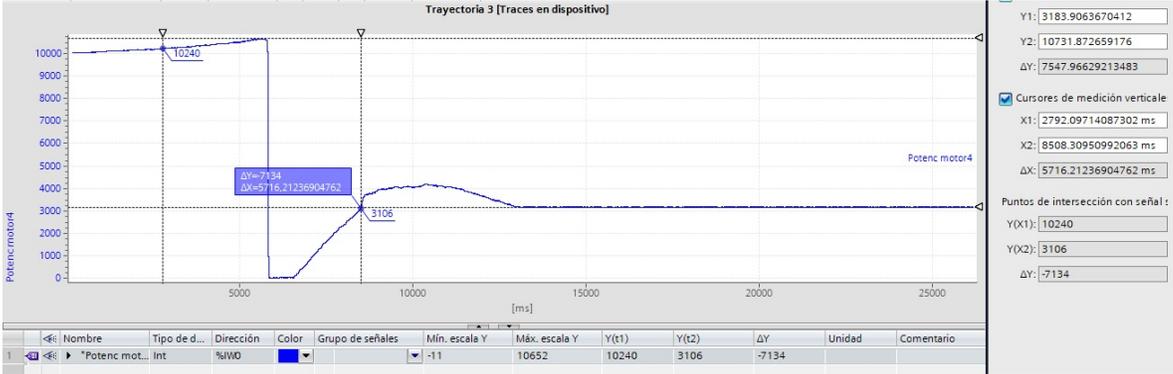
La figura muestra el momento en donde el brazo del robot se traslada hacia la posición deseada por el manipulador, haciendo el movimiento ascendente y visualizando el tiempo que dura encendido para llegar a su trayecto final.

Figure 28. Potenciómetro motor 2.



El robot genera un movimiento de 180 grados para regresar a su posición inicial, mostrando la gráfica la trayectoria y el debido tiempo en realizar el traslado.

Figure 29. Potenciómetro motor 4.



En esta gráfica se muestra el movimiento de la articulación del antebrazo, observando el recorrido en llegar a la posición final requerida, el tiempo de duración, con esto finalizando con las trayectorias para observar el funcionamiento del prototipo.

## *Capítulo 5*

# ***TRABAJOS FUTUROS***

- ❖ El robot cuenta con un sistema mecánico que permite el movimiento de las articulaciones dependiendo la orden que reciba desde el PLC. Para un correcto funcionamiento del autómeta es necesario actualizar los motores de corriente continua por unos con mas revoluciones por minuto (RPM) o cambiarlos por motores paso a paso, ayudando con esto a obtener un torque alto consiguiendo una mayor exactitud en el desplazamiento del prototipo.
- ❖ Realizando el posicionamiento del prototipo se observo que tiene un pestaño en dos de las articulaciones superiores, para esto es necesario generar algoritmos de control minimizando al máximo este problema y obteniendo mejoras en el proceso de manipulación y precisión del autómeta.
- ❖ Obtener una estrategia de comunicación en la web, para lograr con ella el desarrollo de practicas de IIOT (Industrial Internet of Things), realizando el robot tareas dirigidas desde cualquier punto con acceso a internet.

## *Capítulo 6*

# **CONCLUSIONES**

- ❖ Se entrega un robot totalmente funcional y programable, modificando las articulaciones, haciendo mejoras a la hora de su respectivo control y también en su aspecto físico, dando estabilidad y una buena precisión en sus movimientos, logrando reestructurar un autómata que se encontraba en muy mal estado y desechado sin ningún uso durante años.
- ❖ Por otro lado, debido a componentes y elementos usados para su manipulación, es necesario hacer una inversión amplia para lograr tener un robot con precisión en sus movimientos haciendo cambio de motores y sustituyendo los sensores, permitiendo al manipulador hacer una rutina con mayor exactitud.
- ❖ En pruebas realizadas para el funcionamiento del autómata, se logra observar que posee un cabeceo en dos de las articulaciones superiores, no alcanzando en ocasiones la exactitud necesaria cuando se esta requiriendo de una posición precisa o cogiendo un objeto. Se recomienda corregir esto con un control PID.
- ❖ Para finalizar cabe resaltar la importancia de lo aprendido en la carrera, conocimientos adquiridos durante el camino, los cuales fueron reflejados a la hora de realizar y concluir este tema de proyecto, se demuestra la habilidad que se tiene al resolver diversas situaciones y dar por finalizada una parte de la formación profesional académica.

## *REFERENCIAS*

- [1] GONZALEZ, Victor R. Robots industriales. Robotica industrial, 2002.
- [2] GONZALEZ, Victor R. Morfología. Estructura de un robot industrial, 2003.
- [3] BARRIENTOS, ANTONIO. Fundamentos de robótica segunda edición, S.A MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA DE ESPAÑA, pag 28, 2007.
- [4] INFANTE, JOSE M. Automatización y robótica. Tenaza robótica metalica, 2016.
- [5] DEB, SATYARANJAN AND DEB, SANKHA. Robotics Technology and Flexible Automation, Second Edition. McGraw Hill Education (India) Private Limited, Chapter 3 Robot Drives, Actuators and Control. 2010.
- [6] FUTUREBOTS. Robotic and Electronic. Dc gear motor. 2000.

## ***BIBLIOGRAFÍA***

ALVAREZ, JOHNY y GUILLERMO, JUAN. TIA PORTAL aplicaciones de PLC. Instituto de tecnología metropolitano, 2017.

BARRIENTOS, ANTONIO. Fundamentos de robótica segunda edición, S.A MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA DE ESPAÑA, pag 28, 2007.

DEB, SATYARANJAN AND DEB, SANKHA. Robotics Technology and Flexible Automation, Second Edition. McGraw Hill Education (India) Private Limited, Chapter 3 Robot Drives, Actuators and Control. 2010.

FLORES, H. Antecedentes y perspectivas de la robótica, 2014.

FUTUREBOTS. Robotic and Electronic. Dc gear motor. 2000.

GONZALEZ, Victor R. Robots industriales. Robotica industrial, 2002.

GONZALEZ, Victor R. Morfología. Estructura de un robot industrial, 2003.

GUTIERREZ, MARTHA C. Rediseño e implementación de control articular de robot PUMA de seis grados de libertad y su respectivo sistema de alimentación eléctrica. 2010.

INFANTE, JOSE M. Automatización y robótica. Tenaza robótica metálica, 2016.

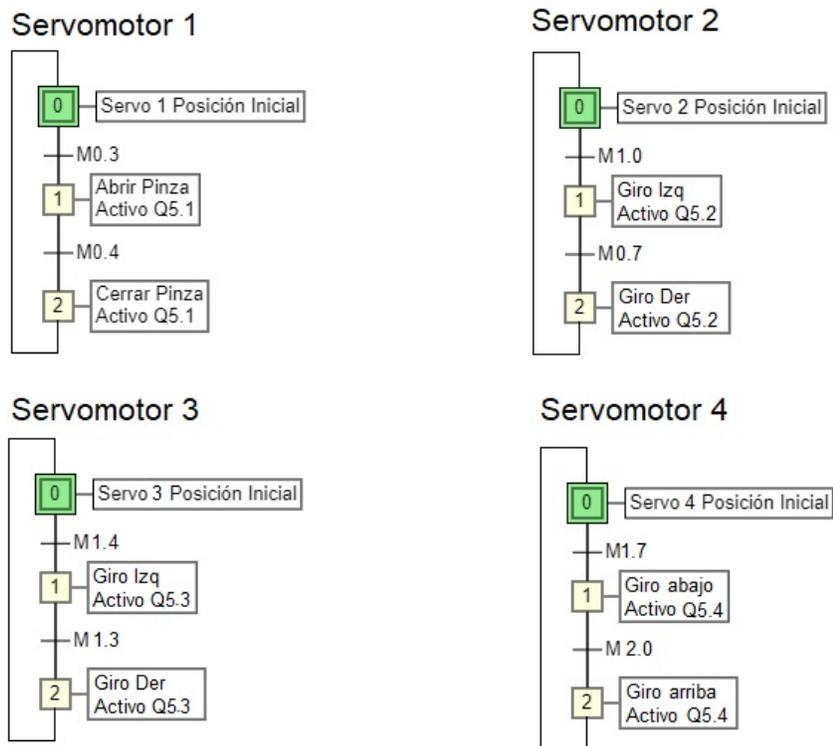
NAYLAMP, Mechatronic. Driver Puente H L298N. Descripción driver puente H. Conexión de alimentación. 2019.

RODRIGUEZ. DIANA K. Identificación y control de un robot manipulador PUMA MA 2000 de 6 grados de libertad. 2014.

# ANEXOS

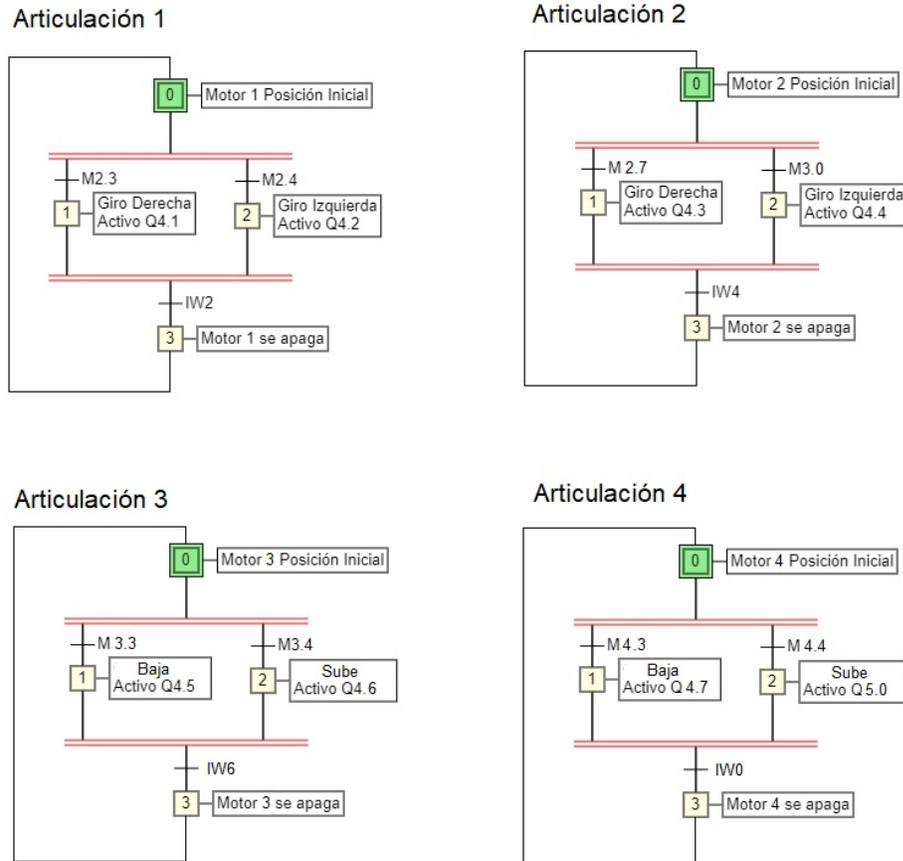
## ❖ GRAFCET DE LAS ARTICULACIONES SUPERIORES

Figure 30. Articulaciones superiores.



## ❖ GRAFCET DE LAS ARTICULACIONES INFERIORES

Figure 31. Articulaciones inferiores.



## ❖ PROGRAMACIÓN DEL ROBOT (TIA PORTAL V14)

[Ver enlace](#)