

# INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY CAMPUS QUERÉTARO



## LABORATORIO DE MECATRÓNICA ENTREGA FINAL

*Preparado por:*  
**PUG-o-TRONICS**

Integrantes del equipo:

Arturo Serrano Pérez	A01700986
Emiliano del Valle Suarez	A01421125
Luis Daniel Perez Michel	A01206071
Heber Francisco Rodriguez Angeles	A01272094

**PROFESOR: Dr. Alfonso Gómez Espinosa**  
**Fecha de entrega: 5 de mayo del 2020**

Semestre  
Enero-Junio de 2020

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>4</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>5</b>
Módulo Bluetooth HC-05	5
Servomotor	5
Potenciómetro	7
Arduino	7
<b>SISTEMA MECÁNICO</b>	<b>9</b>
Materiales y componentes	9
Procedimiento de diseño y ensamble del modelo	10
Proceso de fabricación	11
Procedimiento de diseño 2D y fabricación de piezas	11
Ensamble de los prototipos	13
<b>SISTEMA ELÉCTRICO, ELECTRÓNICA Y PROGRAMACIÓN</b>	<b>15</b>
Materiales y componentes eléctricos	15
Diagramas Eléctricos	16
Descripción de los Programas	19
Ajuste del espacio de trabajo	19
Configuración de Comandos AT	19
Programa Maestro	20
Programa Esclavo	20
Fotografías del Sistema Completo Terminado	21
Fotografías Del Maestro	21
Fotografías Del Esclavo	23
<b>PRUEBAS FAT</b>	<b>25</b>
Alcance	25
Carga	26
Tiempo	27
Precisión	27
Secuencia e Iteraciones	28
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>29</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>32</b>
Anexo 1-A	32
Anexo 1-B	46
Anexo 1-C	47
Anexo 1-D	47
Anexo 1-E	47
Anexo 1-F	48
Anexo 1-G	50

# INTRODUCCIÓN

Hoy en día los robots son utilizados y muy demandados no solo en el ámbito industrial sino en diferentes áreas como medicina, educación, entretenimiento e incluso en deportes esto con la finalidad de aprovechar la versatilidad de áreas de empeño de los mismos para facilitar las tareas en las cuales los seres humanos están un poco restringidos para realizarlas, o en muchas ocasiones reemplazando completamente el trabajo de mano de obra.

En este reporte se informa el proceso que se realizó para la construcción de dos brazos mecánicos/robóticos aplicando todos los conocimientos de mecánica, electrónica, y programación de manera conjunta obtenidos a lo largo de la carrera los brazos robóticos consisten en un maestro que estará controlando de manera manual o automática los movimientos del otro denominado esclavo, realizando este control mediante comunicación Bluetooth.

La información redactada a continuación se presenta dividida en secciones para que el lector tenga un mejor entendimiento de las actividades realizadas a lo largo de la construcción de los prototipos, informando los procesos de mecánica, manufactura, electrónica y programación y que así en un futuro sea fácil para el lector replicar el trabajo obteniendo los mismos resultados.

# MARCO TEÓRICO

## Módulo Bluetooth HC-05

Se denomina Bluetooth al protocolo de comunicaciones diseñado especialmente para dispositivos de bajo consumo, que requieren corto alcance de emisión y basados en transceptores de bajo costo. Los dispositivos que incorporan este protocolo pueden comunicarse entre sí cuando se encuentran dentro de su alcance.

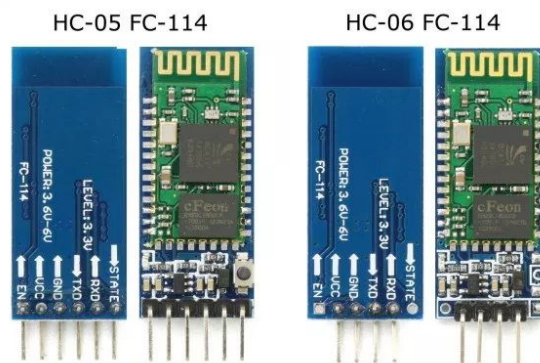


Imagen 1.1 Módulos Bluetooth HC-05 y FC-114.

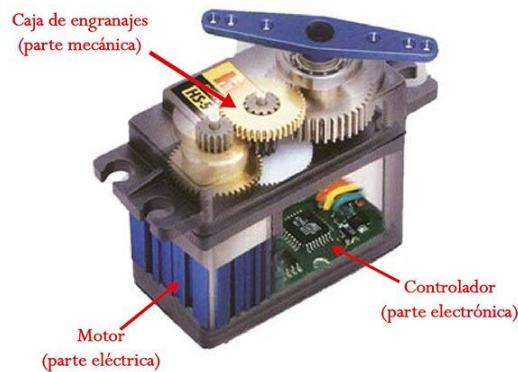
Las comunicaciones se realizan por radiofrecuencia de forma que los dispositivos no tienen que estar alineados y pueden incluso estar en habitaciones separadas si la potencia de transmisión es suficiente.

El módulo de bluetooth HC-05 es el que ofrece una mejor relación de precio y características, ya que es un módulo Maestro-Esclavo, quiere decir que además de recibir conexiones desde una PC o tablet, también es capaz de generar conexiones hacia otros dispositivos bluetooth. Esto nos permite por ejemplo, conectar dos módulos de bluetooth y formar una conexión punto a punto para transmitir datos entre dos microcontroladores o dispositivos.

El HC-05 también tiene un modo de comandos AT que debe activarse mediante un estado alto en el PIN34 mientras se enciende (o se resetea) el módulo.

## Servomotor

Un servomotor es un tipo especial de motor que permite controlar la posición del eje en un momento dado. Está diseñado para moverse determinada cantidad de grados y luego mantenerse fijo en una posición.



**Imagen 1.2** Partes del servomotor.

El motor en el interior de un servomotor es un motor DC común y corriente. El eje del motor se acopla a una caja de engranajes similar a una transmisión. Esto se hace para potenciar el torque del motor y permitir mantener una posición fija cuando se requiera. De forma similar a un automóvil, a menor mayor velocidad, menor torque. El circuito electrónico es el encargado de manejar el movimiento y la posición del motor.

La presencia del sistema de engranajes como el que se muestra en la figura hace que cuando movemos el eje motor se sienta una inercia muy superior a la de un motor común y corriente.

Los servomotores poseen tres cables, a diferencia de los motores comunes que sólo tienen dos. Estos tres cables casi siempre tienen los mismos colores, por lo que son fácilmente reconocibles.

Voltaje positivo	Tierra (ground)	Señal de control
		

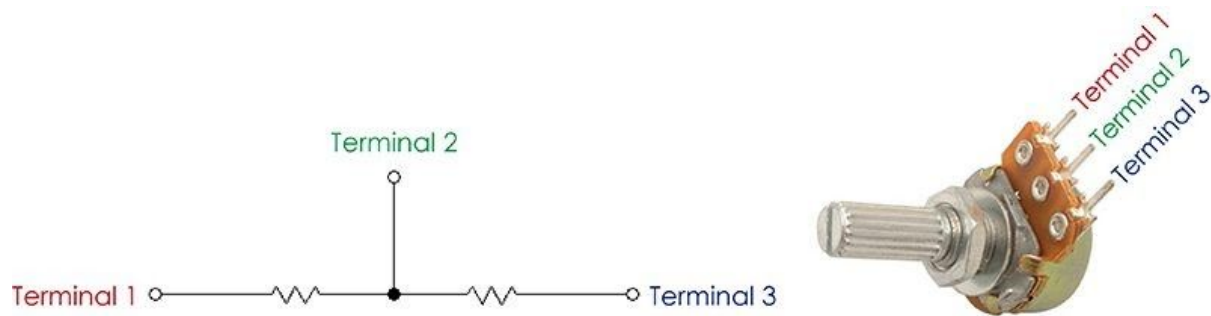
**Imagen 1.3** Terminales de servomotor.

Los colores dependen del fabricante, pero difícilmente nos equivocamos a la hora de reconocer los terminales del un servo. La necesidad de una señal de control para el funcionamiento de este tipo de motores hace que sea imposible utilizarlos sin un circuito de control adecuado. Esto se debe a que para que el circuito de control interno funcione, es necesaria una señal de control modulada.

## Potenciómetro

Un potenciómetro es un dispositivo conformado por dos resistencias en serie, las cuales poseen valores que pueden ser modificados por el usuario.

A nivel interno, la estructura de un potenciómetro es la siguiente:



**Imagen 1.4** Terminales de potenciometro.

Un potenciómetro son 2 resistencias conectadas en serie. A partir del nodo que se forma entre estas dos resistencias tenemos un terminal, el cual normalmente será la pata del centro en un potenciómetro de 3 patas.

## Arduino

Arduino es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.



**Imagen 1.5** Arduino Uno

Está compuesto por una placa AVR de la familia de microcontroladores RISC de la compañía de semiconductores ATMEL, así mismo la elección de los procesadores usados en la placa está guiada por la sencillez y precio bajo, permitiendo desarrollar diferentes tipos de sistemas. El IDE con el que Arduino trabaja es fácil de aprender y utilizar, así como el lenguaje de programación es sencillo, ya que el público clave de este sistema es aquellos con conocimientos básicos en el ámbito electrónico para el desarrollo de objetos o entornos interactivos. La forma en la que el sistema trabaja es mediante la recepción de datos a través de sus pines, los cuales pueden ser conectados una gran cantidad de sensores, y puede devolver el manejo de luces, motores u otros actuadores. Los entornos desarrollados en el sistema pueden ejecutarse sin la necesidad de estar conectado a una computadora, obteniendo la corriente de voltaje por tanto corriente alterna como directa.

Se puede utilizar para desarrollar elementos autónomos, conectándose a dispositivos e interactuar tanto con el hardware como con el software. Nos sirve tanto para controlar un elemento, pongamos por ejemplo un motor que nos suba o baje una persiana basada en la luz existente en una habitación, gracias a un sensor de luz conectado al Arduino, o bien para leer la información de una fuente, como puede ser un teclado, y convertir la información en una acción como puede ser encender una luz y pasar por un display lo tecleado.

# SISTEMA MECÁNICO

## Materiales y componentes

Para llevar a cabo la construcción del sistema mecánico fue necesario contar con los materiales:

Materiales utilizados por el brazo maestro	
Potenciómetros 10KΩ	4
Taquetes amarillos de 3/16	3
Balero de ½ pulgada	3
Ángulo de 90° de acero inoxidable	1
Tornillería y tuercas	11 de c/u

**Tabla 2.1** Materiales utilizados por le brazo maestro.

Materiales utilizados por el brazo esclavo	
Servomotores MG995	3
Servomotor SG90	1
Balero de ⅜ pulgada	3
Ángulo de 90° de acero inoxidable	1
Tornillería y tuercas	11 de c/u
Base giratoria de acrílico	1

**Tabla 2.2** Materiales utilizados por le brazo esclavo.

Para el diseño de ambos brazos se hizo uso del software *Autodesk Fusion 360* ya que daba a los integrantes del equipo la facilidad de guardar los cambios hechos al diseño además de nuevas implementaciones que se pudieran hacer en la nube y de esa manera todos los integrantes podrian trabajar de manera conjunta. Además dentro de este software es posible descargar modelos 3D de los componentes electrónicos que se iban a utilizar en el proceso de manufactura de los brazos robóticos como el Arduino, potenciómetros y servomotores y así tener un diseño



más exacto al que se iba a construir. Las imágenes del modelo 3D se encuentran en anexos.

## Procedimiento de diseño y ensamble del modelo

El diseño de los brazos se dividió en tres partes:

- **Parte 1:** Tomando en cuenta las propuestas que presentó el profesor de diseños anteriores además de las medidas tomadas de los componentes se realizó el diseño de la base para los brazos, ambos tuvieron un diseño diferente ya que para el maestro se tienen que acoplar los potenciómetros de esta manera se dejó un espacio en la base para que estos entraran sin problema. Para el esclavo se tuvieron que hacer modificaciones ya que la base tenía que adaptarse a los servomotores y a la base giratoria de acrílico además de crear un patrón rectangular en las orillas para facilitar su armado.

Por otro lado se diseñaron las bases giratorias de ambos brazos dejando de igual manera espacios para que encajaran en el maestro y esclavo los potenciómetros y los servos respectivamente además de los links que iban a ser conectados a esta. Se hizo el ensamble 3D en el software *Fusion 360* para así verificar que las medidas fueran las correctas.

- **Parte 2:** Se realizó el diseño de los links del bracito de tal forma que tuvieran el alcance que se requería de 25cm (con el gripper) con los brazos totalmente estirados y el correcto espacio de trabajo dejando los espacios correspondientes para los valeros y las tuercas para poder hacer el ensamble completo con las medidas tomadas de las piezas reales.
- **Parte 3:** Finalmente se hizo el diseño de gripper o garra para ambos robots que iba a ser la misma cambiando el tamaño del acoplamiento para cada uno de los robots ya que uno iba a ser el maestro con el potenciómetro y el otro el esclavo que iba a ser movido por un servomotor. Se hizo el diseño de el gripper de tal forma que pudiera sostener y cargar un elemento pequeño.

Se realizó el modelado 3D y se hizo el análisis dentro del software de diseño *Fusion 360* para que cumpliera con el alcance requerido ya una vez acoplado a los links

Las imágenes de los diseños 3D además de los dibujos 2D para cada una de las partes se encuentran en la sección anexos .

## Proceso de fabricación

### Procedimiento de diseño 2D y fabricación de piezas

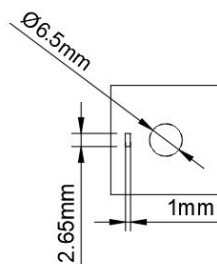
Una vez completada la etapa 3 y con todas las piezas en 3D listas, para las cuáles se consideró un grosor de 3mm en todo momento, se prosiguió a la etapa de diseño en 2D y fabricación de cada elemento. Con el ensamble final fue posible visualizar de manera rápida la cantidad de piezas necesarias para cada tipo de brazo robótico. En la sección de materiales y componentes se enlistan dichos documentos.

Para la elaboración de los diseños en 2D se creó un nuevo ensamble en Fusion360, se seleccionó un plano para trabajar y sobre este se colocaron todas y cada una de las piezas. Cabe destacar que se agregaron articulaciones en cuanto pieza fue posible con el propósito de minimizar el material desperdiciado y maximizar las rutas de corte realizadas por la máquina láser, con el último parámetro es posible efficientizar el tiempo dedicado al corte de piezas.

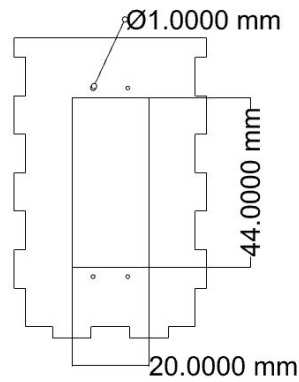
Colocadas las piezas en un solo plano se crea una vista proyectada. Para este procedimiento se oprime la letra *p* del teclado, se abrirá un menú y en este paso se seleccionan todas las piezas, automáticamente se crea un nuevo *sketch* que se guardará como dxf.

Después, se usa el software de *Rhino* para abrir el dxf recién creado. Se seleccionan todas las piezas, se descomponen, se borran las líneas dobles, se crean las capas deseadas y se guarda el archivo como *Modelo 3D de Rhino*. En este caso se utilizaron 3 capas llamadas: cortes internos, cortes externos y material. Dichas capas asignan el orden en que se realizarán cada uno de los cortes, se desea comenzar con los cortes internos que son los que mayor precisión requieren; comenzar con cortes mayores provoca que las piezas se muevan y existan variaciones en cortes más pequeños. El anexo 1-A incluye todas las piezas utilizadas en este diseño, así como el ensamble en 3D.

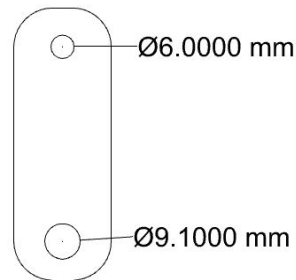
Fue necesario realizar pruebas de corte para asegurar las correctas dimensiones de los cortes internos donde se colocan baleros, pijas, potenciómetros y tornillos para ajustar servomotores. Las siguientes imágenes muestran las correctas dimensiones para las pruebas de corte.



**Imagen 2.1** Empotramiento de Potenciómetros en bases laterales.



**Imagen 2.2** Empotramiento de servomotores.



**Imagen 2.3** Empotramiento de baleros pequeños.



**Imagen 2.4** Empotramiento de baleros grandes y potenciómetro.

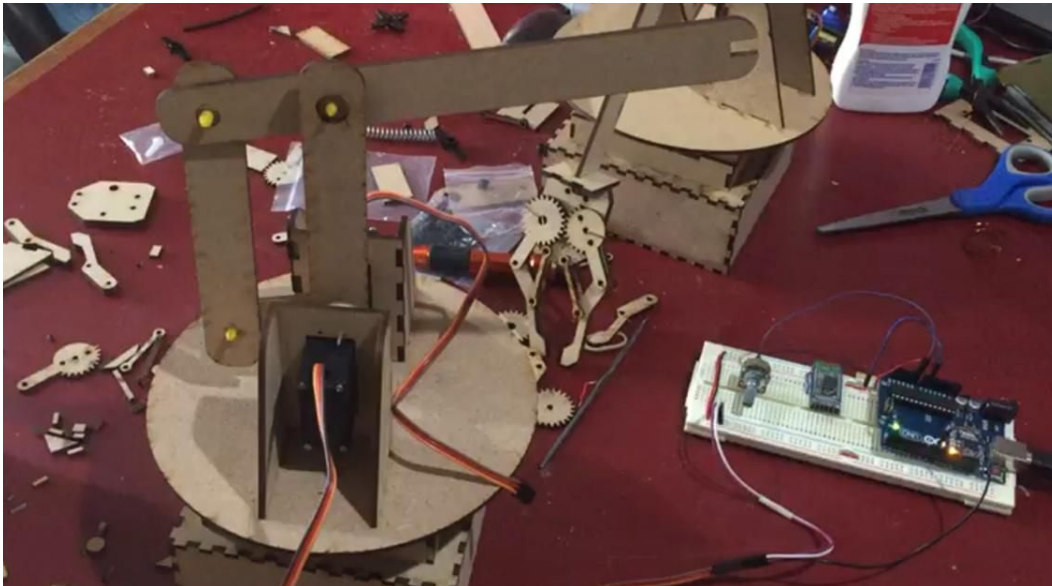
Al realizar estas pruebas de corte de ambos brazos y cada una de las partes se lograron identificar una serie de problemas y fallas en las dimensiones que no era posible visualizar mientras se hacia el modelaje 3D a continuación se enlistan estas consideraciones:

- Tamaño de los agujeros en los links para la entrada de los baleros
- Tamaño de entrada para los servomotores y los potenciómetros a presión
- Falla mecánica en el link del gripper del esclavo en el momento del realizar el movimiento dentro del área de trabajo

Con el archivo dxf completo se realizaron los primeros cortes en la cortadora láser ubicada en el DICI. Dado que en las primeras pruebas algunas piezas se pegan mal, se dañaron o se hicieron mínimas modificaciones fue necesario realizar un segundo corte. Sin embargo, dada la suspensión de clases por la pandemia de coronavirus, el segundo corte se realizó con una empresa. En ambos casos se utilizó mdf de 3mm y la potencia de corte de ambas se asumió igual pues no se encontraron diferencias en los cortes internos.

## Ensamble de los prototipos

Para el ensamble de los componentes primero se tuvo que reunir cada pieza en un solo lugar. Se tuvieron complicaciones para llevar a cabo este paso debido a la contingencia que se vive actualmente en el país. Sin embargo, siguiendo las restricciones impuestas por la cuarentena y evitando el contacto prolongado entre los integrantes del equipo, se consiguió unificar el trabajo de todos los integrantes en un día de trabajo.



**Figura 2.5** Área de trabajo.

El espacio de trabajo fue una mesa de dos metros de largo por un metro de ancho. Se separaron las piezas por partes y se procedió a armar ambos robots.

1. El prototipo fue ensamblado de abajo a arriba comenzando por la caja base. Posteriormente se posicionaron los valeros y la base superior.
2. Se posicionaron los servomotores que controlan ambos links del brazo robótico.
3. A continuación, se fusionaron las 4 piezas que componen el sistema de cuatro barras. Para este paso se utilizaron valeros y taquetes para permitir un movimiento libre en los tres puntos de unión de los links.
4. Una vez fusionadas las piezas que comprenden el brazo, se unió el sistema de cuatro barras a los dos servomotores.
5. Se procedió con el armado del gripper, el cual es el subensamble con mayor número de piezas en todo el robot.
6. Se posicionaron los servomotores y potenciómetros correspondiente al gripper del esclavo y el maestro.
7. Con el gripper armado, se unificó con el brazo finalizando el armado mecánico del prototipo.

8. Finalmente, se armó la electrónica correspondiente a ambos robots, esclavo y maestro, dentro de la base inferior de cada uno.

El procedimiento se llevó a cabo para ambos robots en el mismo orden y de la misma forma. Siguiendo una metodología directa y empírica que permitió solucionar los inconvenientes del armado en el orden en el que se fueron presentando.

# SISTEMA ELÉCTRICO, ELECTRÓNICA Y PROGRAMACIÓN

## Materiales y componentes eléctricos

Para llevar a cabo la construcción del sistema eléctrico fue necesario contar con los materiales:

<b>Materiales utilizados por el brazo maestro</b>	
Cable numero 24 color gris	1/2 metro
Potenciómetros de 10K $\Omega$	4
Placa Arduino UNO	1
Cable USB para arduino	1
Módulo Bluetooth HC-05 (Maestro)	1
Cables tipo jumper	varios
Protoboard mini	1
Resistencia de 100 $\Omega$	1
Resistencia de 220 $\Omega$	1

**Tabla 3.1** Materiales utilizados por el brazo maestro.

<b>Materiales utilizados por el brazo esclavo</b>	
Cable numero 24 color gris	1/2 metro
Servomotores MG995	3
Servomotor SG90	1
Placa Arduino UNO	1
Cable USB para arduino	1
Módulo Bluetooth HC-06 (Maestro)	1
Cable para alimentación externa tipo USB	1

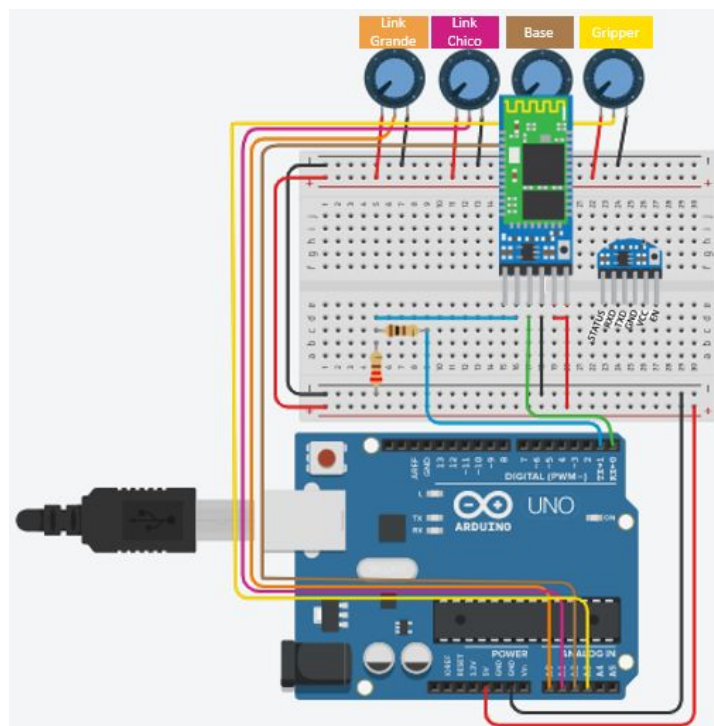
Fuente de alimentación de 5V a 2.4 A	1
Cables tipo jumper	varios
Protoboard mini	1
Resistencia de 100Ω	1
Resistencia de 220Ω	1

**Tabla 3.2** Materiales en el brazo esclavo.

## Diagramas Eléctricos

Los diagramas de conexiones correspondientes para los circuitos del maestro y esclavo se muestran a continuación.

Primeramente tenemos las conexiones realizadas para el brazo maestro, como podemos observar, se cuenta con 4 grippers que corresponden a cada uno de los servos. Cabe destacar que en este circuito se utilizó el módulo Bluetooth HC-05 configurado como maestro.



**Imagen 3.1** Diagrama de conexión del maestro.

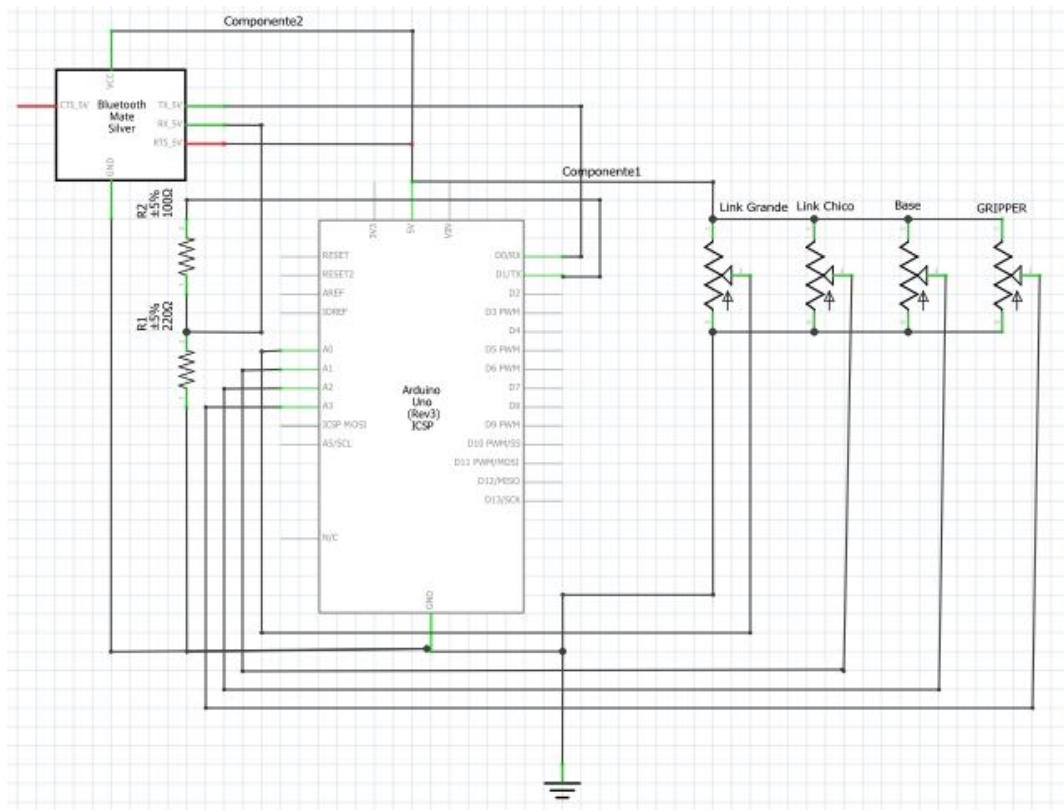


Imagen 3.2 Esquemático de conexión del maestro.

Por último se realizaron las conexiones correspondientes al esclavo. Para ello se utilizó el módulo HC-06 “naturalmente” configurado como esclavo, además de que se utilizó una fuente externa de voltaje de 5V a 2.4A para alimentar a los servos. A continuación se muestra el diagrama de conexiones y el esquemático del esclavo.

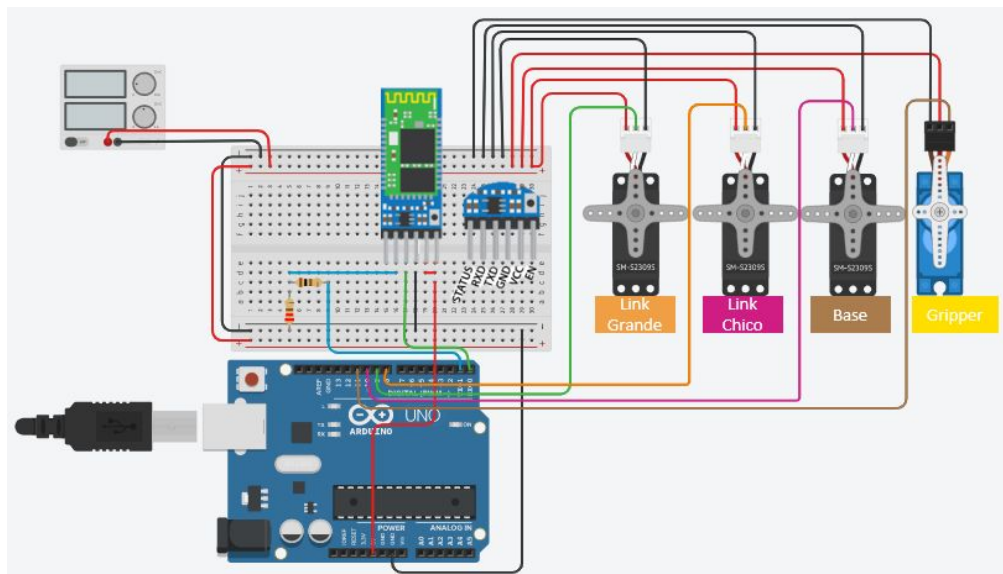
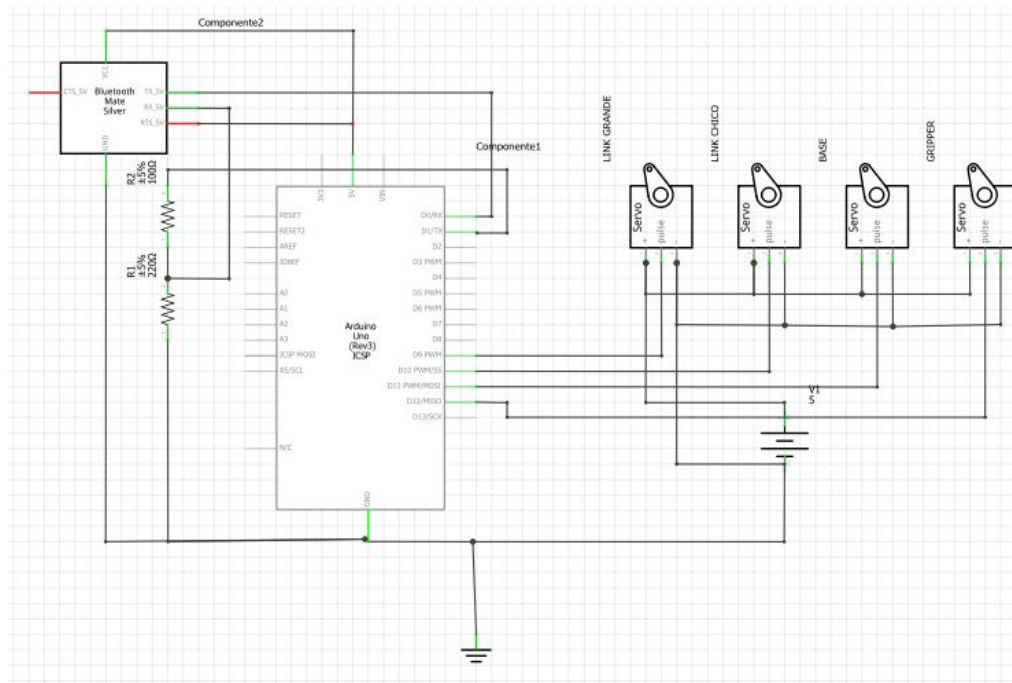


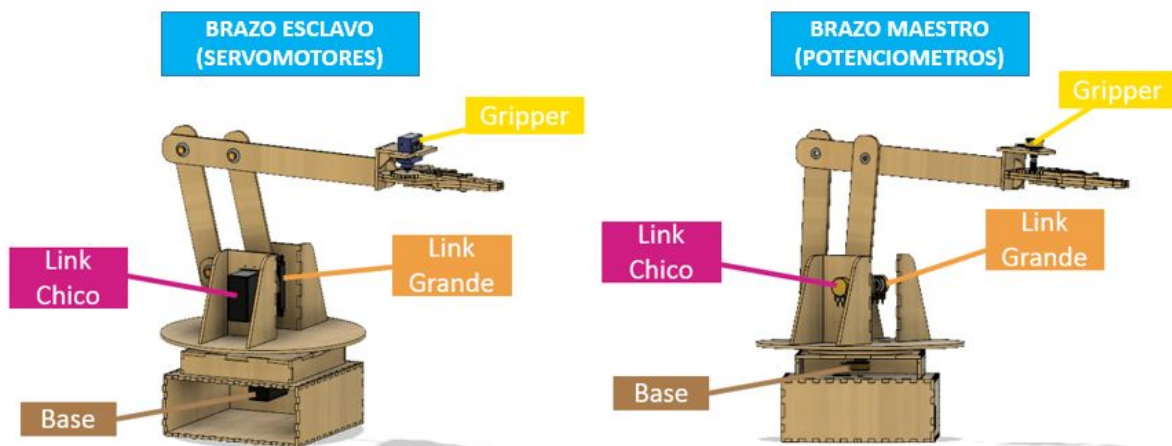
Imagen 3.3 Diagrama de conexión del esclavo.





**Imagen 3.4** Esquemático de conexión del esclavo.

Con la finalidad de aclarar la posición de cada uno de los potenciómetros y de los servos utilizados tanto en el maestro como en el esclavo, se muestra la siguiente imagen en donde se aprecia la colocación de cada uno de estos.



\*Algunas piezas de los ensambles fueron omitidas para mayor claridad

**Imagen 3.5** Posicionamiento de servos y potenciómetros con sus respectivos nombres.

## Descripción de los Programas

### Ajuste del espacio de trabajo

Previo a la comunicación Bluetooth se probó cada uno de los servos con sus respectivos potenciómetros para verificar su correcto funcionamiento con ayuda de uno de los códigos de ejemplo de Arduino llamado “Knob”. Una vez hecho lo anterior, decidimos modificar un poco dicho programa para realizar el ajuste del espacio de trabajo, a continuación se anexa una tabla en donde se pueden observar los valores delimitados y mapeados que satisfacen los requerimientos de movimiento de nuestro robot.

Servomotor	Valor analogico	Valor en grados
Link chico	0-315	15-170
Link grande	85-650	90-0
Base	0-1023	180-0
Gripper	0-350	70-0

**Tabla 3.3** Ajuste y mapeo del espacio de trabajo

Con los valores previamente mostrados nos aseguramos que nuestro robot se encontrará dentro de los límites operacionales que buscábamos.

### Configuración de Comandos AT

Una vez con el espacio de trabajo definido, procedimos a la comunicación por medio de Bluetooth. Como primer paso, se realizó la configuración de cada uno de los módulos. A continuación se detallan los pasos seguidos para lograr esto:

#### *Configuración de módulo HC-05 como maestro.*

- 1) Cablear con resistencias el circuito Arduino-Modulo HC-05 (Ver anexo 1-B)
- 2) Subir un programa en blanco al Arduino cuidando que no haya conexiones en los puertos Tx y Rx
- 3) Una vez subido el programa, conectar los puertos y abrir la ventana de comunicación serial. Seleccionar la ventana “Both NL and CR”
- 4) Enviar comandos AT y configurar el módulo. En nuestro caso se utilizó una velocidad de conexión a 38,400 baudios, se cambió el nombre del módulo y

se le asignó el rol de maestro. (Ver anexo 1-C para ver la lista de comandos utilizados)

#### *Configuración de módulo HC-06 como esclavo.*

Por default el módulo HC-06 ya viene configurado en su único modo de operación que es esclavo, además, los pasos seguidos fueron los mismos que aquellos que se utilizaron para la configuración del módulo HC-05. No obstante, se añadió una tabla en la sección de anexos con los comandos utilizados para el módulo HC-06. (Ver anexo 1-D)

### Programa Maestro

Una vez que logramos sincronizar los módulos (parpadean al mismo tiempo) procedimos a la realización del código que se muestra en el anexo 1-E. Como podemos observar, la función que utilizamos es la de `Serial.println`, misma que nos permite enviar los valores en forma de cadena de caracteres que a su vez, son separados por puntos para su procesamiento posterior.

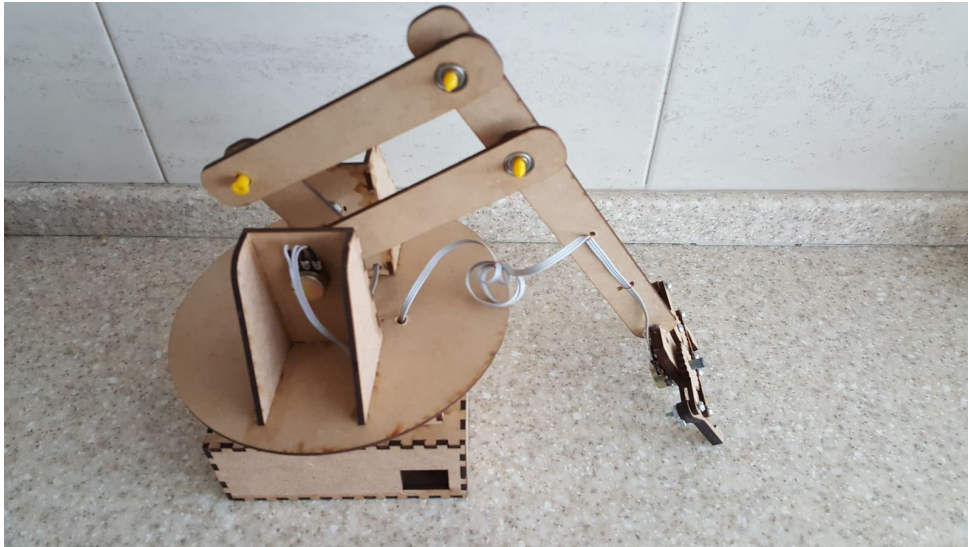
### Programa Esclavo

El programa esclavo es el responsable de leer y transmitir los datos que fueron enviados por los potenciómetros en el programa Maestro. Es por ello que utilizamos la librería `Servo.h` de Arduino. Por su parte, para lograr realizar la lectura de datos utilizamos la función de `Serial.parseInt()`, la cual devuelve números enteros válidos del buffer serial. Es por ello que anteriormente en el programa maestro se utilizaron los puntos “.” al hacer el envío de los datos, ya que gracias a estos, podemos hacer la distinción entre datos que a su vez son asignados a variables.

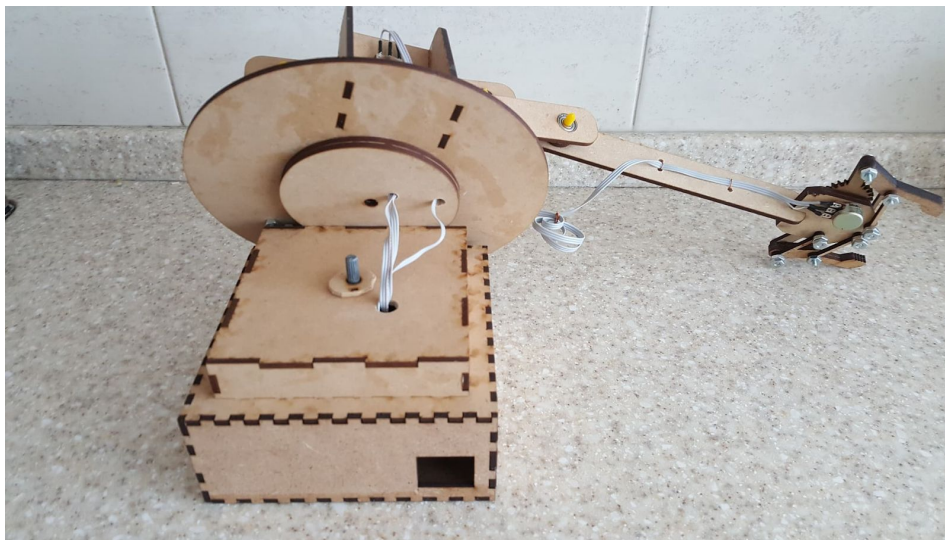
Una vez con los datos del maestro organizados en las distintas variables del esclavo, podemos proceder a generar los movimientos con los servos utilizando la función `servo.write` de arduino. (Ver anexo 1-F)

## Fotografías del Sistema Completo Terminado

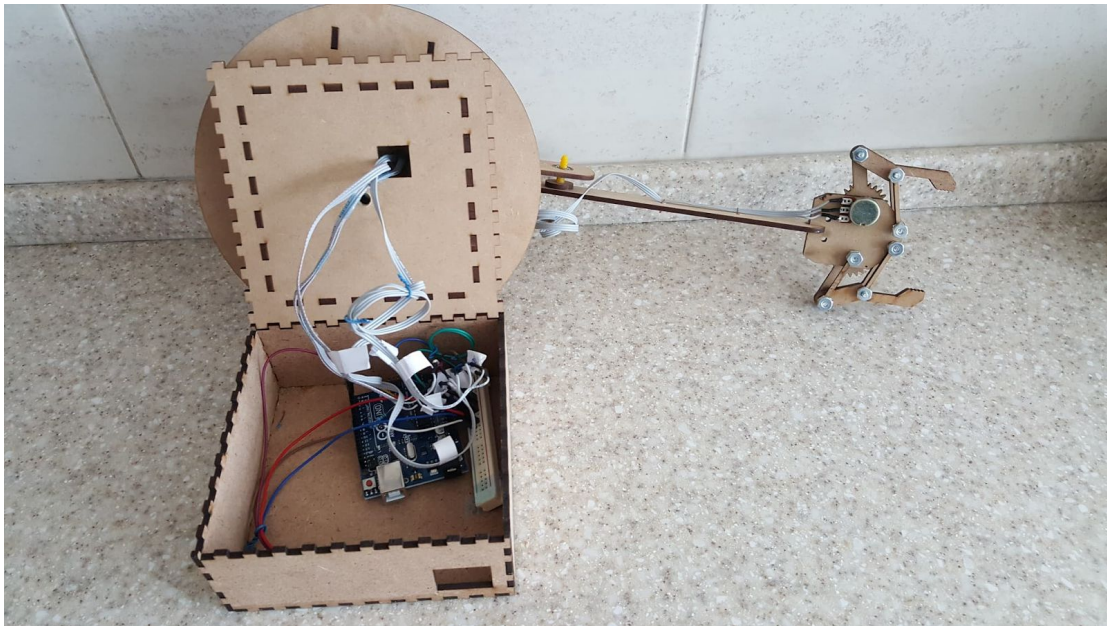
### Fotografías Del Maestro



**Imagen 3.6** Brazo maestro finalizado.



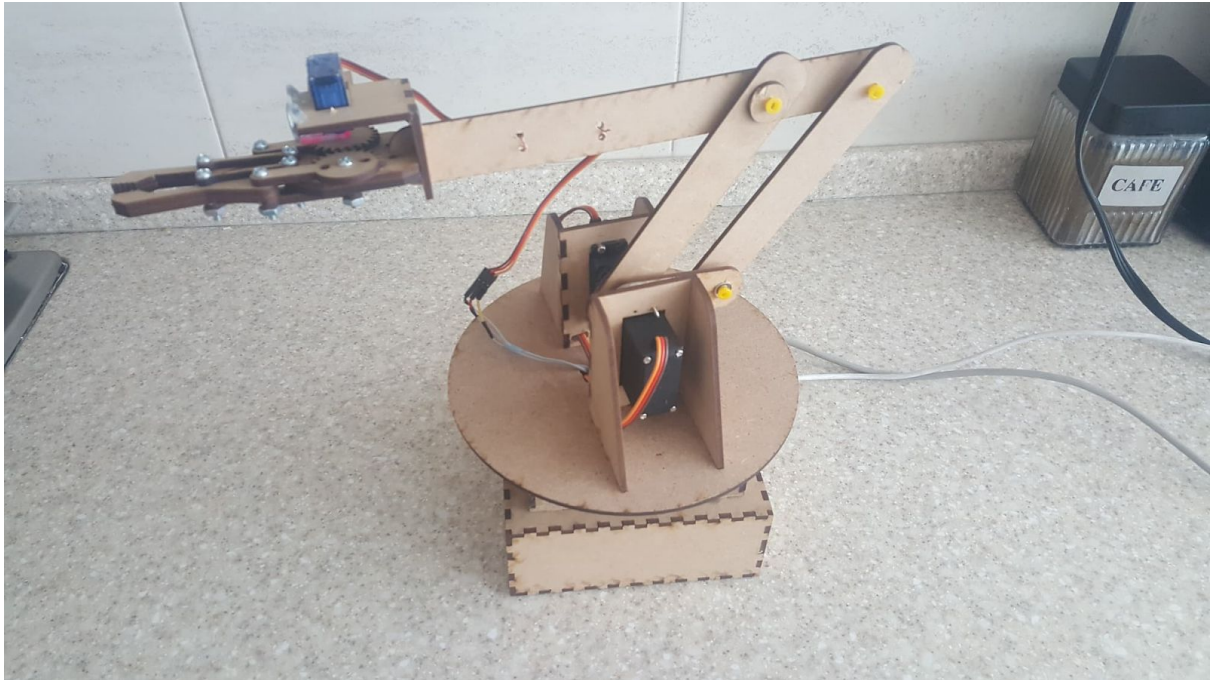
**Imagen 3.7** Brazo maestro con base giratoria expuesta.



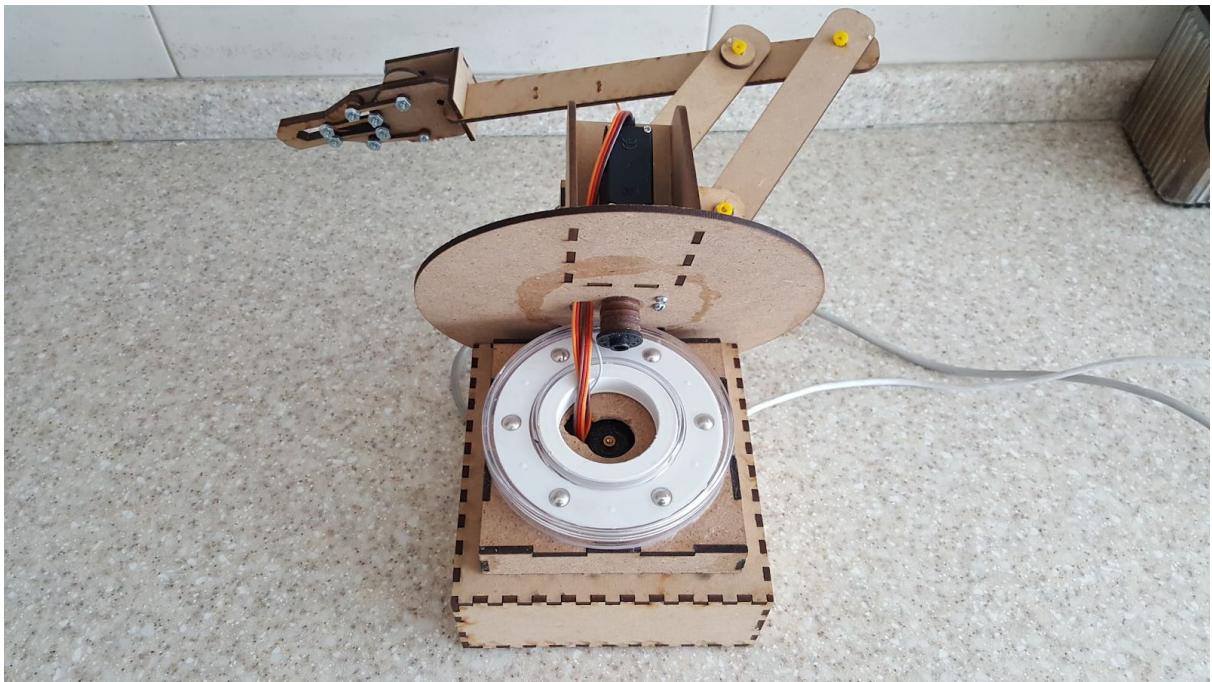
**Imagen 3.8** Brazo maestro con tapa levantada (circuitos expuestos).



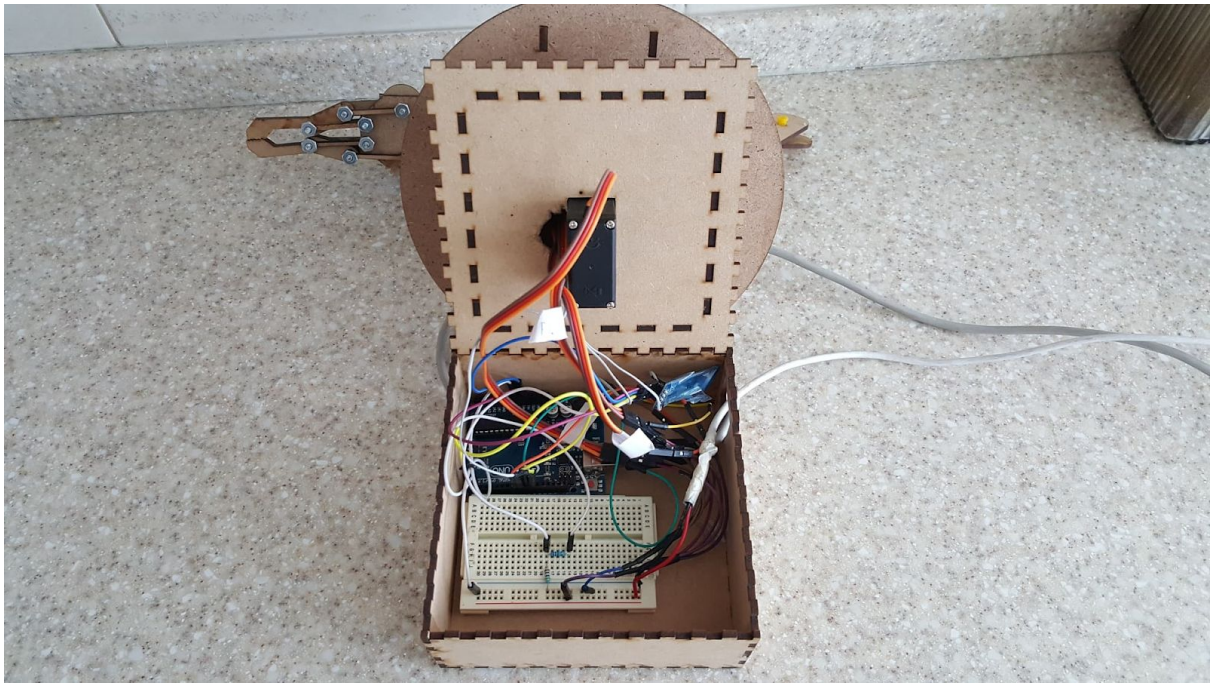
## Fotografías Del Esclavo



**Imagen 3.9** Brazo esclavo finalizado



**Imagen 3.10** Brazo esclavo finalizado



**Imagen 3.11** Brazo maestro con tapa levantada (circuitos expuestos)



# PRUEBAS DE ACEPTACIÓN DE FÁBRICA (FAT)

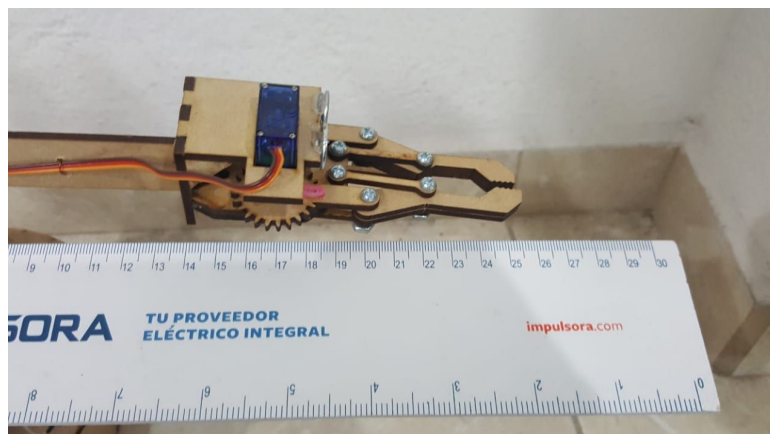
A continuación se describen las pruebas de aceptación realizadas al brazo robótico. El propósito de las pruebas es inspeccionar el sistema en las instalaciones que el cliente utilizará los brazos robóticos. Generalmente se realizan junto al cliente, entregando conocimientos de primera mano sobre la funcionalidad del sistema

## Alcance

Medido desde los servomotores que controlan el movimiento de los links, el brazo robótico cumple con el alcance de 25 cm. definidos en el documento de requisitos. Dado que los espacios de trabajo entre el robot esclavo y maestro son similares, basta con usar las mediciones del esclavo que es el que realizará las actividades definidas por el operador del robot maestro. La imagen 4.1 y 4.2 muestran dicha evidencia, en la segunda se aprecia con mayor claridad los números de la regla utilizada.



**Imagen 4.1 Alcance del brazo robótico**



**Imagen 4.2 Alcance del brazo robótica (Zoom)**

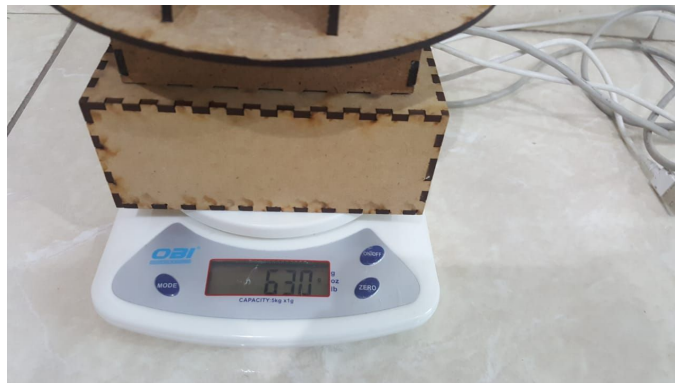


## Carga

La prueba de carga consiste en que el robot pueda sostener una carga de 60g. Se utilizaron un par de pilas de 9V con una masa total de 58 g. La masa total del robot es de 630 g. por cuestiones de practicidad se redondean las unidades y se cumple con el 10% del peso total del brazo. En las siguiente imágenes se aprecian las masas de la carga y el robot; se muestra al brazo sosteniendo la carga.



**Imagen 4.3** Masa de la carga



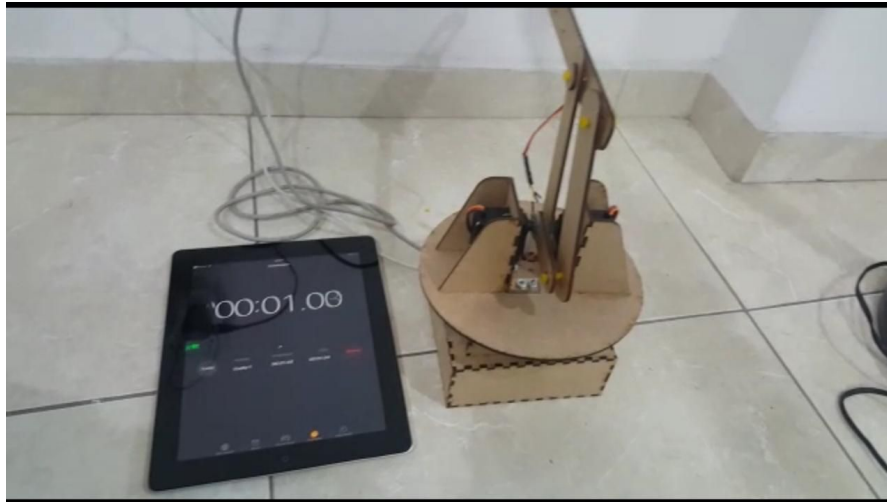
**Imagen 4.4** Masa del brazo robótico



**Imagen 4.5** Brazo robótico en prueba de carga

## Tiempo

El objetivo de la prueba de tiempo es verificar si el robot se puede mover  $180^\circ$  en un tiempo menor a los 3 segundos. Como se muestra en el video de la liga, fue posible hacer el recorrido de  $180^\circ$  en un tiempo menor a 1.1 segundos.



**Imagen 4.6** Posición inicial.



**Imagen 4.7** Posición final.

<https://youtu.be/spdkMZofRHI>

## Precisión

Para la evaluación de este punto se colocaron 10 puntos aleatorios en dos cajas de cartón con la finalidad de que el palillo añadido al final del gripper se acercara a cada uno de estos puntos. Debido a que no se utilizaron materiales flexibles como cables o hules, desde un inicio se pensó en evitar el contacto entre el palillo y los diferentes materiales que se utilizaron para indicar un punto en el espacio de

trabajo, no obstante, la precisión del robot fue bastante buena y en la mayoría de las ocasiones se logró obtener un error menor a 0.5 cm.



**Imagen 4.8** Medición de precisión en diferentes puntos.

<https://youtu.be/kjAHMovO9p0>

### Secuencia e Iteraciones

Finalmente para comprobar la confiabilidad de nuestra estructura mecánica se realizó una prueba en donde se ejecutaron los 10 movimientos de precisión 30 veces. El robot se comportó de manera adecuada y soportó la prueba como se muestra en el video. (El código de arduino se encuentra en la sección de anexos 1-G)



**Imagen 4.9** Robot en estación de trabajo

<https://www.youtube.com/watch?v=xVIH8YZ6LFE&feature=youtu.be>

# CONCLUSIONES

## **Arturo Serrano Pérez**

Para obtener los resultados presentados en este reporte se tuvo que cambiar la dinámica de trabajo por causas de fuerza mayor. El plan de trabajo que se planeaba seguir previo a la contingencia sanitaria se modificó y dio como resultado que una parte de las piezas se fabricaran fuera de los laboratorios institucionales.

Al momento de hacer el ensamble de ambos brazos resultaba de vital importancia prever errores que pudieran afectar el avance del proyecto, se haría una reunión en equipo para trabajar y sería la única oportunidad de tener a todo el equipo de manera presencial. Gracias a la planeación previa a la reunión se cumplieron satisfactoriamente las metas establecidas para esta reunión y se daba por completa la etapa de diseño mecánico.

La etapa de electrónica, que incluye programación y conexión de circuitos, se realizó remotamente. La experiencia previa con elementos tales como bluetooth, servomotores, por citar algunos ejemplos, ayudaron a que el tiempo de investigación sobre su funcionamiento se redujera y se enfocara en la comunicación serial, tema en el que menos experiencia se tenía. Nuevamente se cumplieron las metas para esta etapa y se obtuvo un robot esclavo que repetía los movimientos del maestro en un espacio de trabajo adecuado.

El principal reto que se encontró a la hora de realizar este proyecto fue adaptar el plan de trabajo que se tenía a la nueva situación que nos enfrentamos. Al no contar con ningún tipo de laboratorio se utilizaron soluciones alternas tales como buscar otras cortadoras láser, utilizar herramientas propias del equipo, entre muchas otras más. La improvisación, organización, creatividad y trabajo en equipo fueron clave para obtener excelentes resultados.

Finalmente, se realizaron las pruebas FAT para verificar que el brazo robótico era capaz de cumplir con las especificaciones del cliente. El sistema pasó cada una de las pruebas y se da por liberado el proyecto.

## **Emiliano del Valle Suarez**

El desarrollo de este proyecto fue posible gracias a la tecnología actual, que permite la conexión entre personas manteniendo la distancia. La contingencia actual que se vive en todo el mundo nos empujó a buscar otras opciones poco convencionales para llevar a cabo las tareas necesarias para completar la construcción del hardware e implementación del software para un funcionamiento óptimo de este prototipo. El mayor reto resultado de esta pandemia fue terminar de fabricar las piezas que no se alcanzaron a fabricar en el taller de la universidad. Para resolver este problema, se tuvo que acudir a negocios locales, los cuales estaban cerca de cerrar por la contingencia y por la falta de trabajo que resulta de esta. Con un poco de suerte, se encontró un proveedor para completar los componentes del prototipo que en ese momento ya se había diseñado. Esto permitió mantener el diseño con un número mínimo de modificaciones.

Por otro lado, el desarrollo del software resultó bastante sencillo puesto que es más fácil unificar códigos vía remota. El mayor reto en esta parte fue sincronizar ambos módulos

Bluetooth y después calibrar las señales suministradas para que el movimiento de los robots se llevará a cabo con la mayor suavidad posible.

Por último, se llevaron a cabo las pruebas FAT como método para validar el funcionamiento óptimo del prototipo. Las pruebas fueron satisfactorias. Se logró que el prototipo girara 180° en menos de 1.5 segundos. De la prueba de peso se destaca que el prototipo fue capaz de levantar dos pilas de masa igual al 8% de su peso total. La prueba más complicada fue la de los 10 puntos, donde se logró apuntar con una gran precisión los 10 objetivos señalados. El error en todos los puntos fue menor al centímetro. Sin embargo, se presentaron un poco de oscilaciones al aterrizar cada punto como consecuencia de la inercia generada por la velocidad y el freno inmediato del prototipo.

En conclusión, este proyecto reforzó dos de las áreas que componen la mecatrónica. La mecánica y la programación fueron vitales para llevar a cabo este proyecto de forma exitosa. De la misma forma, el mérito para afrontar los obstáculos que se presentan con la cuarentena fueron adecuados y merecen gran parte del éxito del proyecto.

### **Luis Daniel Perez Michel**

La realización de este proyecto fue una actividad muy retadora debido a las complicaciones que trajo consigo el virus del COVID-19, sin embargo, gracias al trabajo en equipo y la buena comunicación pudimos concluir con la construcción de un modelo de brazo robot tipo maestro-esclavo 100% funcional con la capacidad de soportar las pruebas de funcionamiento FAT.

La realización del proyecto comprendió 2 fases principales que fue la parte mecánica y la parte de electrónica/programación. La parte mecánica fue trabajada principalmente a inicios del parcial en donde tuvimos la oportunidad de realizar pruebas de corte en la máquina láser, aunque más adelante durante el ensamble de la parte mecánica tuvimos que realizar algunas modificaciones menores a las piezas para asegurar un buen funcionamiento por parte de ambos brazos.

Por otra parte la fase de la electrónica y programación no resultó ser tan retadora esta vez por la metodología con la que se trabajó, ya que todos los integrantes del equipo colaboramos con ideas y propuestas para la programación que ayudaron a lograr el resultado esperado.

Una vez finalizadas ambas etapas obtuvimos un producto funcional que logró satisfacer las pruebas de funcionamiento, las cuales consistieron en levantar aproximadamente el 10% de su peso, contar con una longitud de 25 cm desde la base de los servos hasta el final del gripper, completar una secuencia de 10 posiciones con una precisión de medio centímetro y ser capaz de repetir la secuencia de las 10 posiciones 30 veces. En mi opinión personal esta última prueba fue la más retadora de todas, ya que el robot realizaba movimientos rápidos que provocan ciertas oscilaciones en el brazo. Afortunadamente el robot logró mantener su integridad estructural cumpliendo de esta manera con el último objetivo.

Personalmente me siento muy feliz y motivado con los resultados que logramos por la capacidad que demostramos como equipo al momento de enfrentarnos al gran problema de trabajar a distancia y adaptarnos a la situación. Considero que este escenario es una gran oportunidad para darnos cuenta sobre la capacidad de adaptación que debemos tener en la

vida profesional, ya que probablemente el día de mañana tendremos que salir de la comodidad que ofrece el Tec de Monterrey para enfrentarnos a una realidad retadora y cambiante.

### **Heber Francisco Rodriguez Angeles**

Para realizar este proyecto se requiere poner en práctica todos los conocimientos obtenidos a lo largo de el estudio de nuestra carrera, además de poner a prueba la capacidad de los integrantes para resolver problemas, adaptación y trabajo en equipo ya que a pesar de las contingencias que se presentaron se logró llegar a el resultado obtenido

Fue necesario llevar un orden sistemático y de esta manera buscar tener los mejores resultados posibles, empezando por el diseño mecánico y la manufactura de los brazos robóticos en donde se identificaron problemas realizando pruebas de corte los cuales tendrían que ser resueltos antes de seguir avanzando ya que el sistema mecánico es una parte esencial en la realización de un proyecto mecatrónico.

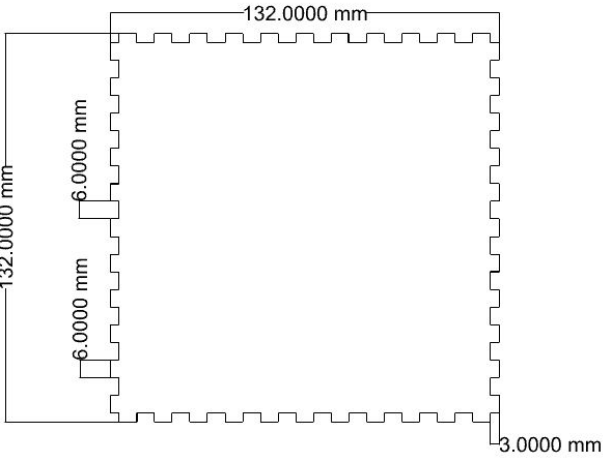
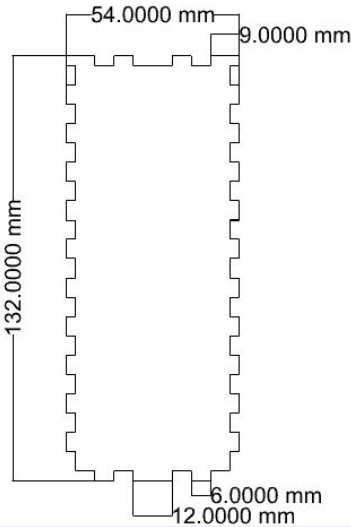
Para finalizar se realizó la parte de electrónica y programación en donde gracias a la experiencia que se tiene en esta área se logró hacer de manera rápida logrando que ambos brazos robóticos se movieran de manera continua sin interrupciones ni vibraciones dejando hechos ambos prototipos al 100%

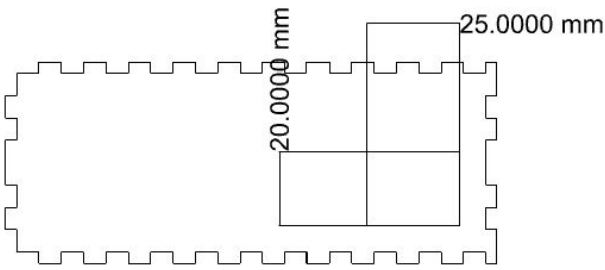
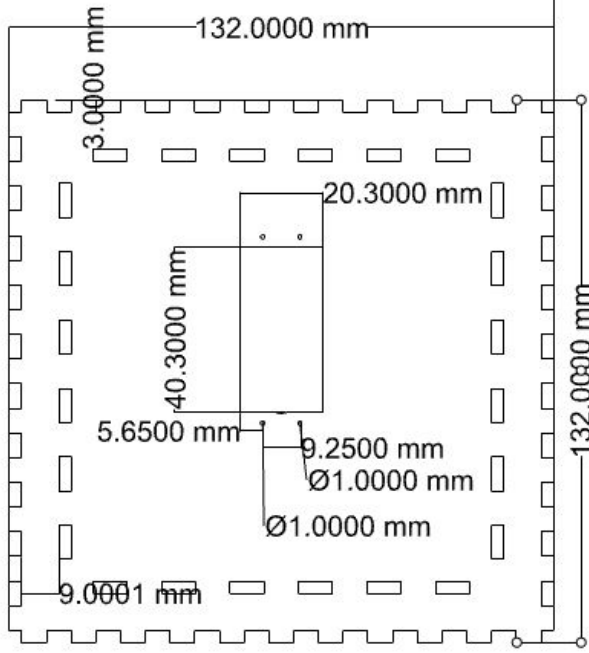
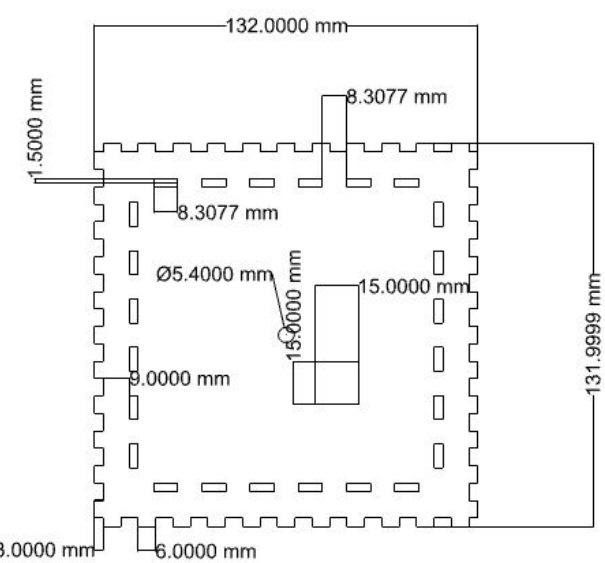
Una vez finalizada la construcción del proyecto se procedió a realizar las pruebas de aceptación, las cuales consisten en verificar que ambos brazos robóticos cumplieran con ciertos requerimientos los cuales fueron gratamente cumplidos ya que para cada una de las pruebas no se obtuvo un rango de error grande e incluso se acercaba a ser de cero por lo tanto se puede concluir que la realización de este proyecto fue hecha de la mejor forma obteniendo los resultados deseados

Para concluir durante la construcción de este proyecto obtuvimos conocimientos de desarrollos de proyectos siguiendo un sistema secuencial y de esta manera aplicar conocimiento teóricos de ingeniería mecatrónica a una situación de desarrollos de proyecto de una manera más apegada a la realidad con resultados satisfactorios y logrando nuestros objetivos.

# ANEXOS

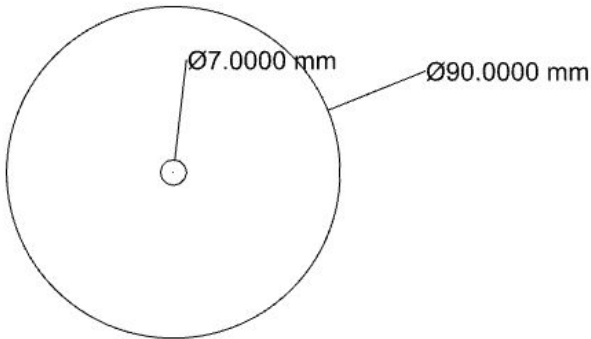
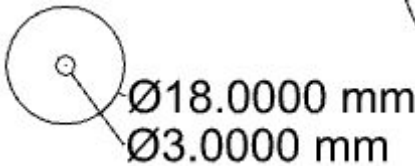
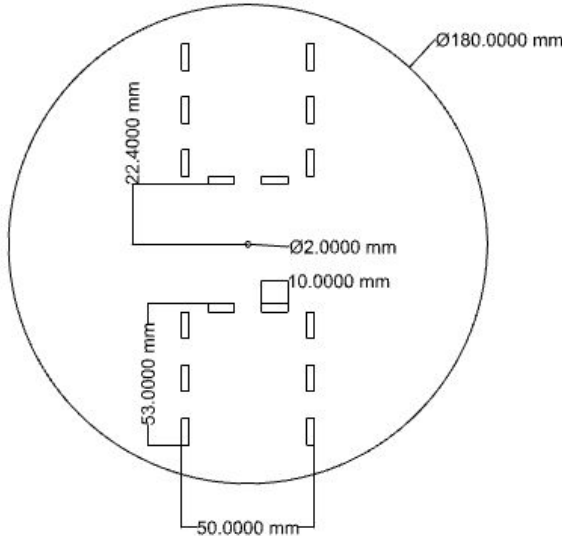
## Anexo 1-A

Nombre de pieza	Cantidad de piezas	Imagen de Pieza
Base Cuadrada	2	 <p>Technical drawing of a square base. The overall width and height are both 132.0000 mm. The inner square opening has a width and height of 6.0000 mm each. The corner radius is 3.0000 mm.</p>
Base Lateral	6	 <p>Technical drawing of a rectangular base. The overall width is 132.0000 mm and the overall height is 54.0000 mm. The inner rectangular opening has a width of 9.0000 mm and a height of 6.0000 mm. The corner radius is 12.0000 mm.</p>

<p>Base lateral con orificio</p> <p>*Mismas dimensiones que Base Lateral</p>	<p>2</p>	
<p>Base cuadrada servo</p> <p>MODIFICAR</p>	<p>1</p>	
<p>Base cuadrada potenciómetro</p>	<p>1</p>	



Base cuadrada superior	2	
Lateral superior 1	4	
Lateral superior 2	4	

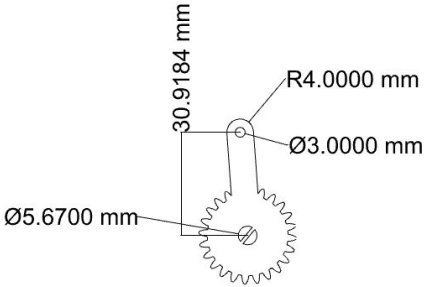
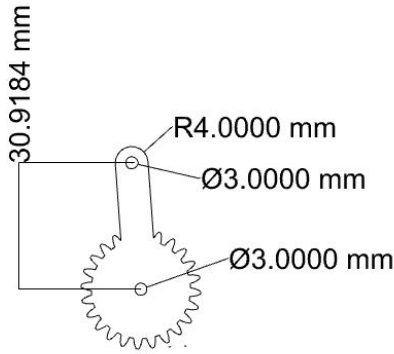
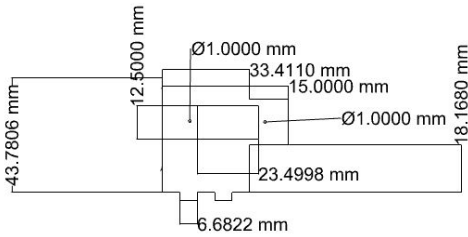
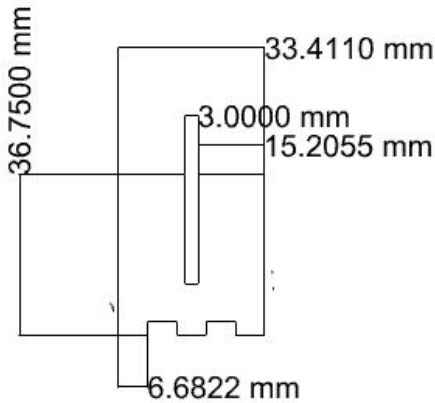
Base circular	2	
Donas	4	
Base giratoria servo	1	

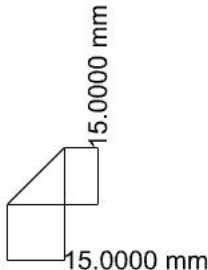
Base giratoria pot	1	
Base giratoria soporte lateral	4	
Base giratoria soporte frontal servo	2	

Base giratoria soporte frontal pot	2	
Link 7 cm pot	1	
Link 7 cm servo	1	
Link 15 cm pot	1	

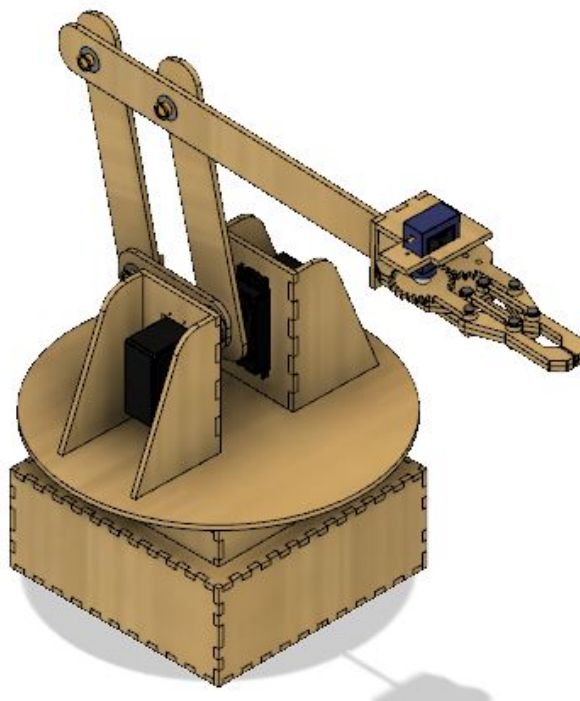
Link 15 cm servo	1	
Link 23 cm	2	
Base Gripper	4	

Gripper	4	<p>Technical drawing of a gripper mechanism. Dimensions include: 20.1623 mm, 26.6013 mm, 13.7018 mm, 21.3881 mm, Ø3.0000 mm, 6.4631 mm, Ø3.0000 mm, and R5.0000 mm.</p>
Links Gripper	8	<p>Technical drawing of a gripper link. Dimensions include: Ø3.0000 mm, 31.0000 mm, R3.5000 mm, 3.0000 mm, R3.5000 mm, and Ø3.0000 mm.</p>
Gripper medio engrane	2	<p>Technical drawing of a gripper medio engrane. Dimensions include: Ø24.1855 mm, Ø3.0000 mm, Ø3.0000 mm, Ø3.0000 mm, R4.0000 mm, and 7.4207 mm.</p>

Gripper engrane pot	1	
Gripper engrane servo	1	
Soporte microservo	1	
Soporte pot	2	

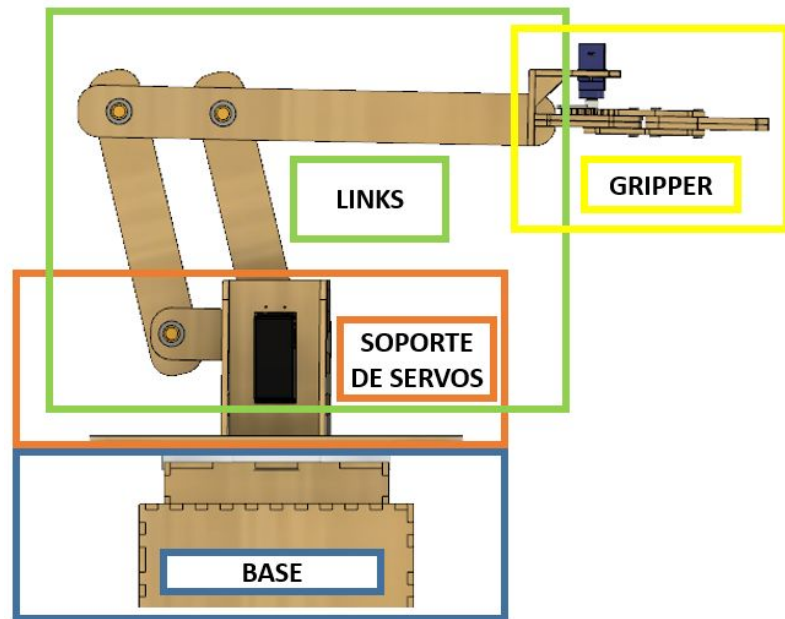
Soporte triangular	4	
--------------------	---	--

**Tabla 4.1** Nombre, cantidad y dibujo de piezas utilizadas.

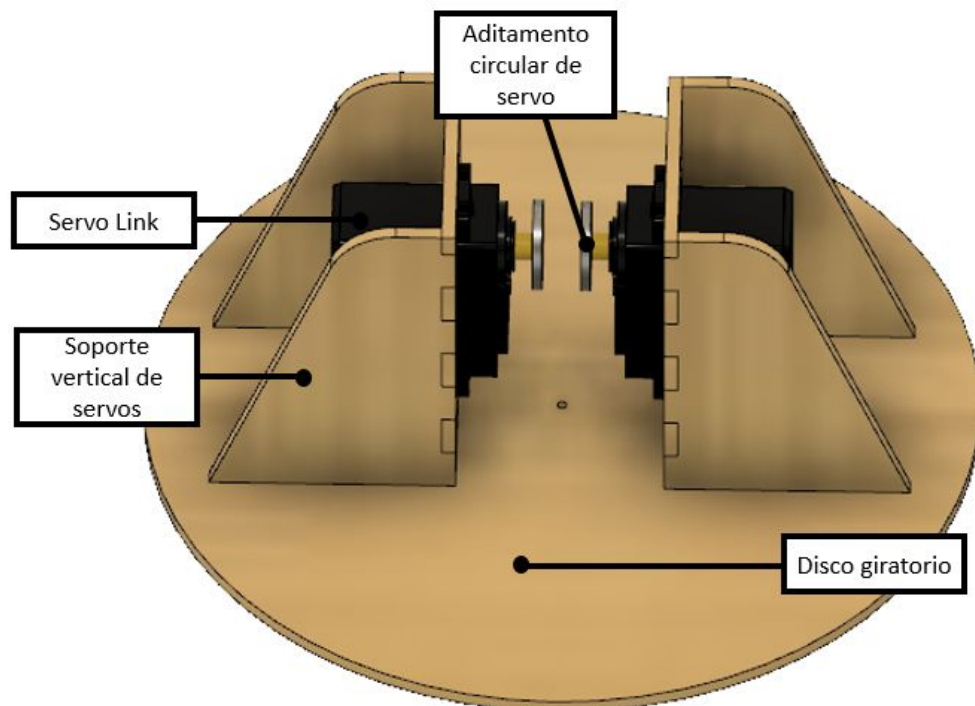


**Imagen 5.1** Vista isométrica del robot esclavo

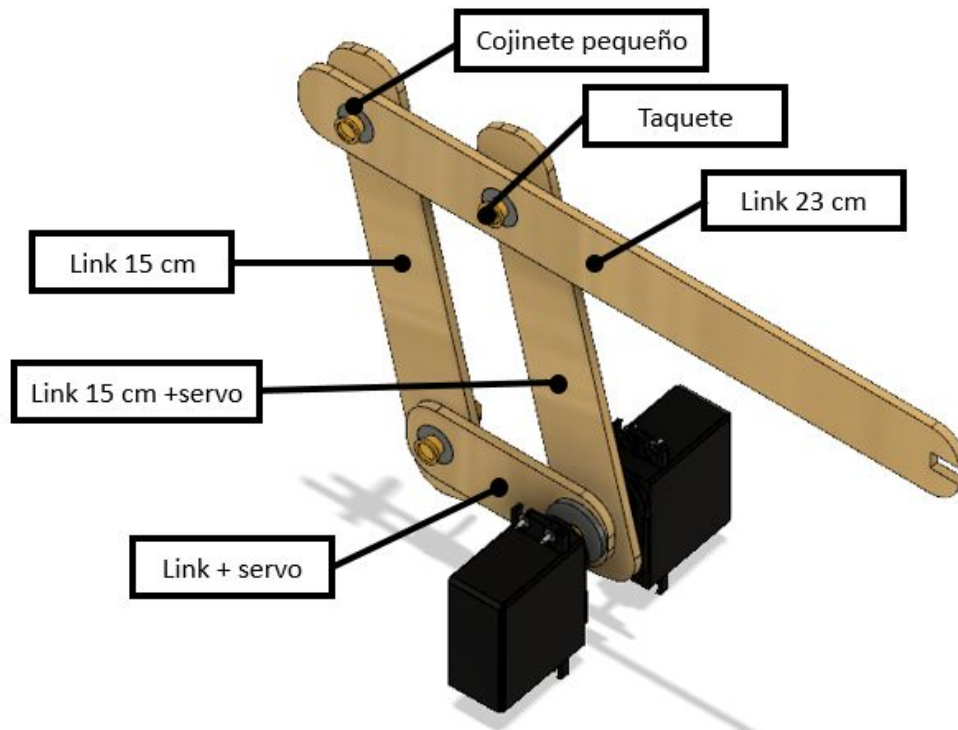




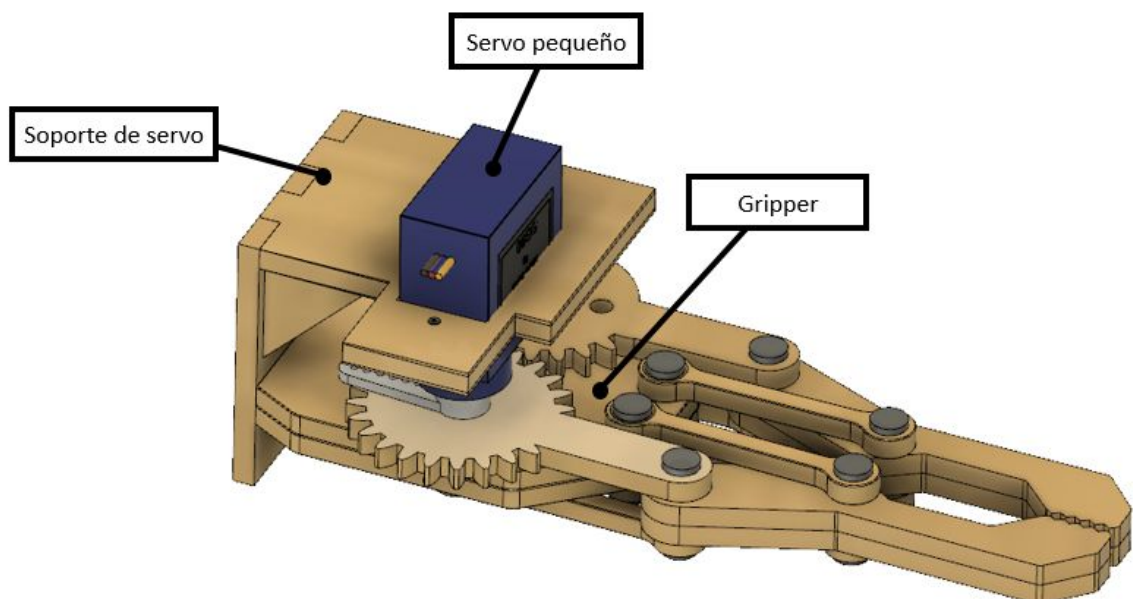
**Imagen 5.2** Secciones del robot esclavo.



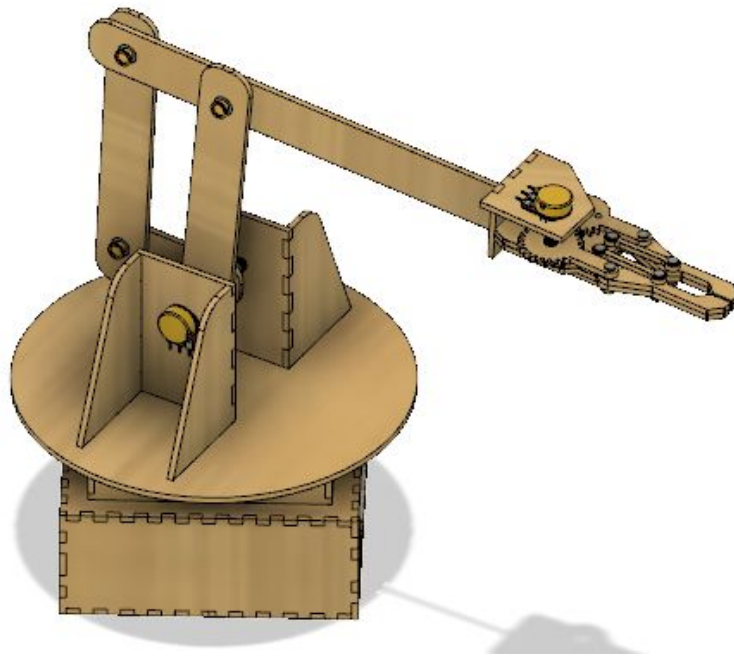
**Imagen 5.3** Soporte de servos robot esclavo



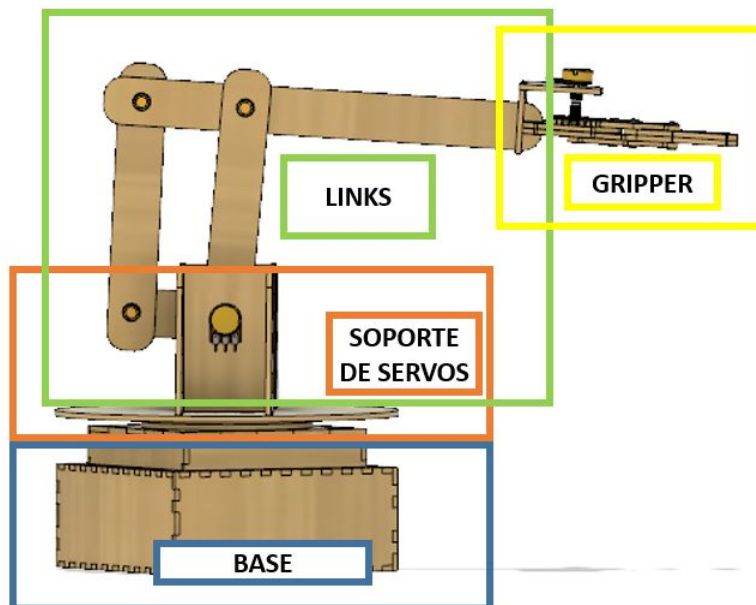
**Imagen 5.4** Links robot esclavo



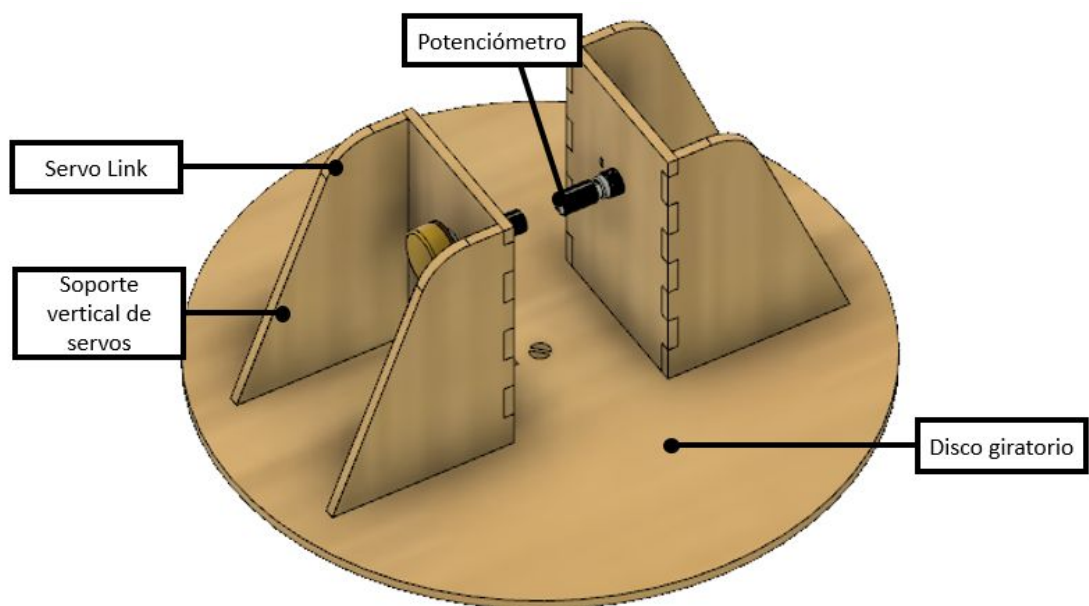
**Imagen 5.5** Gripper robot esclavo



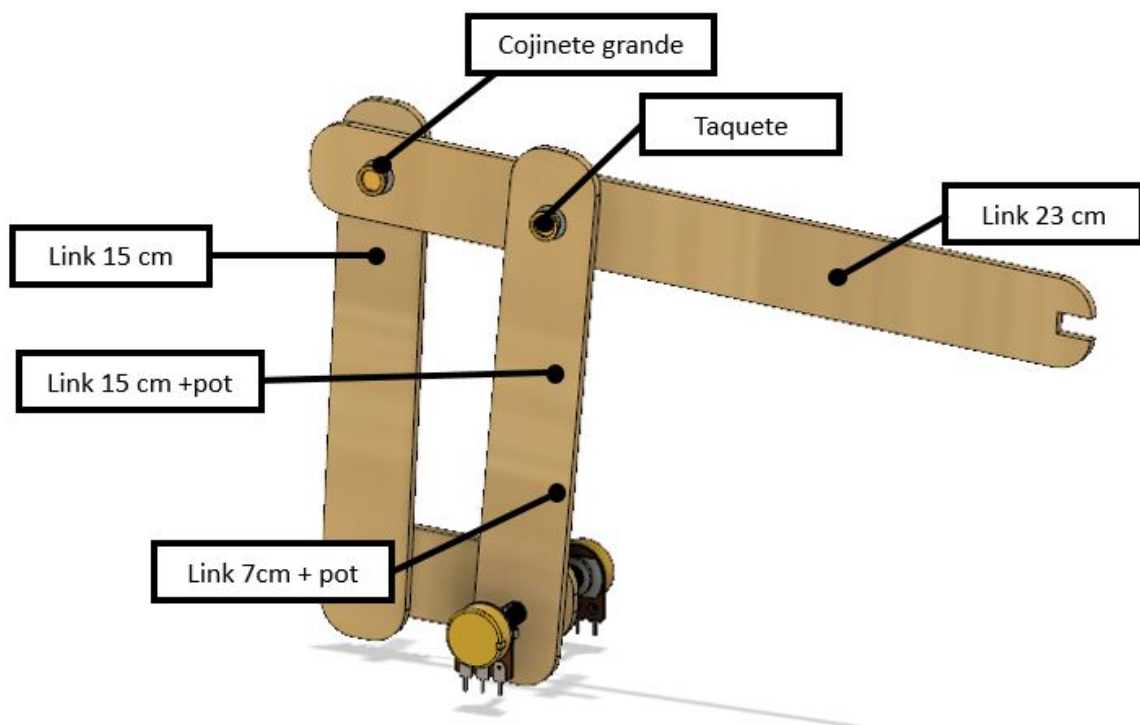
**Imagen 5.6** Vista isométrica del robot maestro



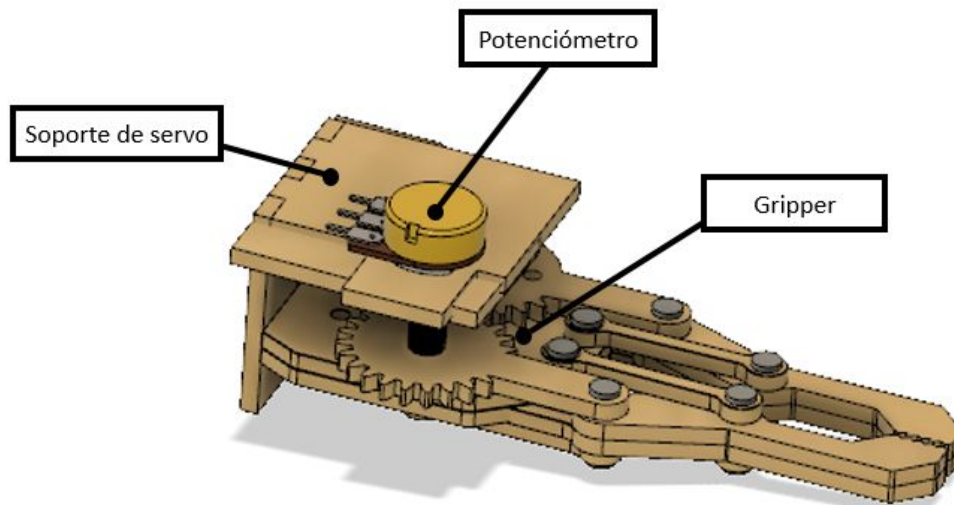
**Imagen 5.7** Secciones del robot maestro



**Imagen 5.8** Soporte de servos robot esclavo

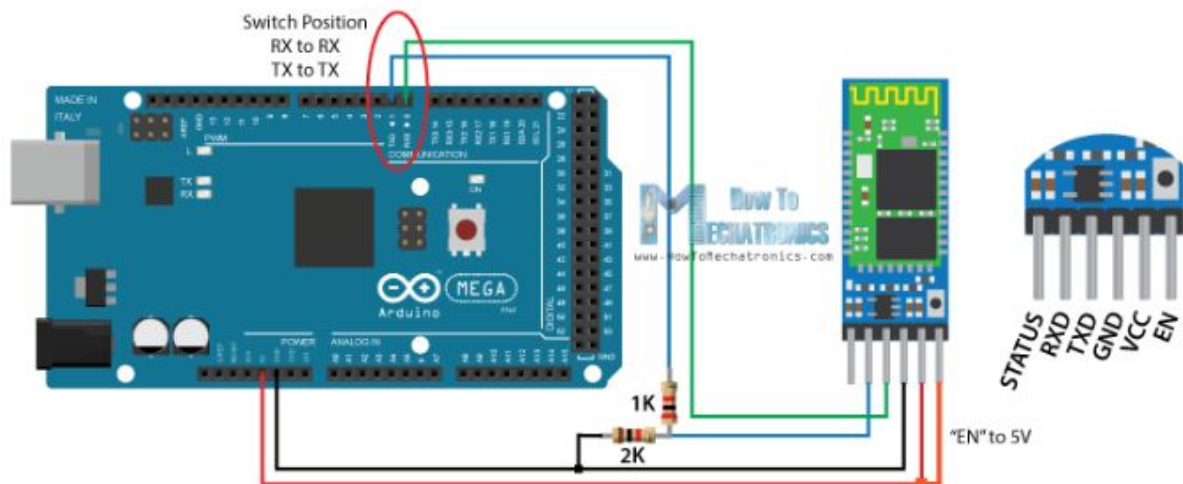


**Imagen 5.9** Links robot maestro



**Imagen 5.10** Links robot maestro

## Anexo 1-B



**Imagen 6.1** Diagrama de conexiones (imagen obtenida de <https://howtomechatronics.com/wp-content/uploads/2016/04/How-To-Configure-and-Pair-Two-HC-05-Bluetooth-Module-as-Master-and-Slave-AT-Commands.png>)

## Anexo 1-C

Comando	Respuesta
AT	OK
AT+NAME?	NAME (SE CAMBIÓ)
AT+NAME=MAESTRO	OK
AT+UART?	9600,0,0
AT+UART=38400,0,0	OK (SE CAMBIÓ)
AT+ROLE=1	OK (SE CAMBIÓ)
AT+PSWD=1234	OK (SE CAMBIÓ)

**Tabla 6.1** Comandos AT maestro

## Anexo 1-D

Comando	Respuesta
AT	OK
AT+NAME?	NAME (SE CAMBIÓ)
AT+NAME=ESCLAVO	OK
AT+UART?	9600,0,0 (SE CAMBIÓ)
AT+UART=38400,0,0	OK
AT+ROLE?	0 (OK)
AT+PSWD=1234	OK (SE CAMBIÓ)

**Tabla 7.1** Comandos AT esclavo

## Anexo 1-E

int potpinfijo=A0;  
int potpinmovil=A1;

```

int potpinbase=A2;
int potpingripper=A3;

int valfijo;
int valmovil;
int valbase;
int valgripper;
int t1;
int t2;

void setup()
{
  Serial.begin(38400); // Velocidad de comunicación
}

void loop()
{
  t1=millis(); // Comenzamos a medir tiempo

  //LINK FIJO ANALOGO 0
  valfijo = analogRead(potpinfijo);
  valfijo = map(valfijo, 85, 650, 15, 170); // Asignación de valores a variable

  //LINK MOVIL ANALOGO 1
  valmovil = analogRead(potpinmovil);
  valmovil = map(valmovil, 0, 315, 90, 0); // Asignación de valores a variable

  //BASE ANALOGO 2
  valbase = analogRead(potpinbase);
  valbase = map(valbase, 0, 1023, 180, 0); // Asignación de valores a variable

  //GRIPPER ANALOGO 3
  valgripper = analogRead(potpingripper);
  valgripper = map(valgripper, 0, 350, 70, 0); // Asignación de valores a variable

  Serial.println(String(valfijo)+'.'+String(valmovil)+'.'+String(valbase)+'.'+String(valgripp
er)); //Envío de valores

  t2=millis(); //Se mide tiempo una vez finalizado el envío de datos

  delay(100-(t2-t1)); //Se realiza un delay acorde al tiempo tardado
}

```

## Anexo 1-F

```
#include <Servo.h>
```

```

Servo myservofijo; // creamos objeto para controlar los servos
Servo myservomovil;
Servo myservobase;
Servo myservogripper;

int valfijo;
int valmovil;
int valbase;
int valgripper;
int state = 20;

void setup()
{
  Serial.begin(38400); // Establecemos el ratio de comunicación BT
  myservofijo.attach(9); // Relacionamos el pin con el objeto previamente declarado
  myservomovil.attach(8);
  myservobase.attach(10);
  myservogripper.attach(11);
}

void loop()
{
  if(Serial.available() > 0)
  {
    valfijo = Serial.parseInt(); // Leemos los datos provenientes del puerto serie
    valmovil = Serial.parseInt();
    valbase = Serial.parseInt();
    valgripper = Serial.parseInt();
  }

  myservofijo.write(valfijo); //El servo escribe los datos obtenidos previamente
  myservomovil.write(valmovil);
  myservobase.write(valbase);
  myservogripper.write(valgripper);

  delay(10);
}

```



## Anexo 1-G

```
#include <Servo.h>

Servo myservofijo;
Servo myservomovil;
Servo myservobase;
Servo myservogripper;

int Lch1,Lgde1,Lbas1,Lgrip1;
int Lch2,Lgde2,Lbas2,Lgrip2;
int Lch3,Lgde3,Lbas3,Lgrip3;
int Lch4,Lgde4,Lbas4,Lgrip4;
int Lch5,Lgde5,Lbas5,Lgrip5;
int Lch6,Lgde6,Lbas6,Lgrip6;
int Lch7,Lgde7,Lbas7,Lgrip7;
int Lch8,Lgde8,Lbas8,Lgrip8;
int Lch9,Lgde9,Lbas9,Lgrip9;
int Lch10,Lgde10,Lbas10,Lgrip10;

int i=0;

void setup()
{
  Serial.begin(38400);
  myservofijo.attach(9); // attaches the servo on pin 9 to the servo object
  myservomovil.attach(8);
  myservobase.attach(10);
  myservogripper.attach(11);
}

void loop()
{
  for (i = 1; i <= 31; i++)
  {
    Serial.print("ITERACION: ");
    Serial.println(i);

    //POS1
    Lgde1=85;
    Lch1=75;
    Lbas1=180;
    Lgrip1=0;

    myservofijo.write(Lgde1);
    myservomovil.write(Lch1);
    myservobase.write(Lbas1);
```

```

myservogripper.write(Lgrip1);
delay(2000);

//POS2
Lgde2=118;
Lch2=44;
Lbas2=180;
Lgrip2=0;

myservofijo.write(Lgde2);
myservomovil.write(Lch2);
myservobase.write(Lbas2);
myservogripper.write(Lgrip2);
delay(2000);

//POS3
Lgde3=80;
Lch3=80;
Lbas3=120;
Lgrip3=0;

myservofijo.write(Lgde3);
myservomovil.write(Lch3);
myservobase.write(Lbas3);
myservogripper.write(Lgrip3);
delay(2000);

//POS4
Lgde4=120;
Lch4=50;
Lbas4=120;
Lgrip4=0;

myservofijo.write(Lgde4);
myservomovil.write(Lch4);
myservobase.write(Lbas4);
myservogripper.write(Lgrip4);
delay(2000);

//POS5
Lgde5=85;
Lch5=75;
Lbas5=145;
Lgrip5=0;

myservofijo.write(Lgde5);
myservomovil.write(Lch5);
myservobase.write(Lbas5);

```

```

myservogripper.write(Lgrip5);
delay(2000);

//POS6
Lgde6=120;
Lch6=50;
Lbas6=100;
Lgrip6=0;

myservofijo.write(Lgde6);
myservomovil.write(Lch6);
myservobase.write(Lbas6);
myservogripper.write(Lgrip6);
delay(2000);

//POS7
Lgde7=120;
Lch7=50;
Lbas7=90;
Lgrip7=0;

myservofijo.write(Lgde7);
myservomovil.write(Lch7);
myservobase.write(Lbas7);
myservogripper.write(Lgrip7);
delay(2500);

//POS8
Lgde8=80;
Lch8=80;
Lbas8=90;
Lgrip8=0;

myservofijo.write(Lgde8);
myservomovil.write(Lch8);
myservobase.write(Lbas8);
myservogripper.write(Lgrip8);
delay(2000);

//POS9
Lgde9=120;
Lch9=40;
Lbas9=155;
Lgrip9=0;

myservofijo.write(Lgde9);
myservomovil.write(Lch9);
myservobase.write(Lbas9);

```

```
myservogripper.write(Lgrip9);  
delay(2000);  
  
//POS10  
Lgde10=90;  
Lch10=80;  
Lbas10=155;  
Lgrip10=50;  
  
myservofijo.write(Lgde10);  
myservomovil.write(Lch10);  
myservobase.write(Lbas10);  
myservogripper.write(Lgrip10);  
delay(2000);  
}  
}
```