



Trabajo Final de Carrera de Ingeniería Electrónica con  
Orientación en Sistemas Digitales.

# **Actualización Tecnológica del Sistema Robot Didáctico “MENTOR”**

**Realizado por: Jonathan Ezequiel Vilchez.**

**Dirigido por: Mg. Cristian Ariel Falco**

Departamento de Electronica - UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS  
San Luis, 26 de Diciembre del 2019



# Índice de contenidos

- 1) **Introducción.**
- 2) **Objetivos.**
- 3) **Estructura original del robot manipulador MENTOR.**
- 4) **Estructura actualizada del robot manipulador MENTOR.**
- 5) **Interfaz gráfica de usuario.**
- 6) **Resultados experimentales.**
- 7) **Conclusiones.**
- 8) **Trabajo a futuro.**



# Introducción.

En la actualidad, la robótica ha salido del mundo industrial para introducirse en todo ámbito de la actividad humana. Las instituciones educativas deben preparar a sus estudiantes para comprender el potencial disruptivo de estas tecnologías, potenciando sus capacidades de innovación y brindando herramientas para adaptarse a estos profundos cambios. La robótica es un compendio de diferentes disciplinas que aportan a los niños conocimientos relativos a la ciencia, tecnología, informática, ingeniería y matemáticas.

El trabajo final se desarrolló en el marco del proyecto de V10-UNSL5065 del programa “Compromiso Social Universitario – Voluntariado Universitario” del Ministerio de Educación y Deportes, en el cual promovía el trabajo en conjunto con el colegio N°4 “Fray Luis Beltrán”, la cual era poseedora del robot manipulador MENTOR 500-1 USB.



# Introducción.

## Planteo del Problema:

Al graduarse, los alumnos del colegio N°4 Fray Luis Beltrán, adquieren el título de Técnico Electrónico, con lo cual, tiene la posibilidad de la inserción en el ámbito industrial de forma inmediata. La institución en la actualidad no consta de ningún dispositivo que abarque los numerosos conceptos del área de la robótica, dejando de lado varios de conocimientos de gran importancia, con lo cual carecen tanto de conceptos teóricos como de conceptos prácticos.



# Objetivos

- Implementar, configurar y programar una interfaz de usuario didáctica sobre alguna plataforma de desarrollo actualizable como puede ser Raspberry PI.
- Desarrollar e implementar el control de los motores de cada uno de los ejes sobre alguna plataforma de desarrollo que estén familiarizados los alumnos de la escuela secundaria como ARDUINO.
- Vincular y comunicar la interfaz grafica de usuario con el control del brazo robótico de manera sencilla e inalámbrica como puede ser la comunicación Bluetooth.



# Objetivos

- Seleccionar los dispositivos para la actualización teniendo en cuenta el objetivo principal que es un proyecto didáctico orientados a alumnos de la secundaria.
- Adquirir conocimientos en nuevos lenguajes de programación.



# Estructura original del robot manipulador MENTOR.

- Robot manipulador: Mecanismo formado por articulaciones y eslabones, destinado al agarre y desplazamiento de objetos.
- Grado de libertad: hace referencia al número de movimientos independientes que puede realizar cada uno de sus ejes.
- Área de trabajo: está determinada por las características físicas del robot (eslabón, tamaño y forma), y se refiere al volumen espacial que puede alcanzar el extremo final del robot, sin tomar en cuenta el efector final.



# Estructura original del robot manipulador MENTOR.



Ejemplo de robot manipulador industrial, que presenta el mismo formato estructural y lógica de funcionamiento que robot manipulador MENTOR, con la diferencia que la estructura es más robusta y precisa tal como lo demanda el ambiente industrial.

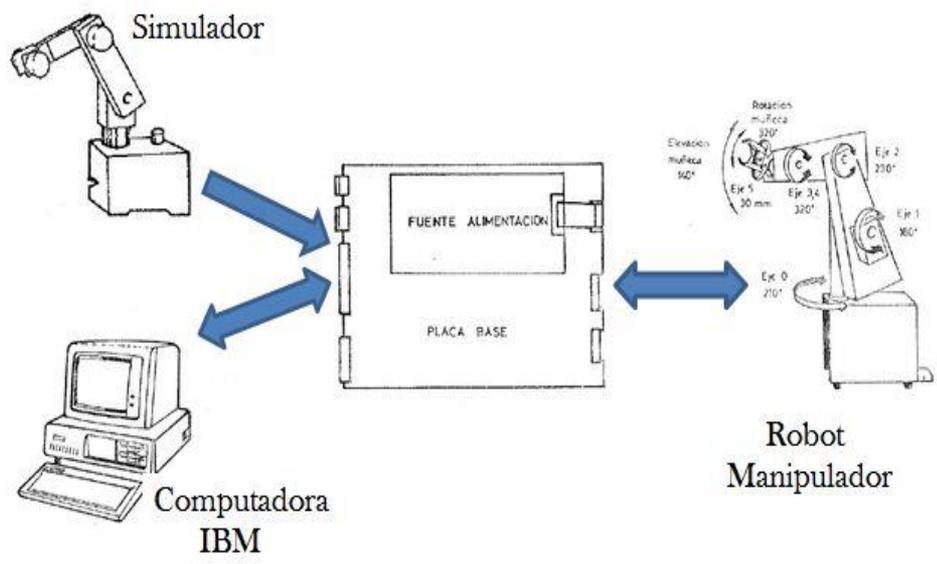


# Estructura original del robot manipulador MENTOR.





# Estructura original del robot manipulador MENTOR.



Cuando se planteó recuperar el robot manipulador, para el inicio del proyecto, se ausentaban componentes que formaban parte de su estructura original, como el BUS de comunicación, el simulador, la PC IBM, tampoco se disponía de información de la parte técnica, solo constaba de un manual de usuario destinado a la puesta en marcha y operación del manipulador.



# Estructura original del robot manipulador MENTOR.

La estructura física, eléctrica y electrónica del robot manipulador MENTOR es conceptualizada de la siguiente manera:

- Estructura Mecánica.
- Sistema de Sensado.
- Sistema de Control.

La estructura mecánica se puede conceptualizar de la siguiente manera:

- Sistema de accionamiento: es un motor de corriente continua de 12 [V] de alimentación y su intensidad es menor a 1 [A].

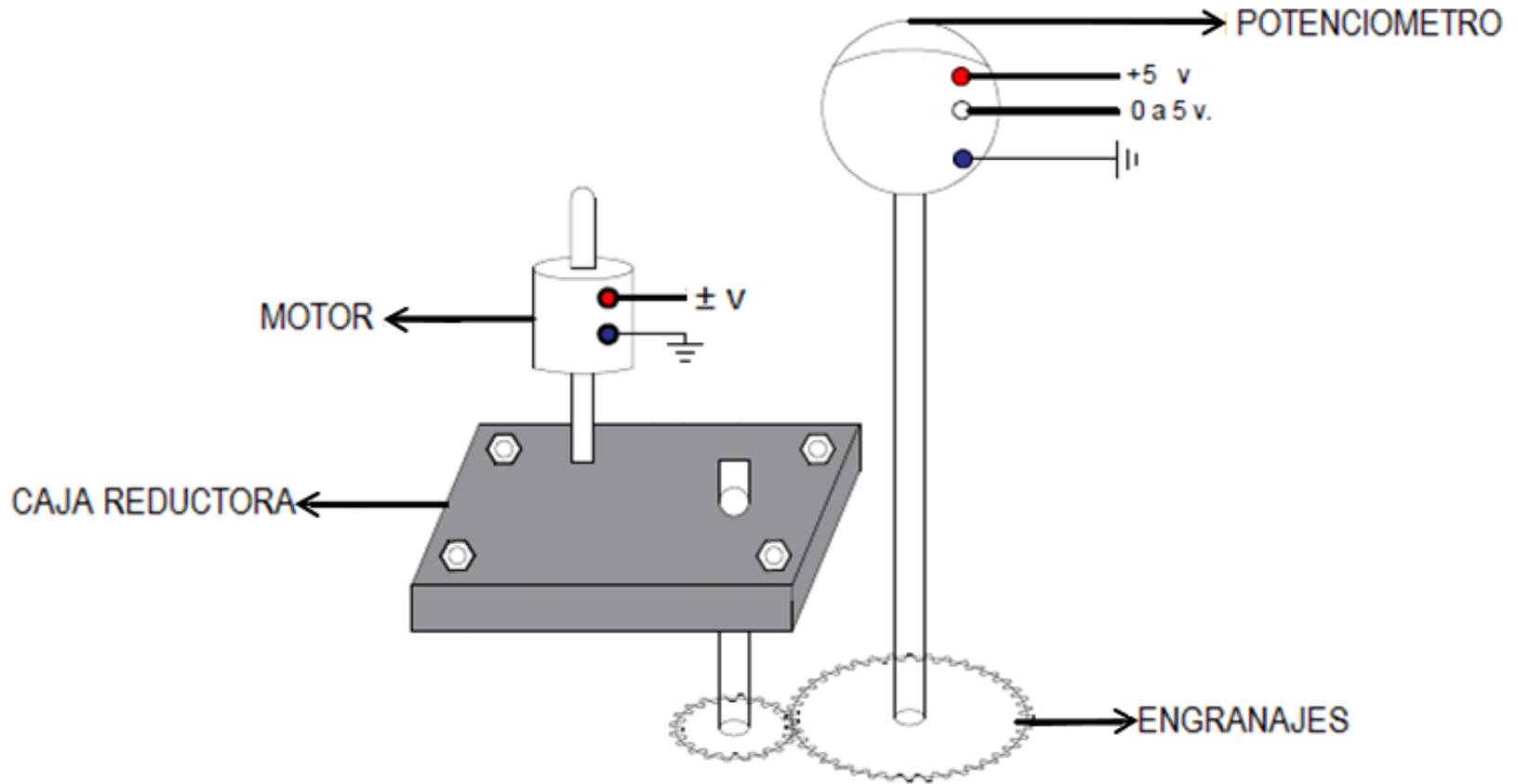


# Estructura original del robot manipulador MENTOR.

- Sistema reductor: se encarga de adecuar el torque y la velocidad del actuador a los valores requeridos. Los reductores usados en robótica se les exige una condición de funcionamiento muy restrictivo debido a la precisión y velocidad de posicionamiento.
- Sistema de transmisión: se encarga de transmitir el movimiento del conjunto accionamiento-reductor a otro elemento.



# Estructura original del robot manipulador MENTOR.

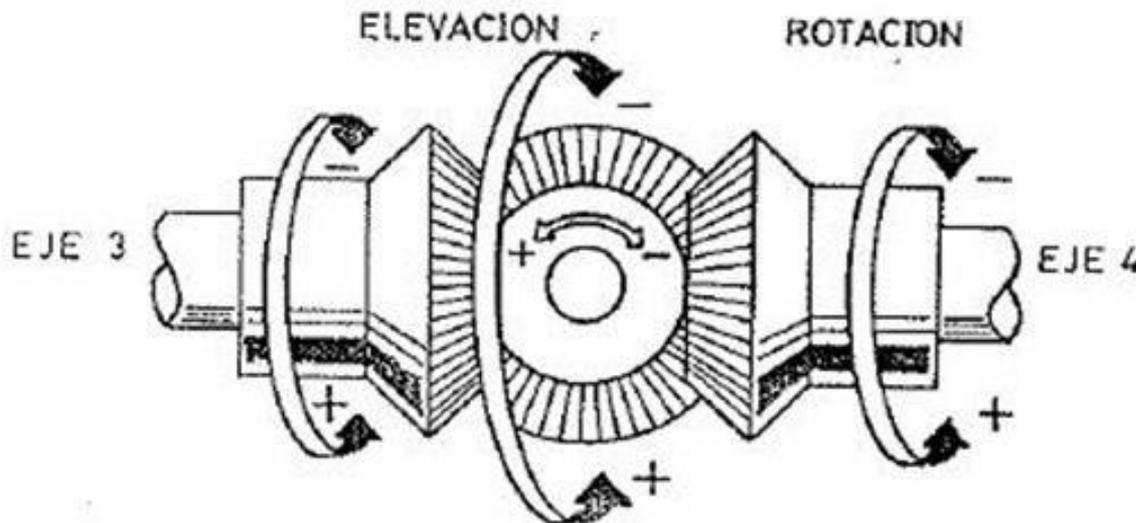




# Estructura original del robot manipulador MENTOR.

En la muñeca del robot manipulador MENTOR, se tiene un sistema mecánico diferencial, el cual, dependiendo de qué servomotor del sistema se acciona, se puede obtener:

- Elevación de la pinza de sujeción.
- Rotación de la pinza de sujeción.
- Elevación y rotación de la pinza de sujeción.





## Estructura original del robot manipulador MENTOR.

Para es sistema se sensado, se dispone de un potenciómetro montado sobre el eje de cada uno de las articulaciones como realimentación de la posición del mismo. Los potenciómetros actúan como divisores de tensión cuya tensión variable depende de la posición física donde se encuentren cada uno de los eslabones.



# Estructura actualizada del robot manipulador MENTOR.

Las modificaciones que sufrió la disposición original fueron:

- La interfaz compatible con PC tipo IBM y el simulador, se implementaron en una placa computadora de bajo costo denominada Raspberry PI 3 modelo B.
- La comunicación entre la PC y el robot manipulador originalmente se realizaba mediante un bus propietario de 20 hilos, se reemplazó por dos protocolos de comunicación:
  - Protocolo Bluetooth.
  - Protocolo I2C.

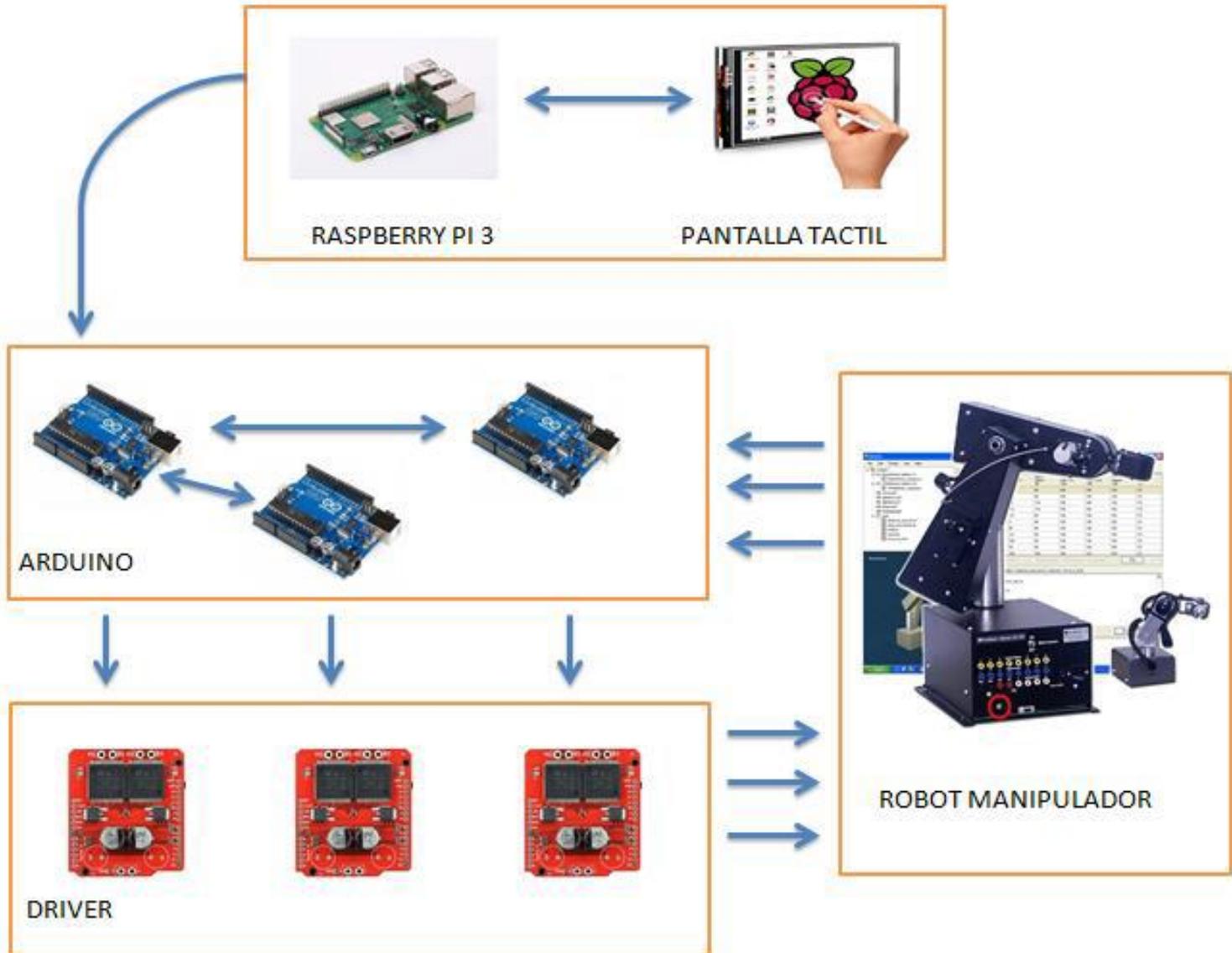


# Estructura actualizada del robot manipulador MENTOR.

- El control de los servomotores de CC realizado por la placa Principal, fue implementado por medio de la plataforma de desarrollo ARDUINO UNO junto con un SHIELD de potencia (MONSTER MOTOR SHIELD).



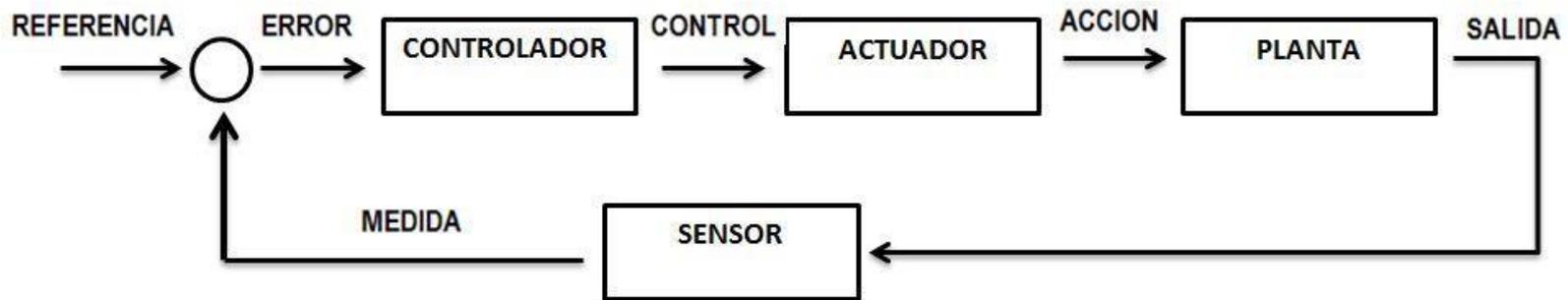
# Estructura actualizada del robot manipulador MENTOR.





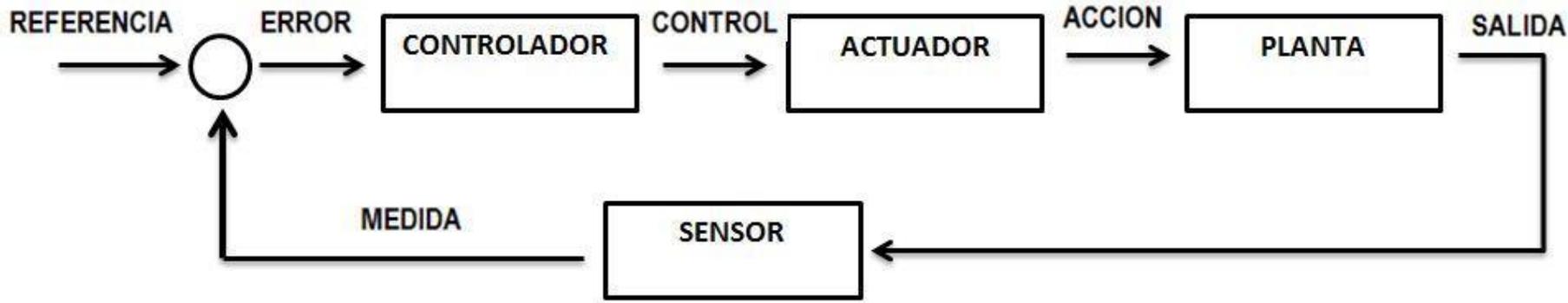
# Estructura actualizada del robot manipulador MENTOR.

Se implementó un sistema de control de lazo cerrado. Básicamente se compara el valor de la variable de salida de la planta con un valor de entrada de referencia (valor deseado), el resultado de esto determina el error, cuyo valor ingresa al controlador, siendo este, el elemento que determine el comportamiento del sistema, generando una acción de control de modo que el actuador intervenga sobre la planta con la premisa de minimizar el error en estado estable

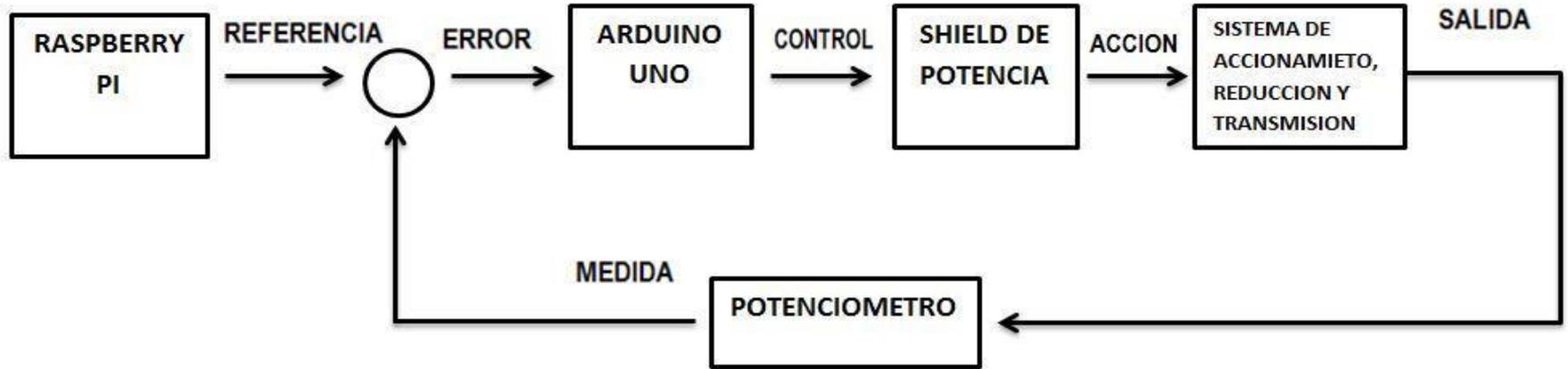




# Estructura actualizada del robot manipulador MENTOR.



Para el sistema implementado en el robot manipulador MENTOR se tiene que





# Estructura actualizada del robot manipulador MENTOR.

El controlador diseñado es un controlador PI.

Sabiendo que este manipulador no es un dispositivo de precisión, tiene juegos en las partes mecánicas, lo que representa un factor de ruido para el sistema de control.

Constantes de cada controlador PI toman valores particulares para cada eje.

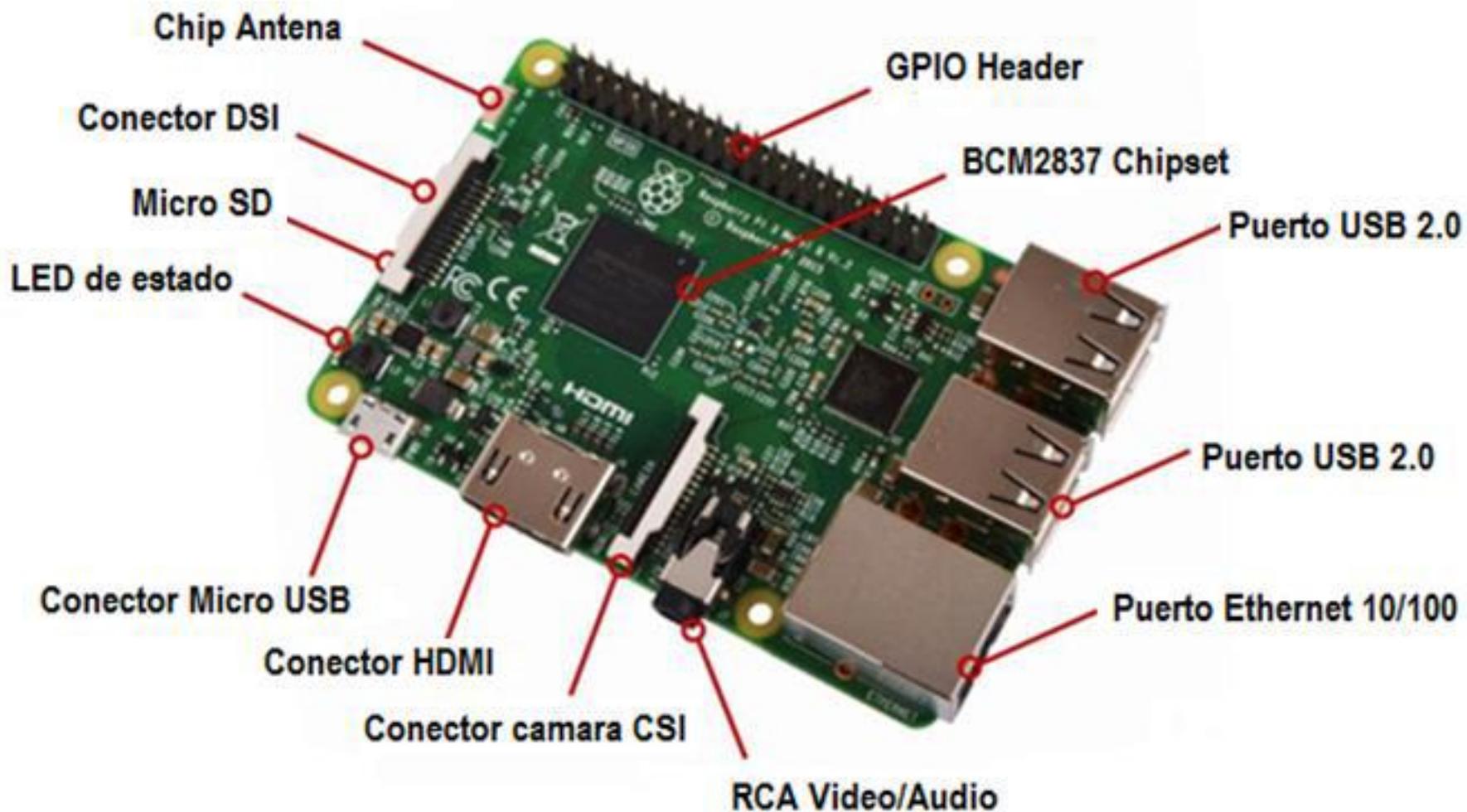


# Estructura actualizada del robot manipulador MENTOR.

Raspberry PI es una computadora de una sola placa de código abierto, basado en Linux, se puede decir que es un ordenador de tamaño reducido, donde en una misma placa se tiene lo necesario para su programación y comunicación con el exterior. Está formado por una placa que soporta los mismos componentes que un ordenador y es capaz de comportarse como tal.



# Estructura actualizada del robot manipulador MENTOR.





# Estructura actualizada del robot manipulador MENTOR.

Para utilizar la Raspberry PI 3 modelo B es necesario un periférico que permita interactuar con el mundo externo, como se describió anteriormente la Raspberry PI modelo B consta de una puerto HDMI, Para esto se usó la pantalla 10.1inch HDMI LCD, que es una pantalla compatible con la Raspberry PI.



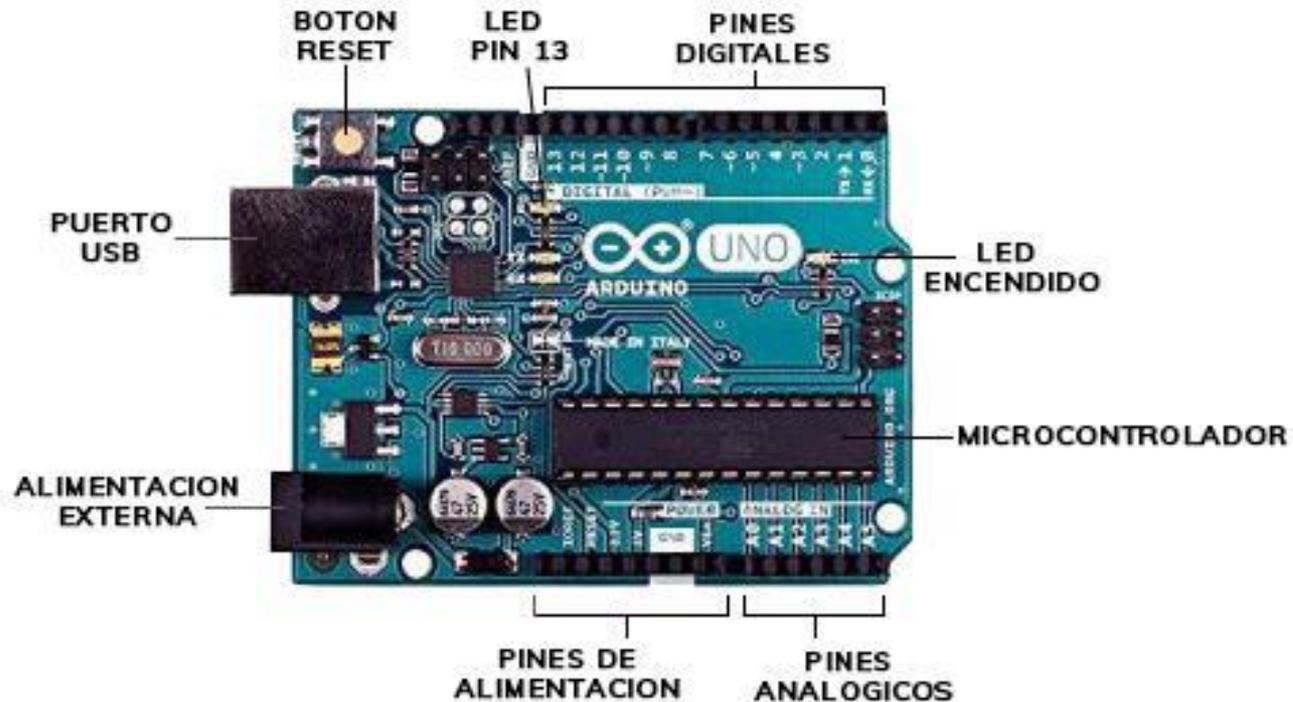
# Estructura actualizada del robot manipulador MENTOR.





# Estructura actualizada del robot manipulador MENTOR.

El controlador tipo PI se implementó sobre la plataforma de desarrollo de código abierto ARDUINO, basado en un microcontrolador ATmega328P





# Estructura actualizada del robot manipulador MENTOR.

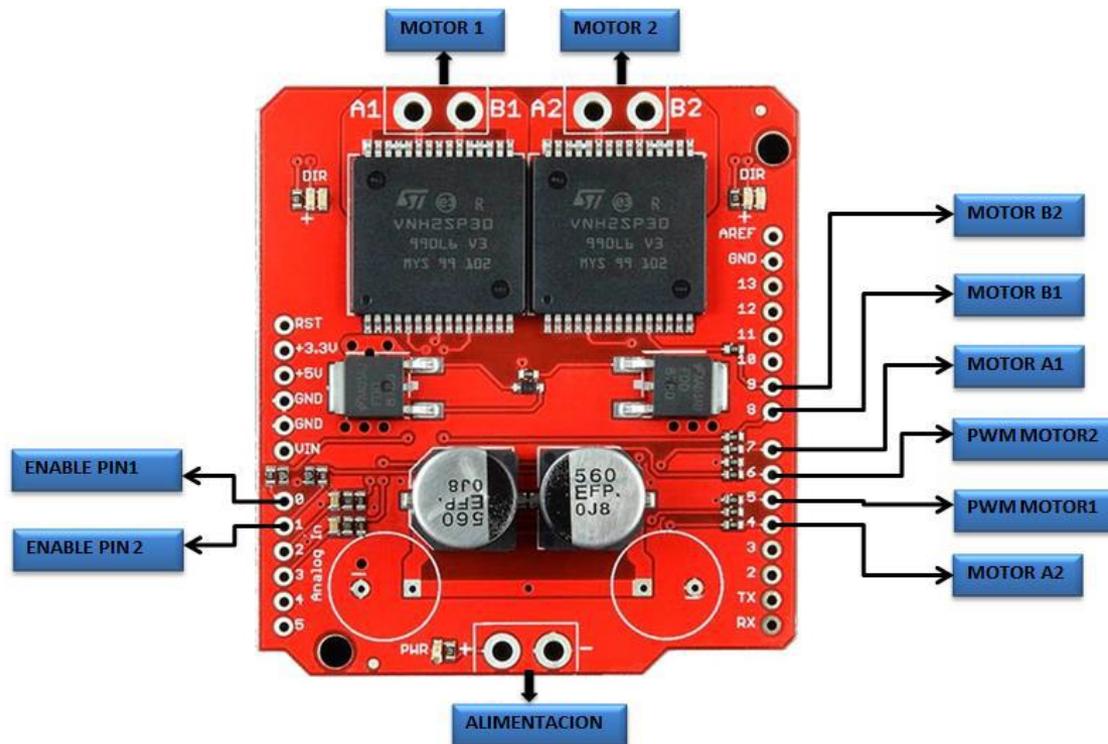
La distribución de las tareas y control de los servomotores CC es:

- ARDUINO Maestro: Designado para el control de los ejes de la Cintura y del Hombro. Intercomunicación con la interfaz de usuario y los esclavos.
- ARDUINO Esclavo 1: Designado para el control de los ejes del Codo y apertura-cierre de la Pinza. Comunicación con el maestro.
- ARDUINO Esclavo 2: Designado para el control del Sistema Diferencial de la Muñeca. Comunicación con el maestro.



# Estructura actualizada del robot manipulador MENTOR.

El SHIELD de Potencia que se utilizó es el Monster Motor SHIELD VNH2SP30 . El código de programación para el manejo de los motores es sencillo, es de bajo costo y puede entregar una corriente pico de salida de hasta 30 [A] con una alimentación de hasta 16 [V].





# Interfaz Gráfica

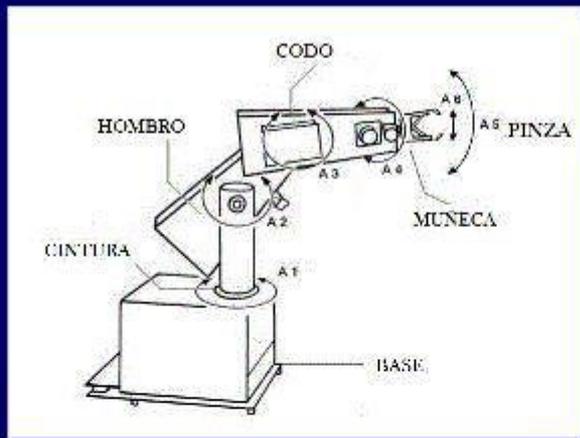
La interfaz gráfica de usuario (GUI), fue implementada en la Raspberry PI, haciendo uso del lenguaje de programación Python. Este soporta una librería orientada a diseñar interfaz gráfica llamada Tkinter, que es considerada como un estándar para Python.



# Interfaz Gráfica

SELECCIONE ESLABON

- CINTURA
- HOMBRO
- CODO
- PINZA
- SISTEMA DIFERENCIAL



ARRIBA

- DERECHA
- PARAR
- IZQUIERDA
- RESET

ABAJO

- GUARDAR
- REPETIR

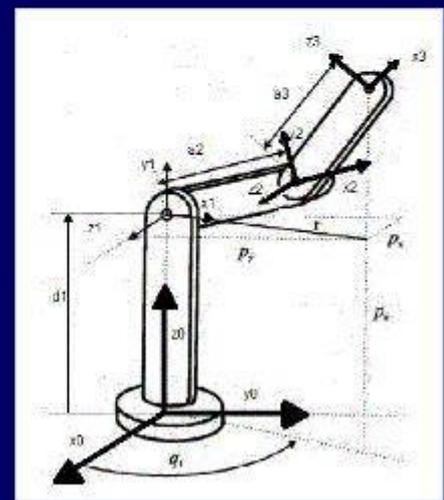
CINEMATICA INVERSA

Ingresar Valor de Eje X

Ingresar Valor de Eje Y

Ingresar Valor de Eje Z

Calcular Angulos



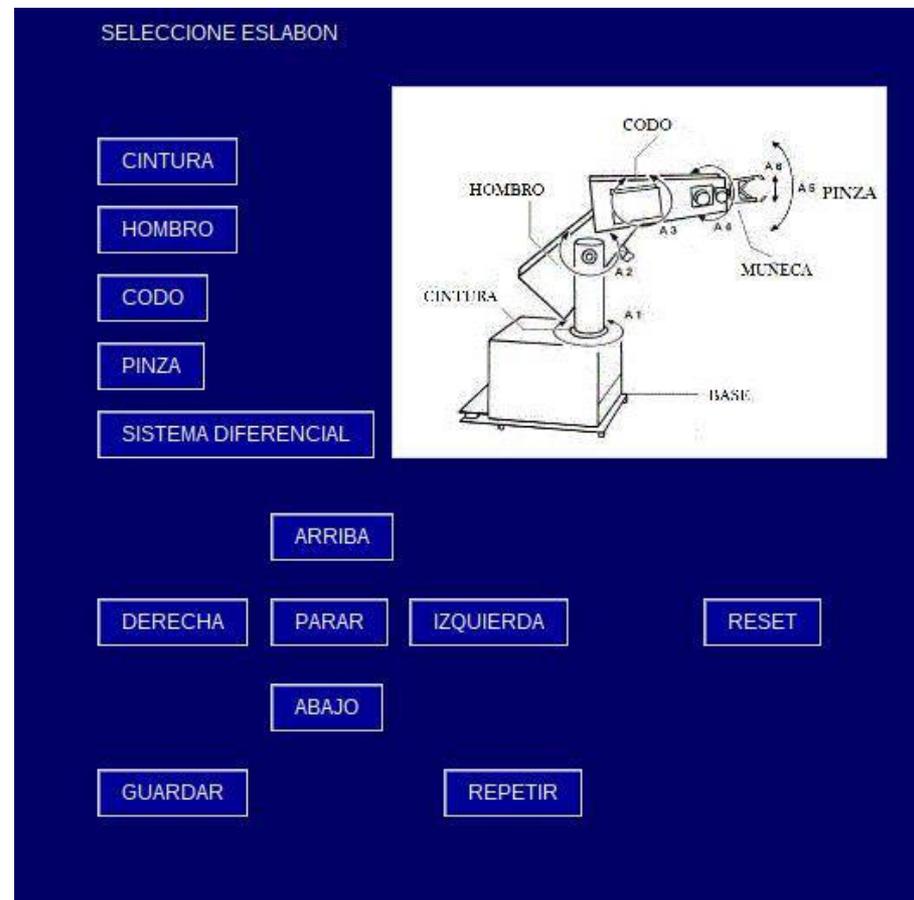
- Angulo Q1
- Angulo Q2
- Angulo Q3



La GUI se divide en dos sectores:

## Selección por eje:

Mediante este método se mueven los eslabones de forma independiente y online, por otro lado, también ofrece la opción de guardar puntos en el espacio, para realizar una secuencia de forma cíclica.





## **Modelado matemático:**

Para el posicionamiento espacial del robot manipulador MENTOR es necesario obtener su modelo matemático. El modelado de un sistema físico permite predecir comportamientos del mismo antes ciertas condiciones de entrada específicas. La cinemática se interesa en general, en la descripción analítica del movimiento espacial, y en particular, en las relaciones entre la posición y la orientación del robot con los valores que toman sus coordenadas articulares. Existen dos formas de resolver el problema la cinemática de un robot:

- Cinemática Directa.
- Cinemática Inversa.



# Interfaz Gráfica

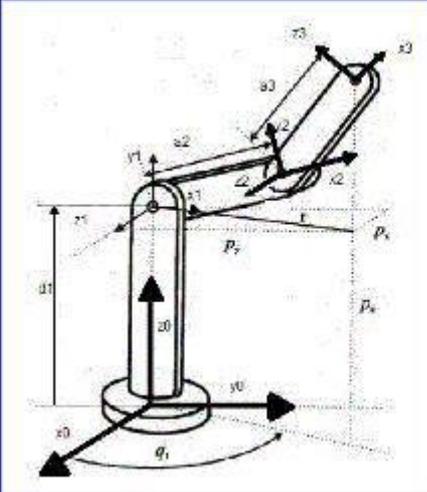
El modelado del robot manipulador se realizó mediante la implementación de cinemática inversa, que consiste resumidamente en, ingresar un punto en el espacio y este se encarga de calcular las coordenadas articulares para posicionar al efector final en el punto ingresado.

CINEMATICA INVERSA

Ingresar Valor de Eje X

Ingresar Valor de Eje Y

Ingresar Valor de Eje Z



Angulo Q1

Angulo Q2

Angulo Q3



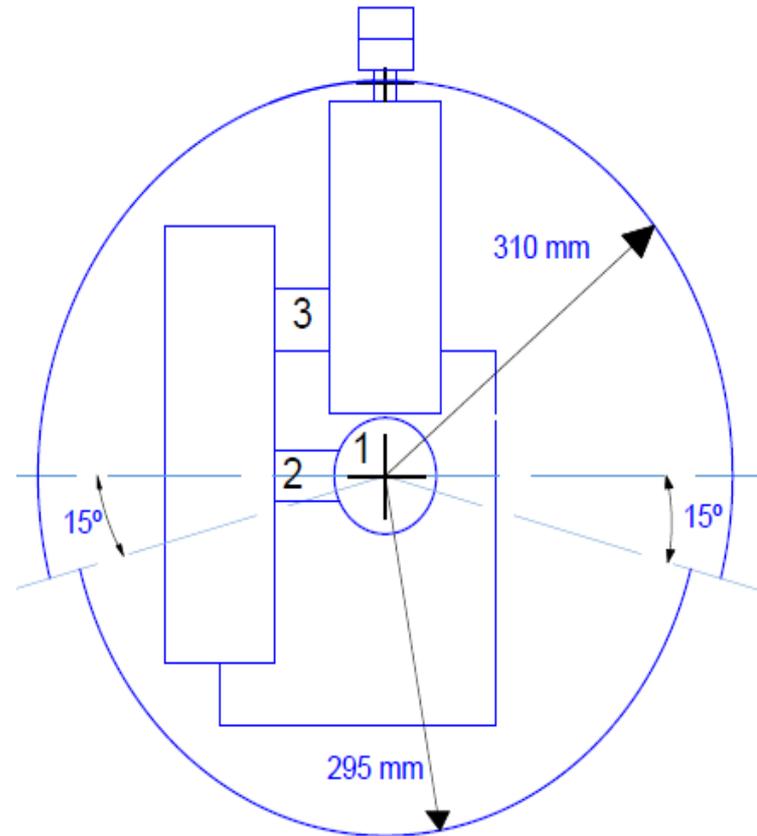
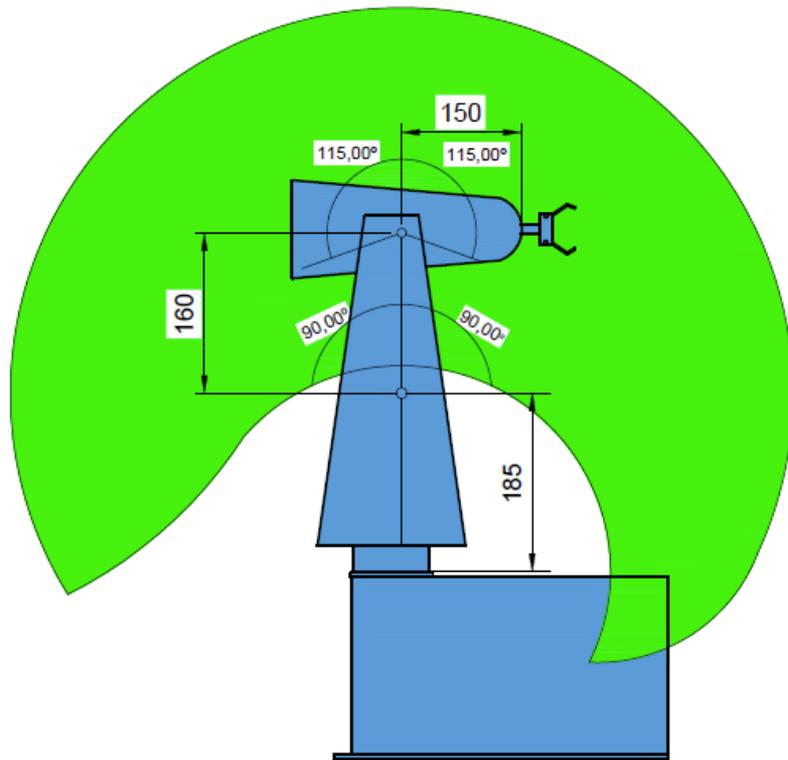
# Interfaz Gráfica

A continuación, se define el área de trabajo del robot manipulador MENTOR 500-USB.

- Eje 0 (Cintura): Movimiento angular  $210 [^\circ]$ . Longitud desde la parte superior de la base al centro del eje  $185 [mm]$ .
- Eje 1 (Hombro): movimiento angular  $180 [^\circ]$ . Longitud del brazo entre los centros del eje  $160 [mm]$ .
- Eje 2 (Codo): movimiento angular  $230 [^\circ]$ . Longitud del brazo entre centros del eje  $150 [mm]$ .
- Eje 3 (eje izquierdo de la muñeca): movimiento angular  $320 [^\circ]$ .
- Eje 4 (eje derecho de la muñeca): movimiento angular  $320 [^\circ]$ .



# Interfaz Gráfica



1\_CINTURA  
2\_HOMBRO  
3\_CODO



# Resultados Experimentales.

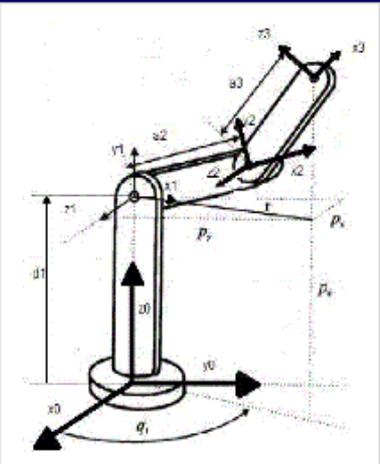
**CINEMATICA INVERSA**

Ingresar Valor de Eje X

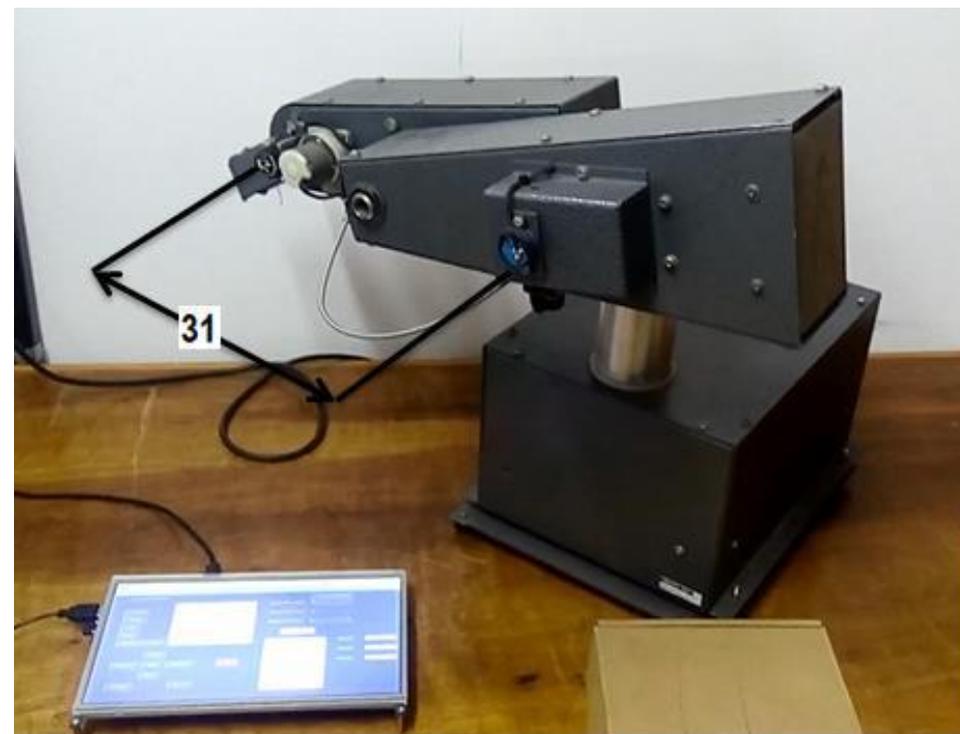
Ingresar Valor de Eje Y

Ingresar Valor de Eje Z

**Calcular Angulos**



Angulo Q1	<input type="text" value="90"/>
Angulo Q2	<input type="text" value="0"/>
Angulo Q3	<input type="text" value="0"/>





# Resultados Experimentales.

CINEMATICA INVERSA

Ingresar Valor de Eje X

0

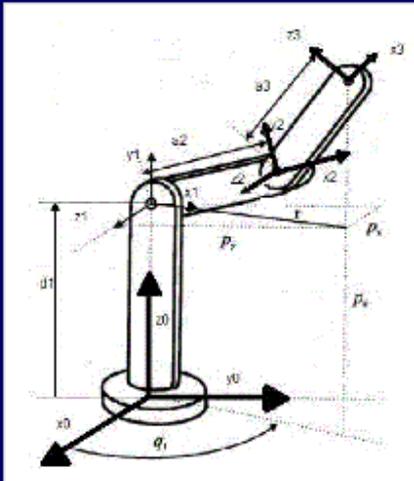
Ingresar Valor de Eje Y

0

Ingresar Valor de Eje Z

31

Calcular Angulos



Angulo Q1

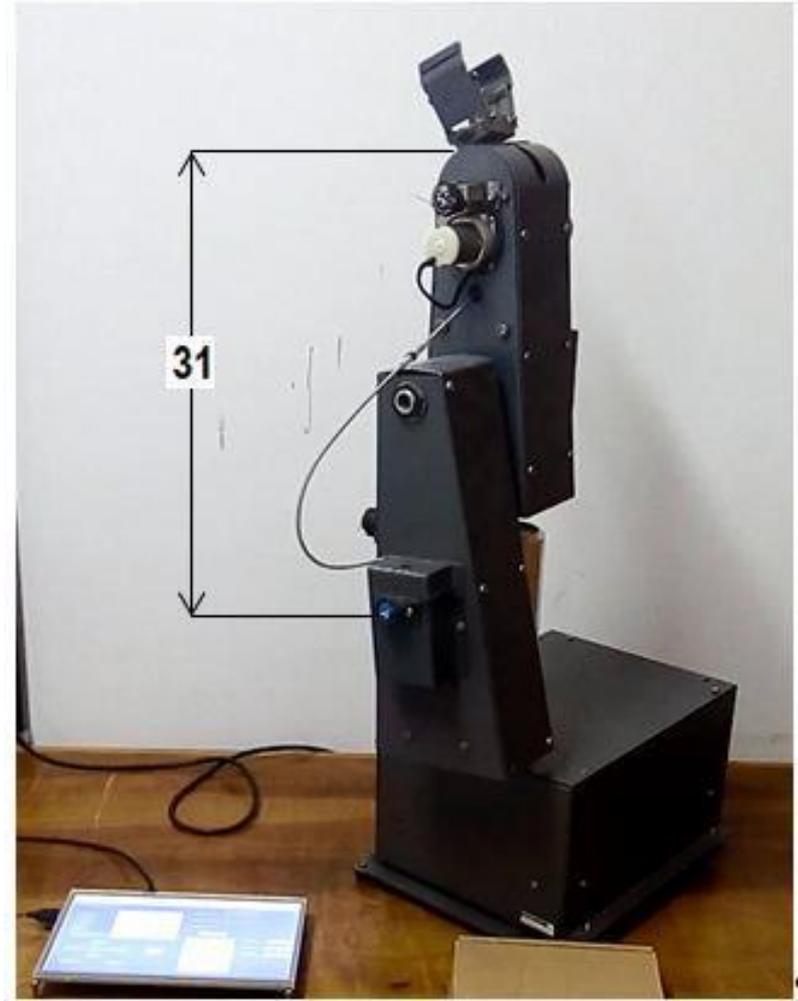
90

Angulo Q2

90

Angulo Q3

0





# Resultados Experimentales.

CINEMATICA INVERSA

Ingresar Valor de Eje X

0

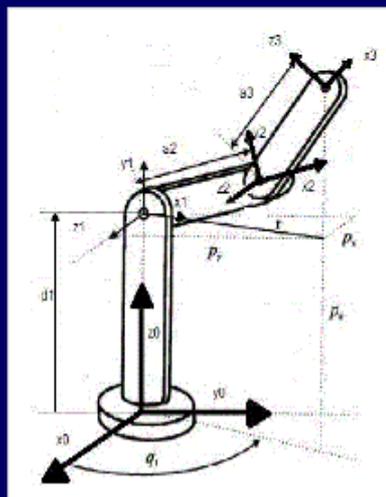
Ingresar Valor de Eje Y

0

Ingresar Valor de Eje Z

35

Calcular Angulos



Angulo Q1

Error

Angulo Q2

Error

Angulo Q3

Error

CINEMATICA INVERSA

Ingresar Valor de Eje X

0

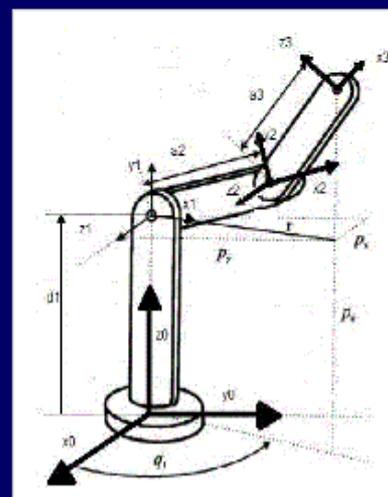
Ingresar Valor de Eje Y

43

Ingresar Valor de Eje Z

0

Calcular Angulos



Angulo Q1

Error

Angulo Q2

Error

Angulo Q3

Error



# Conclusiones

- En el presente proyecto final de carrera se estudió, diseñó y construyó una actualización tecnológica para Sistema Robot Didáctico “MENTOR” de la Escuela Técnica N° 4 “Fray Luís Beltrán”.
- Se diseñó una interfaz de usuario didáctica sobre una plataforma de desarrollo, como la microcomputadora Raspberry PI modelo B, que ofrece un gran potencial informático a bajo costo y perspectiva de vigencia tecnológica. La misma resultó una buena herramienta de aprendizaje, abarcando conceptos desde la carga del sistema operativo hasta la programación.



# Conclusiones

- Se implementó un nuevo controlador para el control de los motores de CC actuadores de las articulaciones del robot manipulador MENTOR con la plataforma de desarrollo ARDUINO + SHIELD.
- Se dotó al sistema de una comunicación inalámbrica entre la GUI y el robot manipulador MENTOR, mediante protocolo de comunicación Bluetooth. La comunicación Bluetooth, fue uno de los puntos que demandó mayor tiempo debido a que es un procedimiento que para su configuración engloba conceptos como: instalación de driver, descargar e instalación de programas en sobre la Raspberry Pi y llevar a cabo la transmisión de datos entre dos lenguajes de programación diferentes.



# Conclusiones

- Se desarrolló una interfaz de usuario en lenguaje de programación Python brindando así a los alumnos de la secundaria una nueva herramienta de programación con gran potencial.



## Trabajo a Futuro

- Este proyecto puede continuar con la puesta a funcionamiento de las entradas y salidas analógicas.
- Implementar la medición de la corriente del servomotor disponible a través del SHIELD Monster Motor.



# Agradecimientos

- A mi Familia por el apoyo incondicional y porque son el pilar de mi vida.
- A mi Director Cristian Falco por el apoyo, tiempo dedicado y por todos los conocimientos transmitidos.
- A mis compañeros de cursada por el compañerismo y por los momentos compartidos.
- A todas las personas que me apoyaron durante todos estos años de esfuerzo.