



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

## INFORME N°2

**“Diseño e Implementación de un manipulador robótico de 2 grados de libertad”**



**Curso:** ANALISIS Y CONTROL DE ROBOTS (MT517)

**Elaborado por:** (GRUPO 11)

Aldave Torres, Carlos Felipe Sebastián

**Código:**

20200159H

Castro Suazo, Fidel Angel

20200062D

Contreras Avendaño, Juan Sebastián Francesco

20202024B

Llontop Herrera, Marco Leandro

20202011H

**Docente:**

Ing. Calle Flores Iván

**Fecha de entrega:**

15 de octubre de 2023

**2023-II**

Lima-Perú

# CONTENIDO

1. RESUMEN .....	1
2. DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO .....	3
3. COMPONENTES MECÁNICOS .....	19
4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PARTE MECÁNICA DEL ROBOT DE 2GDL .....	22
5. PRUEBAS DEL FUNCIONAMIENTO DEL MOVIMIENTO DDEL SISTEMA.....	35
6. VIDEO DEL ENSAMBLE Y PRUEBAS DEL ROBOT .....	37
7. BIBLIOGRAFÍA.....	38
8. ANEXOS.....	39

## I. RESUMEN

Continuando con el proyecto de MT517, esta segunda parte trata sobre el diseño e implementación de un manipulador robótico de 2 grados de libertad. En el informe se detalla el análisis y selección del microcontrolador a utilizar, que puede ser MEGA o ESP32, así como la selección del driver para los motores, que puede ser L298 o TBG6612FNG. También se describe la selección de la fuente de alimentación y el diseño del sistema electrónico utilizando software de diseño Eagle o KiCad.

Además, se reporta la implementación de la parte mecánica del manipulador robótico, incluyendo la impresión de cada una de las piezas que componen el robot y el ensamblaje del mismo. Se mencionan los problemas encontrados en el proceso de ensamblado y/o fabricación. Finalmente, se realizaron pruebas de funcionamiento del movimiento del sistema, aplicando un movimiento lento a cada junta para comprobar el funcionamiento del PWM, los encoders y la electrónica del sistema.

## 2. DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO

### 2.1. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR A USAR

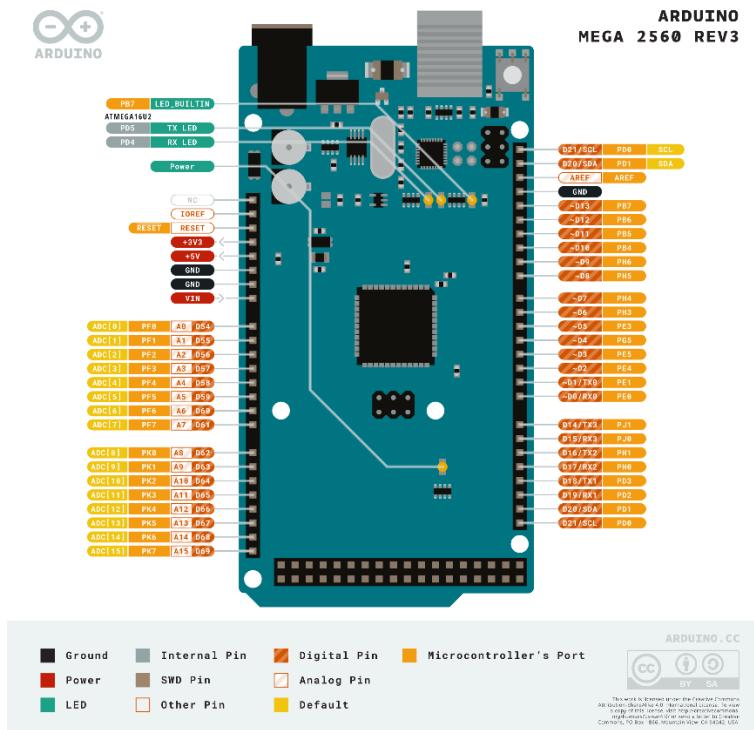
#### Consideraciones:

- Control de 8 motores DC (6 en las ruedas y 2 en el manipulador).
- Control de 7 servomotores (6 en las ruedas y uno en el efecto final).
- Manejo de interrupciones (lectura de encoders).
- Manejo de Timers de al menos 16 bits.
- Cantidad suficiente de pines:
  - Señales PWM para todos los drivers de los motores.
  - Señales de control de los drivers.
  - Control y alimentación de los servomotores.
  - Conexión de sensores adicionales a futuro.
- Voltaje lógico de los drivers de los motores de las ruedas (LN289N) de 5V.
- Facilidad de programación y uso.

#### Características técnicas de la placa Arduino Mega:

1. Microcontrolador: Atmel ATmega2560 a 16 MHz.
2. Memoria flash: 256 KB (8KB usados por el bootloader que no se pueden usar para tus programas).
3. Memoria SRAM: 8 KB.
4. Memoria EEPROM: 4 KB.
5. Voltaje operativo: 5v.
6. Voltaje de entrada: 7-12v.
7. Voltaje de entrada límites: 6-20v.
8. Pines digitales de Entrada/Salida: 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM).
9. Pines análogos de entrada: 16.
10. Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida: 40 mA.
11. Corriente DC entregada en el Pin 3.3V: 50 mA.
12. Cuenta con 5 Timers: Timer 0 y Timer 1 de 8 bits y los Timer 2, Timer 3, Timer 4, Timer 5 de 16 bits

Se puede apreciar que el microcontrolador Arduino Mega es adecuado para este proyecto, ya que cuenta con todas las características requeridas, especialmente resalta entre otros microcontroladores, debido a su gran cantidad de pines. Lo cual es indispensable para el control de la gran cantidad de motores, además de sensores futuros a añadir. Como receptores de radio frecuencias para transmitir las señales a distancias alejadas.



PINOUT de la Página Oficial de Arduino

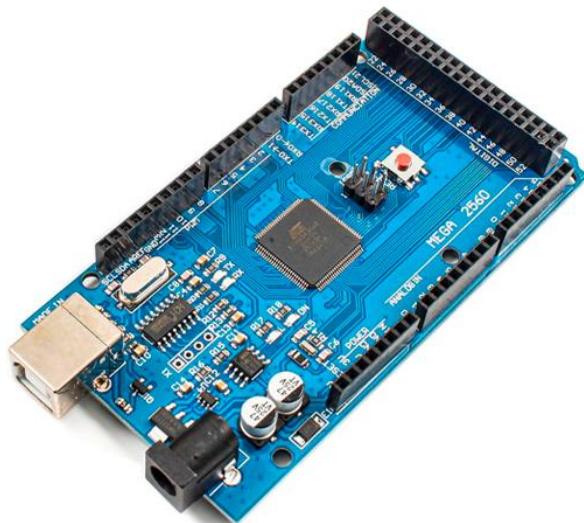


Imagen del microcontrolador en físico

Provisionalmente se añadirá además un ESP32-CAM como medio de video a transmitir para observar el entorno del Rover así como los objetos a recoger con el manipulador. Este microcontrolador tiene una baja capacidad de memoria y baja disponibilidad de pines. Debido a eso el microcontrolador principal será el Arduino Mega, y el ESP32-CAM tendrá como función principal el envío de video en tiempo real.



Imagen del ESP32-CAM en físico

## 2.2. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DEL DRIVER PARA LOS MOTORES

### Consideraciones:

- Control de motores DC de 12 V.
- **Manejo de corrientes mayores a 3.0 A (Corriente de bloqueo medida).**
- Control de velocidad por medio de PWM.
- Control de dirección de giro de los motores.

### Características técnicas del driver DRV8871:

1. Voltaje de alimentación del motor: Puede manejar un voltaje de alimentación del motor de 6.5V a 45V.
2. Nivel lógico en los pines IN: Admite hasta 5.5V.
3. **Corriente pico: Puede manejar una corriente pico de hasta 3.6A.**
4. Control PWM: Permite el control de la velocidad del motor mediante modulación por ancho de pulso.
5. Limitación/regulación de corriente: No requiere un resistor de detección en línea.
6. Protección contra subvoltaje: Si en algún momento el voltaje en el pin VM cae por debajo del umbral de bloqueo por subvoltaje, todos los FET en el puente H serán desactivados.
7. Protección contra sobrecorriente y sobrecalentamiento: El dispositivo está completamente protegido contra eventos de sobrecorriente y sobrecalentamiento.

Estas características vuelven ideales para el manejo de los motores del manipulador, satisfaciendo los requerimientos en voltaje y corriente. Cada Driver es capaz de manejar un solo motor por lo tanto usaremos dos en total.



Imagen del DRV8871 en físico

## 2.3. SELECCIÓN DE FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Se utilizarán baterías li-ion 18650 del modelo LG 18650 MJ1 3500mAh, esto por su alta capacidad de almacenamiento a comparación de baterías de costo similar en el mercado.



Official specifications:

- Nominal Capacity: 3500mAh
- Minimum Capacity: 3400mAh
- Nominal voltage: 3.635V
- Standard charge: 0.5C (1700mA) 4.2V, cut-off 50mA
- Max. charge voltage: 4.2V +/- 0.05V
- Max. charge current: 1C (3400mA)
- Standard discharge: 0.2C (680mA), cut-off 2.5V
- Max. discharge current: 10A
- Weight: Max. 49.0g
- Cycle life : 400 cycles, charge 1.5A, discharge 4A (80%)
- Operating temperature: Charge: 0° ~ 45°C, Discharge: -20°C ~ 60°C
- Storage temperature: 1 month: -20°C ~ 60°C, 3 months: -20°C ~ 45°C, 1 year: -20°C ~ 20°C

Name	LG 18650 MJ1 3500mAh (Green)				
Cell	LG 18650 MJ1 3500mAh (Green)				
Supplier	AkkuTeile sku:100697			Date:	1-2016
Size	Weight:	47.0 g	Length:	65.2 mm	Diameter: 18.4 mm
Info	Top:	flat	Bottom:	metal	Rated A: 10.0
Test condition	Charge voltage:	4.2	Termination current:	0,1	
Test current (A)	0,2	0,5	1	2	3
Measured capacity (Ah)	3,230	3,226	3,206	3,180	3,162
Measured energy (Wh)	11,943	11,860	11,686	11,412	11,194
PCB protection trip current (A)	NA				
Calculated internal resistance (ohm)	0,06				

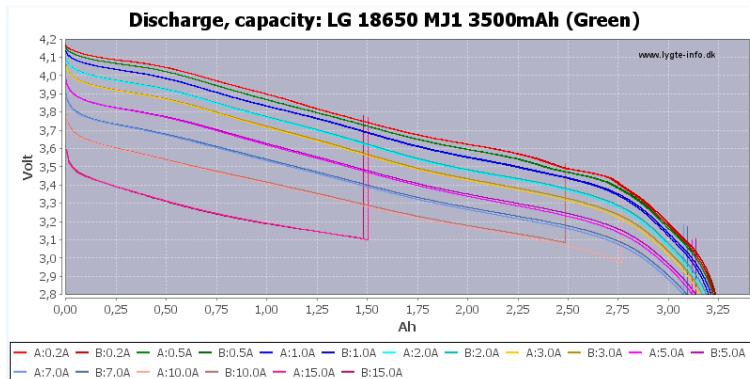
Especificaciones y curvas extraídos de:

<https://lygte->

[info.dk/review/batteries2012/LG%2018650%20MJ1%203500mAh%20%28Green%29%20UK.htm](http://info.dk/review/batteries2012/LG%2018650%20MJ1%203500mAh%20%28Green%29%20UK.htm)

1

Se calcula que el rover aproximadamente tendrá una potencia de 90W.



De esta manera se puede estimar el número de baterías que se usarán para una autonomía de una hora. Se utilizarán una batería 3S con 2 en paralelo:



**3S2P 10.8V/12.6V 7000mAh MJ1 Battery**

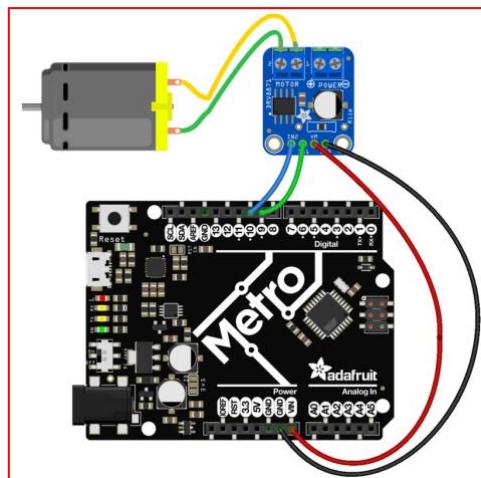
Cotización de la batería:

Producto	Costo
Batería Original LG 18650 MJ1 3500mAh	180
Anillo Aislante Adhesivo	5
BMS 4S 12V*20A	80
Espaciador 18650	6
Alquiler de soldador de puntos para baterías 18650	40
Platina Niquel Lineal 0.15x8mm	25
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>336</b>

## 2.4. DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO

### Diseño de la placa de control.

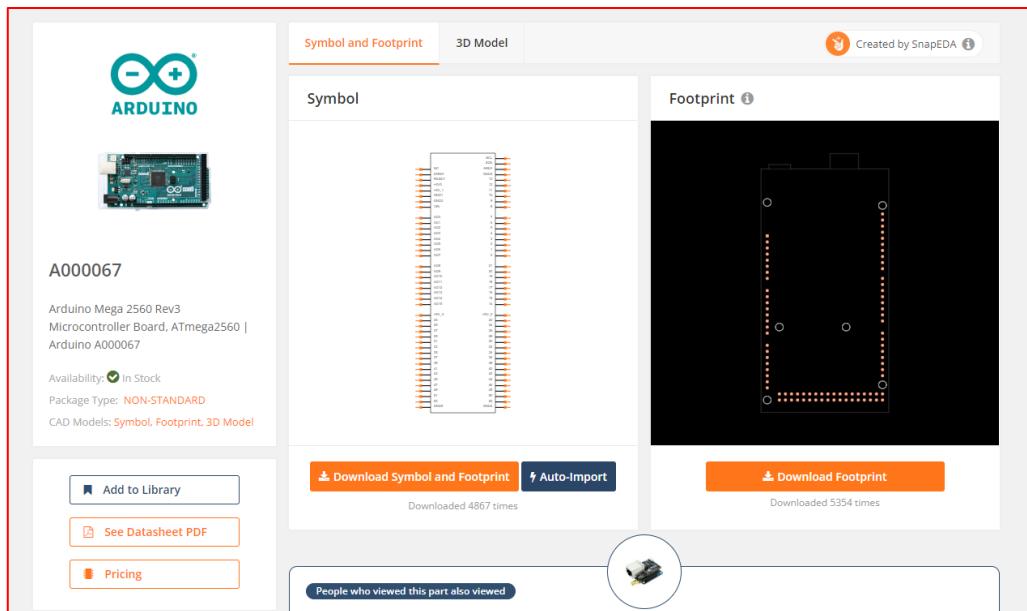
Se hizo uso del software Eagle para la elaboración del Shield de motores para Arduino MEGA. Para ello, se tomó en cuenta las conexiones básicas del driver DRV8871.



*Figura 1. Diagrama de cableado mínimo para conectar el microcontrolador a un Driver DRV8871.*

Componentes para el diseño:

La librería del Arduino Mega fue descargada de la página: <https://www.snapeda.com/>



*Figura 2. Librerías de componentes para la placa*

Por otra parte, se usaron las dimensiones para crear la librería para el DRV8871.

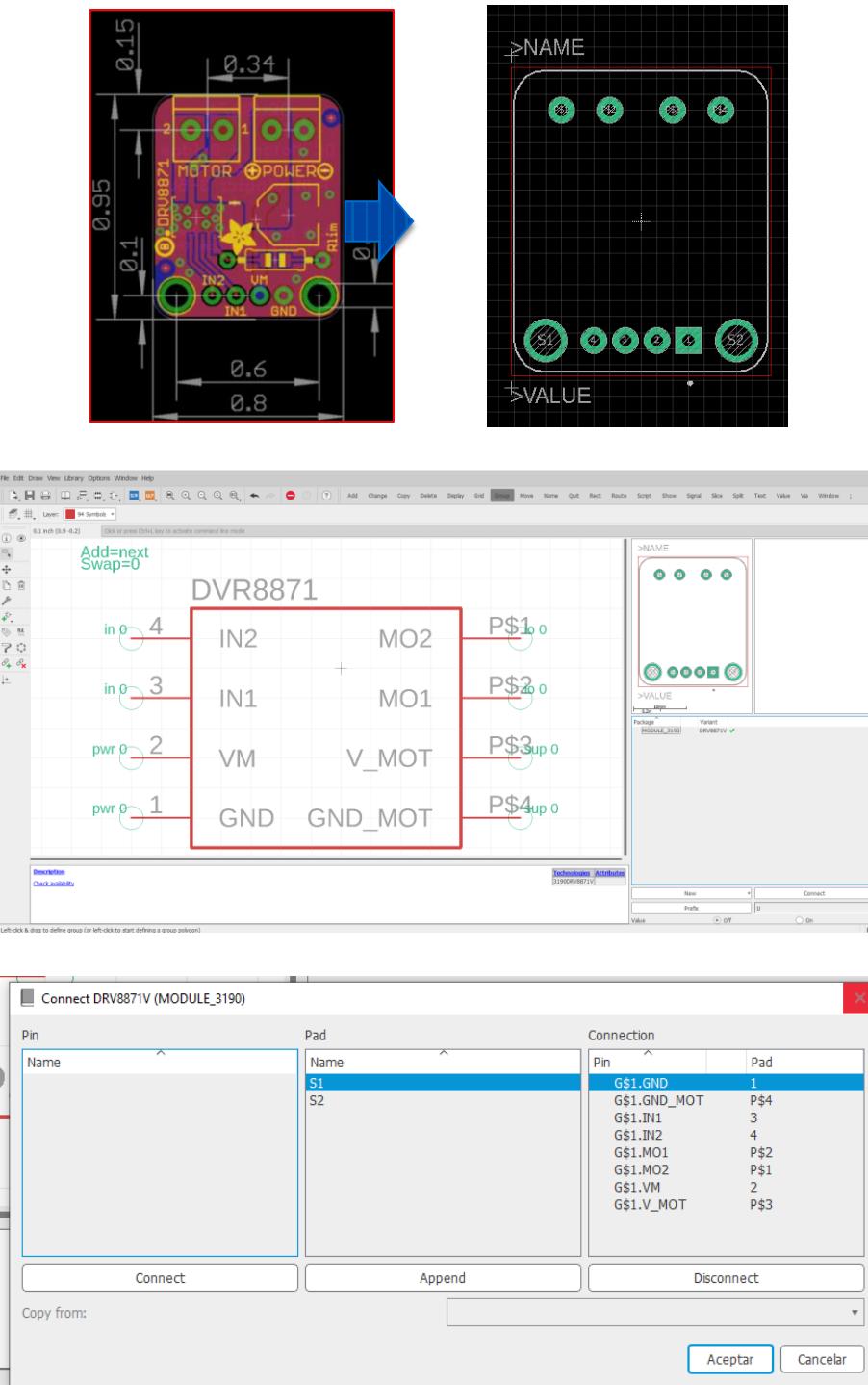


Figura 3. Diseño de la librería del driver

El diseño del manipulador desarrollado en el presente proyecto, demanda el control de 2 motores independientes. En base a esto, se presenta el esquemático del sistema electrónico en Eagle.

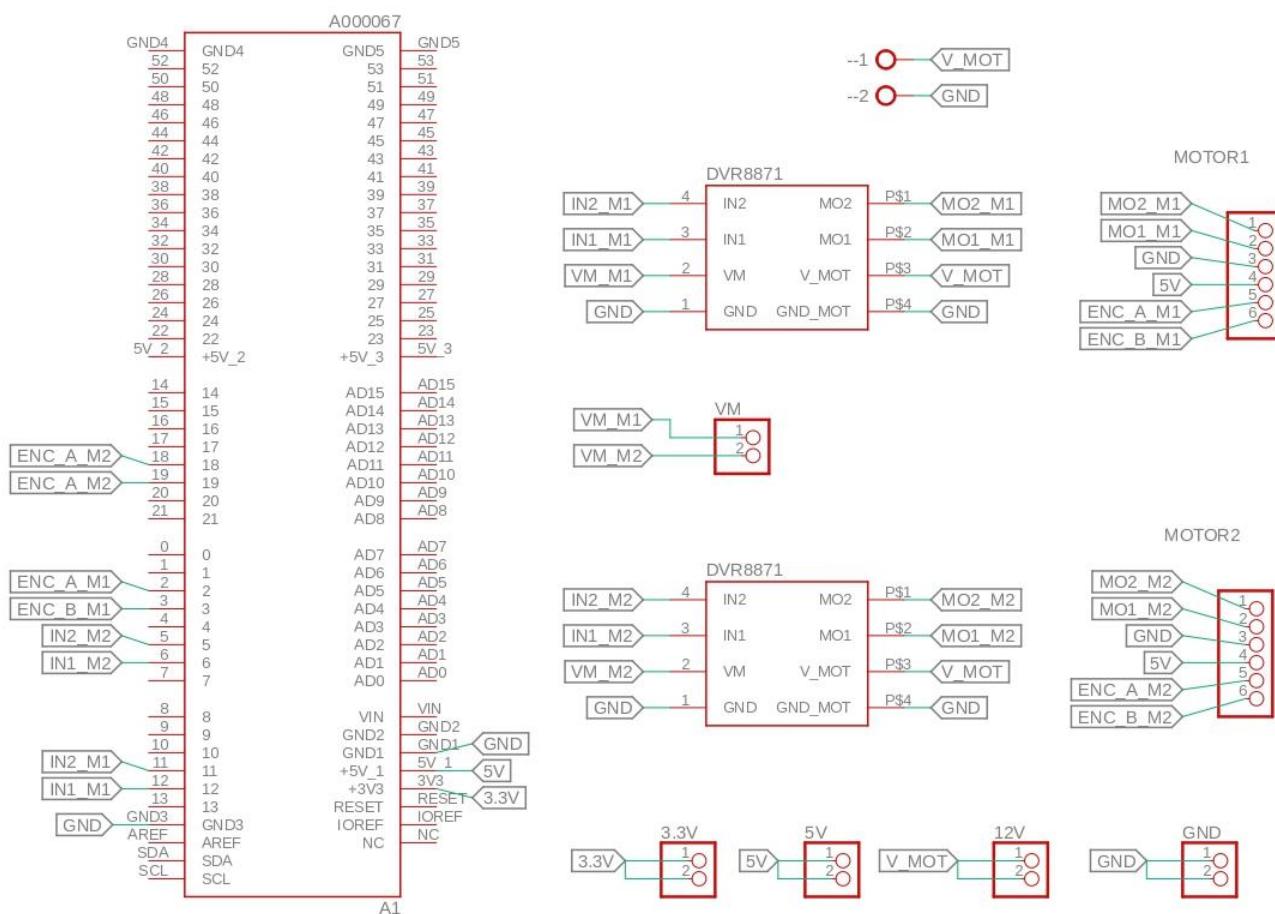


Figura 4. Esquemático del sistema electrónico en Eagle.

A continuación, se realiza la generación de la vista de placa y se procede a ordenar los componentes.

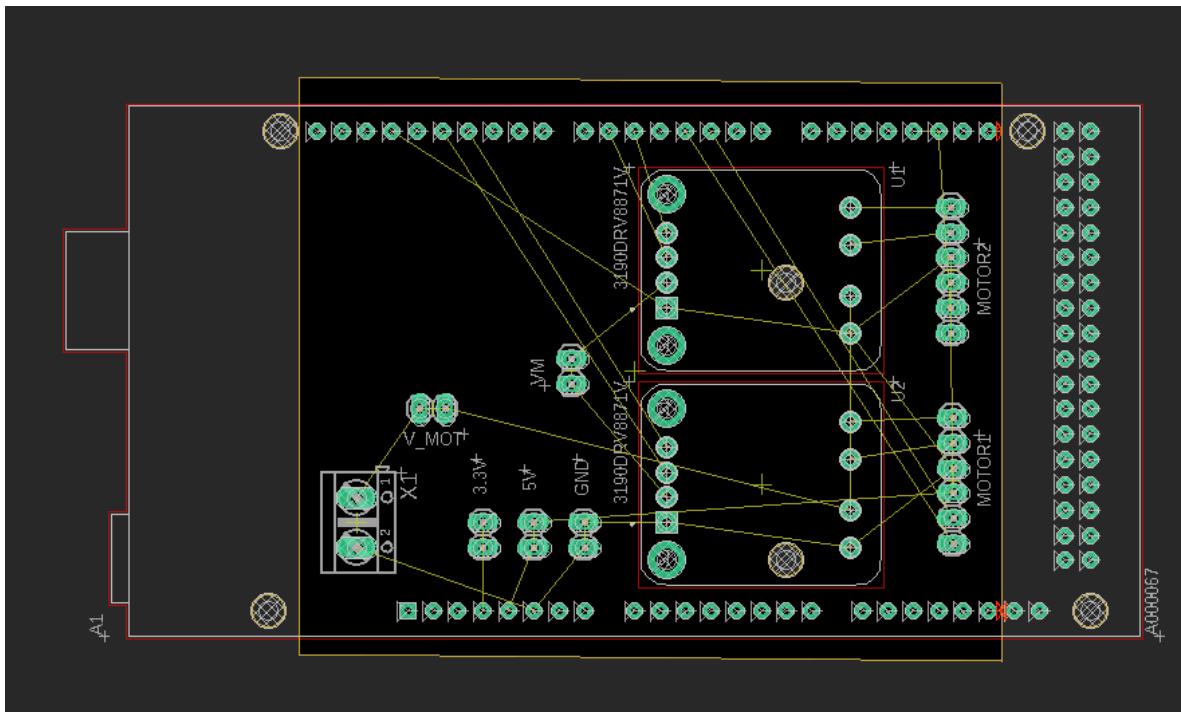


Figura 5. Disposición de los componentes en la vista de placa.

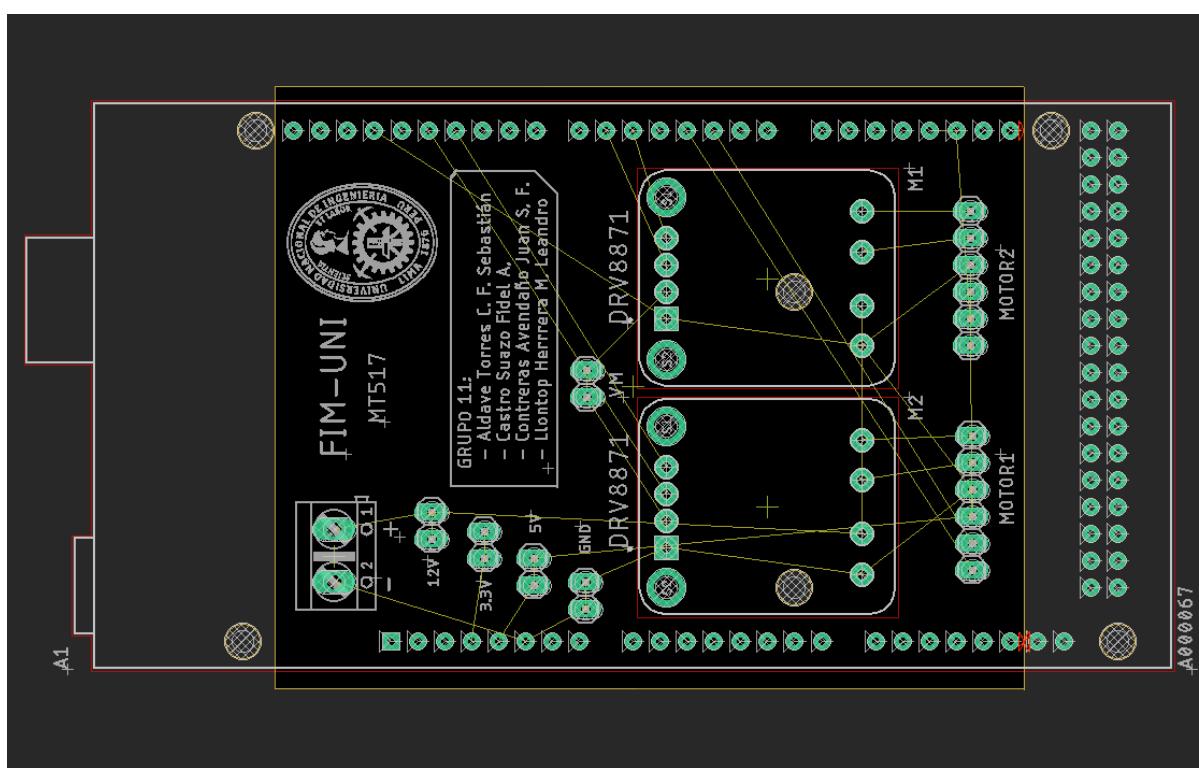
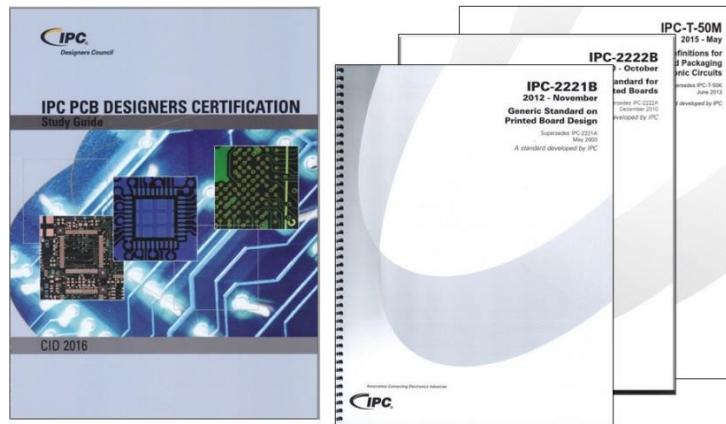


Figura 6. Componentes del PCB ordenado.

Para el diseño del PCB se tomó en cuenta la norma IPC 2221, esta es una guía para el diseño de circuitos impresos o PCB, que establece los principios para el diseño, la fabricación, el ensamblaje y la documentación de PCB.



*Figura 7. Norma IPC 2221.*

Dichos principios de diseño y recomendaciones incluyen el montaje o ensamblaje de los componentes, tipo THT o de huecos pasantes, de superficie SMT. La norma IPC 2221 se usa en conjunto con las siguientes normas:

- Norma 7351, Norma IPC T 50 y Norma IPC D 325.

Según el datasheet proporcionado por el fabricante, la corriente del motor 37D es de 5.5A y del motor 25D es de 1A.

TIPO DE MOTOR QUE ACCIONA EL REDUCTOR	HORAS / DIA	FACTORES DE SERVICIO		
		TIPO DE CARGA	UNIFORME	MEDIA
MOTOR ELECTRICO ENTRADA CONSTANTE	2	0.9	1.1	1.5
	10	1.0	1.25	2.75
	24	1.25	1.50	2.00
MEDIANAMENTE IMPULSIVA	2	1.0	1.35	1.75
	10	1.25	1.50	2.00
	24	1.50	1.75	2.50

*Tabla 1. Tabla de factor de seguridad.*

El factor de seguridad es igual a 1.5. Por lo tanto la corriente máxima que puede soportar la pista deberá de ser de 9.75A.

De esta manera, se utilizó la siguiente página web para el cálculo de los parámetros:

<https://www.digikey.com/es/resources/conversion-calculators/conversion-calculator-pcb-trace-width>

Corriente (I)	Temperatura ambiente
10	30 °C
Espesor (t)	Longitud de trazo
0.2 mm	150 mm
Aumento de temperatura ( $T_{Rise}$ )	
50 °C	

#### FÓRMULA

Primero, calcule el Área:

$$A = \left( \frac{I}{k \times T_{Rise}} \right)^{\frac{1}{c}}$$

Para las capas internas de la IPC-2221:  $k = 0.024$ ,  $b = 0.44$ ,  $c = 0.725$

Para las capas externas de la IPC-2221:  $k = 0.048$ ,  $b = 0.44$ ,  $c = 0.725$

donde  $k$ ,  $b$  y  $c$  son constantes que resultan del ajuste de la curva a las curvas de la IPC-2221.

Valores comunes:

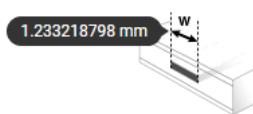
Espesor: 1 oz

Ambiente: 25 C

Aumento de la temperatura: 10 C

Luego, se determina el grosor de las pistas.

Ancho mínimo de traza



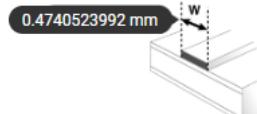
Capas internas

Ancho de traza requerido (W)

1.233218798

mm

Ancho mínimo de traza



Capas externas en el aire

Ancho de traza requerido (W)

0.4740523992

mm

Resistencia

0.01255647013

Ω

Caída de voltaje

0.1255647013

V

Pérdida de energía

1.255647013

W

Resistencia

0.03266490166

Ω

Caída de voltaje

0.3266490166

V

Pérdida de energía

3.266490166

W

Se colocan los valores hallados:

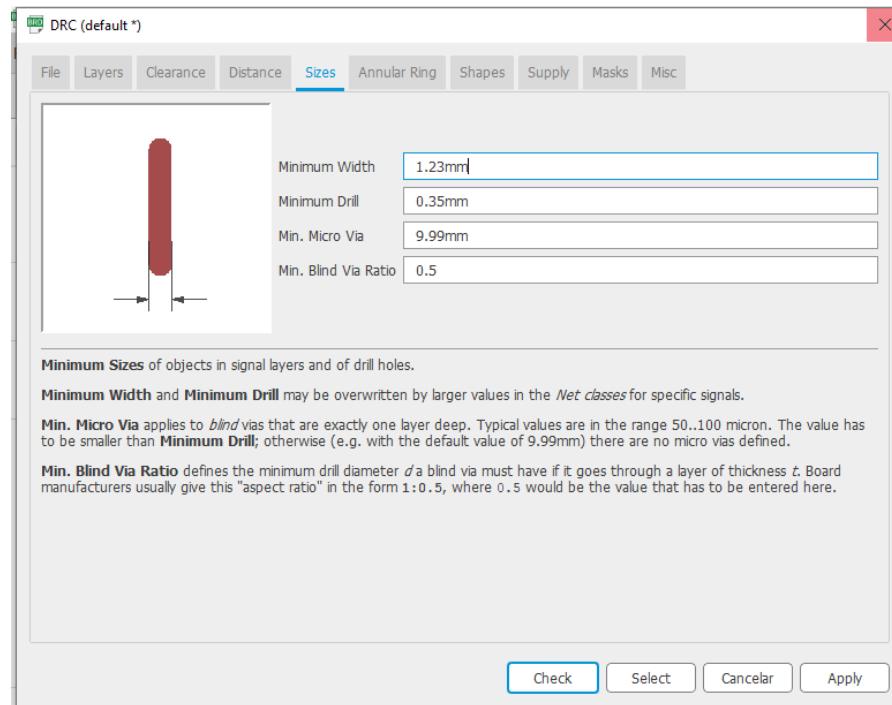


Figura 8. Configuración de los parámetros.

Posteriormente se hace el ruteo de estas. Se consideró el uso de 2 capas.

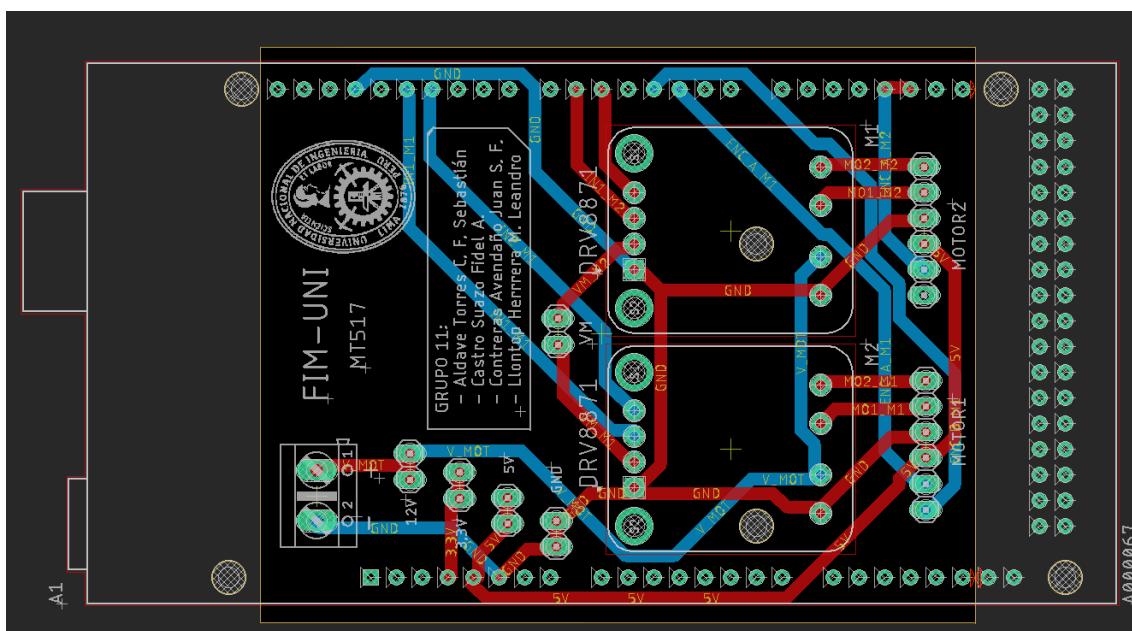


Figura 9. Ruteo del circuito.

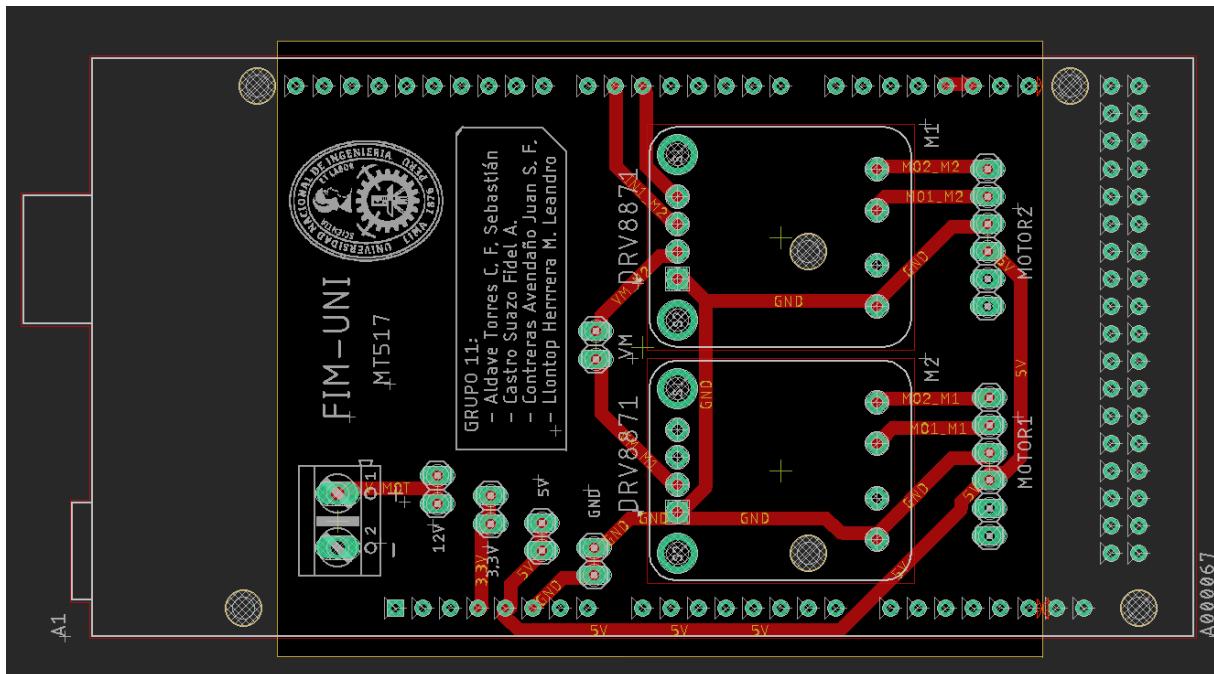


Figura 10. Ruteo en la capa top.

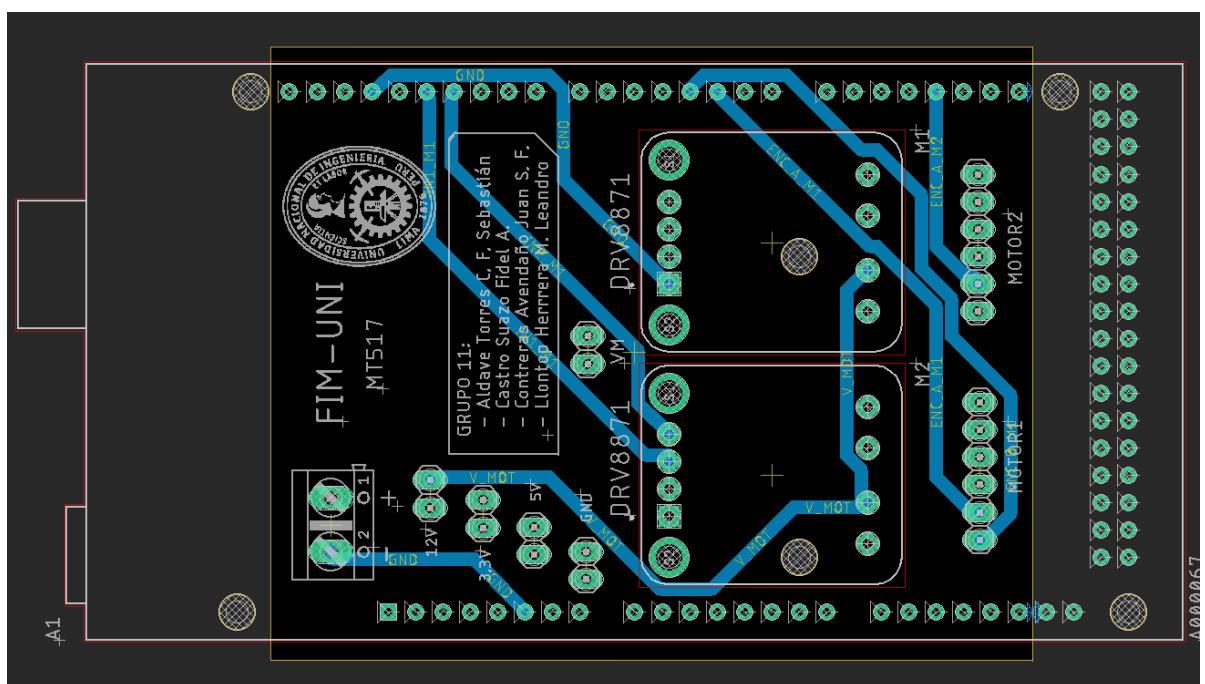


Figura 11. Ruteo en la capa bottom.

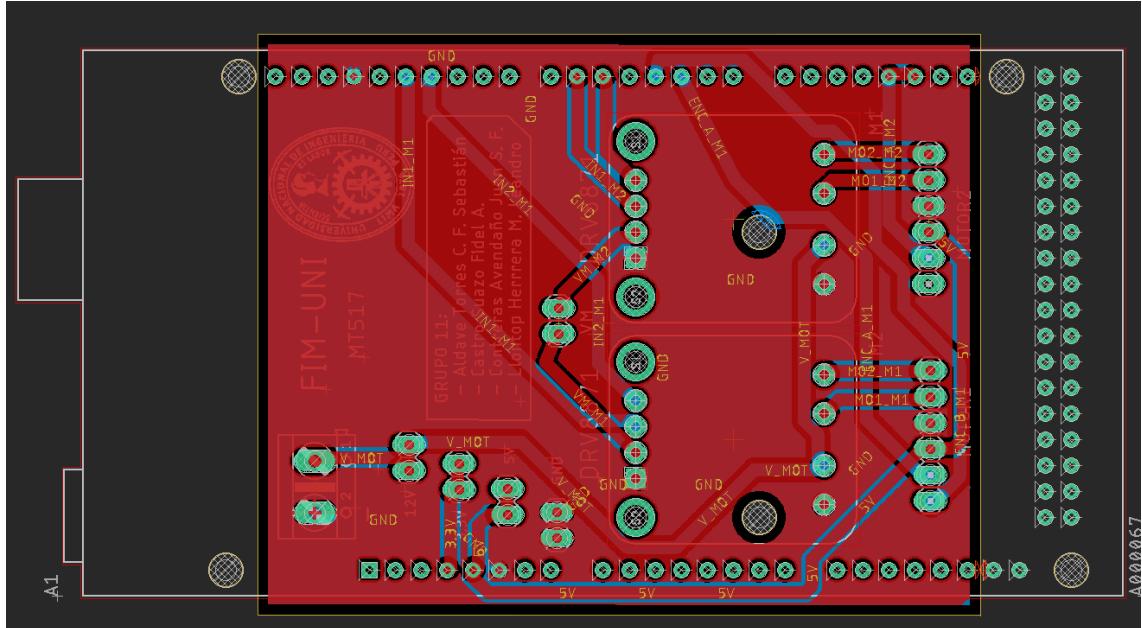


Figura 12. Diseño por ordenador del PCB en Eagle.

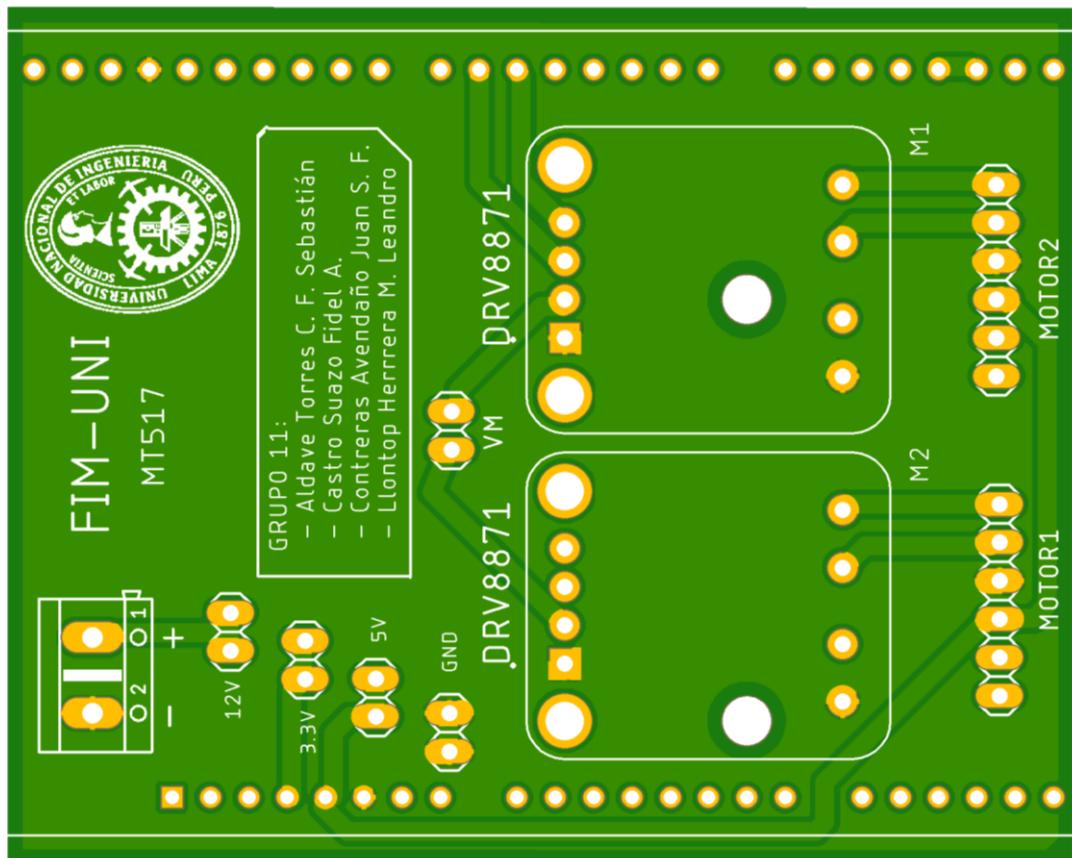


Figura 13. Vista de la fabricación del lado superior en Eagle.

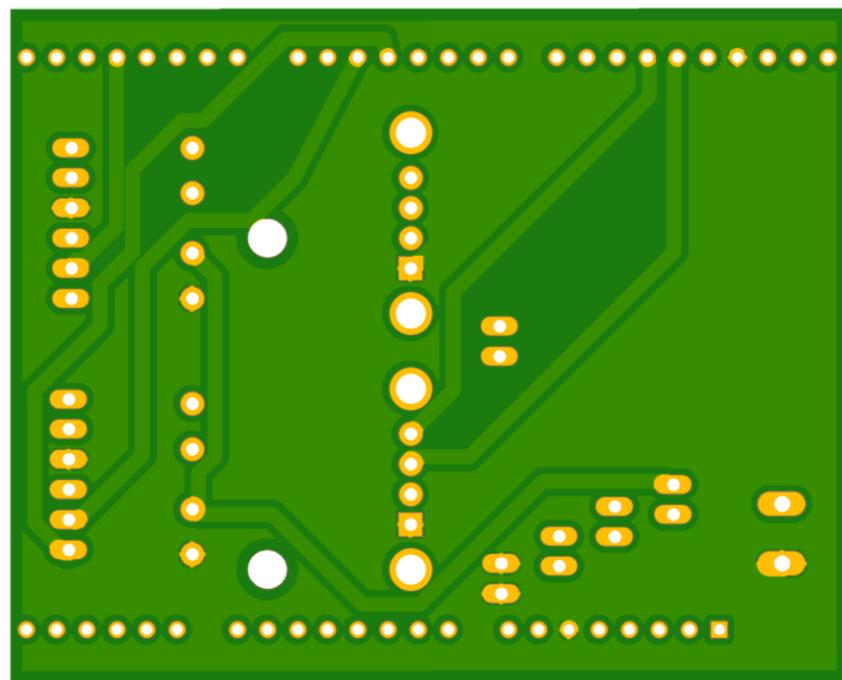


Figura 14. Vista de la fabricación del lado inferior en Eagle.

### 3. COMPONENTES MECÁNICOS

#### ❖ Acoplos de motores

- Eje de motor de acoplamiento



Acople para motor 37 D con brida



Acople para motor 25 D

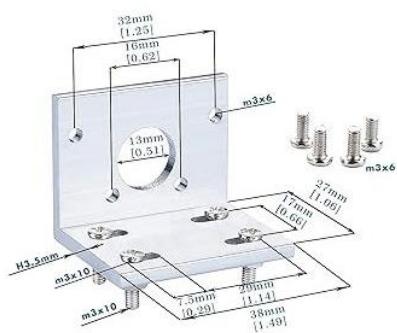
#### ❖ Rodamiento Radial 608

- Medidas: 8x22x7mm
- Material: Aluminio
- Unidades: 4



#### ❖ Soporte de motores

Unidades: 2



Dimensions of the CQRobot metal mounting bracket. Units are mm over [inches].



Bracket L para motor 37 D

Bracket L para motor 25 D

❖ Pernos Allen

M3x16

Unidades: 8



M3x10

Unidades: 4



M3x6 cabeza plana

Unidades: 2



Pernos M5x10 - Tuercas cabeza martillo deslizante

Unidades: 8



❖ Pernos Cabeza Estrella

M8x20 (2 unidades), M3x8 (4 unidades) y M4x10 (1 unidad)



❖ **Tuercas y arandelas**

Tuercas M3 y M8:

Unidades: 14



Arandelas M8:

Unidades: 2



## RESUMEN DE LOS COMPONENTES Y SUS FUNCIONES

- 8 M5x10 cabeza plana Allen y 8 tuercas cabeza de martillo M4 (**base con Rover**)
- 4 M3x15 cabeza Allen --- 4 tuercas M3 (**soporte del primer motor con la base**)
- 4 M3x8 cabeza estrella (**soporte con motor grande**)
- 4 M3x10 cabeza Allen --- 4 tuercas M3 (**primer acople con primer eslabón**)
- 1 M8x20 --- 1 tuerca M8 --- arandela 8mm (**rodamientos con primer eslabón**)
- 4 M3x15 cabeza Allen --- 4 tuercas M3 (**soporte con segundo motor**)
- 1 M8x20 --- 1 tuerca M8 --- arandela 8mm (**rodamientos con segundo eslabón**)
- 2 M3x8 cabeza hueca plana Allen (**soporte con motor**)
- 1 M4x10 (**segundo acople con segundo eslabón**)

## 4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PARTE MECÁNICA DEL ROBOT DE 2GDL

22

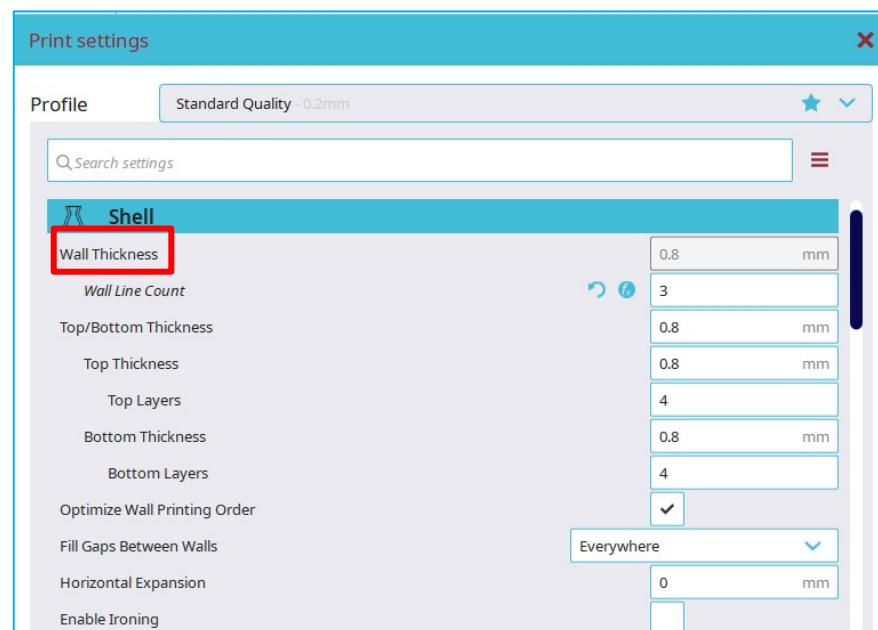
### A. Impresión de las piezas

Puesto que las piezas principales del robot (base, primer y segundo eslabón) se diseñaron con cierta libertad en SolidWorks y se adecuaron para encajar en el Rover, la mejor opción para una obtención rápida, resistente y menos costosa para el grupo fue optar por la impresión en 3D con el material PLA (ácido poliláctico o poliácido láctico).

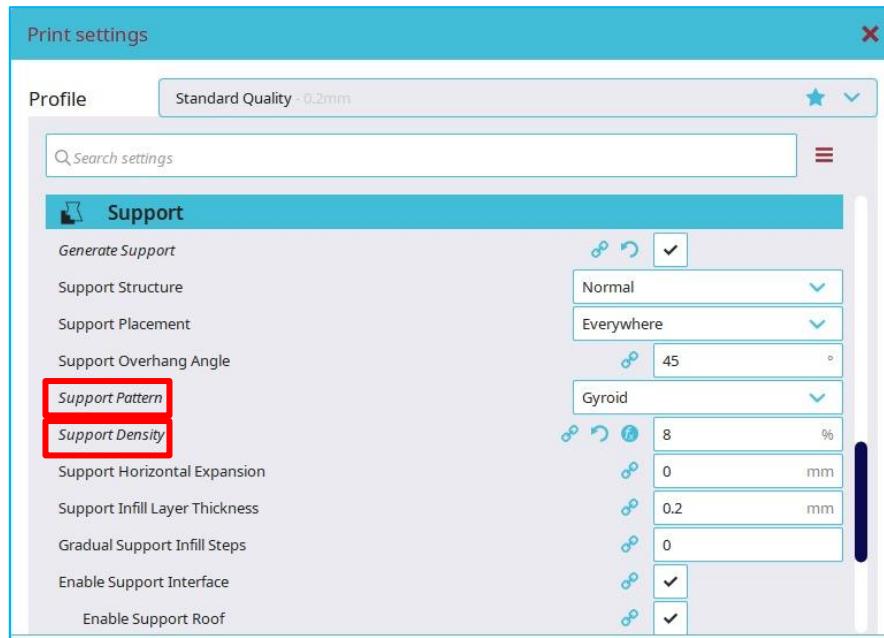
- **Configuración de la impresión en 3D:** se configuro algunos parámetros de la impresión como el relleno, el soporte (para mejorar la calidad del resultado final y evitar problemas durante el proceso de impresión) y la pared o “shell” de la pieza.



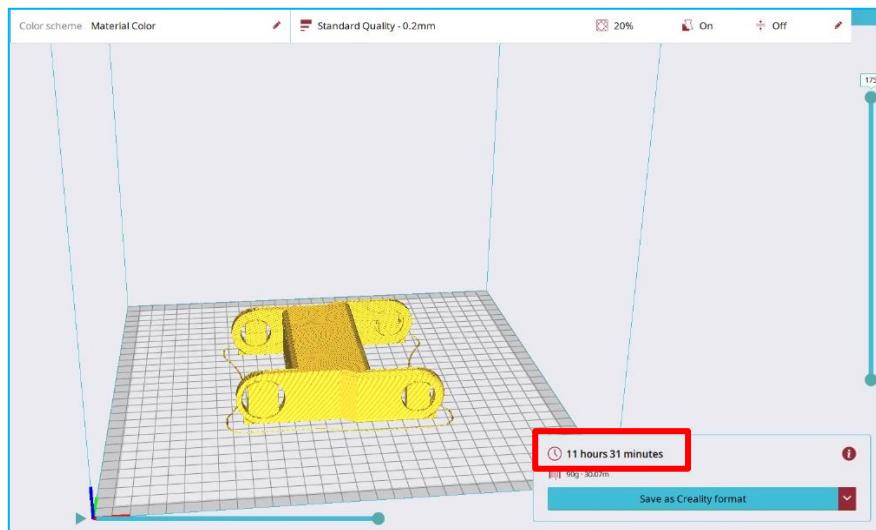
Porcentaje de relleno y opción de relleno



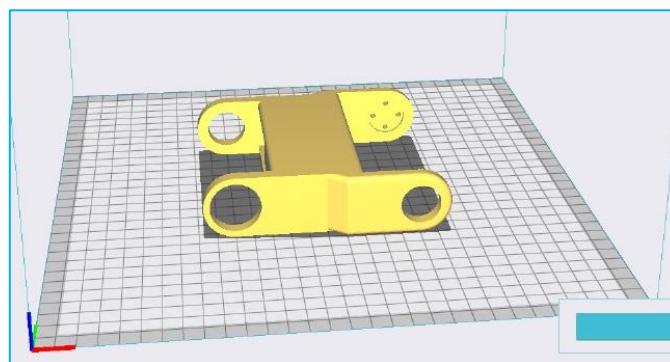
Configuración del grosor de pared



*Densidad y tipo de soporte*

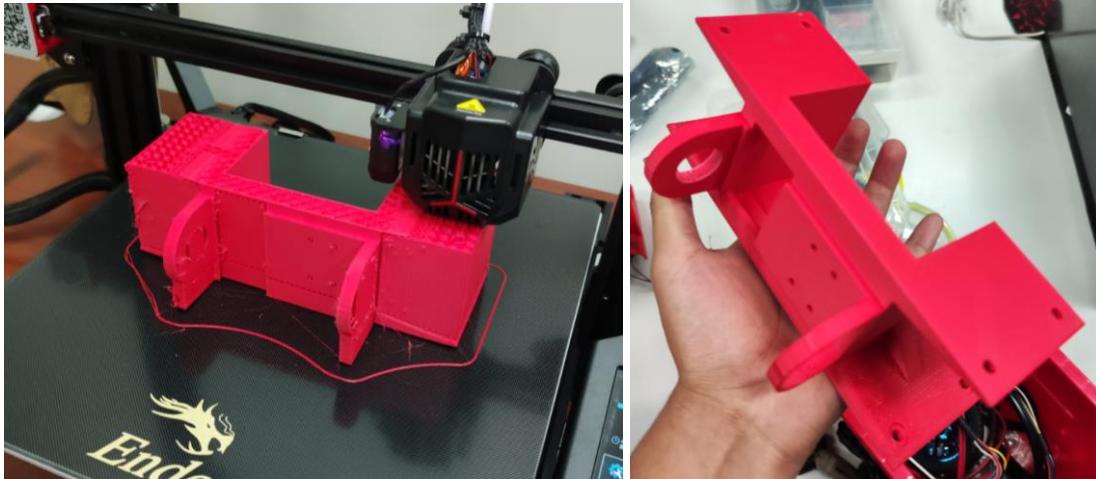


*Preview de la pieza y estimación del tiempo de impresión*



*Vista final de la impresión en el programa Creality Slicer*

- **Impresión de las 3 piezas:** Las piezas se imprimieron en 5 días. Se realizaron algunos ajustes



*Impresión de la base (warping en la base de la primera pieza)*

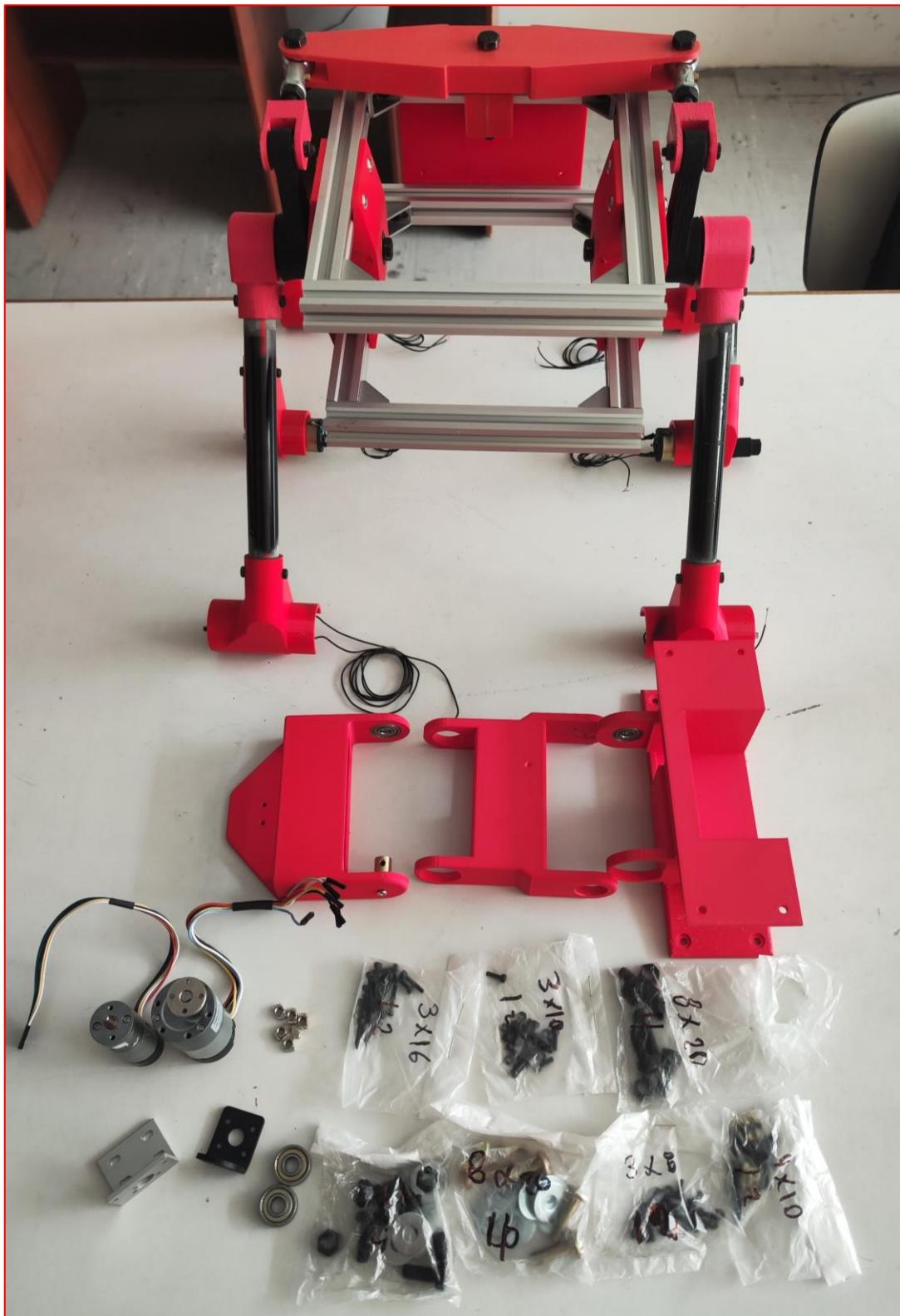


*Impresión del primer eslabón (esta pieza se modificó del anterior diseño)*



*Impresión del segundo eslabón*

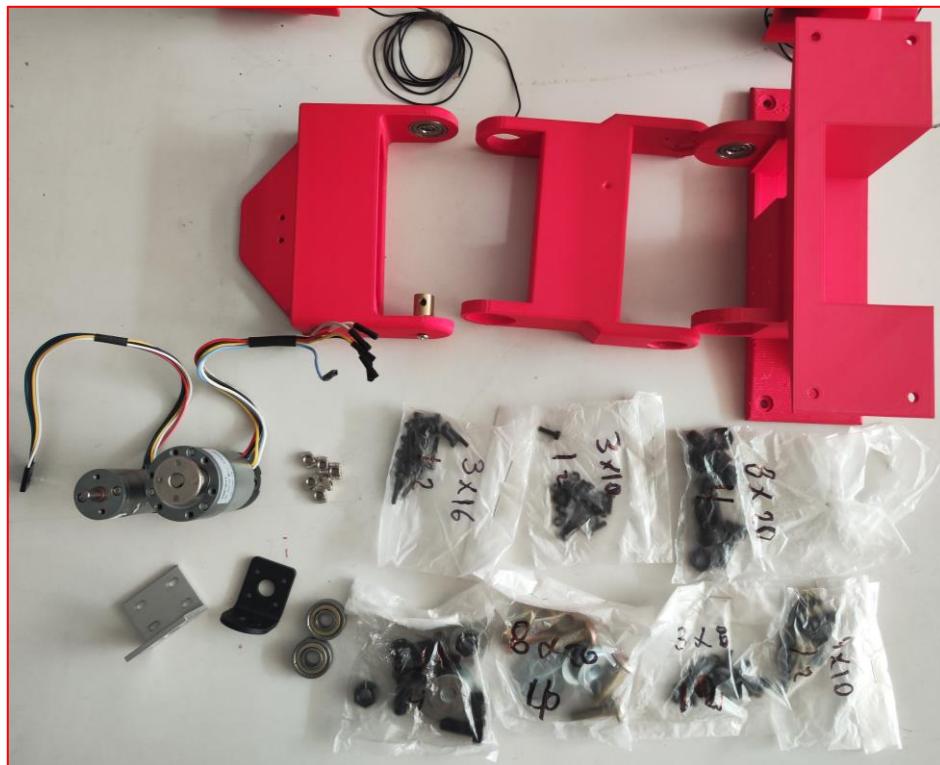
## B. Vista de los componentes para la implementación



*Componentes mecánicos y piezas en 3D*



*Componentes y algunas herramientas para el armado*



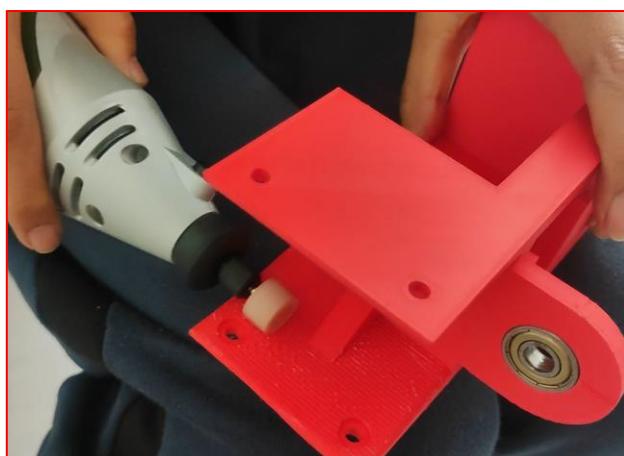
*Acercamiento a los componentes*

### C. Ensamblaje de la Base

- Ajustes iniciales para la primera pieza: pulido de la superficie y lijado de un agujero para la correcta inserción del rodamiento 608 (**rodamiento no entraba a cabalidad**).



*Lijado del agujero e inserción del rodamiento*



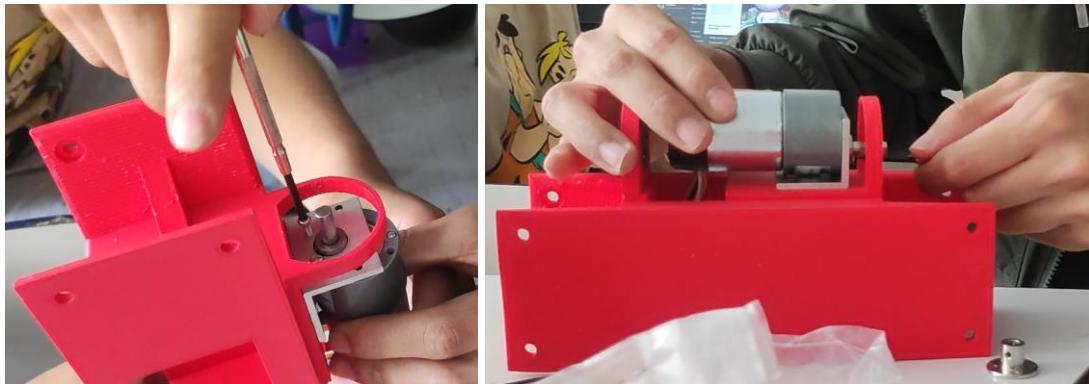
*Pulido de la pieza*

- Ajuste del bracket del motor a la base con 4 pernos M3x16 y sus respectivas tuercas



*Sujección del bracket a la base*

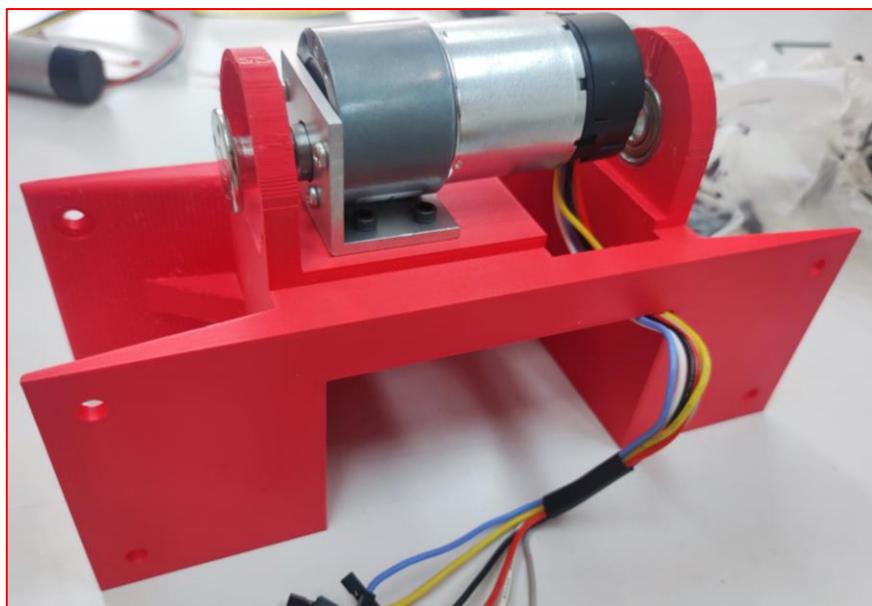
- Se procedió a asegurar el motor a su soporte con 4 pernos M3x10 (los pernos impedían el movimiento de los engranajes del motor).



*Sujeción del motor a su respectivo bracket*



*Unión del acople al eje del motor con un “prisionero”*



*Base con motor y rodamiento*

## D. Ensamblaje del Primer Eslabón

- Ajustes iniciales para el primer eslabón: **lijado de los orificios** para la inserción de 2 rodamientos 608 y del acople del primer eslabón.



*Lijado de los orificios y extracción de material*



*Colocación de los 2 acoples*

- Se procedió a colocar el bracket del segundo motor al primer eslabón del robot (**los orificios de los pernos no se encontraban bien posicionados**).



*Sujeción del bracket con pernos M3x16 y sus respectivas tuercas*



*Ajuste del acople al eje del motor y sujeción del motor al eslabón con 2 pernos M3*

### **E. Ensamblaje del Segundo Eslabón**

- Ajustes iniciales para el segundo eslabón: lijado y corte de una parte de la pieza



En un primer intento de ensamblado del primer eslabón con el segundo se pudo observar que **había un impedimento para que el acople hexagonal del segundo motor pueda colocarse en el espacio hecho en el segundo eslabón.**



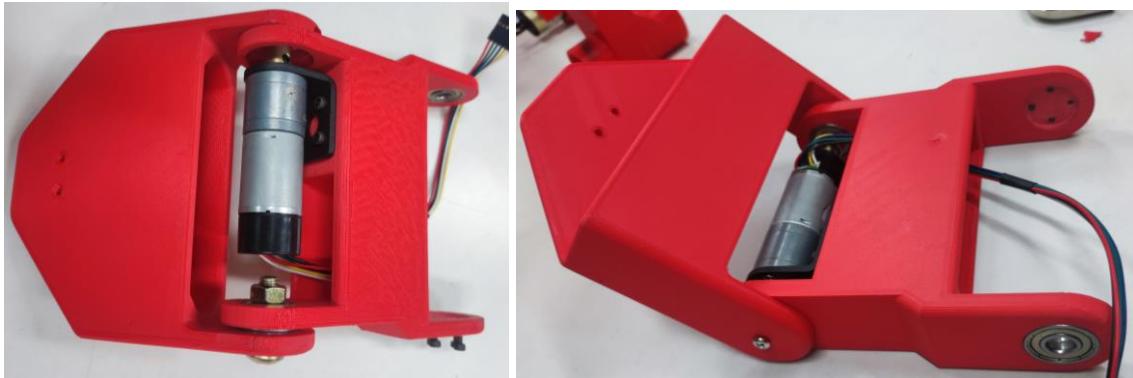
*Corte de la pieza para que el acople pueda ajustarse al segundo eslabón*



*Inserción de un rodamiento 608 al segundo eslabón*

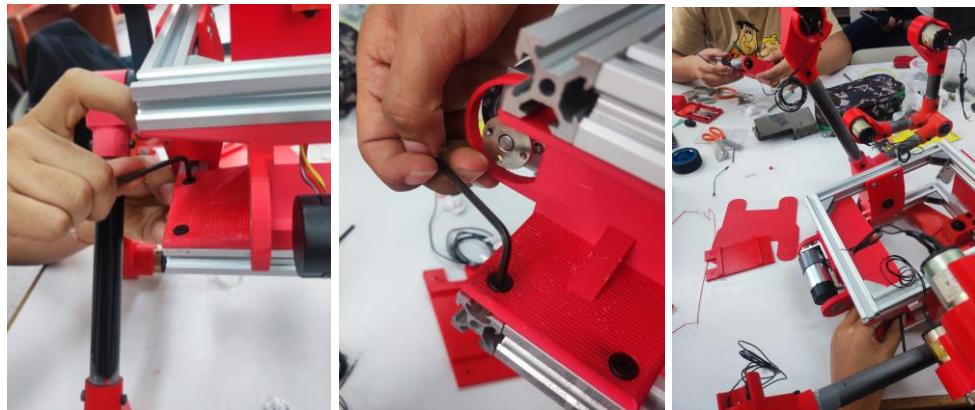
## F. Ensamblaje Global del Robot de 2GDL

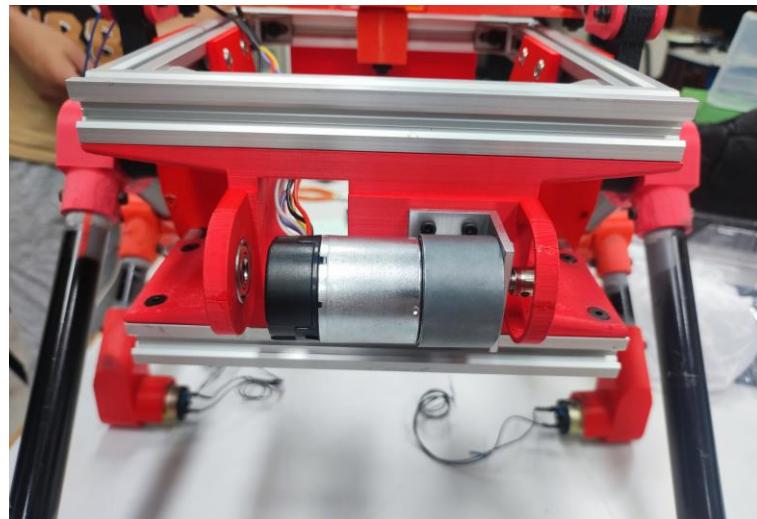
- Unión del primer eslabón con el segundo con un perno M8x20 cabeza estrella con su respectiva tuerca y una arandela de por medio. También se uso un perno M4 para ajustar el acople del segundo motor al segundo eslabón.



*Unión del primer con el segundo eslabón*

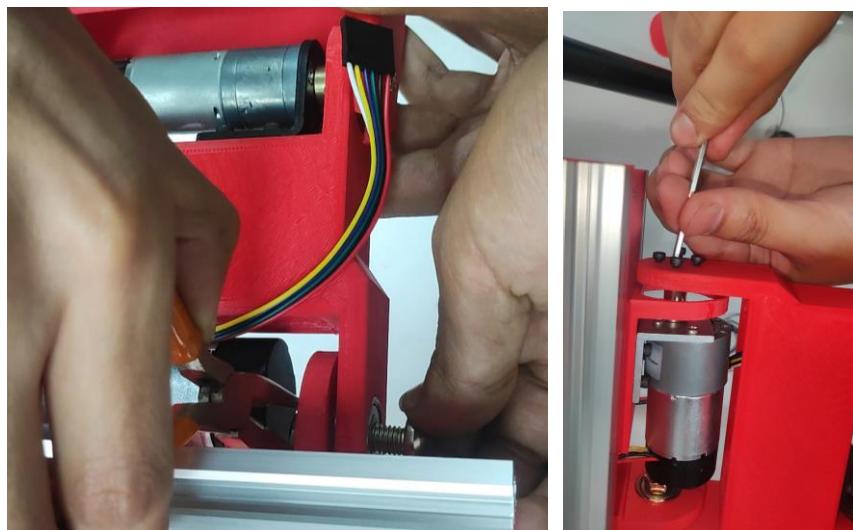
- Colocación de la base con el motor al Rover por medio de 8 pernos cabeza plana tipo Allen M5x10 con sus respectivas tuercas cabeza de martillo.





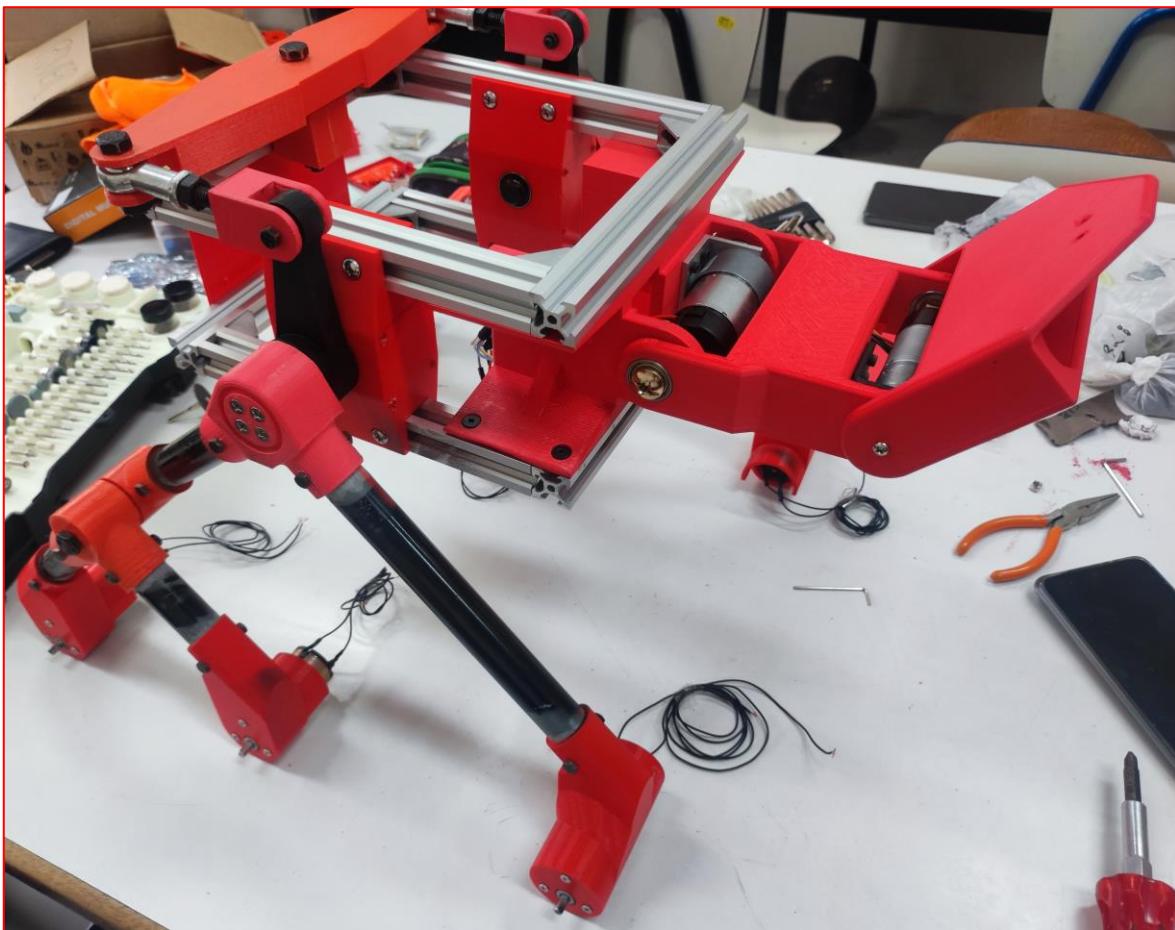
*Base sujetada a los perfiles de aluminio del Rover*

- Final del ensamblaje: Unión de los eslabones a la base ya colocada en el Rover

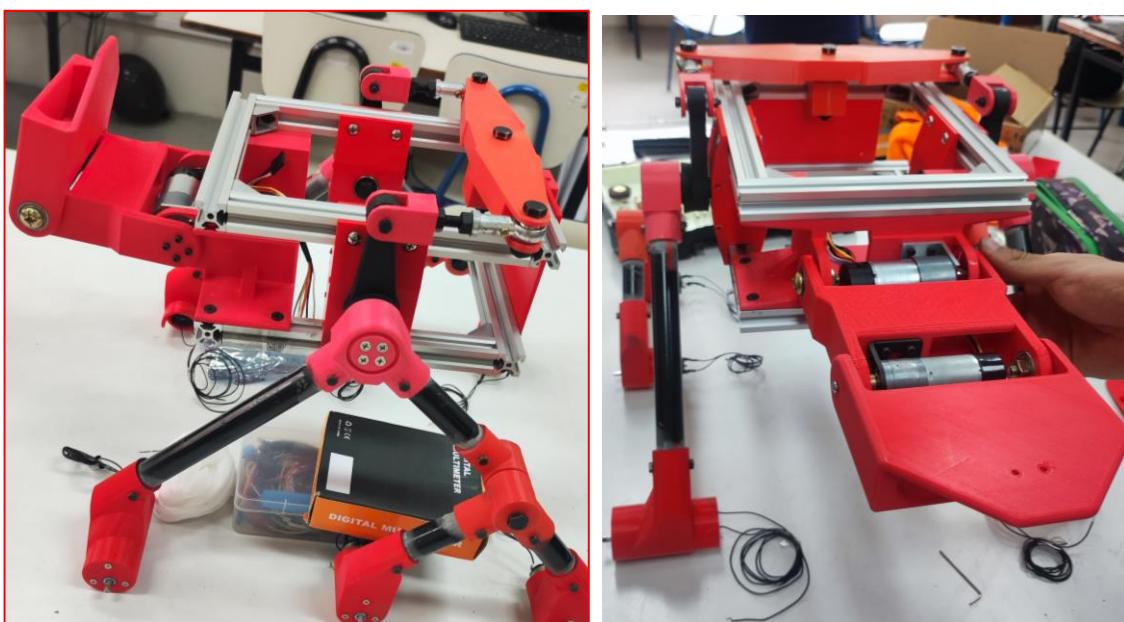


*Union por perno M8x20 con turca y arandela y 4 pernos M3x16*





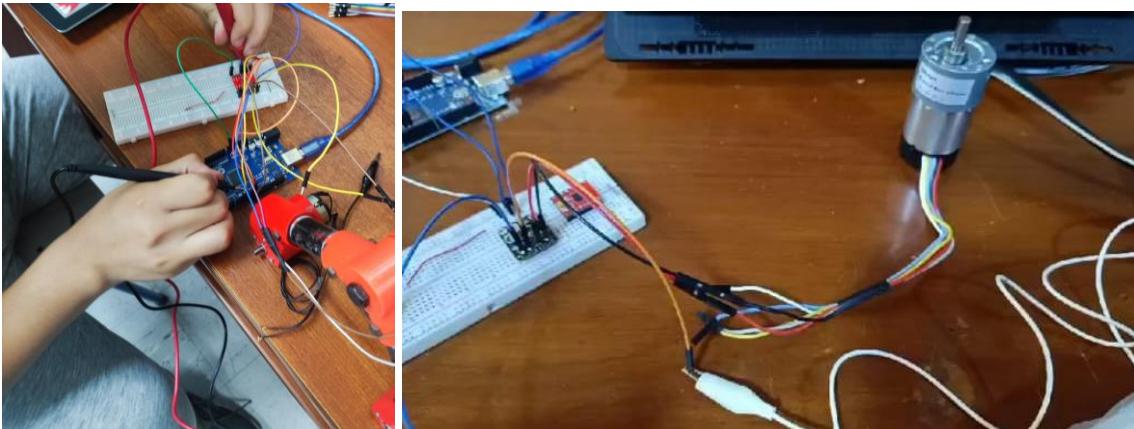
*Imagen final del ensamblaje del robot planar de 2GDL en el Rover*



*Otras vistas del ensamblaje*

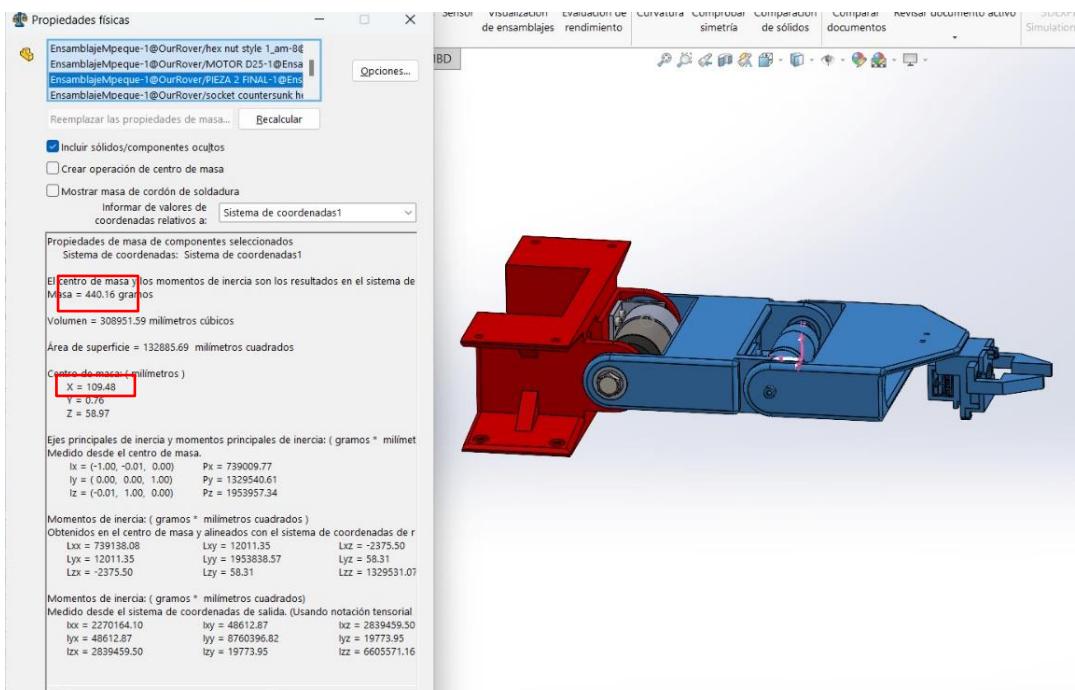
## 5. PRUEBAS DEL FUNCIONAMIENTO DEL MOVIMIENTO DDEL SISTEMA

- En principio, se probó el funcionamiento de la electrónica del sistema con ambos motores. Para esto se probó con el código en Arduino para el movimiento con PWM de los motores. Se probaron 2 tipos de drivers (TBG6612FNG – rojo, DRV8871 - negro)



*Pruebas del funcionamiento de la electrónica del sistema*

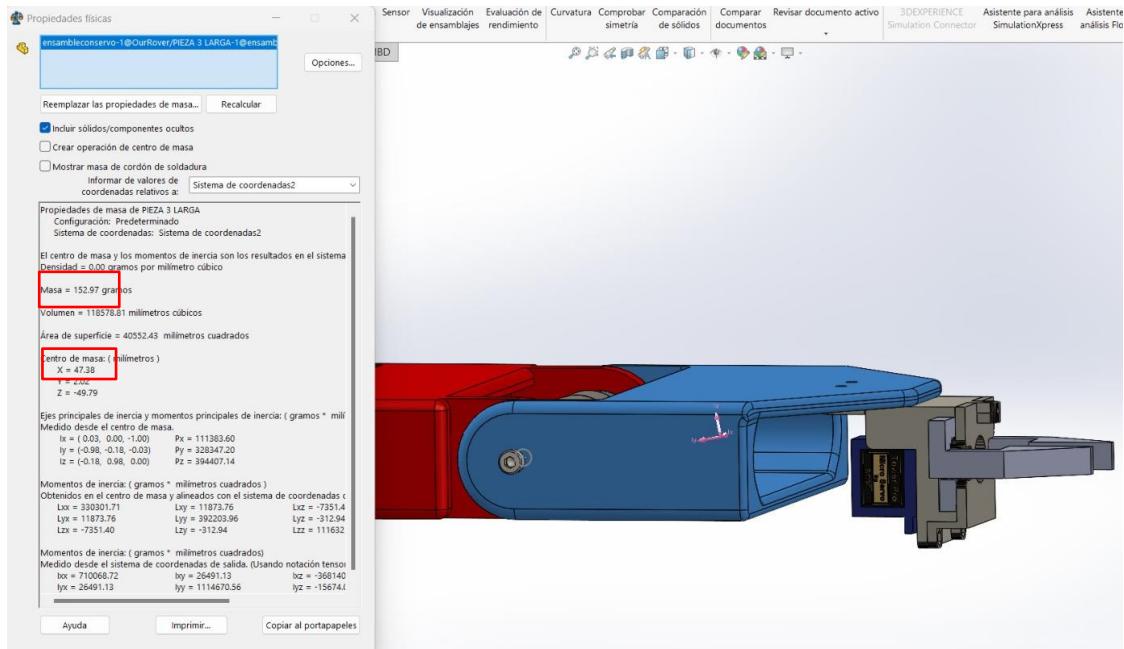
- Cálculos del torque máximo necesario a soportar por ambos motores



*Masa y coordenada X del centro de masa respecto al Sistema 0*

$$T_{max} = 0.44 \text{ kg} \times 10.948 \text{ cm}$$

$$T_{max} = 4.82 \text{ kg.cm}$$

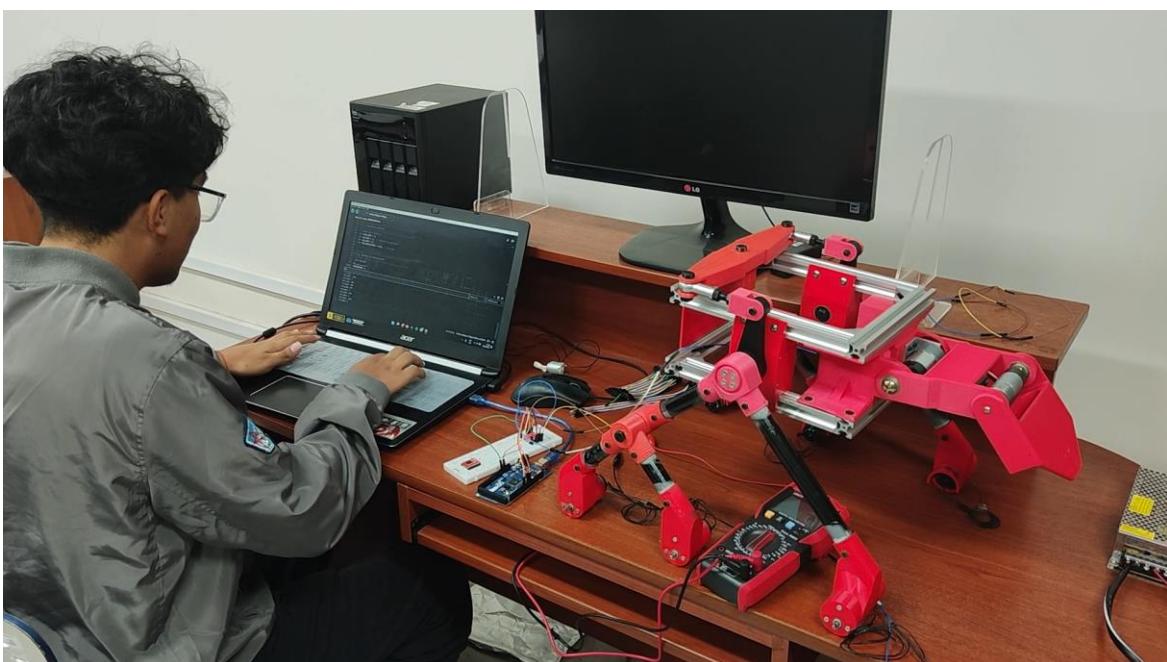


*Masa y coordenada X del centro de masa respecto al Sistema 1*

$$T_{max} = 0.153 \text{ kg} \times 4.738 \text{ cm}$$

$$T_{max} = 0.725 \text{ kg.cm}$$

- Finalmente se aplicó un movimiento lento a cada junta para comprobar el funcionamiento del PWM, los encoders y la electrónica del sistema



## 6. VIDEO DEL ENSAMBLE Y PRUEBAS DEL ROBOT

Enlace del video:

[https://unipe-my.sharepoint.com/:f/g/personal/juan\\_contreras\\_a\\_uni\\_pe/EkqNqFdz-XNMv1ex2mteIDQBT1xGs9DRpUOJAsl3AnGgcA?e=i4gbTC](https://unipe-my.sharepoint.com/:f/g/personal/juan_contreras_a_uni_pe/EkqNqFdz-XNMv1ex2mteIDQBT1xGs9DRpUOJAsl3AnGgcA?e=i4gbTC)



## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Diseño del Arduino Mega extraído el 8 de octubre del 2023 del link:  
<https://grabcad.com/library/arduino-mega-2560-8>
- <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/adafruit-drv8871-brushed-dc-motor-driver-breakout.pdf>
- <https://www.snapeda.com/parts/A000067/Arduino/view-part/?ref=search&t=arduino%20mega>
- <https://www.aldeltatec.com/blog-diseno-con-normas-y-certificaciones/norma-ipc-2221b-para-diseno-de-pcb-actualizacion/>
- <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>

## 8. ANEXOS

### 8.1. PLANO DEL MICROCONTROLADOR

- ARDUINO MEGA 2560 R3:

