

APENDICE A : GUIA DEL PROYECTO

Para el desarrollo del robot manipulador móvil, existen diferentes cosas que hacer, en el cual de las más importantes están las impresiones y la selección de componentes. A continuación, se observan los pasos para el desarrollo del proyecto.

Paso 1: Selección de herramientas

En esta sección se detallan las herramientas hardware y software utilizadas en este proyecto. No es necesario tenerlos todos para comenzar, pero es importante tener en cuenta que se necesitará a medida que se avance.

- **Hardware**

- **Impresora 3D:** Necesaria para imprimir el robot. Área de impresión de 300x300 mm, suficiente para imprimir cada pieza. Si se posee una impresora con un área de impresión de 200x200 mm, existen versiones partidas de las piezas más grandes que caben en tu máquina.
- **Estación de soldadura o cautín:** Para soldar cables y componentes electrónicos a la PCB es necesario una estación de soldadura o un cautín simplemente como se observa en la Figura 1:



Figura 1. Estación de soldadura.

Fuente: (Amazon 2023).

- **Multímetro:** Útil a la hora de realizar conexiones electrónicas, probar sensores o comprobar uniones soldadas. Además de que poder configurar la corriente de los controladores de motores a la vez.
- **Juego de llaves Allen y destornilladores:** necesarios para asegurar los tornillos en el conjunto del robot.

- **Software**

El desarrollo del robot Thor se ha realizado únicamente con herramientas de código abierto, por lo que no es necesario gastar dinero en licencias de software.

- **FreeCAD:** Modelador paramétrico 3D. Cada pieza de Thor ha sido modelada utilizando esta increíble herramienta. Incluso si no hay interés en el diseño de nuevas piezas o características, se recomienda descargarlo porque hay un archivo FreeCAD que contiene el ensamblaje del robot que te será de gran ayuda cuando se esté construyendo el robot. El enlace de descarga es el siguiente: <https://www.freecad.org/downloads.php>
- **KiCAD:** Programa de diseño electrónico. Se utiliza para diseñar los PCB de control. Si se presenta interés en estudiar, modificar o desarrollar electrónica para este o cualquier otro proyecto. El enlace de descarga de este software es el siguiente: <https://www.kicad.org/download/>
- **Editor de código:** Si es necesario profundizar en las entrañas del software o el firmware de control, se recomienda utilizar un editor de texto con soporte de código como Atom o también Visual Studio Code, los cuales se pueden descargar de los siguientes enlaces: <https://github.blog/2022-06-08-sunsetting-atom/>
<https://code.visualstudio.com/download>
- **Software de Control:** Existe un software llamado Asgard <https://github.com/AngelLM/Asgard> creado especialmente para controlar a Thor.

Caso contrario se puede utilizar el firmware de GRBL al descargar la librería directamente desde Arduino como se observa en la Figura 2, como se observa en la siguiente Figura al buscarlo en el administrador de librerías. Dado el caso que no salga la librería como se observa, se debe descargar la librería grbl desde el siguiente enlace e incorporarlo dentro de la carpeta de librerías de Arduino: <https://github.com/gnea/grbl>



Figura 2. Descargar librería GRBL.

Fuente: Elaboración propia.

Paso 2: Adquisición de los materiales

Se debe buscar en diferentes tiendas los materiales descritos en el documento como ser los pernos, tuercas, arandelas, ejes, rodamientos, etc.

Al menos en la ciudad de Santa Cruz, Bolivia existen zonas donde venden los componentes electrónicos en toda esa zona, y venden todos los materiales de construcción en otra zona. Los materiales de construcción se encuentran en la Av. Brasil entre 2do y 3er anillo, como se muestra en la siguiente Figura 3.

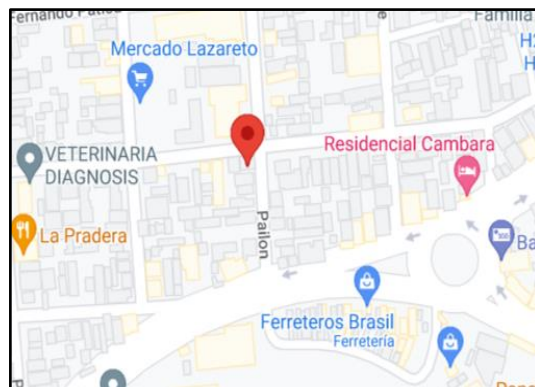


Figura 3. Ubicación tienda de pernos.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 1 y 2 se pueden observar los pernos y tuercas que se deben comprar necesarios para el proyecto.

Tabla 1. Lista de pernos.

Cantidad	Diámetro [mm]	Largo [mm]
2	M2	4
3	M2	6
2	M2	10
4	M3	6
60	M3	8
4	M3	10
35	M3	12
2	M3	14
37	M3	16
12	M3	20
16	M3	25
8	M3	30
15	M3	40
8	M3	46
4	M4	20
1	M5	16

Fuente: (Larrañaga 2015).

Tabla 2. Lista de tuercas.

Cantidad	Tamaño [mm]
4	M2
155	M3
4	M4
1	M5

Fuente: (Larrañaga 2015).

Los componentes electrónicos se hallaron en el centro de la ciudad, específicamente en la calle Charcas como se puede observar en la Figura 4, esta zona es conocida debido a que existen gran cantidad de electrónicas en esta zona, pero para el proyecto la mayor parte de componentes se encontraron en la tienda Sawers, Ardunel y EPY, los cuales son los 3 distribuidores más grandes de componentes electrónicos.

Savin: <https://www.savin.com.bo/savin3d/index.html>

Sawers: <https://tienda.sawers.com.bo/>

Ardunel: <https://tienda.sawers.com.bo/>

Por último, en el caso de este proyecto, se tuvo dificultad encontrando ciertos componentes, los cuales a continuación se muestran cuáles fueron los componentes difíciles de encontrar, los cuales, si se encuentra una mejor solución, se recomienda aplicarla. El primer componente son los pernos M2, en las tiendas mayoristas de pernos tampoco traen este tamaño de perno debido a que no son pernos comerciales, son más que todo utilizados por empresas en el ensamblaje de computadoras.

En este caso se encontró una caja en la electrónica Ardunel en la cual se encontraban diferentes pernos de distintos tamaños entre ellos M2, M2.5, M3. Por lo tanto, se compra este kit de pernos para poder conseguir estos pernos que sirven para el servomotor. El cual se observa en la Figura 6.



Figura 6. Kit de pernos y tuercas.

Fuente: Elaboración propia.

El siguiente componente que no se encuentra con facilidad son los pernos M3 de 40mm y 46mm de largo, los cuales se buscaron en diferentes tiendas pero no hubo éxito, por lo tanto, se decidió buscar en tiendas de electrónica de otros departamentos, en el cual en el siguiente enlace se encontraron estos pernos, por lo tanto, de esta manera se solucionó la falta de stock de este componente. Enlace: <http://dro-bots.com/>

Por último, el otro componente que se dificulta obtener es el motor paso a paso 17HS13-0404S-PG5, el cual no se encuentra en ninguna tienda de Bolivia, para su compra existen dos opciones:

- Solicitar a una tienda como Sawers el pedido del motor paso a paso: En este procedimiento existen ventajas como desventajas. La principal ventaja es que solamente

cobran el costo del componente más un 5% del monto total. La desventaja es que este procedimiento tarda alrededor de 2 a 3 meses, por lo cual, en este caso se decidió optar por otra opción.

- Realizar la compra personalmente mediante la página oficial de motores paso a paso, en la cual, al ser una persona que no importa componentes con frecuencia ni que tiene conocimientos sobre ello, el precio fue alto considerando el envío y los impuestos de los componentes. La ventaja es que solamente tarda alrededor de 15 días, por lo tanto, se recomienda realizar el pedido mediante Sawers para evitar un costo alto. El enlace de la página para comprar los motores paso a paso es el siguiente:

<https://www.omc-stepperonline.com/nema-17-stepper-motor-bipolar-1-33mm-w-gear-ratio-5-1-planetary-gearbox-17hs13-0404s-pg5?tracking=5c5b1e7294397>

Paso 3: Impresión de los archivos CAD

Cada impresora 3D es diferente y ninguna funciona de la misma manera, sin embargo, aquí hay algunas recomendaciones generales que pueden resultar útiles:

- Piezas Grandes: Debido a la resistencia mecánica, sería mejor imprimir las piezas grandes (las de Articulación 2) en una sola pieza. Si no caben en la impresora, hay versiones divididas se encuentran en la carpeta "Mods".
- Materiales: Casi todas las piezas se pueden imprimir en PLA (barato y fácil de imprimir).
- Optodiscos: Las piezas Art1Bot, Art23Optodisk, Art4Optodisk se utilizan para bloquear la luz de un sensor óptico en todas las posiciones excepto donde se encuentra la ranura. Como las paredes del disco son delgadas y permite el paso de la luz, se recomienda cubrir la superficie de estas piezas con pintura base o esmalte de uñas, teniendo cuidado de no tapar la ranura.
- Configuración de impresión: Como las piezas son bastante grandes, se recomienda utilizar alturas de capa gruesas, como 0,3 mm, para reducir el tiempo de impresión. En general, 3-4 paredes deberían ser suficientes con un 20% de relleno.
- Soportes: Algunas partes de las piezas han sido diseñadas a 45 grados para evitar la necesidad de soportes durante la impresión. Sin embargo, algunas piezas necesitan soportes para imprimir bien, por lo que sería una buena idea habilitar los soportes para cada ángulo superior a 50 grados en todas las impresiones.

Para iniciar la impresión de los archivos se necesita una impresora 3D con un área de impresión de 300x300x220mm de área de impresión y boquilla de 0,4mm y adquirir la cantidad de PLA contenido en el documento principal. Los archivos CAD se encuentra en la descripción del anexo A y también se puede descargar en el siguiente enlace: <https://github.com/AngelLM/Thor>.

Se recomienda imprimir las piezas a una velocidad de 50 m/s para así obtener resultados precisos en agujeros, engranajes, soportes, etc. Para la impresión de todos los archivos, se utiliza el software de impresión llamado “CuraSlicer”. Este software es de acceso gratuito, por lo tanto, no existe problema en su adquisición.

En la Figura 7 se observa la configuración que se debe realizar para la impresión de las piezas y así tener un buen acabado y tener los menores errores posibles en su impresión. En esta Figura se observa la configuración de la sección de calidad, en el cual se modifica la altura de capa, la altura de capa inicial y el ancho de línea, estos parámetros se cambian debido a que por defecto vienen en unos valores diferentes, pero con estos parámetros se puede ahorrar un poco de tiempo en la impresión sin afectar en la calidad de la pieza.

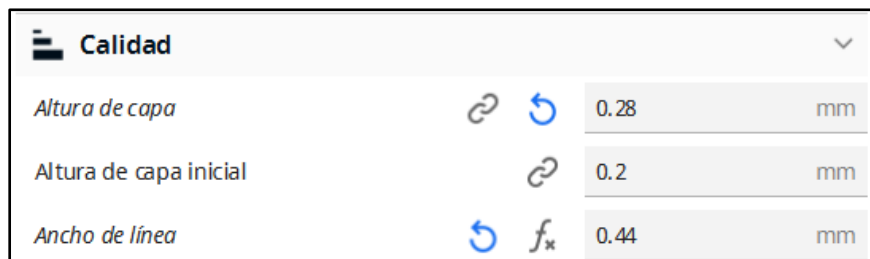


Figura 7. Sección de Calidad en CuraSlicer.

Fuente: Elaboración propia.

La siguiente configuración que se debe cambiar son la cantidad de capas superiores e inferiores, las cuales se pueden aumentar o disminuir, pero es importante mantenerlas en 3 para así tener un buen acabado y a la vez que no tome mucho tiempo extra de impresión como se observa en la Figura 8.

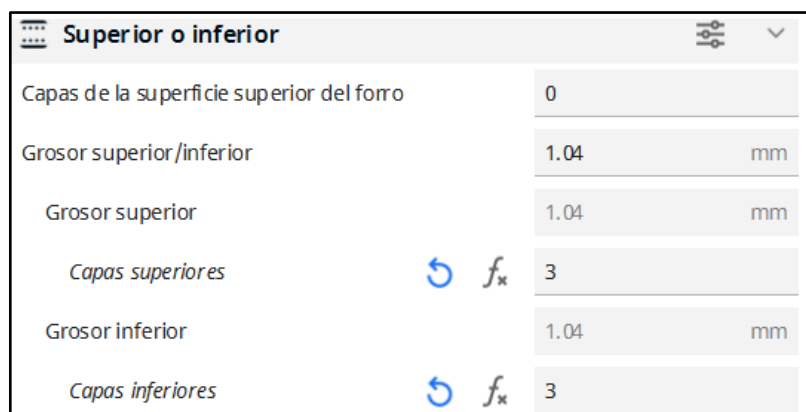


Figura 8. Sección de Superior o inferior en CuraSlicer.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 9 se observa la sección de relleno, la cual se coloca como densidad de relleno de 30% y se utiliza el patrón de relleno cúbico, este relleno cúbico tiene la característica de que es un relleno que hace que la estructura de la pieza sea estable y también a un tiempo moderado, existen otros rellenos los cuales tardan más tiempo y tienen mayor durabilidad, pero con las características que proporciona este relleno es suficiente.

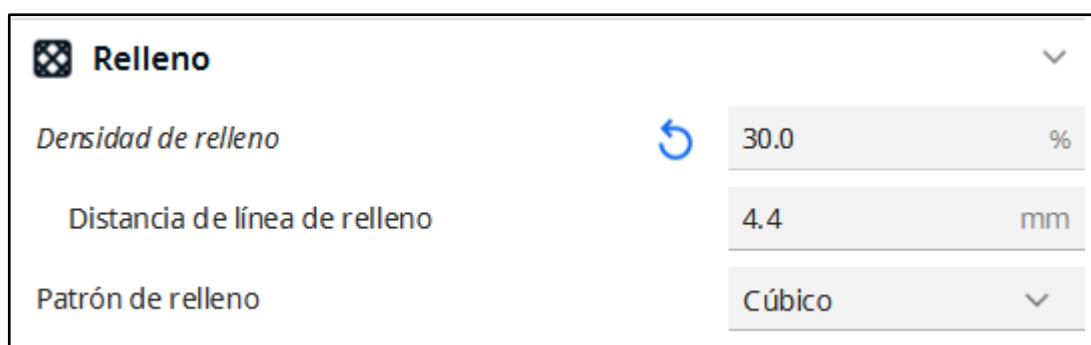


Figura 9. Sección de Relleno en CuraSlicer.

Fuente: Elaboración propia.

Un consejo útil es emplear laca para el cabello en piezas grandes. Esto se debe a que, en ausencia de una impresora 3D con ambiente cerrado, cualquier corriente de aire a una temperatura distinta de la que se encuentra la cama de impresión puede dar lugar al fenómeno conocido como "warping". El warping se refiere al levantamiento de las esquinas de la pieza en proceso de impresión, y es un error bastante común en la impresión 3D.

Otro consejo previamente a realizar la impresión es realizar la calibración de la impresora 3D, principalmente las excéntricas, los pasos/mm de los motores paso a paso y por último, los resortes que nivelan las cuatro esquinas de la cama de la impresora 3D.

A continuación, se presentan los pasos para verificar el estado de las excéntricas:

1. Asegúrate de que las excéntricas pueden moverse fácilmente al ejercer una ligera presión con el dedo.

2. Verifica que, si las excéntricas se mueven con facilidad, pero no provocan el giro del extrusor o la cama, esto indica que están demasiado flojas.

3. Si las excéntricas no se mueven y presentan signos de desgaste, es necesario aflojarlas.

Realizar estos pasos se garantiza el correcto funcionamiento de las excéntricas en tu impresora 3D, las cuales se muestran a continuación.



Figura 10. Excéntricas en una impresora 3D.

Fuente: Elaboración propia.

Los resortes de la cama desempeñan un papel crucial al nivelar la superficie de impresión en una impresora 3D. Esto es de suma importancia para evitar daños en la cama y garantizar una impresión precisa. Aunque muchas impresoras 3D modernas están equipadas con sistemas de nivelación automática que utilizan sensores táctiles, se aconseja realizar un nivelado manual utilizando una hoja de papel A4, como se ilustra en la Figura 11, esto se debe realizar en cada una de las cuatro esquinas de la cama y por último en el centro, para así modificar el valor de z offset.



Figura 11. Calibración de una impresora 3D.

Fuente: Elaboración propia.

Por último, en la Tabla 3 se pueden observar las piezas a imprimir con su respectivo tiempo de impresión.

Tabla 3. Partes del Brazo manipulador de 6 grados de libertad “Thor”.

Pieza	Tiempo de impresión	Consumo de filamento
Pieza 1: BaseBot	19 horas	261 gramos
Pieza 2: BaseTop	7 horas y 26 minutos	129 gramos
Pieza 3: BaseBearingFix	2 horas y 5 minutos	35 gramos
Pieza 4: BaseBoxBody	23 horas y 9 minutos	289 gramos
Pieza 5: BaseBoxCover	5 horas y 9 minutos	93 gramos
Pieza 6: Art1Body	1 día y 7 horas.	421 gramos
Pieza 7: Art1Bot	5 horas y 42 minutos.	75 gramos
Pieza 8: Art1Top	8 horas y 22 minutos	132 gramos
Pieza 9 y 10: Art1FanHolder	30 minutos	4 gramos
Pieza 11: Art1GearMotor	36 minutos	7 gramos
Pieza 12: Art1OptoFix	20 minutos	4 gramos
Pieza 13: Art2BodyA	12 horas y 13 minutos	168 gramos
Pieza 14: Art2BodyACover1	2 horas	33 gramos
Pieza 15: Art2BodyACover2	2 horas	31 gramos
Pieza 16: Art2BodyAWindow	2 horas	27 gramos
Pieza 17: Art2BodyB	13 horas y 26 minutos	198 gramos
Pieza 18: Art2BodyBCover	3 horas y 53 minutos	66 gramos
Pieza 19: Art2BodyUnion	4 horas y 40 minutos	60 gramos
Pieza 20: Art2GearMotor	1 hora y 22 minutos	14 gramos
Pieza 21 y 22: Art2SideCover	6 horas y 49 minutos	103 gramos
Pieza 23: Art3Body	1 día y 1 hora	341 gramos
Pieza 24: Art3Pulley	3 horas y 3 minutos	37 gramos
Pieza 25: Art3TensionerBody	16 minutos	2 gramos
Pieza 26: Art3TensionerPulley	16 minutos	3 gramos
Pieza 27: Art4Body	23 horas y 30 minutos	307 gramos
Pieza 28: Art4BearingFix	10 minutos	2 gramos
Pieza 29: Art4BearingPlug	4 minutos	1 gramo
Pieza 30: Art4BearingRing	2 horas	24 gramos
Pieza 31: Art4BodyBot	2 horas y 18 minutos	32 gramos
Pieza 32: Art4BodyFan	3 horas	35 gramos
Pieza 33: Art4MotorFix	22 minutos	4 gramos
Pieza 34: Art4MotorGear	35 minutos	7 gramos
Pieza 35: Art4OptoDisk	34 minutos	8 gramos
Pieza 36: Art4TransmissionColumn	4 horas y 35 minutos	59 gramos
Pieza 37: Art23OptoDisk	24 minutos	4 gramos
Pieza 38: Art56GearPlate	5 horas y 12 minutos	67 gramos
Pieza 39: Art56MotorCoverRing	2 horas y 24 minutos	34 gramos
Pieza 40: Art56MotorHolderA	35 minutos	6 gramos
Pieza 41: Art56MotorHolderB	34 minutos	6 gramos
Pieza 42: Art56SmallGear	1 hora y 39 minutos	15 gramos
Pieza 43: CommonBearingFix	23 minutos	4 gramos

Pieza 44: CommonBearingFixThrough	23 minutos	3 gramos
Pieza 45: GripperActiveArm	18 minutos	9 gramos
Pieza 46: GripperArm	9 minutos	2 gramos
Pieza 47: GripperBot	2 horas y 17 minutos	25 gramos
Pieza 48: GripperFinger	1 hora y 30 minutos	20 gramos
Pieza 49: GripperPassiveArm	15 minutos	3 gramos
Pieza 50: GripperTop	1 hora y 9 minutos	16 gramos

Fuente: Elaboración propia.

Paso 3: Elaboración de la placa PCB

Dentro de la fabricación de la PCB, existen diferentes pasos a realizar, el cual el primero es determinar los requerimientos y los componentes que conforman esta placa electrónica, lo cual se realiza en el documento, pero para realizar esto se necesita un software de electrónica, en este caso se utiliza el software llamado Proteus, el cual permite realizar diseños esquemáticos y también realizar diseños para la fabricación de placas electrónicas.

En el documento se muestra un diseño en 3D de la placa electrónica, el cual se realiza mediante la descarga de los archivos “STEP” de los componentes electrónicos. Estos archivos se encuentran normalmente en la página snapEDA, la cual contiene muchos archivos CAD de los componentes electrónicos mayormente utilizados.

Estos archivos se deben colocar en la carpeta que se cree el archivo del proyecto, para que así automáticamente se coloquen, caso contrario se pueden exportar estos archivos uno por uno al programa, pero esto es más tardío.

En algunos casos se realiza primero el diseño esquemático, pero en este caso se realiza directamente el diseño en la sección PCB del software, debido a que cuando se realiza el diseño esquemático primero y se lo trata de exportar, las conexiones que realiza el software automáticamente suelen no estar correctamente hechas, por lo tanto, para ahorrar tiempo se procura realizarlo directamente.

El proceso de diseñar y fabricar una placa de circuito impreso (PCB) implica varios pasos. A continuación, se detallan los pasos para llevar a cabo este proceso:

1. Diseño del Esquemático:

Definir la funcionalidad del circuito y crear un esquema eléctrico en software de diseño como KiCad, Eagle, Altium, Proteus, etc.

En este caso se utiliza Proteus para realizar el diseño electrónico, por lo tanto, una vez se tiene eso definido, se procura a definir la funcionalidad del circuito.

En el proyecto Thor, se parte de un circuito base que incluye motores paso a paso como componentes principales encargados de controlar el movimiento y la posición del brazo manipulador. Para determinar qué motores son adecuados para el robot móvil, cuyo objetivo es conocer su posición en los ejes x, y , se opta por utilizar motores paso a paso. Estos motores permiten obtener información precisa sobre la posición y velocidad del robot móvil a través de los pasos dados.

Una vez definidos los motores a utilizar, se identifica la necesidad de contar con controladores específicos para los motores paso a paso. Con el propósito de lograr una alta precisión en el robot manipulador, se elige el controlador DRV8825. Por otro lado, para el robot móvil, donde no se requiere la misma precisión, se emplea el controlador A4988. Esta selección de controladores se basa en la necesidad de adaptar la precisión de control a las características particulares de cada componente del proyecto.

El uso de finales de carrera no se cambia ni tampoco el final de carrera a utilizar, por lo tanto, ese componente se mantiene de la misma manera, así como los ventiladores y el servomotor MG995.

Por último, se considera la posibilidad de colocar la computadora encima del robot móvil para realizar el control del robot móvil, pero se la descarta debido a distintos factores:

- Seguridad: El colocar una computadora encima del robot móvil puede salir mal si es que no se tiene cuidado en las velocidades utilizadas o en los movimientos del brazo manipulador.
- Espacio: No hay el suficiente espacio para colocar una computadora encima del robot móvil y no es la opción más eficiente.

Debido a estas consideraciones se decide implementar un módulo Bluetooth, para así poder mandar los comandos a distancia, además de que no se pretende que se emplee en un área grande, por lo tanto, con el alcance del Bluetooth es más que suficiente.

2. Diseño de la PCB

- Abrir un nuevo proyecto de PCB en Proteus.
- Establecer una medida de la placa según el espacio que se pueda utilizar para así tener una mejor distribución de los componentes.
- Coloca los componentes en la PCB y enruta las conexiones entre ellos.
- Revisar que no existan rutas en 90 grados para así evitar cortos circuitos.
- Revisar varias veces si todas las GND están conectadas entre ellas.
- Asegurarse de que el diseño sea eficiente y tenga rutas de señal cortas para minimizar interferencias electromagnéticas.
- Considera la disposición de componentes para facilitar el ensamblaje. }
- Realiza comprobaciones de reglas de diseño para asegurarte de que no haya errores, como cortocircuitos o violaciones de restricciones.

3. Generación de Archivos:

Exportar el archivo PDF desde Proteus. Estos archivos describen la capa de cobre, capas de máscara, capas de soldadura, taladros, etc. La cual es importante para realizar la fabricación PCB.

Para la fabricación PCB existen dos opciones:

- Enviar el diseño a que sea realizado mediante CNC, lo cual es una manera más sencilla de realizar la placa PCB, pero tiene un costo mayor.
- Realizarlo en el aula o en casa, para así tener aprender distintos conceptos de la electrónica y habilidades de soldadura.

Dado el caso que se elija realizar la placa por cuenta propia, se debe comprar los componentes necesarios, los cuales se adjuntan a continuación en la Tabla 4:

Tabla 4. Lista de componentes para la placa.

Componente	Cantidad
Resistencia 220	5
Resistencia 1k	5
Regulador de voltaje	1
Fusible GF1100	1
Controlador A4988	4
Controlador DRV8825	7
Arduino Mega 2560	1
Espadines Hembra	20
Espadines Macho	20
Bluetooth HC-05	1
Placa de cobre 15x15cm	1
Metro de estaño	4
Cautín	1
Pasta de soldar	1
Esponja de acero	1
Estilete	1
Litro de ácido férrico	1

Fuente: Elaboración propia.

Una vez se tienen los componentes necesarios, se procede a realizar la placa PCB, el primer paso es tener la hoja impresa en papel termotransferible como se observa a continuación en la Figura 12:



Figura 12. Hoja impresa en papel termotransferible.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez se corta los papeles a la medida de la placa, se la debe colocar justo a la medida sin que sobresalga, esto es importante ya que puede arruinar el diseño desde un principio. Posterior a esto, se le debe pasar con una esponja de acero inoxidable a la plancha para sacar cualquier impureza y luego con una plancha caliente para que el contenido de la hoja pase a la placa de cobre. Este paso se puede observar en la Figura 13 mostrada a continuación.



Figura 13. Hoja planchada en la placa de cobre.

Fuente: Elaboración propia.

Este paso se realiza tanto para la cara superior como para la cara inferior, por lo tanto, una vez se realiza esto, se lo debe retirar para que así quede como se ilustra en la Figura 14:

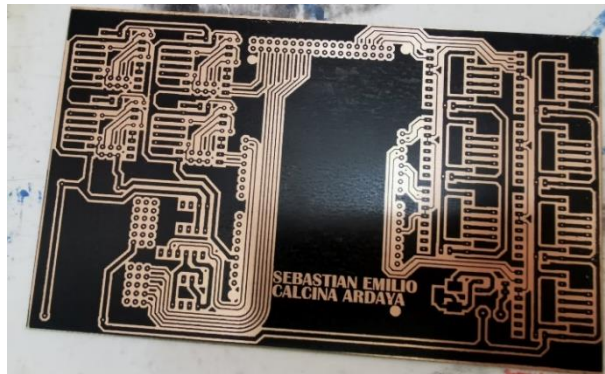


Figura 14. Diseño PCB transferido a la placa de cobre.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se tiene el circuito planchado en la placa, se debe asegurar que el diseño no se salga utilizando ácido férrico, en el cual se diluye en un litro de agua un poco del ácido férrico para así realizar el grabado utilizando esta mezcla como se observa en la Figura 15.

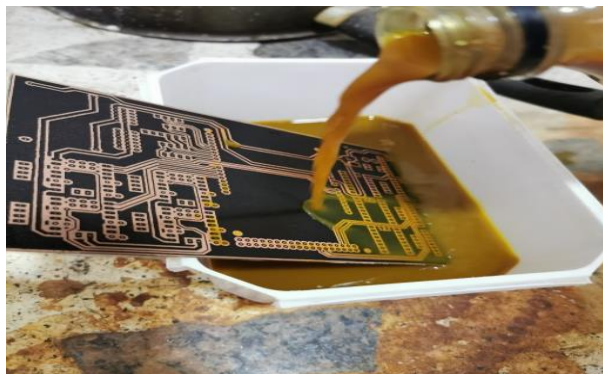


Figura 15. Grabado del diseño PCB.

Fuente: Elaboración propia.

Este paso se debe repetir una y otra vez hasta que se vea que la placa tiene un color resplandeciente y posterior a ello, se le debe pasar nuevamente con una esponja de acero para eliminar los espacios negros que existen en la placa PCB, de manera que queda como se observa en la Figura 16.

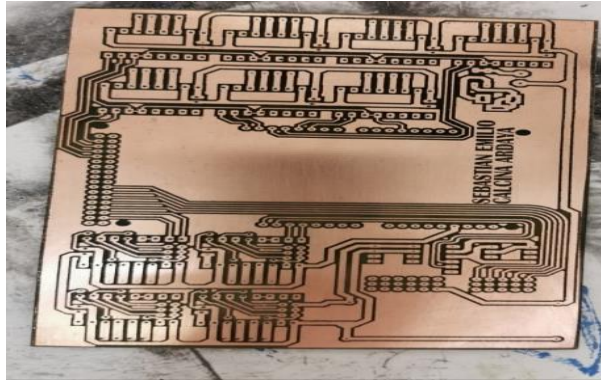


Figura 16. Grabado del diseño PCB.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la anterior Figura quedan los residuos alrededor, por lo tanto, se debe tener un espacio de trabajo que se pueda ensuciar, o utilizar una manta por debajo para así no ensuciar el espacio de trabajo.

Posterior a ello, se deben realizar los agujeros para colocar los espadines necesarios para conectar los componentes posteriormente, en la Figura 17 se observa cómo están los agujeros realizados, los cuales tienen distintas medidas, pero la mayor parte son de 0.1 mm y el agujero más grande es de 3mm, los cuales son para poder asegurar la placa electrónica en la caja de componentes.

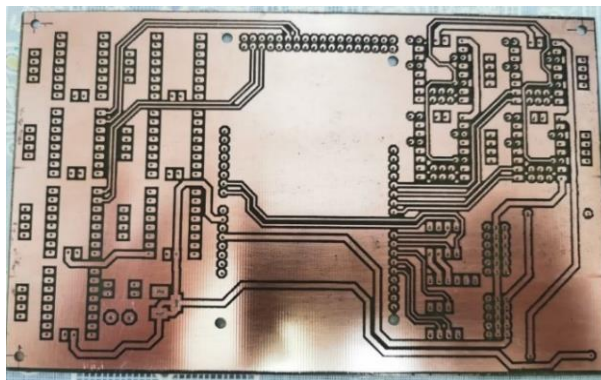


Figura 17. Agujeros en la placa PCB.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez se realizan los agujeros, el siguiente paso es realizar la soldadura de los componentes como se observa a continuación en la Figura 18, en este paso se debe realizar con mucha paciencia las soldaduras y asegurar de que no se conecten entre pines debido a que puede causar un corto circuito cuando se realice alguna conexión.

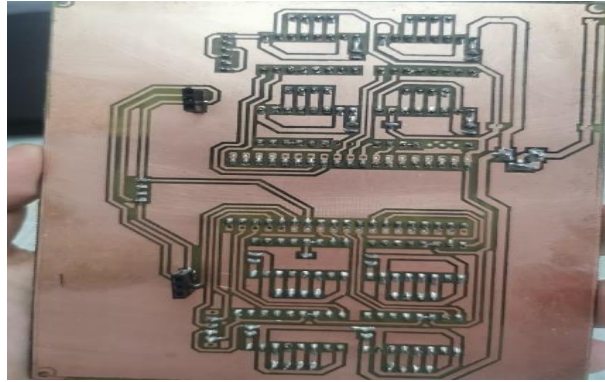


Figura 18. Soldadura en la placa PCB.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez se terminan las soldaduras, se observa que la placa queda de la siguiente manera que se observa en la Figura 19, la cual ya está lista para realizarse las pruebas correspondientes de cada uno de los componentes, pero es recomendable verificar la continuidad utilizando un tester.

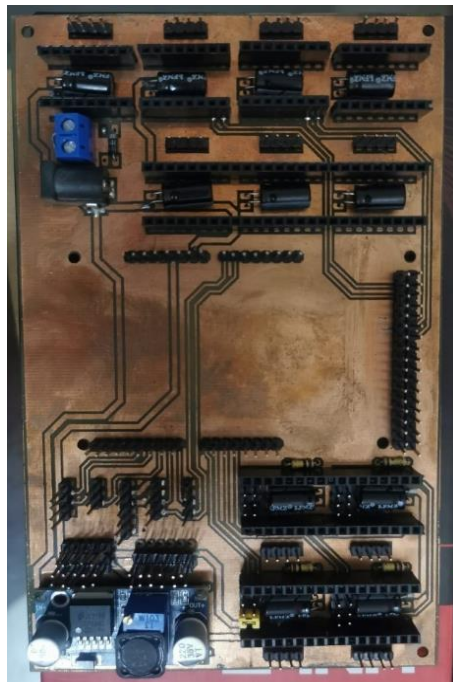


Figura 19. Placa PCB terminada.

Fuente: Elaboración propia.

Paso 4: Ensamblaje físico del Robot Manipulador móvil

El ensamblaje del robot manipulador móvil se detalla a continuación, el cual se recomienda realizar el proceso de ensamblaje desde la última articulación hasta abajo, para así llevar los cables de los componentes electrónicos desde la última articulación hasta la base, el cual es el espacio donde se encuentra la placa electrónica.

He de aclarar que también existen diferentes maneras de verificar como se realiza el ensamblaje, en el canal de “Sr. Ferrete” se encuentra el ensamblaje en su mayor parte del robot manipulador Thor y además el autor de este proporciona el archivo CAD donde se encuentra el ensamblaje y una simulación que realiza paso a paso el ensamblaje del robot, donde menciona que pieza y cuanta cantidad de pernos y tuercas se necesita en ese paso. (<http://thor.angel-lm.com/documentation/assembly/>)

Garra o Gripper

El primer paso es colocar las tuercas correspondientes en cada espacio que tiene forma de tuerca o forma hexagonal como se puede observar en la siguiente Figura que corresponde a la pieza Art56MotorCoverRing. Además de que el ensamblaje se puede encontrar a detalle en el siguiente enlace: https://www.youtube.com/watch?v=_8irjosCVqg&ab_channel=AngelLM

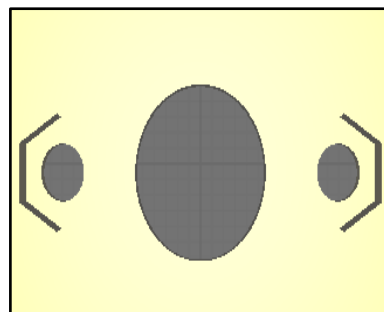


Figura 20. Forma hexagonal de las tuercas.

Fuente: Elaboración propia.

En este caso, se tuvo dificultad al colocar las tuercas a presión, por lo tanto, se recomienda utilizar aire caliente para así ablandar la pieza y que, entre correctamente la tuerca, también existe el caso en que el espacio donde entra la tuerca es más grande que la tuerca, para este caso se debe utilizar pegamento para así evitar que las tuercas se caigan cuando se comienza a colocar los pernos. Para este caso se utilizó una secadora de pelo y el pegamento “La gotita”, pero también se puede utilizar la hornilla de la cocina para calentar la pieza. Para esta pieza que se muestra a continuación se necesita en total:

- 10 tuercas M3
- 5 pernos M3x12mm
- 4 pernos M3x20mm
- 4 pernos M3x16mm

Entonces como se menciona anteriormente el primer paso es colocar las tuercas y colocar el servomotor MG995 como se observa en la Figura 21.



Figura 21. Primer paso del ensamblaje del Gripper.

Fuente: Elaboración propia.

El siguiente paso es colocar las piezas GripperActiveArm y GripperPassiveArm, las cuales deben coincidir, es decir, que sus puntas estén orientadas en el mismo ángulo, para así cuando se coloque las piezas GripperFinger, no exista errores.



Figura 22. Segundo paso del ensamblaje del Gripper.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez se colocan estas piezas, se debe colocar las piezas GripperFinger que se debe tener especial cuidado para que coincidan como se colocan en la siguiente Figura, deben quedar alineadas las piezas que agarran a los objetos.



Figura 22. Último paso del ensamblaje del Gripper.

Fuente: Elaboración propia.

Cuarta y quinta articulación

Para el ensamblaje de estas dos articulaciones que conectan a la garra se necesitan distintos materiales, los cuales se describen a continuación.

- 1 Tuerca M5
- 1 M5x18mm
- 37 tuercas M3
- 4 625ZZ Rodamiento
- 18 M3x8mm
- 2 M3x6mm
- 12 M3x28mm
- 12 M3x16mm
- 4 M3x12mm
- 2 M2x10mm
- 2 M2x6mm
- 4 tuerca M2
- 30 bolillas de 6mm
- 1 varilla de 102x5mm
- 2 poleas GT2 de 40 dientes
- 2 correa GT2x208mm
- 2 poleas GT2 de 20 dientes
- 2 ventiladores 40x40mm

Entonces una vez que se tienen todos estos materiales en la mesa, como se menciona anteriormente se deben colocar todas las tuercas para así ahorrar tiempo, ya que en su mayoría todas las tuercas se deben introducir con la ayuda de una secadora o pistola de calor.

En la Figura 23 se muestra lo que debe realizarse dentro del cuerpo de la articulación 4, esto se muestra así previamente porque cuando el ensamblaje de estas piezas no se ve claramente dentro, como se puede ver están las piezas Art56CoverMotorRing, Art56SmallGear y la pieza Art56GearPlate y dos poleas de 40 dientes, en esta pieza se debe tener especial cuidado debido a que si se atornilla mucho el perno M5, los dientes de la pieza Art56SmallGear no encajan con los dientes de la otra pieza. Además de que como se menciona en el documento, las poleas de 40 dientes varían según el fabricante, en este caso el diámetro varia y no encaja en la pieza, por lo tanto, se realiza una modificación, pero también existe la posibilidad de rellenarlo para que la polea encaje, se hizo la prueba de rellenarlo con cierta parte de una correa para que así encaje y se pueda utilizar.

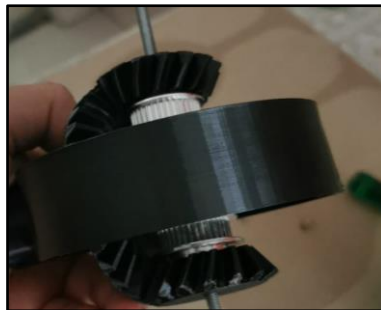


Figura 23. Primer paso del ensamblaje de la Articulación 5 y 6.

Fuente: Elaboración propia.

Además de que se debe tener en cuenta que no se debe olvidar de colocar las correas antes de colocar los otros componentes electrónicos, como se puede observar en la Figura 24.



Figura 24. Segundo paso del ensamblaje de la Articulación 5 y 6.

Fuente: Elaboración propia.

En esta pieza de la articulación 4, hay una varilla que va atravesada la cual conecta ambas poleas y como se puede ver a un lado derecho, está el final de carrera switch. Luego de esto, se debe colocar los 2 motores que van a ir conectados mediante poleas, para que estos mediante las correas ejerzan el movimiento de esta articulación, cada motor cuenta con 2 piezas

que va conectado en la parte superior e inferior del motor, las cuales funcionan como un carril en la articulación 4, en la Figura 25 se puede observar cómo van estas 2 piezas con el motor.



Figura 25. Tercer paso del ensamblaje de la Articulación 5 y 6.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez se colocan los 2 motores y se coloca la correa, el siguiente paso es cerrar el cuerpo de esta articulación para que se pueda colocar las otras piezas que conectan con la articulación 3. Esto se puede observar en la siguiente Figura, lo cual es importante sacar todos los cables con el debido cuidado para así no arruinar los conectores.

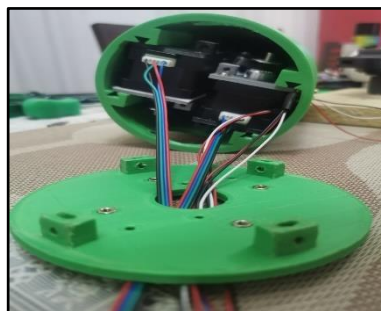


Figura 26. Cuarto paso del ensamblaje de la Articulación 5 y 6.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez se sacan los cables desde la garra hasta la articulación 4 y 5, se los debe hacer pasar por el agujero de la articulación 3 y colocar la pieza que realiza el movimiento de esta articulación como se observa en la siguiente Figura.



Figura 27. Último paso del ensamblaje de la Articulación 5 y 6.

Fuente: Elaboración propia.

Tercera articulación

En la tercera articulación no existen problemas o especiales cuidados en su ensamblaje, de hecho, es una de las piezas que se ensambla sin dificultad. Como se menciona anteriormente, el primer paso es colocar todas las tuercas antes de realizar cualquier otra cosa, para así ahorrar tiempo en el armado.

Luego de este paso se debe colocar el ventilador, como se puede observar en la Figura 28, este ventilador tiene unas dimensiones de 40x40x10mm.

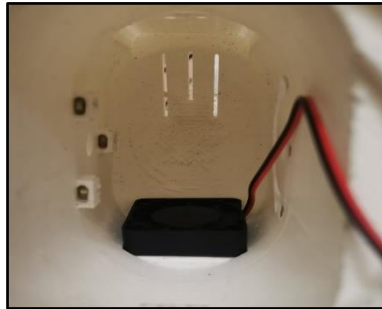


Figura 28. Primer paso del ensamblaje de la Articulación 3.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se instala el ventilador, es fundamental prestar atención al cableado, asegurándose de que este se extienda hasta la caja que alberga todos los componentes electrónicos. Posteriormente, se procede a la colocación del motor paso a paso. Para ello, se acopla un engranaje al eje del motor, permitiendo su conexión con la articulación 4 del sistema.

El siguiente paso implica la fijación de la correa en la pieza denominada Art3Pulley. La tensión de esta correa se ajusta cuidadosamente mediante el perno correspondiente, como se muestra en la Figura 29.



Figura 29. Segundo paso del ensamblaje de la Articulación 3.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 30 se observa como los cables se los va bajando desde la parte superior del robot manipulador hasta la articulación 3. Se debe tener cuidado y antes de seguir, se recomienda colocar nombre a los cables de los componentes para que, al realizar las conexiones a la placa, no se malgaste tiempo viendo cual cable corresponde a cada componente.

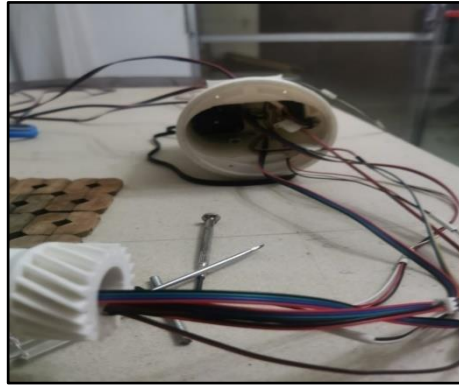


Figura 30. Último paso del ensamblaje de la Articulación 3.

Fuente: Elaboración propia.

Segunda articulación

En esta articulación se tienen distintas piezas, las cuales en su mayoría se acoplan a presión. En estas dos piezas se colocan dos rodamientos los cuales funcionarán para los ejes que se colocan para conectar tanto con la articulación 1 como con la articulación 3, esto se observa en la Figura 31.

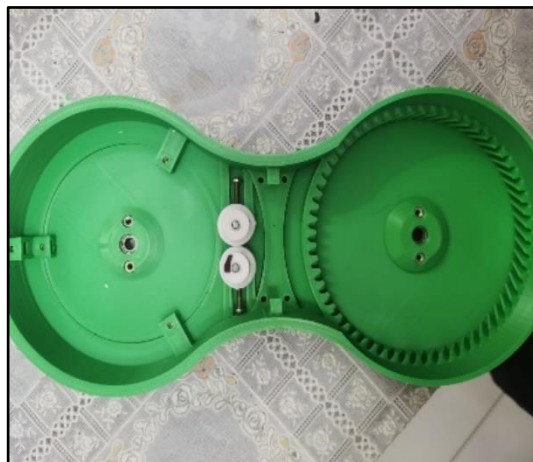


Figura 31. Ensamblaje de la Articulación 2.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez se colocan las piezas correspondientes en esta pieza, se deben colocar los finales de carrera en la contraparte, para que de esa manera quede unido.

Primera articulación

La primera articulación es la articulación más importante, esto debido a que en esta se encuentran los motores con reducción planetaria. Luego de pasar todos los cables por todas las articulaciones previas, se debe ensamblar la primera articulación, la cual es la más sencilla en ensamblaje, a excepción de cuando se pasan los cables para ir a la base, una vez se colocan los motores y se pasan los motores quedan de la siguiente manera junto a cada una de los engranajes y polea correspondientes para cada motor.

Se recomienda tener especial cuidado al colocar los motores debido a que la parte frontal de la pieza tiene partes delgadas, las cuales tienden a romperse debido a su grosor.



Figura 32. Ensamblaje de la Articulación 1.

Fuente: Elaboración propia.

Base

Esta pieza es relativamente sencilla también debido a que el primer paso es colocar el final de carrera y el ventilador de esta pieza como se observa a continuación.

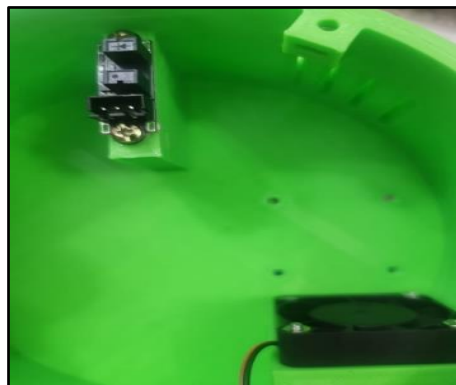


Figura 33. Primer paso del ensamblaje de la base.

Fuente: Elaboración propia.

Luego de realizar esto, se debe colocar el motor en el lugar que se ve en la anterior imagen, la cual se le debe colocar un engranaje acoplado a su eje, además de que esta pieza incluye un rodamiento el cual se ve acoplado en la Figura 34, este rodamiento es importante colocarlo utilizando una pistola de calor o una secadora de pelo, para así evitar dañar la pieza al realizar fuerza.

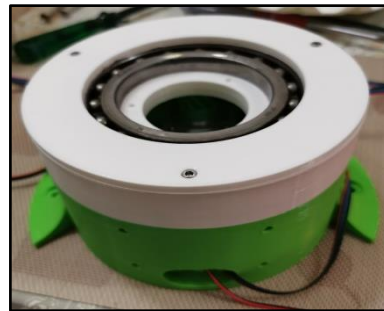


Figura 34. Segundo paso del ensamblaje de la base.

Fuente: Elaboración propia.

El siguiente paso es colocar la pieza que conecta al rodamiento y en la cual se colocan dos ventiladores para así ventilar los motores pasos a pasos con reduccion planetaria debido a que estos tienden a sufrir un sobrecalentamiento, esta parte del ensamblaje se observa en la siguiente Figura.

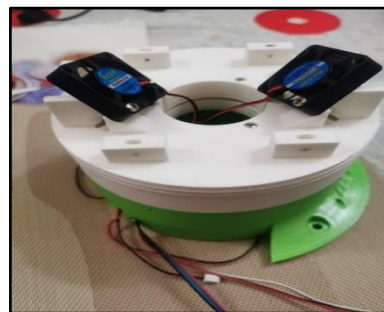


Figura 35. Tercer paso del ensamblaje de la base.

Fuente: Elaboración propia.

Paso 5: Instalación del Firmware

Para la instalación del firmware en el tablero de control, se usa el IDE de Arduino. Una vez que se haya instalado, ir a la página de “Descargas” y descargue los archivos de firmware más recientes.

Descomprimir el archivo descargado y navegar hasta `grbl-1.0/grbl/examples/grblUpload`. En esta carpeta hay un archivo llamado `grblUpload.ino` que se debe abrir usando Arduino IDE.

Haga clic en Sketch > Incluir biblioteca > Agregar biblioteca .ZIP. En la nueva ventana, navegue hasta la carpeta grbl-1.0/grbl y presione "Abrir" para incluirla en el proyecto (no incluya el archivo .zip ni la carpeta grbl-1.0).

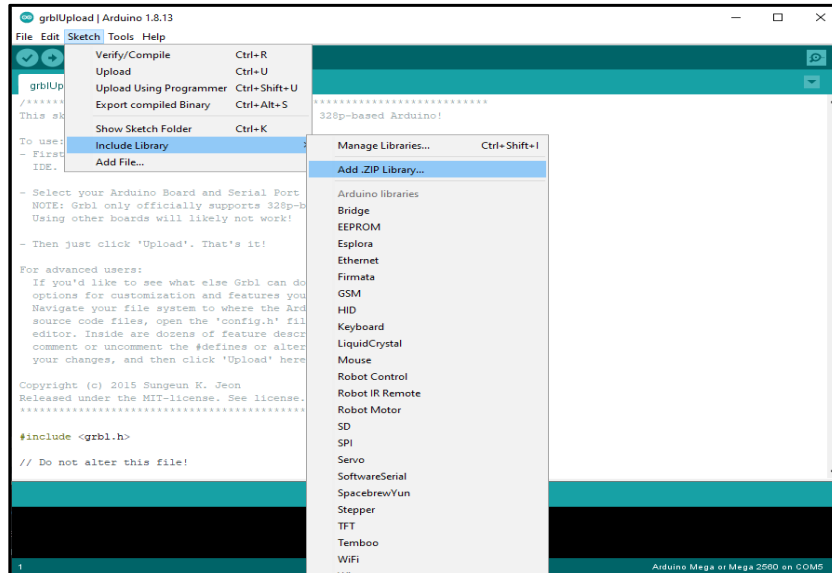


Figura 36. Primer paso de la instalación de GRBL.

Fuente: Elaboración propia.

Conectar el Arduino Mega a la PC sin tener la placa PCB conectada al Arduino. En el IDE de Arduino, ir a Herramientas > Placa y seleccionar "Arduino Mega". Si no se selecciona automáticamente, ir a Herramientas > Puerto y seleccionar el puerto donde está conectada la placa como se observa en la siguiente Figura.

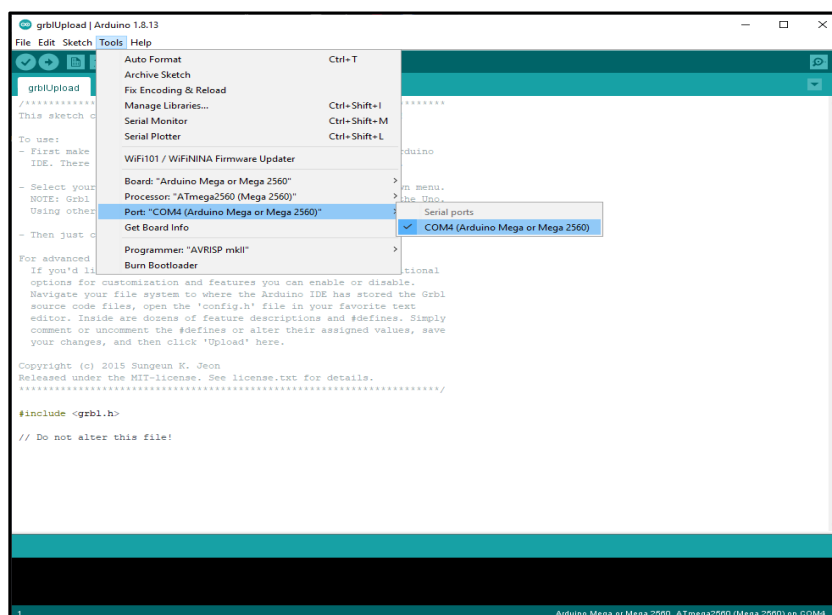


Figura 37. Segundo paso de la instalación de GRBL.

Fuente: Elaboración propia.

Presionar el botón Cargar (el que tiene una flecha horizontal) ubicado en la barra superior. Después de unos segundos la carga finalizará y en la barra inferior debería aparecer el siguiente mensaje: “Listo para cargar”.



Figura 38. Tercer paso de la instalación de GRBL.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez se realizan estos pasos se puede conectar la placa PCB al Arduino. y comenzar con la configuración y pruebas.

Paso 6. Configuración de firmware

GBRL tiene una lista de ajustes que se pueden configurar. Para que funcione para Thor, es necesario realizar algunos cambios.

Para realizar esta configuración puede utilizar la consola. En esta guía se usa el integrado en el IDE de Arduino a pesar de que también el software Asgard lo tiene incorporado.

Con el Arduino conectado a la PC, abrir el IDE de Arduino y hacer clic en el botón Serial Monitor (en el lado derecho de la barra superior). Debería aparecer una nueva ventana.

Hacer clic en el cuadro de selección de velocidad en baudios y seleccionar la opción 115200 si aún no está seleccionada y seleccione la opción "Nueva línea" en el otro cuadro de selección. Ahora se debe ver el siguiente mensaje en la consola: “Grbl 0.9j ['\$' para ayuda] – Thor Versión 1.0”

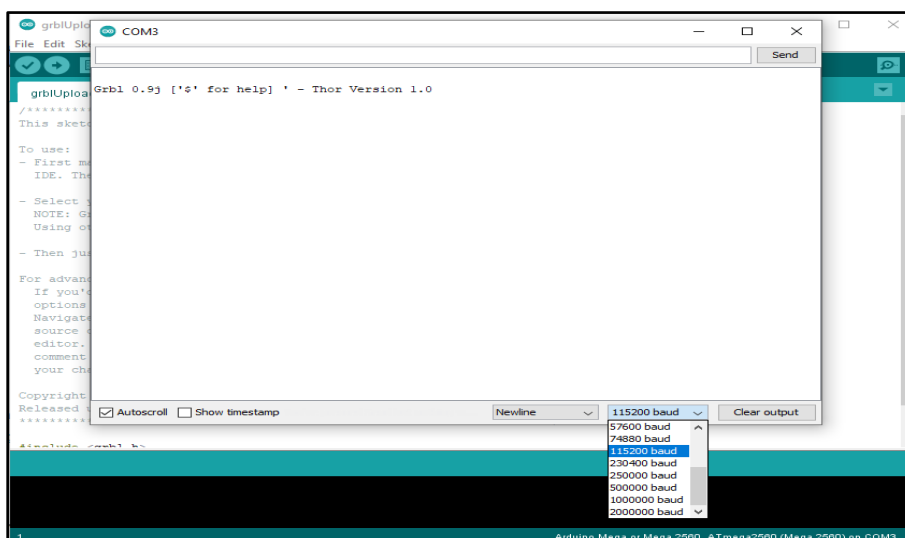


Figura 39. Cuarto paso de la instalación de GRBL.

Fuente: Elaboración propia.

Si se envía el comando \$\$ en el cuadro de texto de entrada y se presiona Intro, la placa devolverá la configuración GRBL actual.

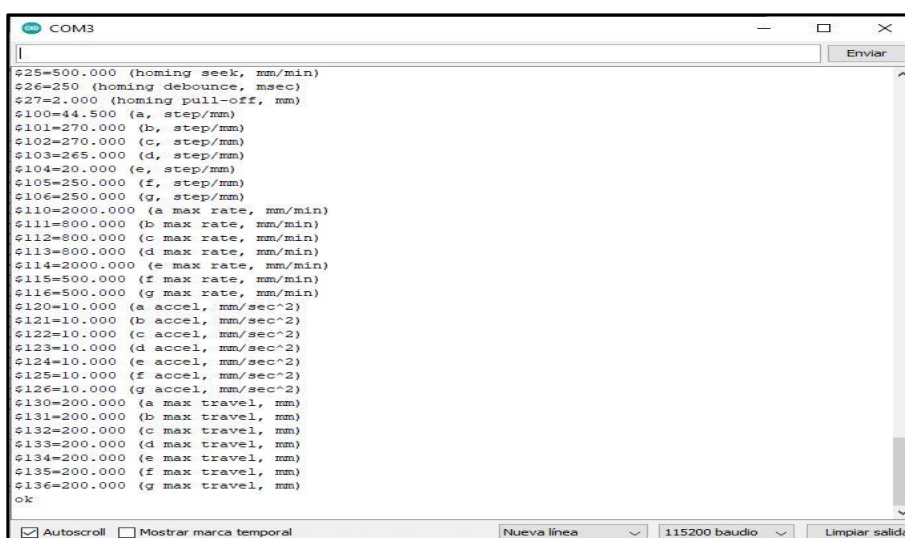


Figura 40. Quinto paso de la instalación de GRBL.

Fuente: Elaboración propia.

Por defecto, los parámetros deben coincidir con los mostrados previamente, pero estos serán modificados en la integración del robot móvil.

En caso de que no coincidan, se puede intentar enviar el comando \$RST=\$. Este comando reemplaza los valores de los parámetros con los predeterminados (es útil si se está probando nuevos parámetros y se desea volver a los predeterminados).

También se puede cambiar los valores uno por uno enviando el comando donde “*parámetro*” es el número del parámetro y “*valor*” es el valor del parámetro. Por ejemplo, para configurar el tiempo del pulso de paso en 10 usecs se envía el comando: *\$parameter=valor\$0=10*

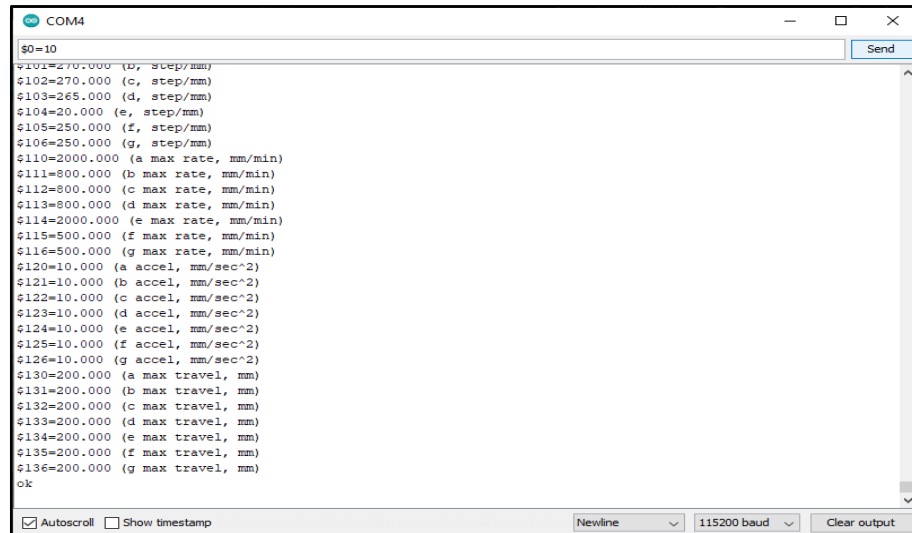


Figura 41. Último paso de la instalación de GRBL.

Fuente: Elaboración propia.

Prueba de firmware

Se usa GRBL para controlar los motores Thor. GBRL procesar los comandos de GCode, por lo que sería una buena idea saber qué son los comandos de GCode.

Estos serían los comandos básicos y cómo usarlos:

Mover: G0 y G1

Uso

G0 Annn Bnnn Cnnn Dnnn Xnnn Ynnn Znnn Fnnn G1 Annn Bnnn Cnnn Dnnn Xnnn Ynnn Znnn Fnnn

Variables

No es necesario utilizar todas las variables, pero sí al menos una.

Annn: El ángulo al que girar en la primera articulación (motor n.º 1)

Bnnn: El ángulo al que girar en la segunda articulación (motor n.º 2)

CNN: El ángulo al que girar en la segunda articulación (motor n.º 3)

Dnnn: El ángulo al que rotar en la tercera articulación (motor n.º 4)

Xnnn: El ángulo al que girar en la cuarta articulación (motor n.º 5)

Ynnn: El ángulo al que girar en la quinta y sexta articulación (motor n.º 6)

Znnn: El ángulo al que girar en la quinta y sexta articulación (motor n.º 7)

Fnnn: La velocidad de avance por minuto del movimiento entre el ángulo inicial y el ángulo final (si se proporciona)

Nota: B&C debe ser el mismo número

Ejemplos:

G0 A10 B45 C45 D-45 X15 Y5 Z-5 Este código pasará al 10° el Art. 1°, al 45° el Art. 2°, al -45° el Art. 3°, al 15° el Art. 4°. y rotará la muñeca (Arte 5 y 6)

G1 A20 X-20 F1000 Este código pasará al 20° del art. y a -20° el 4° Art a 1000 grados/min de velocidad

Herramienta: M3

Uso

M3 Snnn

Variables

Snnn: valor de señal de herramienta de salida

Ejemplos:

M3 S900 Este comando moverá un servomotor conectado al pin TABURETE de ControlPCB a la posición abierta.

Esta guía es la guía proporcionada por Ángel que fue ligeramente modificada con unos comentarios extras o consejos.

Paso 7. Software de control

Controlar una máquina enviando comandos GCode a través de la consola no es lo más intuitivo.

Por eso existen interfaces gráficas como Universal GCode Sender que facilitan esta tarea. Desafortunadamente, como UGS fue diseñado para controlar máquinas CNC, no admite el control de más de 3 motores paso a paso. Sobre la base de esta idea se desarrolló Asgard.

Asgard es una interfaz gráfica de usuario (GUI) creada para Thor, programada en Python utilizando las bibliotecas PyQt5.

Instalación asgard

Como es un programa Python, no importa qué sistema operativo uses, todo lo que tienes que hacer es instalar Python 3 y ejecutar Asgard. Para hacerlo, siga las instrucciones a continuación:

- Vaya al sitio de descargas de Python , descargue la última versión de Python 3 e instálela en su PC.
- Vaya a la sección Descargas de este sitio, descargue el código fuente de Asgard y descomprima el archivo en una ubicación conocida.
- El siguiente paso es asegurar que se tiene instalado las bibliotecas PyQt5, la cual se puede instalar directamente desde la terminal del sistema con el siguiente código:

```
pip install PyQt5
```
- Abrir la terminal de su sistema, instalar PyQt5 y navegar hasta la carpeta de archivos de Asgard para así ejecutar la interfaz.
- Una vez que esté en la misma carpeta que el archivo 'asgard.py', ejecute el comando `python asgard.py`

Es probable que el paso anterior arroje errores de dependencia que debas resolver para poder ejecutar Asgard. Para resolverlos tendrás que instalar algunas librerías, para hacerlo simplemente ejecuta este comando si es que el código recomendado previamente no funciona:

```
python -m pip install pyqt5 pyserial numpy pyqtgraph pyopengl.
```

Una vez finalizada la instalación de las bibliotecas, se debe reiniciar la computadora para así ejecutar el comando `python asgard.py` nuevamente sin ningún error.

Uso de Asgard

Aunque el programa es bastante fácil de utilizar, no está de más explicar cada una de sus características. Conexión de la placa:

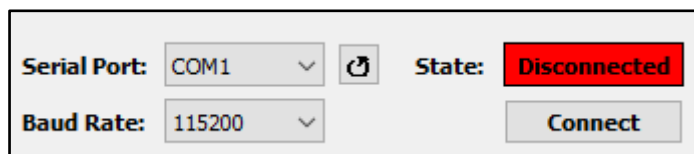


Figura 42. Conexión de la placa mediante Asgard.

Fuente: Elaboración propia.

Puerto serie: cuadro combinado para seleccionar el puerto al que está conectada la placa. El botón del lateral se utiliza para actualizar la lista de puertos.

Velocidad de baudios: velocidad de comunicación, 115200 baudios por defecto.

Estado: Display que muestra el estado actual de la placa (Desconectado, Inactivo, En ejecución o Alarma).

Botón Conectar: Una vez seleccionado el puerto serie, haga clic en él para establecer la conexión. Controles generales:



Figura 43. Botones extra en Asgard.

Fuente: Elaboración propia.

Botón de inicio: ejecuta el comando de inicio (\$H).

Posición cero: Ejecuta el comando para mover el robot a la posición cero (G0 A0 B0 C0 D0 X0 Y0 Z0)

Kill Alarm Lock: cuando falla el ciclo de inicio, se activa el modo de alarma y se bloquean los movimientos del robot. Este botón ejecuta el comando para cancelar el bloqueo de alarma (\$X).

Modo de movimiento G0/G01: Cambia entre G0 (movimiento rápido) y G1 (movimiento de velocidad controlada).

Velocidad de alimentación: entrada de velocidad de movimiento. Habilitado cuando se selecciona G01 Mover.

Cinemática directa

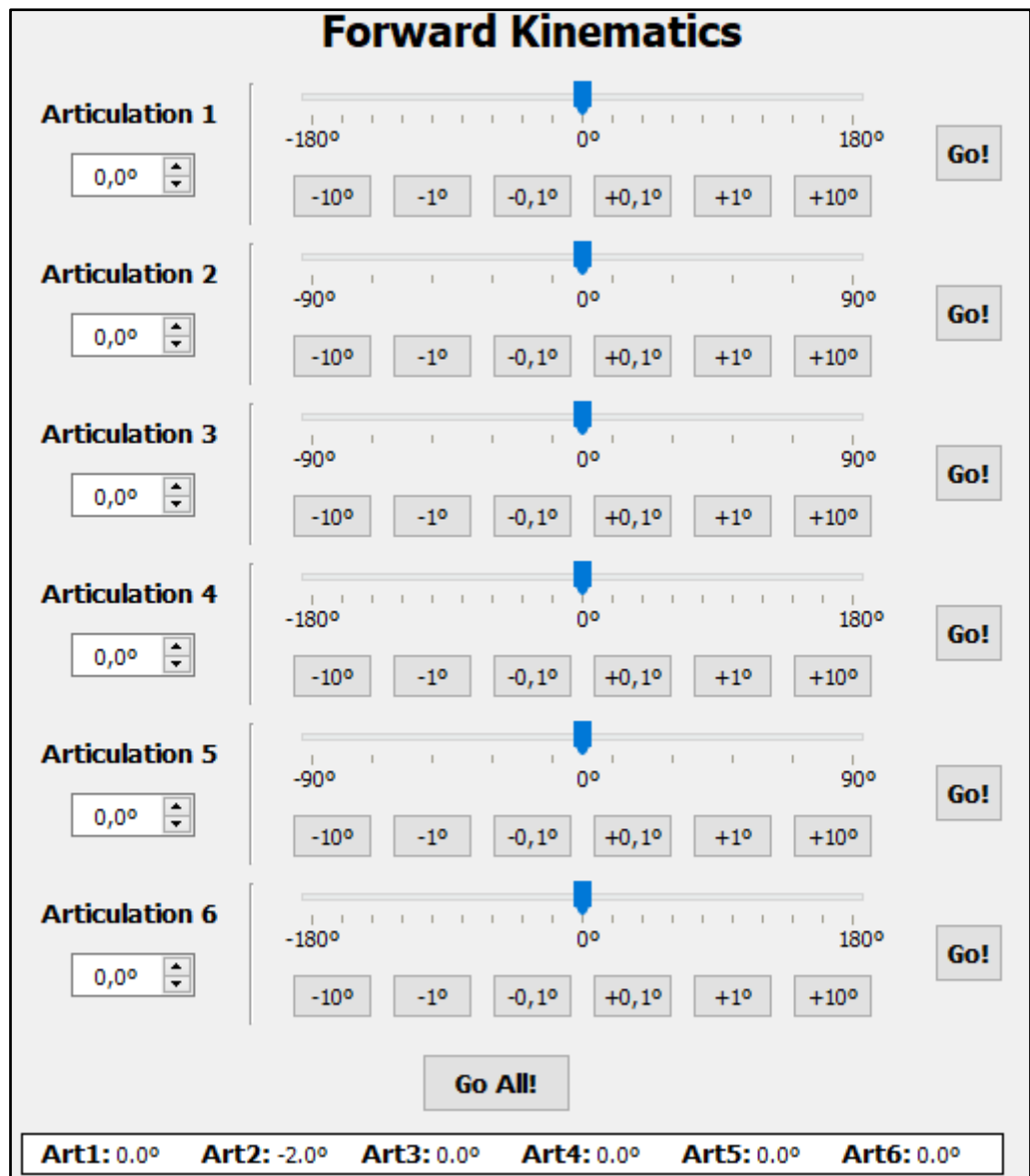


Figura 44. Cinemática Directa en Asgard.

Fuente: Elaboración propia.

Cada articulación tiene tres formas diferentes de introducir el ángulo objetivo (cuadro de entrada, control deslizante y botones) y un botón “Ejecutar” Botón para mover la articulación.

“Ejecutar todo” Es un botón que en lugar de mover cada articulación individualmente, este botón envía el comando de movimiento para mover todas las articulaciones a la vez.

Pantalla de ángulos: esta pantalla muestra los ángulos de articulación actuales del robot.

Control de pinza

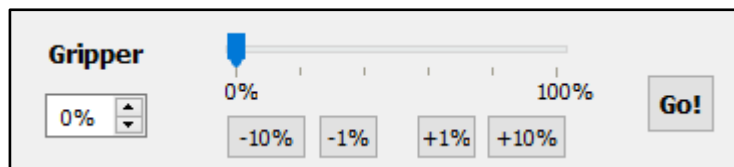


Figura 45. Control de la garra en Asgard.

Fuente: Elaboración propia.

De manera similar al control Articulaciones FK, hay tres formas de ingresar la señal que controla la herramienta del robot y un mensaje “Ejecutar” Botón para enviar el comando.

Consola

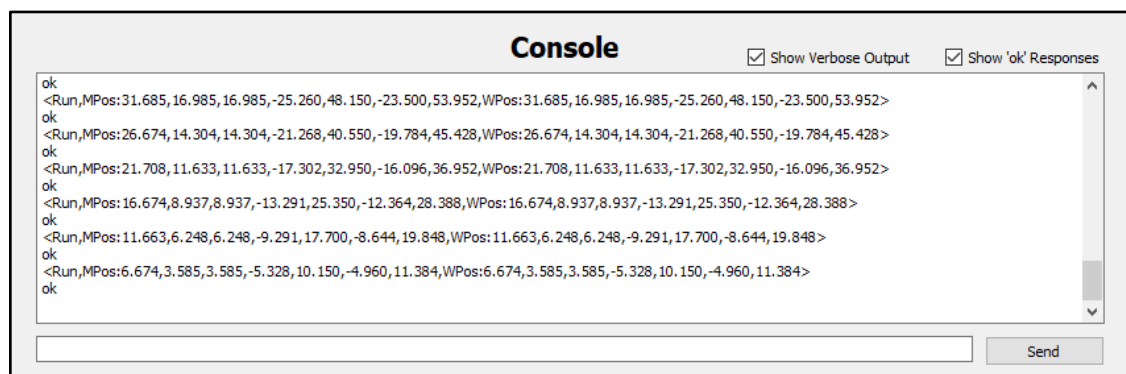


Figura 46. Consola de Asgard.

Fuente: Elaboración propia.

En la parte inferior hay una consola serie, similar a la de Arduino, que muestra cada comando enviado hacia/desde la placa. También hay un cuadro de texto donde se pueden escribir comandos y un botón " **Enviar** " para enviarlo al tablero.

Mostrar salida detallada: esta casilla de verificación le permite mostrar/ocultar los mensajes detallados enviados por el tablero que contienen la información de estado y posición.

Mostrar respuestas 'ok': esta casilla de verificación le permite mostrar/ocultar las respuestas 'ok' enviadas por el foro.

Como se puede observar, esta guía también se puede leer en la página de Thor, la cual fue ligeramente modificada con algunos consejos propios.

Una vez se comprueba el funcionamiento de Asgard, sin realizar ningún cambio en el código, se proceden a realizar los cambios para la integración del robot móvil.

El primer paso es determinar donde se encuentran los pines a modificar dentro de la librería de grbl, ya que esta determina el movimiento de los motores paso a paso. Las cuales las librerías que se modifican son las siguientes: stepper.c, limits.c , limits.h, stepper.h y la librería cpu_map_atmega2560.h.

Dentro de estas librerías se declaran los puertos y los pines donde se encuentran cada uno de los motores, el cual funciona mediante el uso de bits del Arduino Mega, las nuevas conexiones se realizaron con guía de esta imagen para así saber el valor en bits de cada pin.

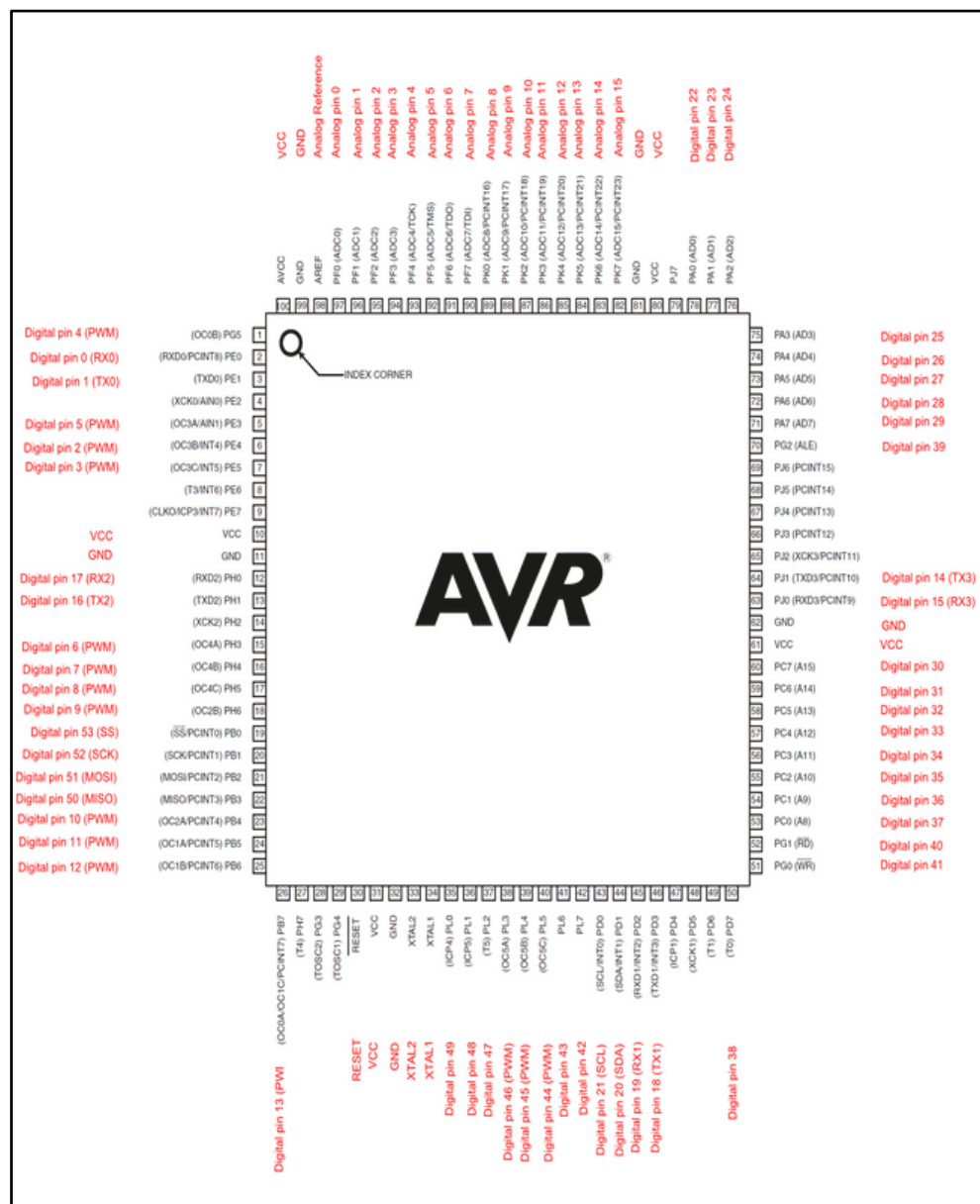


Figura 47. Esquema de pines en el Arduino Mega.

Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en la figura anterior, el pin 30 se caracteriza por tener un bit 7, lo cual se refleja en su denominación "PC7". Para cada motor que se desee utilizar, es necesario modificar el código correspondiente. Esto implica la definición del pin de dirección, el puerto al que está conectado, el pin asignado a ese puerto y, por último, el bit que se asigna a dicho motor. Este proceso se repite para cada motor que se incorpore al sistema, como se muestra en la siguiente figura.

```

41 // Define step pulse output pins. NOTE: All step bit pins must be on the same port.
42 // Define step pulse output pins. NOTE: All step bit pins must be on the same port.
43 #define A_STEP_DDR    DDRL
44 #define A_STEP_PORT    PORTL
45 #define A_STEP_PIN    PINL
46 #define A_STEP_BIT    0 // MEGA2560 Digital Pin 49 (PORTL Bit 0)
47
48 #define B_STEP_DDR    DDRB
49 #define B_STEP_PORT    PORTB
50 #define B_STEP_PIN    PINB
51 #define B_STEP_BIT    0 // MEGA2560 Digital Pin 53 (PORTB Bit 5)
52
53 #define C_STEP_DDR    DDRL
54 #define C_STEP_PORT    PORTL
55 #define C_STEP_PIN    PINL
56 #define C_STEP_BIT    4 // MEGA2560 Digital Pin 45 (PORTL Bit 3)
57
58 #define D_STEP_DDR    DDRF
59 #define D_STEP_PORT    PORTF
60 #define D_STEP_PIN    PINF
61 #define D_STEP_BIT    6 // MEGA2560 Analog Pin 6 (PORTF Bit 6)
62
63 #define E_STEP_DDR    DDRB
64 #define E_STEP_PORT    PORTB
65 #define E_STEP_PIN    PINB
66 #define E_STEP_BIT    3 // MEGA2560 Digital Pin 50 (PORTB Bit 6)
67
68 #define F_STEP_DDR    DDRF
69 #define F_STEP_PORT    PORTF
70 #define F_STEP_PIN    PINF
71 #define F_STEP_BIT    2 // MEGA2560 Analog Pin 2 (PORTF Bit 2)
72
73 #define G_STEP_DDR    DDRF
74 #define G_STEP_PORT    PORTF
75 #define G_STEP_PIN    PINF
76 #define G_STEP_BIT    7 // MEGA2560 Analog Pin 7 (PORTF Bit 7)

```

Figura 48. Modificación de código Asgard.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez se realiza este paso, es recomendable tratar de correr el código de la librería grbl, ya que aún faltan bastantes variables para cambiar de nombre, pero el Arduino facilita el trabajo para saber en qué línea exactamente realizar este cambio y así no perder tiempo buscando línea por línea.

Una vez se realizan estos cambios, se procede a realizar el ensamblaje del robot móvil, el cual se empieza por las ruedas, el primer paso es colocar el rodamiento a cada una de las tapas de las ruedas para así amortiguar el movimiento que realiza el eje, como se muestra en la siguiente Figura.

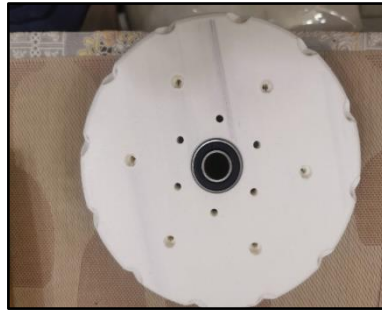


Figura 49. Primer paso en el ensamblaje de la rueda.

Fuente: Elaboración propia.

El siguiente paso es colocar la polea que se acopla a una de las tapas de las ruedas y también se colocan las varillas que atraviesan de lado a lado en cada rueda para que así al momento de colocar los rodillos no se despegue la pieza.

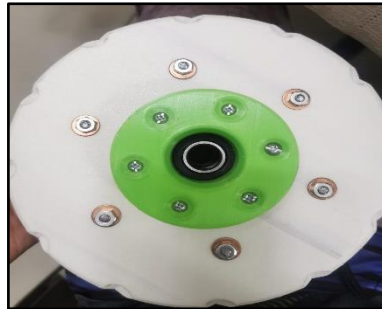


Figura 50. Segundo paso en el ensamblaje de la rueda.

Fuente: Elaboración propia.

Por último, se debe colocar las arandelas correspondientes a cada uno de los rodillos para que así el movimiento que realiza cada uno de los rodillos no desgaste la pieza mediante la varilla que atraviesa el rodillo, como se observa en la siguiente Figura se van colocando los rodillos poco a poco.



Figura 51. Último paso en el ensamblaje de la rueda.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se debe realizar la construcción de la plataforma móvil, la cual se puede observar en el documento las medidas de la plataforma móvil, el trabajo para la construcción de la plataforma móvil si es que se utiliza los mismos materiales, se requiere un espacio de trabajo al aire libre y que cuenten con las herramientas necesarias para realizar cortes, como ser una amoladora para los cortes de los tubos de metal con las medidas exactas que se requieren y sierra para madera para así cortar la tabla que se coloca encima de los tubos. Finalmente, se deben colocar tornillos alrededor para así asegurar la conexión y estabilidad. Como se puede observar a continuación se ve el robot móvil solamente con dos de las cuatro ruedas omnidireccionales.



Figura 52. Primer paso del ensamblaje de la plataforma móvil.

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente Figura se colocan las otras dos ruedas omnidireccionales, se debe tener especial cuidado en el orden de las ruedas, debido a que si no se las coloca en la manera en que deben ir, las ruedas no realizarán los movimientos de manera omnidireccional. Se debe que la rueda delantera de la izquierda coincide con la orientación de los rodillos de la rueda trasera de la derecha y asimismo con las otras ruedas. Posterior a ello, se realiza un análisis de este recurso educativo digital.



Figura 53. Último paso del ensamblaje de la plataforma móvil.

Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DEL RECURSO EDUCATIVO DIGITAL

Para realizar el análisis se debe tener conocimiento de los desafíos que se presentaron en la elaboración del proyecto y las soluciones que se dan para estos desafíos como se observa en la siguiente Tabla.

Tabla 5. Desafíos y soluciones del proyecto.

Desafíos en la Integración de Robots	Descripción	Soluciones
Escasez de materiales clave	Dificultades en la adquisición de correas, motores paso a paso, poleas, fuentes de energía de alto amperaje, pernos, tuercas y arandelas específicas.	Investigación exhaustiva de alternativas, búsqueda de sustitutos viables, adaptación del diseño para materiales disponibles.
Limitaciones en la fabricación de componentes	Problemas con el diseño de la PCB como la falta de librerías de ciertos componentes, soldadura y adaptación del diseño a recursos limitados.	Ajustes en el diseño, soluciones técnicas específicas para la fabricación de la PCB y soldaduras de doble cara.
Proceso de ensamblaje afectado	Escasez de elementos de sujeción, complicaciones en el montaje.	Uso de métodos alternativos de ensamblaje, adaptaciones manuales para solucionar la falta de elementos.
Restricciones en la impresión de CAD	Limitaciones en la impresión de diseños CAD debido a componentes específicos.	Adaptación de diseños para optimizar la fabricación con los recursos disponibles.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez se tiene estos desafíos y soluciones se debe realizar un análisis a detalle de estos, en el cual se observan también las habilidades adquiridas y como mediante estas soluciones se logra cumplir los objetivos establecidos en el proyecto.

Habilidades Adquiridas y Mejoradas

Durante la elaboración del proyecto de grado, cuyo objetivo principal es desarrollar un aporte educativo de código abierto mediante la integración de un robot móvil y un brazo robótico de 6 grados de libertad para promover la enseñanza y ampliar los recursos educativos de robótica en Bolivia, se adquieren y mejoran una serie de habilidades fundamentales. Estas habilidades no solo se relacionan con la tecnología y la robótica, sino también con la planificación y la resolución de problemas.

A continuación, se destaca algunas de las habilidades más relevantes que se adquieren y se pueden perfeccionar a lo largo de este proceso:

- **Conocimiento Técnico:** Durante la investigación y desarrollo del proyecto, se adquieren bastantes conocimientos técnicos en robótica, programación, electrónica y mecánica. Se aprende a trabajar con sistemas de control, sensores, actuadores y algoritmos de planificación de movimientos.

En el ámbito de la robótica existen diferentes campos como ser la mecánica, la eléctrica y de software. En el proceso se adquieren conocimientos sobre como calcular la cinemática directa e inversa tanto del robot manipulador como móvil, en el cual se observa que la manera en que se obtienen las cinemática de cada uno de los robots y los datos que se consideran tiene gran diferencia una con la otra para realizarla, estos conceptos son fundamentales en la robótica y requieren un entendimiento de matemáticas, particularmente el álgebra lineal.

Además de estos aspectos matemáticos, también es importante familiarizarse con la terminología específica de la robótica, que incluye conceptos como cinemática, trayectorias, articulaciones, coordenadas, singularidades, entre otros.

Al abordar estos conceptos se promueve la enseñanza de la robótica y ofrece a los estudiantes la oportunidad de explorar y aplicar estos conocimientos en un proyecto práctico.

- **Programación y Desarrollo de Software:** Mejoran las habilidades de programación al modificar y adicionar en el software que controla tanto el robot móvil como el brazo robótico. Se utilizan lenguajes como Arduino y Python para programar y controlar los componentes del proyecto.

El aprendizaje y la mejora de las habilidades de programación son fundamentales especialmente en Arduino porque es una plataforma ampliamente conocida y utilizada en la comunidad de entusiastas de la robótica. En este proyecto se mejoran las habilidades de programación en Arduino. La inclusión de librerías simplifican el uso de los motores paso a paso especialmente la librería de GRBL, el cual se utiliza para el control preciso de motores paso a paso, además de que es importante la capacidad de integrar Arduino y Python es importante ya que permite la creación de interfaces que permiten un mayor control y monitoreo del robot manipulador móvil.

El objetivo de la integración de Arduino y Python es crear una interfaz amigable que hace que sea más fácil para los estudiantes interactuar con los robots y comprender cómo funcionan. Además de que es importante entender al menos lo básico debido a que es posible que no se utilicen los mismos pines, por lo tanto, se los deben modificar y para ello se debe entender lo básico tanto de Python como de Arduino.

- **Diseño Mecánico y Electrónico:** Se aprende a diseñar y construir componentes mecánicos y electrónicos para el robot móvil y el brazo robótico. Esto incluye el diseño de placas de circuito impreso, selección de motores y componentes mecánicos, así como la integración de sensores.

En este ámbito se permite aplicar conceptos teóricos en situaciones prácticas, esto refuerza su comprensión de los conceptos teóricos. Para el diseño electrónico se debe tener un procedimiento a tomar en cuenta, el primer paso es el de conocer los componentes electrónicos que se utilizan, es decir, cuantos actuadores, cuantos sensores, cual es el controlador del sistema. Posterior a ello, se debe revisar la hoja de datos de cada componente, principalmente para conocer el voltaje que soporta cada componente y ejemplos de cómo realizar las conexiones. Por ejemplo, existe un voltaje máximo diferente entre el Arduino Mega y los motores paso a paso, el Arduino Mega soporta 5V y los motores paso a paso soportan 12V, además de que también los finales de carreras y ventiladores a utilizar tienen diferente voltaje, por lo tanto, con el conocimiento previo de esto, se determina que se necesita un regulador de voltaje para la placa electrónica. Al realizar diseños electrónicos se aprenden habilidades técnicas del uso de programas de diseño de circuitos como ser Proteus y KiCAD que permiten el diseño de PCB's, también se aprenden habilidades de soldadura una vez se procede a realizar la placa en físico.

En el diseño mecánico se aprende principalmente a analizar primero la selección del material adecuado para esta aplicación en específico considerando la durabilidad y el costo del material. Posterior a la selección de material es importante adquirir habilidades en diseño y modelado utilizando software CAD para su posterior prototipado. Luego a la selección de material se aprende a que se deben realizar análisis de esfuerzos para así evaluar cómo la estructura resiste las cargas y las tensiones a las que se le somete. Además de que se adquieren

conocimientos sobre el prototipado rápido mediante la impresión 3D, debido a que principalmente se debe conocer cómo manipular una impresora 3D y cómo realizar la configuración para la impresión, debido a que se deben tomar distintas variables para la misma, ya que mejoran o afectan al procedimiento según la pieza a imprimir.

- **Investigación y Análisis:** La fase de investigación requerida para este proyecto permite mejorar las habilidades de investigación y análisis, como también la capacidad de identificar y evaluar fuentes de información pertinentes y analizar datos experimentales para tomar decisiones fundamentadas.

La investigación tiene distintas fases dentro de la misma, debido a que antes de comenzar la investigación, es importante definir con claridad el objetivo o los objetivos que se pretenden alcanzar. En este caso luego de definir estos objetivos, se mejoran las habilidades para identificar y evaluar las fuentes de información.

Mediante la revisión de la literatura se mejoran las habilidades de investigación ya que se revisa literatura existente relacionada al tema de interés. Al analizar documentos académicos, libros, informes y sitios web se comprende el estado actual del tema de interés.

- **Resolución de Problemas:** Durante la construcción y puesta en marcha del robot, se enfrenta a numerosos desafíos técnicos y desarrolla la habilidad de identificar problemas, proponer soluciones y realizar pruebas para verificar la eficacia de las soluciones.

En este punto se relacionan diferentes habilidades anteriormente mencionadas, debido a que para la resolución de problemas, se debe utilizar la habilidad de investigación para investigar problemas similares que han ocurrido en el pasado, por ejemplo, en el proyecto se presentó distintas dificultades en el manejo de los motores paso a paso como ser la correcta distribución de corriente a cada uno de los motores, ya que si circula menos corriente de la necesaria, el motor no realiza sus movimientos correctamente, pero si envía mayor corriente pasa lo mismo y existe riesgo de arruinar el motor, por lo tanto, se debe realizar una profunda investigación sobre los problemas que ocurren comúnmente con los motores paso a paso.

También existen distintos problemas en el ensamblaje, por lo tanto, es importante desarrollar la habilidad de identificar en qué parte está el problema y proponer una solución. En el presente proyecto existe un problema, el cual va relacionado a los engranajes del articulación 4 y 5, debido a que las poleas que se venden en las electrónicas locales, tienen distintas medidas a las que presenta el autor del robot manipulador, por lo tanto, la primer solución fue rellenar el espacio sobrante con un pedazo de correa, para así poder encajar la polea en el engranaje impreso, lo cual fue una solución temporal para luego realizar su posterior rediseño de la pieza.

También existieron distintos problemas debido a la disponibilidad de componentes y materiales necesarios para el proyecto, en el que debido a que no existía stock de lo solicitado, se debió realizar distintas modificaciones como ser los rodamientos y la varilla que funciona como eje en el robot móvil.

- **Gestión de Proyectos:** Planificar y llevar a cabo un proyecto de esta magnitud enseña valiosas lecciones sobre la gestión de proyectos. Se aprende a establecer metas, plazos y recursos, y a hacer un seguimiento constante del progreso.

Esta habilidad es importante debido a que una correcta gestión del proyecto marca fechas de inicio y finalización de las diferentes tareas y etapas del proyecto. Además de que dentro de este tiempo se deben considerar los posibles riesgos que podrían afectar al calendario del proyecto, por lo tanto, se debe establecer un tiempo mínimo de correcciones para así evitar retrasos no planificados en el proyecto.

- **Conciencia Social y Educativa:** Este proyecto es para sensibilizar sobre la importancia de la educación en robótica en Bolivia y la necesidad de tener recursos educativos accesibles y desarrollar conciencia social y de compromiso con la mejora de la educación en el país.

Este proyecto presenta distintas dificultades debido al poco desarrollo de la robótica en Bolivia, lo cual genera preocupación en general, debido a que se tuvieron que realizar distintas consideraciones y modificaciones, ya que a la hora del prototipado en la búsqueda de los componentes, se encuentra que existe poco material para el desarrollo de proyectos sobre robótica .

CUADRO COMPARATIVO DE CALIFICACIÓN

Tabla 6. Desafíos y soluciones del proyecto.

Habilidad	Antes del Proyecto	Después del Proyecto
Conocimiento Técnico General	Principiante	Intermedio
Programación y Desarrollo de Software	Principiante	Intermedio
Diseño Mecánico y Electrónico	Principiante	Intermedio-Avanzado
Investigación y Análisis	Principiante	Avanzado
Resolución de Problemas	Principiante	Intermedio
Gestión de Proyectos	Principiante	Intermedio
Conciencia Social y Educativa	Baja	Media

Fuente: Elaboración propia

EVALUACIÓN DE LOS OBJETIVOS

Se lleva a cabo la evaluación de los objetivos específicos y se demuestra que fueron logrados de manera efectiva los mismos, en el desarrollo del proyecto de integración de un robot móvil y un brazo robótico con el propósito de promover la enseñanza y ampliar los recursos educativos de robótica en Bolivia, se proporcionará ejemplos de las evidencias concretas para cada uno de los objetivos específicos que respaldan el trabajo:

- **Definir los requisitos funcionales del robot móvil y brazo robótico incluyendo capacidad de carga, velocidad máxima, autonomía, dimensiones físicas, costos y disponibilidad de componentes en el mercado local.**

Se establecen los requisitos funcionales en el documento en el capítulo 3.

Se establece para el robot móvil una capacidad de carga máxima de 80 kg, lo que permite que el robot móvil soporte el peso del brazo manipulador y los componentes extras que se colocan, como ser la batería y la caja de componentes electrónicos. El cual se demuestra mediante el cálculo realizado donde se establece cuánto peso soporta la plataforma móvil.

El brazo manipulador debe ser capaz de manipular objetos de hasta 750 gramos.

Se define la autonomía mínima de 1 hora para el robot manipulador móvil, lo que garantiza un funcionamiento eficiente. Esta autonomía se logra a través de una batería de 12V 40A, la cual se realiza el cálculo en el capítulo 4 y se demuestra cuánto es la duración de la batería.

Las dimensiones físicas del robot móvil se ajustan al espacio de trabajo del robot manipulador, además de que se considera un espacio extra para los componentes extras.

Se establece un presupuesto máximo en los capítulos 3 y 4, en el cual se especifica el presupuesto máximo para cada uno de los robots. Este presupuesto incluye el costo de los materiales, sensores, actuadores y otros componentes necesarios para la construcción del sistema robótico.

Se realiza una investigación presente en el documento respecto a los proveedores confiables que existen en el mercado local, en el cual los componentes utilizados en el proyecto son obtenidos de las tiendas “Sawers”, “Ardunel”, “EPYElectronics”, “EcRobotics”. Además de que mediante estas se consulta la disponibilidad de los componentes utilizados en el proyecto.

- **Seleccionar un brazo robótico de código abierto**

Se presenta una justificación de la elección del brazo robótico, destacando cómo se cumplieron los factores de selección, como especificaciones técnicas, configuración del robot, rango de movimiento, flexibilidad, documentación y comunidad de usuarios en el capítulo 3.

Se realizan adaptaciones al brazo manipulador seleccionado, y se documenta el porqué fueron necesarias en el capítulo 3.

- **Desarrollar un robot móvil**

En el capítulo 4 del documento se presenta el desarrollo de los modelos CAD del robot móvil. Estos modelos permiten visualizar el diseño en su totalidad en el cual se visualizan las dimensiones mostradas en los planos mostrados en los Anexos.

En el capítulo 4 se desarrolla la selección de materiales y componentes necesarios para la elaboración del robot móvil en el cual se consideraron diferentes factores técnicos para cumplir con los requisitos del proyecto.

En el documento se presenta la integración del robot móvil con el robot manipulador mediante la placa electrónica, en el cual se toman en cuenta los componentes previamente establecidos del brazo manipulador y se analizan los componentes que se incluyen en el robot móvil.

- **Establecer una interfaz intuitiva de código abierto**

Documentación técnica que describe la interfaz de control de manera detallada, incluyendo cómo los usuarios pueden controlar y la interacción de los movimientos del robot manipulador móvil. Este código incluye la implementación de las cinemáticas de cada uno de los robots para su verificación de su funcionamiento.

Código fuente de la interfaz de control disponible en un repositorio de código abierto.

- **Documentar los recursos educativos**

Manuales de ensamblaje detallados que guían a los usuarios en la construcción del robot móvil y brazo robótico.

Se incluyen diagramas electrónicos y mecánicos que muestran la estructura y el funcionamiento del robot. La disposición y la interconexión entre los diferentes componentes para observar su integración.

Disponibilidad de la documentación en el repositorio virtual educativo de acceso público en el cual se observa también una presentación del material audiovisual que muestra el proyecto en pleno funcionamiento, en el cual se demuestra la coordinación y ejecución de sus movimientos establecidos.

Se adjuntan fotografías que documentan el proceso de construcción del proyecto, desde la etapa inicial hasta la final.

- **Simulaciones y experimentos**

Se realizan a cabo pruebas exhaustivas para verificar la precisión de los movimientos, la comunicación entre los robots y la capacidad de trabajar en conjunto. Se realizan ajustes y refinamientos en el software y en la mecánica para mejorar la eficiencia y la precisión del sistema.

La comunicación entre los robots se lleva a cabo sin problemas, permitiendo una coordinación eficaz en la realización de tareas conjuntas, demostrando la capacidad de interacción y colaboración entre ambos dispositivos.

EVALUACIÓN DE IMPACTO

A. Ventajas Educativas

Las ventajas educativas del proyecto son significativas y pueden contribuir al avance de la enseñanza y el aprendizaje de robótica en Bolivia de las siguientes maneras:

- **Fomento de la enseñanza práctica:** Los recursos desarrollados, incluyendo el robot móvil y el brazo robótico, permiten a los estudiantes y entusiastas de la robótica tener experiencias prácticas y aplicar conceptos teóricos en un entorno real. Esto fomenta un aprendizaje activo y significativo. Además de que tiene un enfoque multidisciplinario que permite a los estudiantes comprender conceptos de mecánica, electrónica e informática.
- **Acceso a tecnología de vanguardia:** Al proporcionar acceso a tecnología de robótica avanzada de código abierto, el proyecto permite a los estudiantes y educadores familiarizarse con herramientas y conceptos de vanguardia, lo que puede ser especialmente valioso en el mundo tecnológico actual. Además de que esta integración brinda un antecedente sólido para proyectos de investigación similares a este.
- **Fomento de habilidades técnicas:** Los recursos del proyecto promueven el desarrollo de habilidades técnicas en áreas como programación, electrónica, mecánica y control de robots. Estas habilidades son altamente relevantes en la era digital y pueden mejorar la empleabilidad de los estudiantes. Al realizar la integración el robot móvil amplía la cobertura de área en comparación de solamente un brazo manipulador.
- **Colaboración y aprendizaje colaborativo:** Los recursos del proyecto pueden fomentar la colaboración entre estudiantes, ya que pueden trabajar juntos en proyectos de robótica, lo que refleja la forma en que se abordan los problemas en el mundo real.

B. Accesibilidad y Utilidad

- **Facilidad de uso:** Los recursos están diseñados con una interfaz intuitiva, lo que facilita su uso tanto para principiantes como para usuarios más avanzados. Se han proporcionado manuales y documentación detallada para guiar a los usuarios.
- **Información valiosa:** La documentación incluye manuales de ensamblaje, diagramas técnicos y recursos educativos que proporcionan información valiosa sobre el funcionamiento y la construcción de los robots. Esto es esencial para apoyar el aprendizaje y la comprensión de la robótica.
- **Disponibilidad de código abierto:** El proyecto ha adoptado un enfoque de código abierto, lo que lo hace accesible para una amplia audiencia. Los recursos

y la documentación están disponibles en línea, lo que facilita el acceso a cualquier persona interesada en la robótica.

C. Impacto a Largo Plazo

- **Influencia en futuros estudiantes y entusiastas de la robótica:** El proyecto puede servir como una fuente de inspiración para futuros estudiantes y entusiastas de la robótica en Bolivia. Al proporcionar recursos y herramientas educativas accesibles, se puede fomentar un interés duradero en la robótica.
- **Mejora de la educación en robótica:** A largo plazo, el proyecto tiene el potencial de mejorar la calidad de la educación en robótica en Bolivia al proporcionar recursos y tecnología de vanguardia a instituciones educativas y estudiantes. Esto puede llevar a una fuerza laboral más capacitada en el campo de la robótica en el país.
- **Desarrollo de proyectos e innovación:** Los recursos del proyecto pueden inspirar a estudiantes y entusiastas a desarrollar proyectos innovadores en robótica, lo que a su vez podría tener un impacto positivo en la industria y la tecnología en Bolivia.