



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

INFORME N° I

**“Diseño, implementación y control
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:

09 de octubre de 2023

2023-II

Lima-Perú

CONTENIDO

| | |
|--|----|
| 1. RESUMEN | 2 |
| 2.1. LÍNEA BASE DE LOS MOTORES DC CON ENCODER | 3 |
| 2. ANÁLISIS DE MOTORES DC | 3 |
| 2.2. MOTORES SELECCIONADOS | 7 |
| 3. BOSQUEJO DEL ROBOT Y SU APLICACIÓN | 9 |
| 4. DISEÑO MECÁNICO..... | 10 |
| 4.1. MOTORES DC | 10 |
| 4.2. ACCESORIOS MECÁNICOS | 12 |
| 4.3. ACCESORIOS ELECTRÓNICOS..... | 14 |
| 4.4. PIEZAS DEL MANIPULADOR DISEÑADAS..... | 15 |
| 5. ENSAMBLAJE DEL ROBOT..... | 18 |
| 6. ESPECIFICACIÓN DEL RANGO DE MOVIMIENTO DEL ROBOT | 28 |
| 7. VISTA EXPLOSIONADA DEL DISEÑO DEL ROBOT | 31 |
| 8. ASIGNACIÓN DE LOS SISTEMAS COORDENADOS SEGÚN DENAVIT-HARTENBERG | 33 |
| 9. PROPIEDADES FÍSICAS DE CADA ESLABÓN | 34 |
| 10. LISTA DE MATERIALES Y PRESUPUESTO ESTIMADO | 38 |
| 11. DIAGRAMA DE GANTT | 39 |
| 12. BIBLIOGRAFÍA | 40 |
| 13. ANEXOS | 41 |
| 13.1. PLANO DE CADA COMPONENTE | 41 |

I. RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo el diseño de un brazo robótico de 2 grados de libertad, para ello, se inició con la selección de los motores DC con encoder, componentes mecánicos y electrónicos que conforman el manipulador. De esta manera, se diseñaron las piezas que componen el manipulador haciendo uso del software *Solidworks*. Posteriormente, se realizó el ensamblaje del robot, uniendo las piezas diseñadas con los modelos de los actuadores.

Asimismo, se realizó el análisis cinemático de un manipulador robótico. Esto comprende la asignación de sistemas coordenados según Denavit-Hartenberg con su tabla de parámetros.

Finalmente, se presentará un presupuesto total de los materiales. Además, se adjuntan el diagrama de Gantt con la distribución de tareas y fechas designadas durante el desarrollo de este primer avance. Al final del informe se presentarán en los anexos los planos de las piezas diseñadas. Este proyecto nos permitirá entender a mayor profundidad el funcionamiento que tiene cada pieza que conforma el brazo robótico y las aplicaciones que puede tener en el campo industrial una vez terminado el proyecto.

2. ANÁLISIS DE MOTORES DC

2.1. LÍNEA BASE DE LOS MOTORES DC CON ENCODER

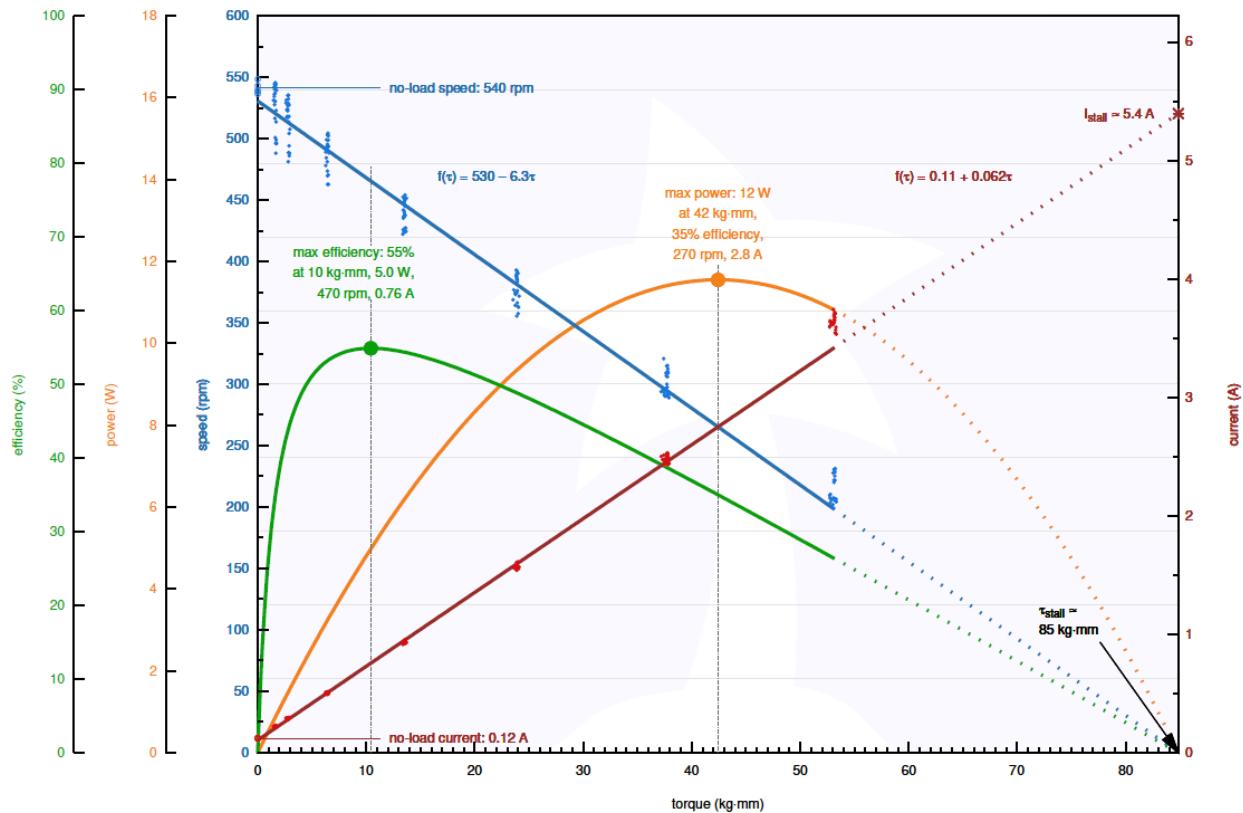
Este proyecto utilizará dos tipos de motores:

- 37D Metal Gearmotors
- 25D Metal Gearmotors

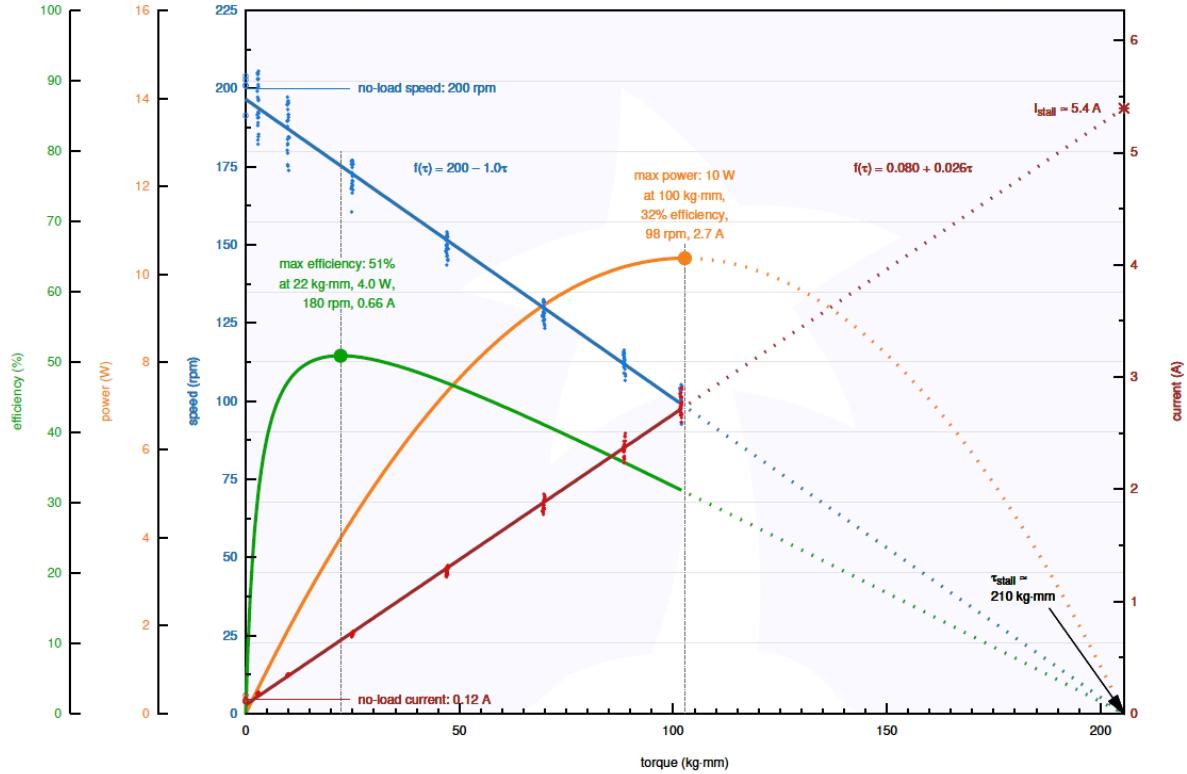
Analizando los 37D Metal Gearmotors

| Item | Voltaje | Corriente sin carga(mA) | Corriente de parada(mA) | Torque de parada(oz.in) | Velocidad sin carga(rpm) | Reducción | Precio(US\$) |
|-------|---------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------|--------------|
| #4741 | 12V | 200 | 5500 | 120 | 530 | 18.75:1 | 32.95 |
| #4743 | 12V | 200 | 5500 | 290 | 200 | 50:1 | 32.95 |
| #4754 | 12V | 200 | 5500 | 370 | 150 | 70:1 | 32.95 |

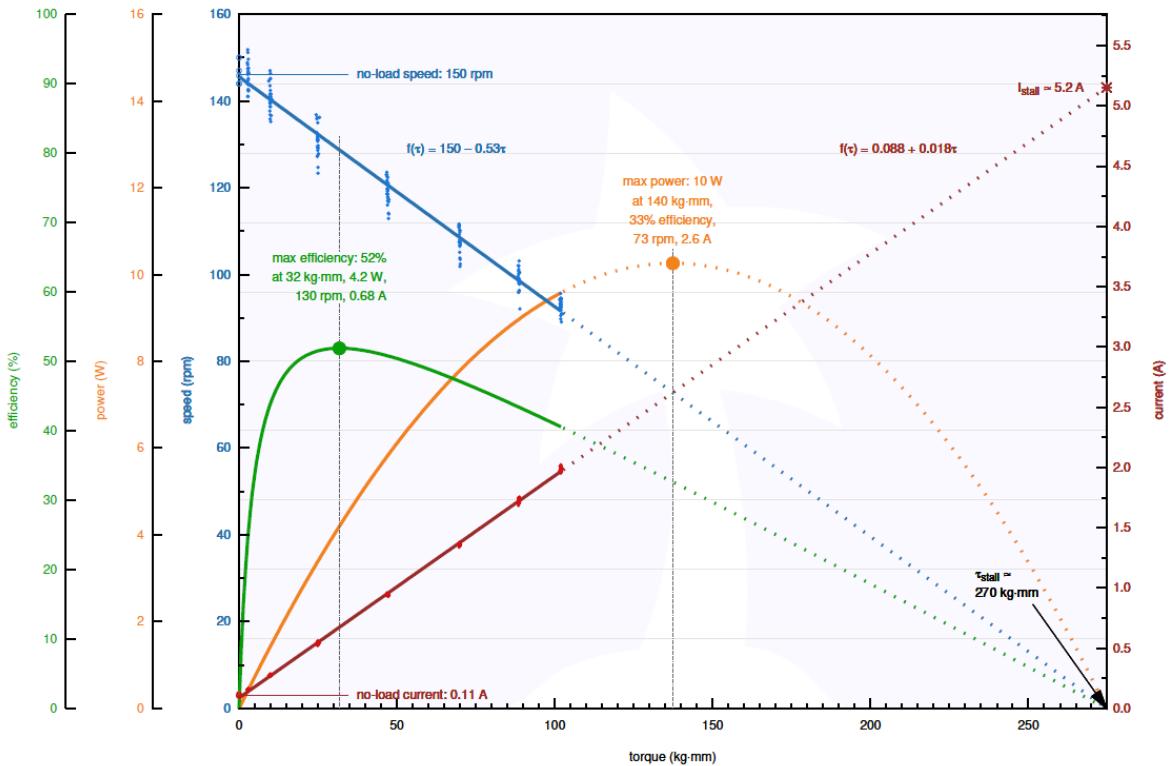
#4741



#4743



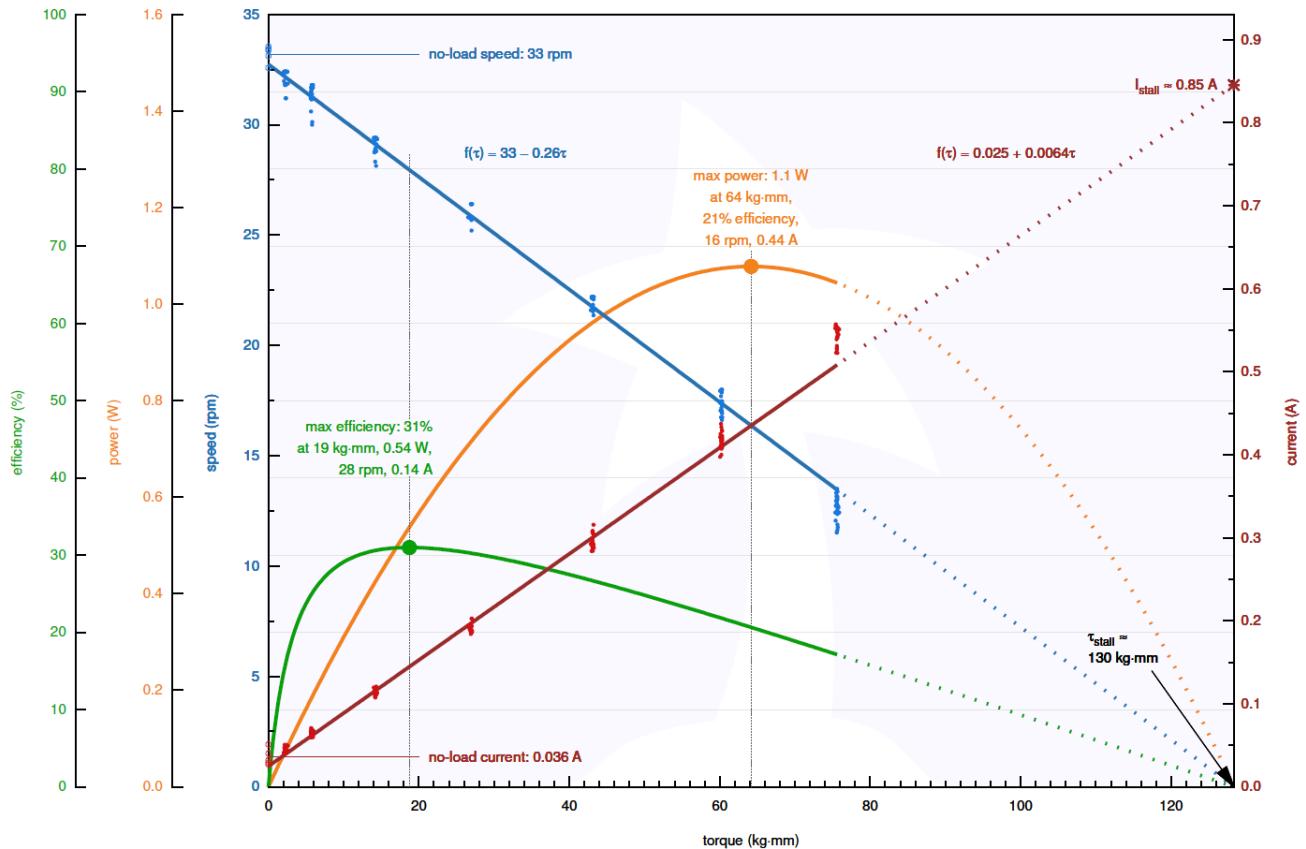
#4754



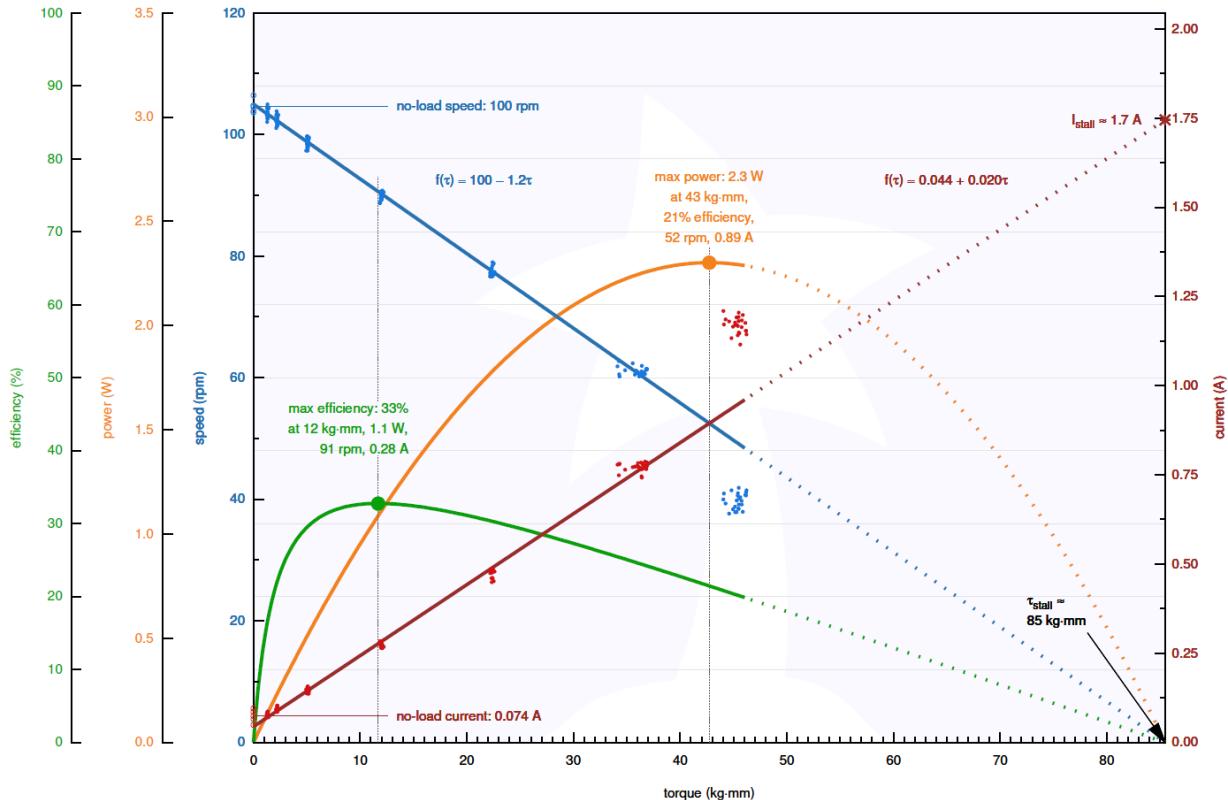
Analizando los 25D Metal Gearmotors

| Item | Voltaje | Corriente sin carga(mA) | Corriente de parada(mA) | Torque de parada(oz.in) | Velocidad sin carga(rpm) | Reducción | Precio(US\$) |
|-------|---------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------|--------------|
| #4888 | 12V | 60 | 900 | 180 | 33 | 172:1 | 45.95 |
| #4886 | 12V | 60 | 900 | 99 | 75 | 75:1 | 45.95 |
| #4884 | 12V | 60 | 900 | 51 | 170 | 34:1 | 45.95 |

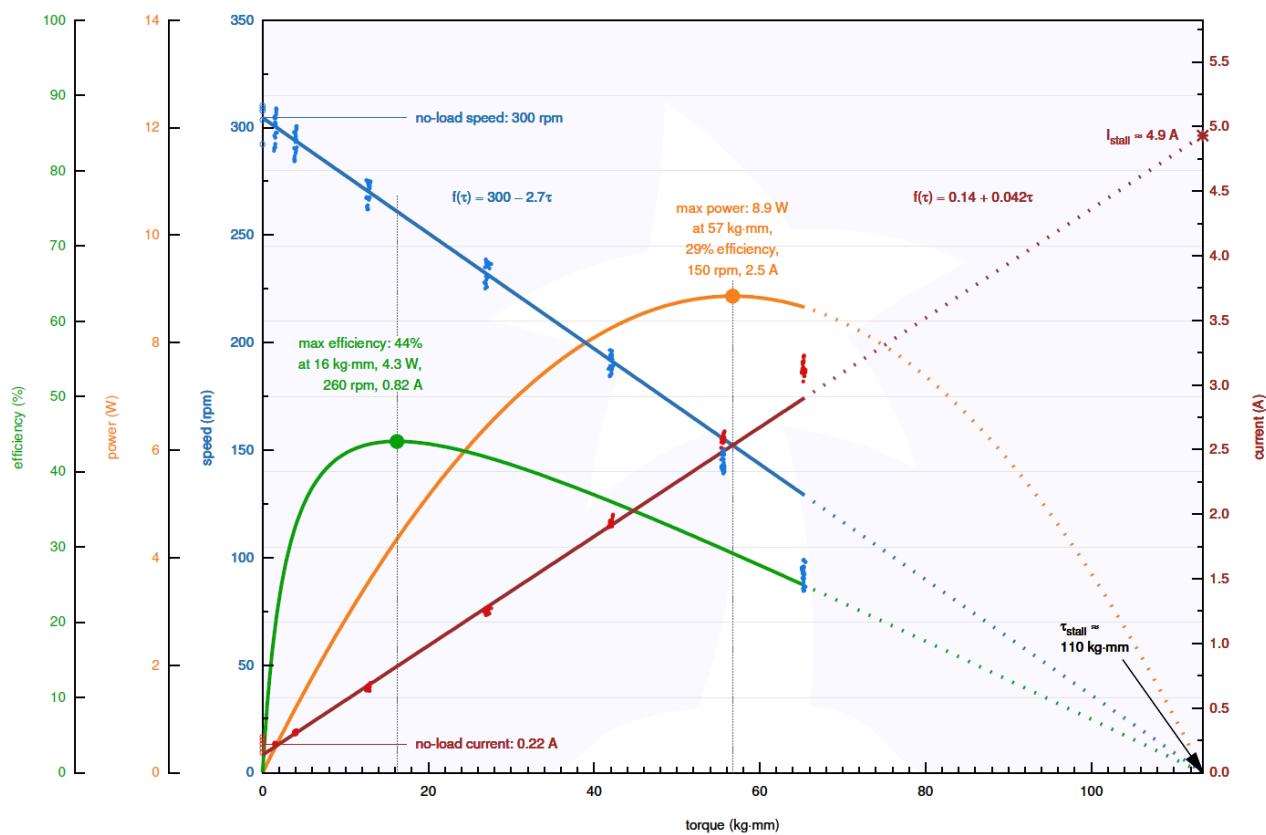
#4888



#4886



#4884



2.2. MOTORES SELECCIONADOS



Motorreductor modelo JGA25-370 12V con Encoder- 77RPM

Tabla de Dimensiones:

| | |
|---------------------------|--------------------|
| Tamaño | 25D x 68.5L |
| Peso | 92 gr |
| Diámetro del eje | 4 mm |
| Longitud del eje | 9.5 mm |
| Longitud del cable | 20 cm |

Especificaciones:

| | |
|--------------------------------|---------------------|
| Propiedad | Valor |
| Relación de transmisión | 78:1 |
| Rango de Voltaje | 6-12V |
| Tensión nominal | 12V |
| Velocidad sin carga | 77 +- 10%rpm |
| Corriente en vacío | 0.07mA |
| Velocidad nominal | 60 +- 10%rpm |
| Corriente nominal | 0.297 mA |
| Torque Nominal | 1.09 Kg.cm |
| Torque de Parada | 5.11 Kg.cm |
| Costo | Pen 25.66 |

Enlace de compra: <https://es.aliexpress.com/i/4001286770644.html?gatewayAdapt=glo2esp>



Motorreductor metálico 37D

Tabla de Dimensiones:

| | |
|---------------------------|------------------|
| Tamaño | 37D x 70L |
| Peso | 205 gr |
| Diámetro del eje | 6 mm |
| Longitud del eje | 15 mm |
| Longitud del cable | 20 cm |

Especificaciones :

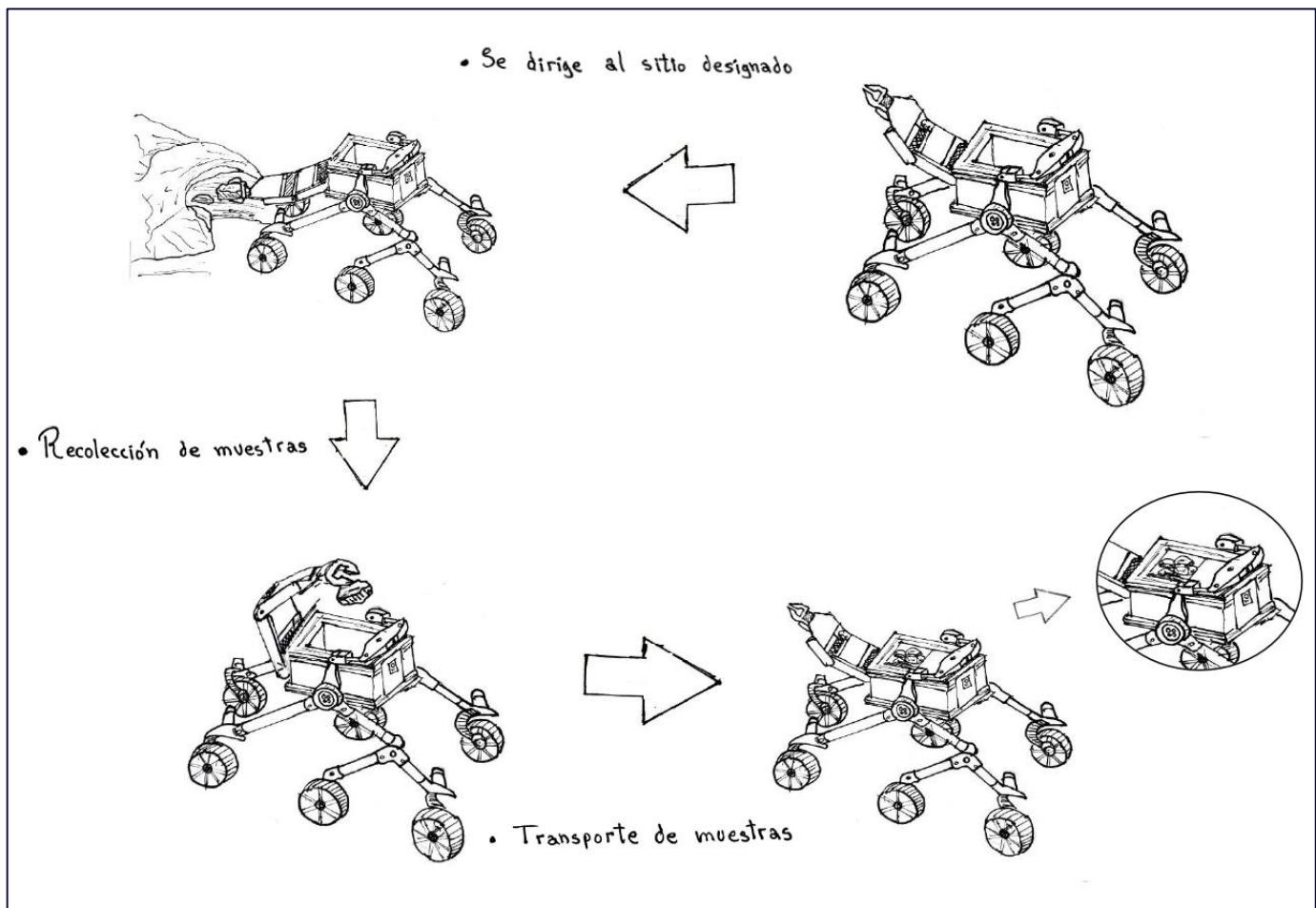
| Propiedad | Valor |
|--------------------------------------|-------------------|
| Relación de transmisión | 70:1 |
| Rango de Voltaje | 6-12V |
| Tensión nominal | 12V |
| Velocidad sin carga | 150 rpm |
| Corriente en vacío | 0.15A |
| Velocidad a máxima eficiencia | 130 rpm |
| Corriente a máxima eficiencia | 0.68 mA |
| Torque a máxima eficiencia | 3.2kg.cm |
| Torque de parada | 27 Kg.cm |
| Costo | US\$ 51.95 |

Enlace de compra: <https://www.pololu.com/product/4754>

3. BOSQUEJO DEL ROBOT Y SU APLICACIÓN

Las misiones de búsqueda y rescate en ocasiones representan un gran desafío. Estas misiones se producen en situaciones de emergencia, como desastres naturales, accidentes industriales o eventos catastróficos, donde las condiciones pueden ser peligrosas o inaccesibles para los equipos de rescate humanos.

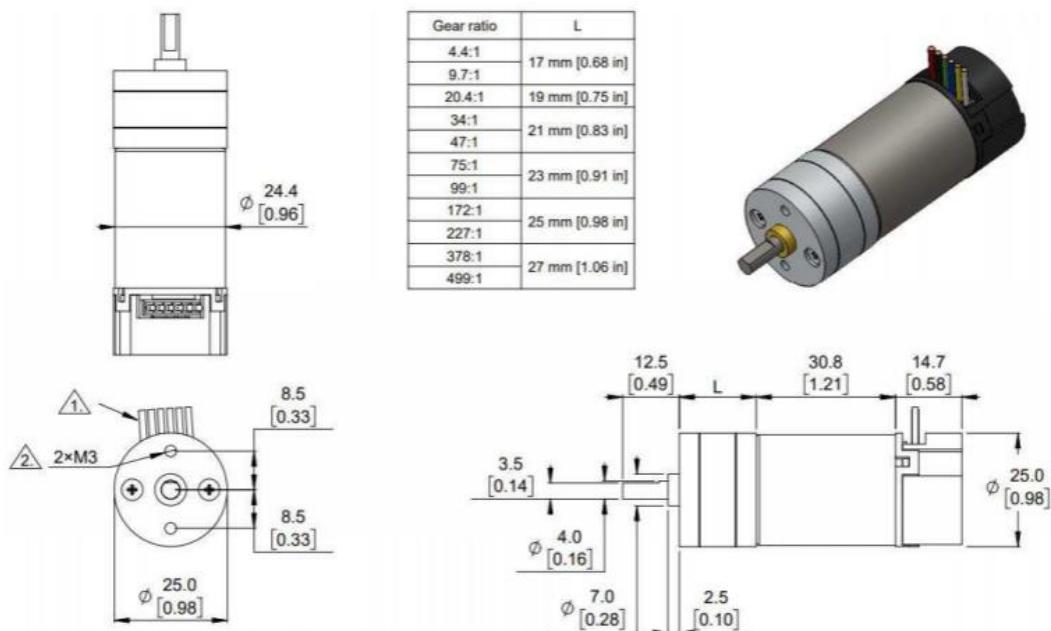
El rover, equipado con cámaras, sensores y capacidades de movilidad adaptadas a terrenos difíciles, podría ser desplegado para evaluar la situación y buscar sobrevivientes atrapados en escombros o entornos hostiles. **El brazo de dos grados de libertad sería esencial para recoger muestras críticas, realizar tareas de comunicación o para la entrega de suministros.** De esta manera se podrían salvar vidas.



4. DISEÑO MECÁNICO

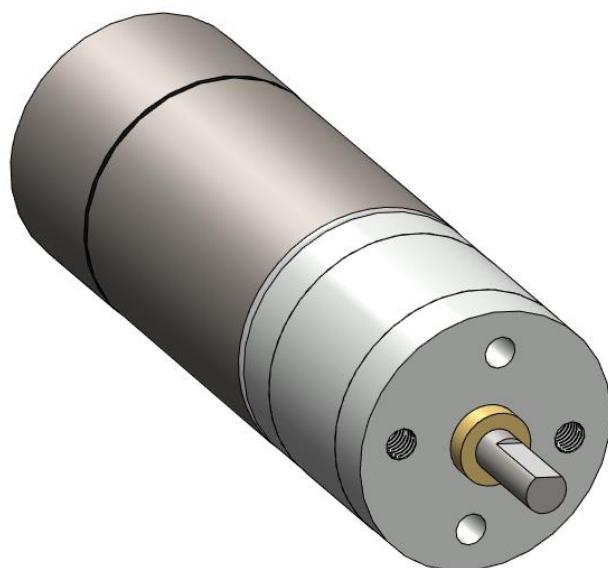
4.1. MOTORES DC

Motorreductor modelo JGA25-370 12V con Encoder- 77RPM



Extraído de: <https://www.pololu.com/file/0J1634/25d-metal-gearmotor-dimension-diagram.pdf>

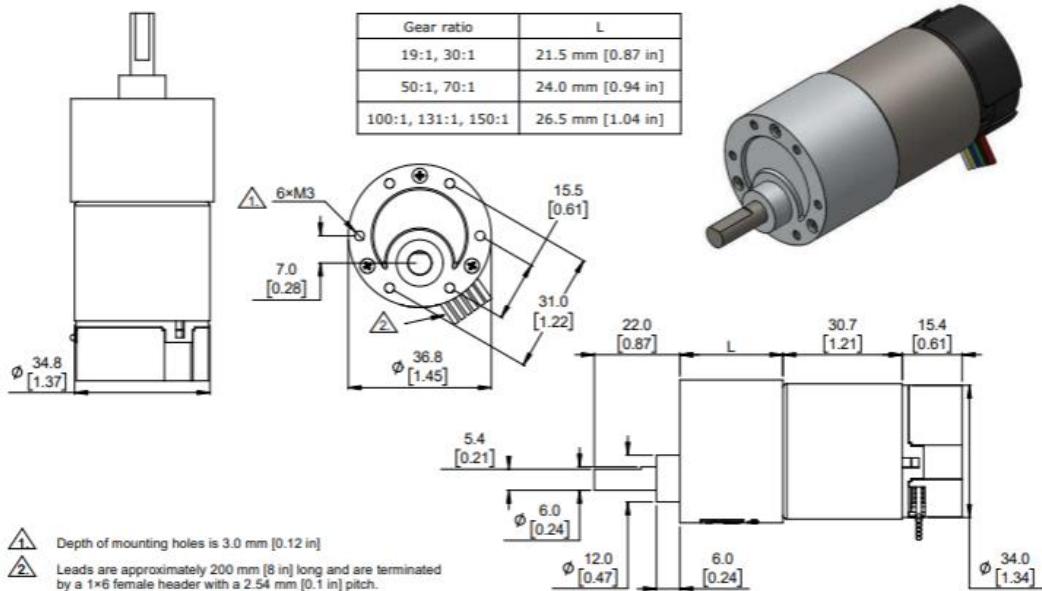
Diseño en SOLIDWORKS:



Motorreductor metálico 37D

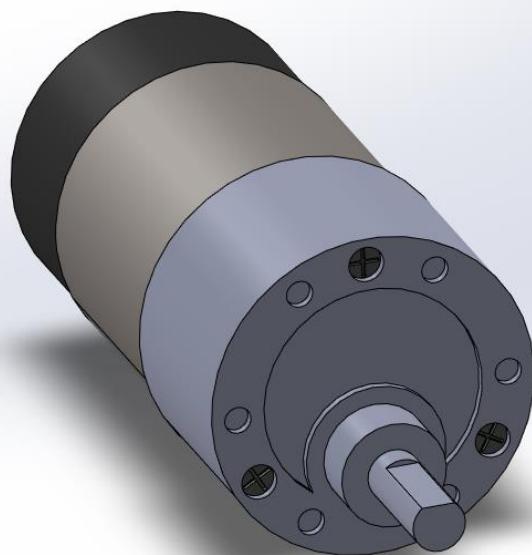
Gearmotor versions with encoders (items #2822-2828, 4751-4756)

weight: 200 g to 210 g



Extraído de: <https://www.pololu.com/file/0J1736/pololu-37d-metal-gearmotors-rev-1-2.pdf>

Diseño en SOLIDWORKS:



4.2. ACCESORIOS MECÁNICOS

❖ Acoplos de motores

- Eje de motor de acoplamiento



Acople para motor 37 D con brida



Acople para motor 25 D

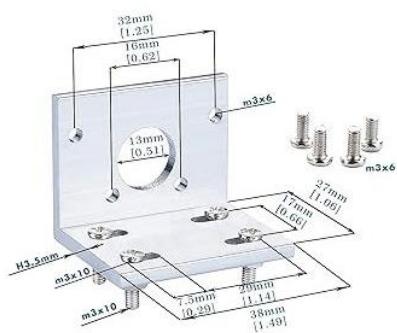
❖ Rodamiento Radial 608

- 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

M3x15

Unidades: 8



M3x10

Unidades: 4



M8x20

Unidades: 2



M3x5

Unidades: 4



M4x6

Unidades: 1



M3x6 cabeza plana

Unidades: 2



Perno -Tuerca cabeza martillo deslizante
Unidades: 4

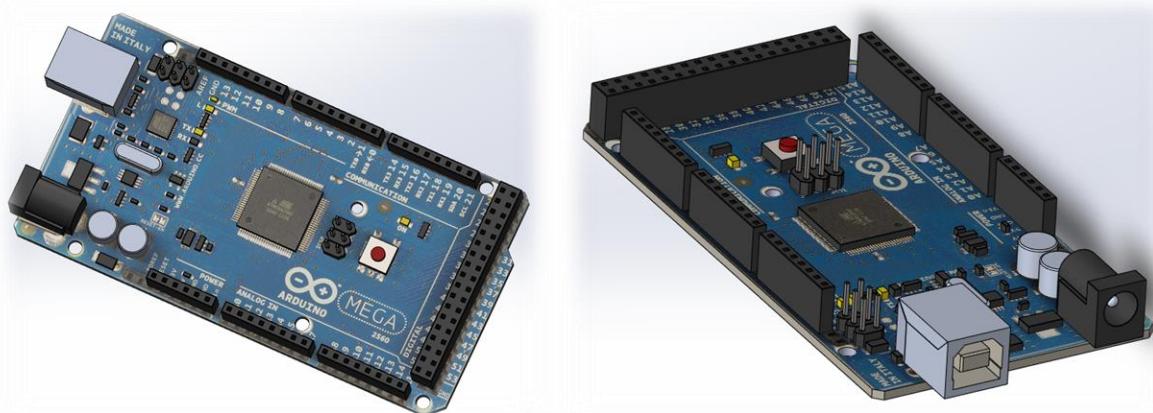


Tuercas variadas:
Unidades: 14



4.3. ACCESORIOS ELECTRÓNICOS

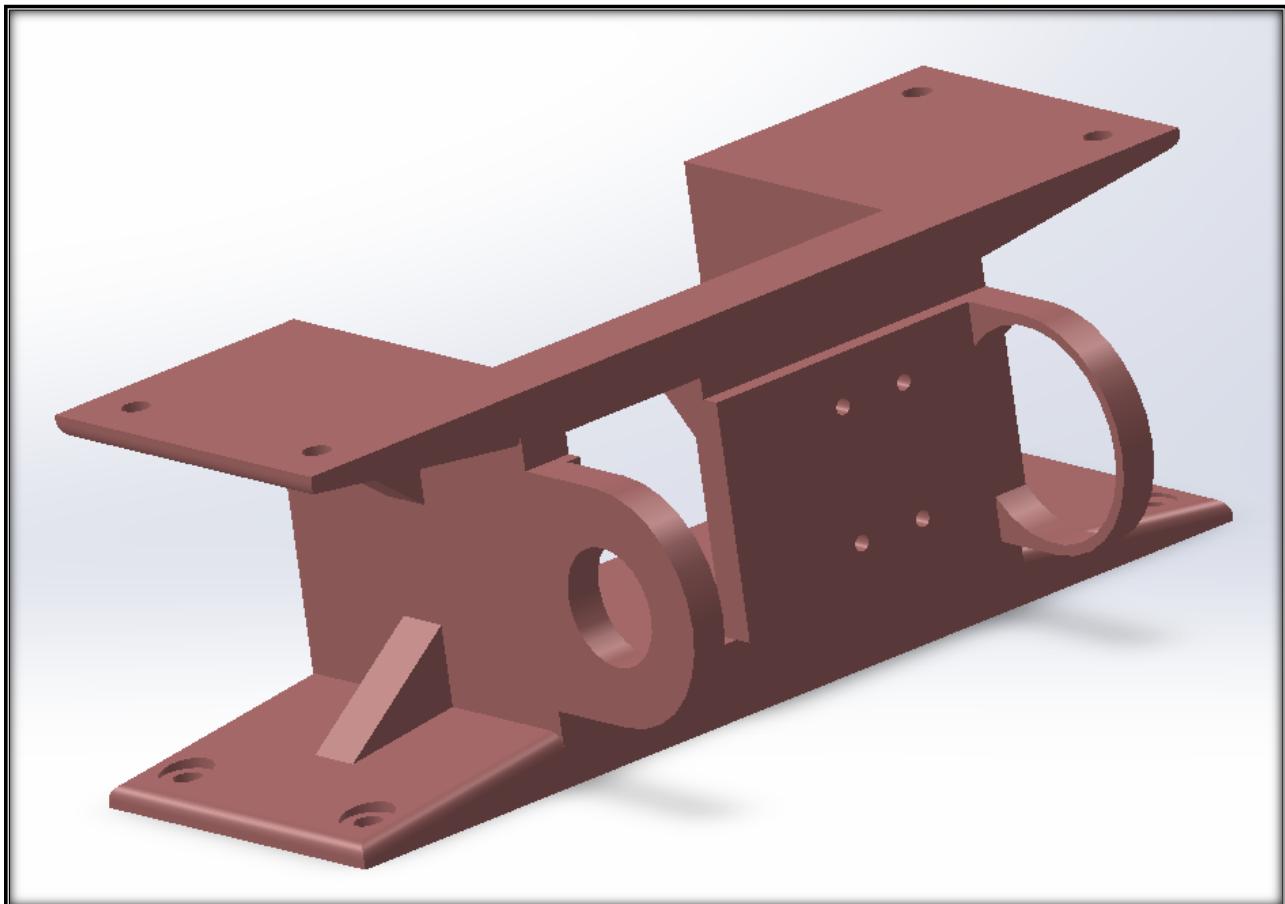
✚ Placa de Microcontrolador Arduino MEGA 2560 R3



Extraído de: <https://grabcad.com/library/arduino-mega-2560-8>

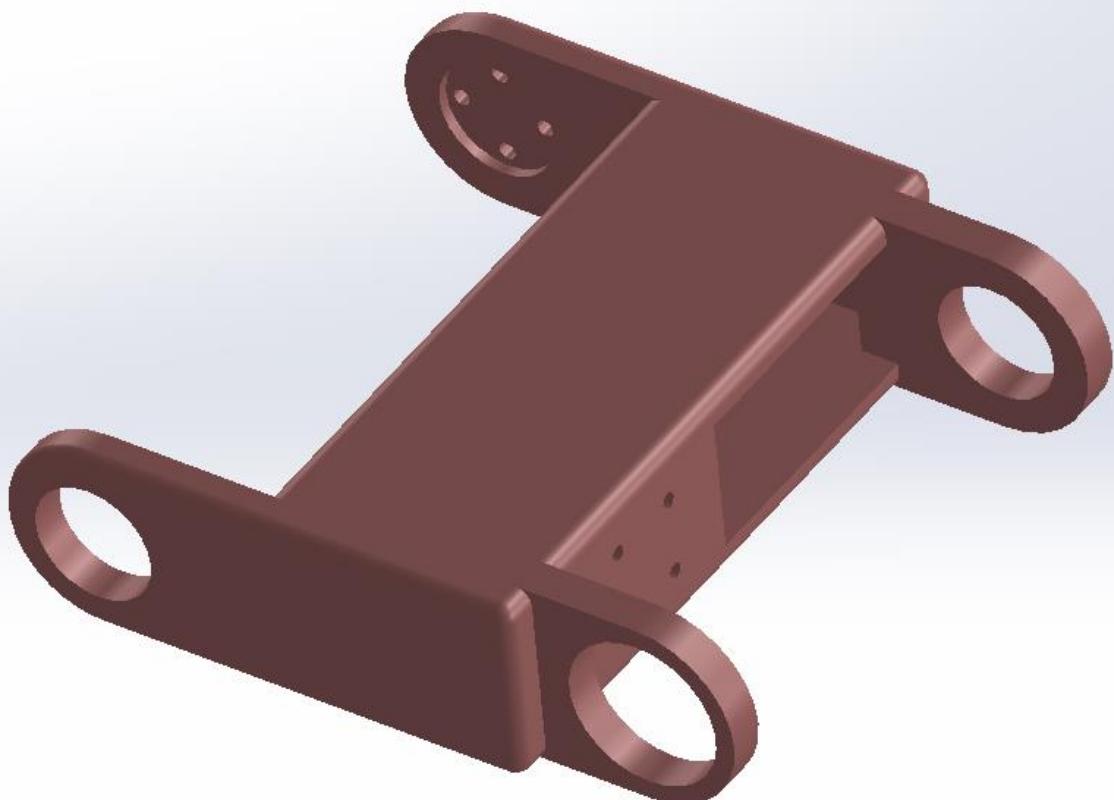
4.4. PIEZAS DEL MANIPULADOR DISEÑADAS

Base



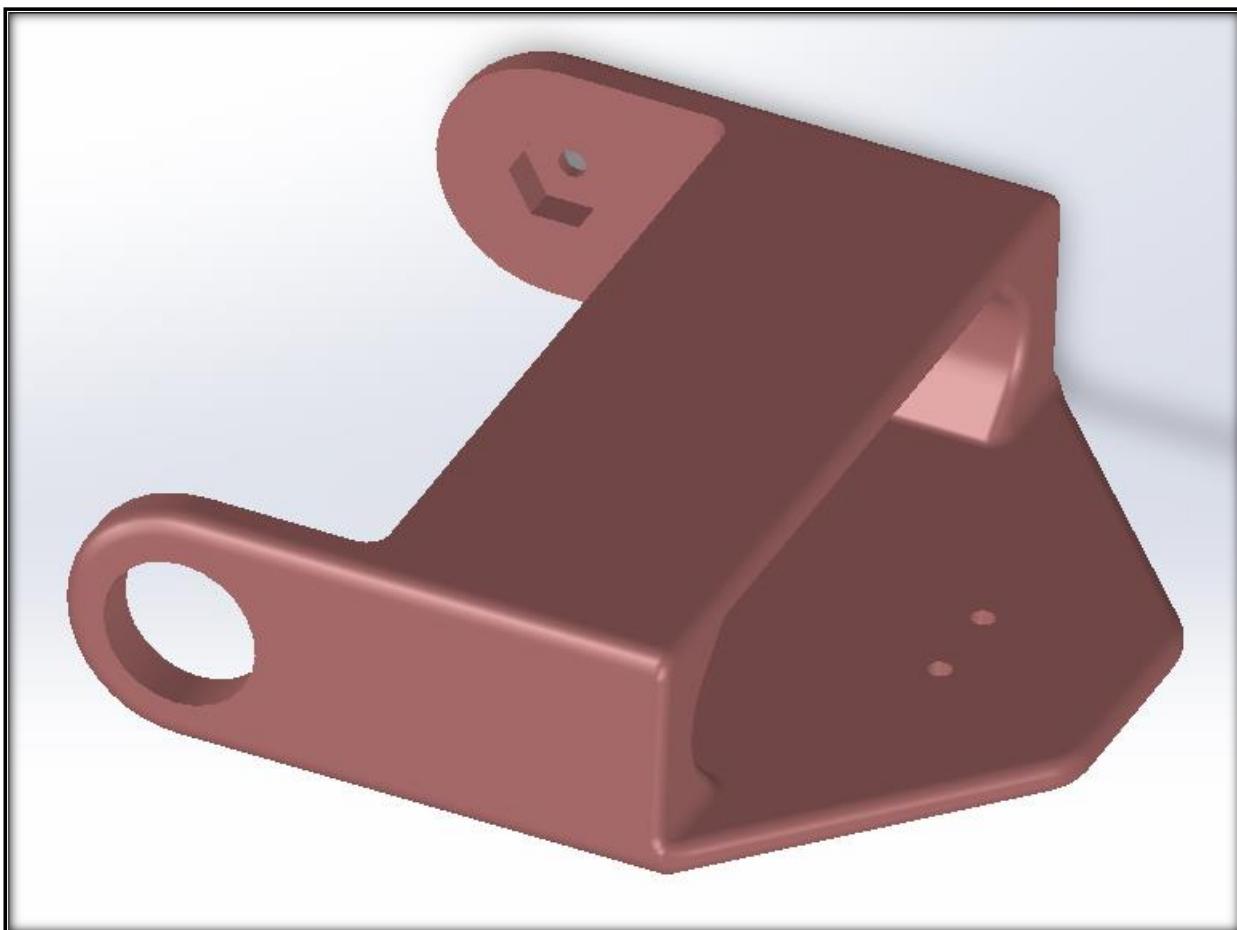
- Funciones:
 - Sujeción a los perfiles de aluminio del cuerpo del Rover.
 - Espacio interno para la electrónica, con fácil acceso por la parte superior descubierta.
 - Base para el manipulador.
 - Sujeción del primer motor.
 - Parte de la primera junta de revolución.
- Dimensiones máximas (mm): 200 x 108 x 72
- Material: PLA color rojo
- Método de fabricación: Impresión 3D
- Plano: Anexado

Primer eslabón:



- Funciones:
 - Extensión del primer grado de libertad.
 - Parte de la primera junta de revolución.
 - Sujeción del acople del primer motor.
 - Pieza hueca para pasar y ocultar el cableado.
 - Sujeción del segundo motor.
 - Parte de la segunda junta de revolución.
- Dimensiones máximas (mm): 124 x 135 x 35
- Material: PLA color rojo
- Método de fabricación: Impresión 3D
- Plano: Anexado

Segundo eslabón

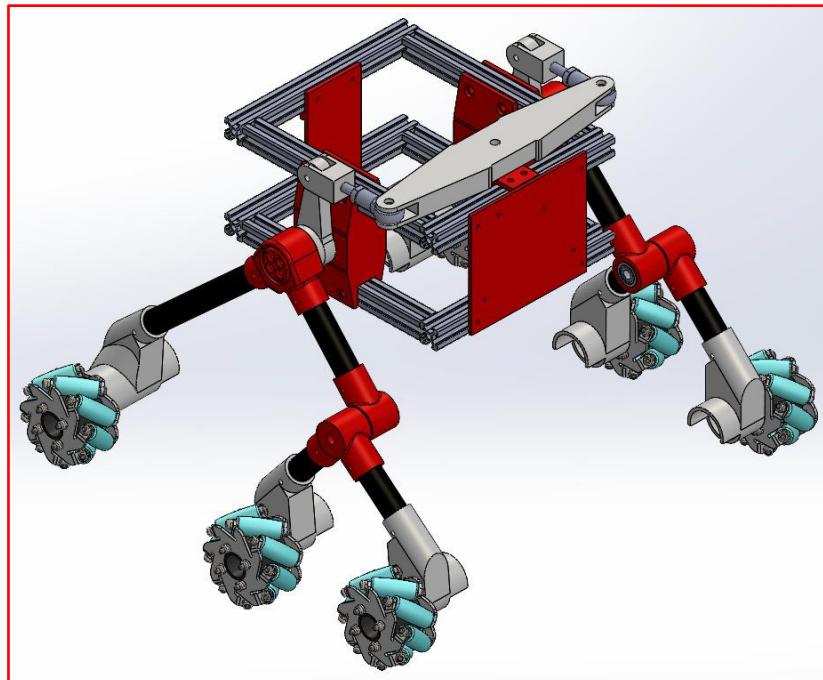


- Funciones:
 - Extensión del segundo grado de libertad.
 - Parte de la segunda junta de revolución.
 - Sujeción del acople del segundo motor.
 - Pieza hueca para pasar y ocultar el cableado.
 - Sujeción del efecto final (*Gripper*).
- Dimensiones máximas (mm): 126 x 127.5 x 35
- Material: PLA color rojo
- Método de fabricación: Impresión 3D
- Plano: Anexado

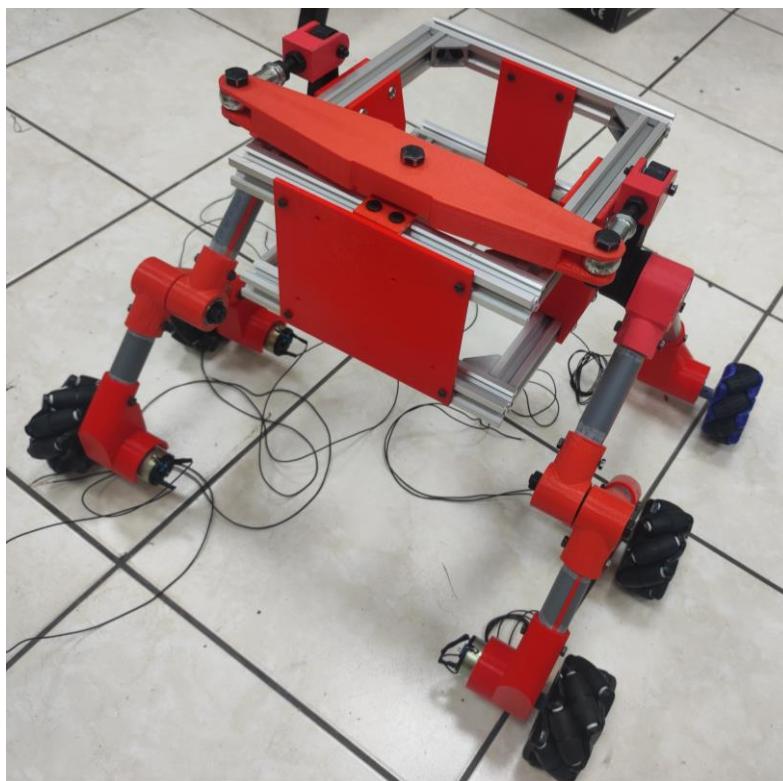
5. ENSAMBLAJE DEL ROBOT

Consideraciones Iniciales

- El brazo robótico de 2GDL se pretende incorporarlo en un Rover para darle más funcionalidad, tal como se explicó en el boceto de la aplicación.

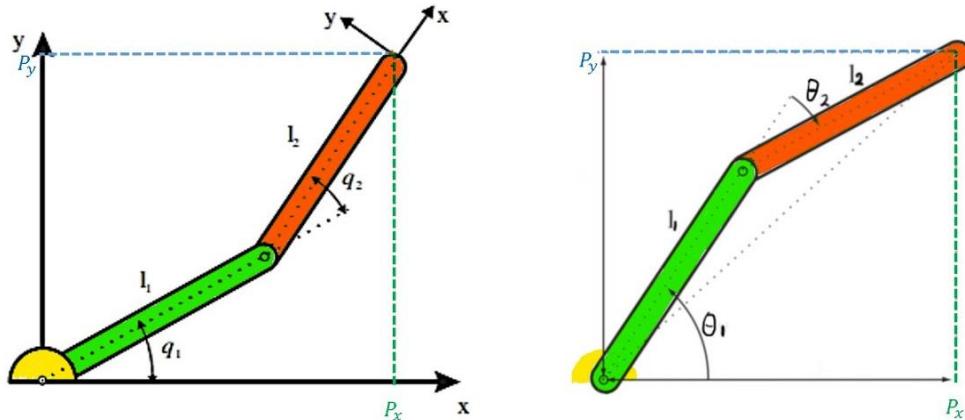


Diseño en SolidWorks del Rover



Modelo del Rover llevado a la realidad

- El modelo del brazo robótico básicamente es un manipulador planar RR (revolución – revolución)

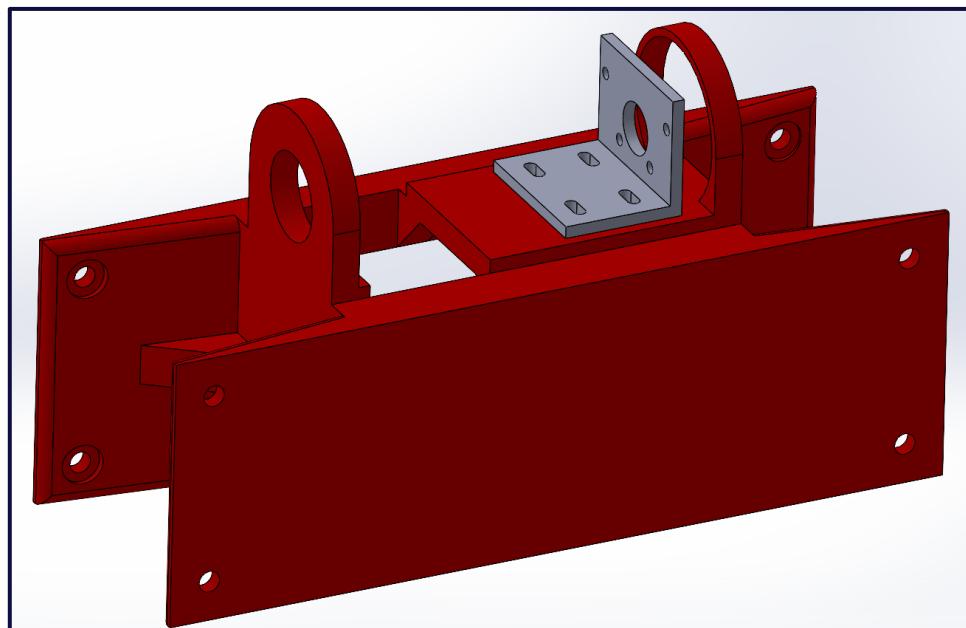


Manipulador planar RR

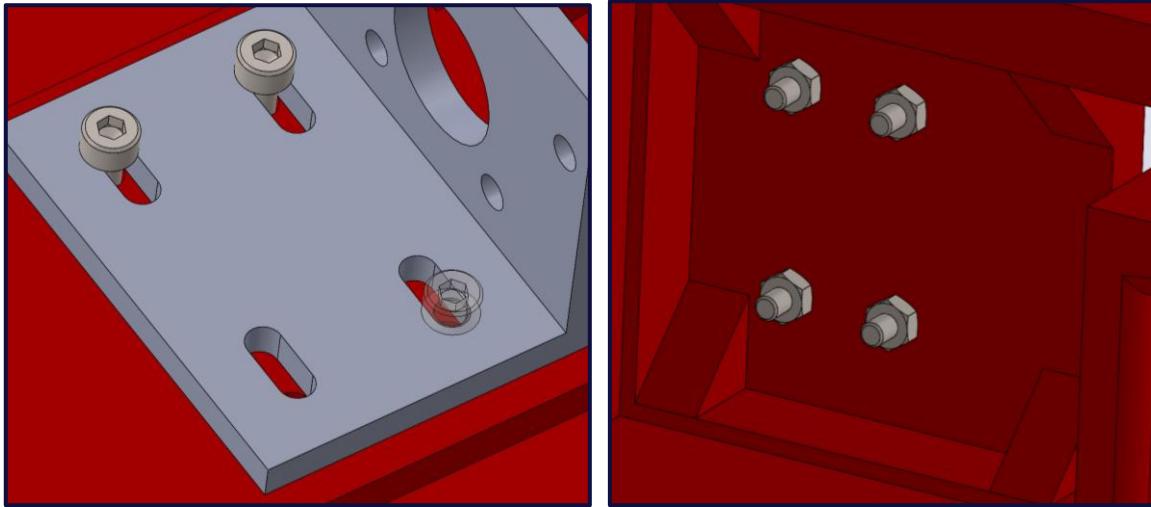
Teniendo en cuenta dichas consideraciones, el ensamblaje de las piezas se basará en 3 sub-ensamblajes principales: (1) una base para unir el brazo robótico con el Rover, (2) primer eslabón y (3) segundo eslabón donde irá colocado con el gripper.

A. Ensamblaje de la base

- En primera instancia, se coloca el *bracket* (soporte) del primer motor con sus respectivos pernos y tuercas sobre la base impresa en 3D:

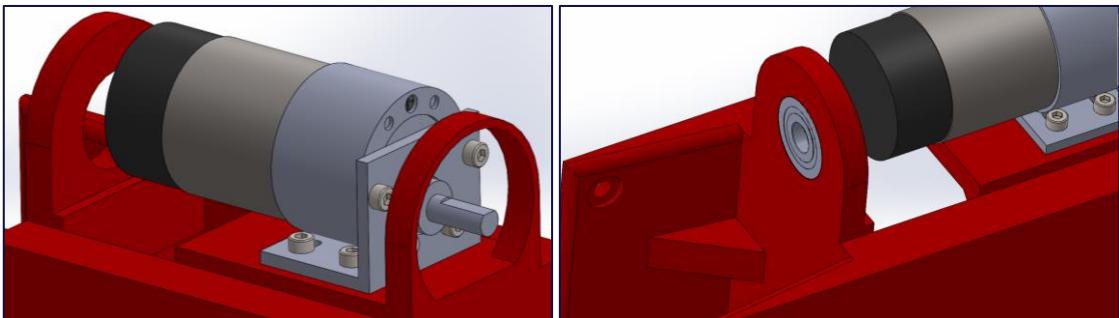


Fijación del Bracket del motor

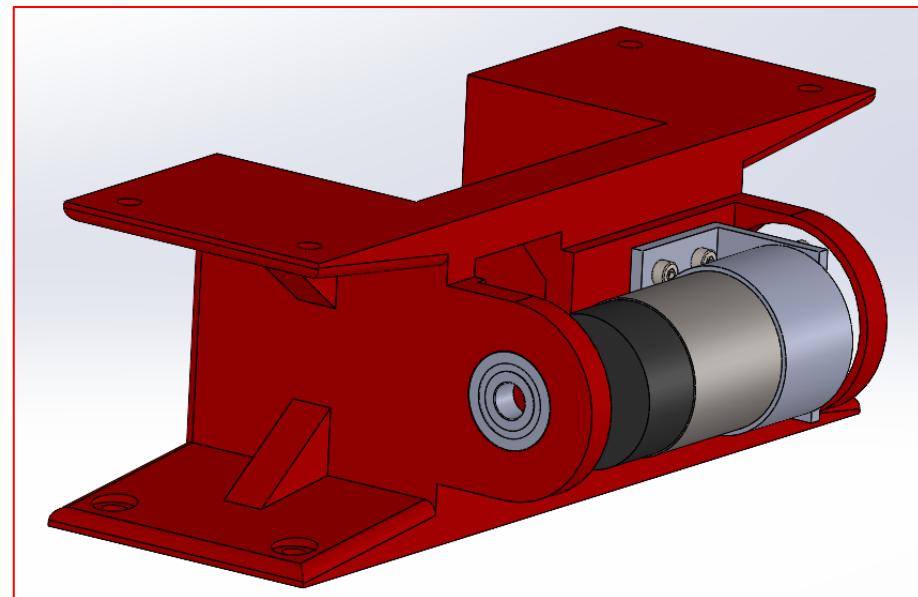


Fijación del soporte con pernos M3x15 y tuercas M3

- Luego, se fija el motor en su asiento mediante 4 tornillos y se coloca un rodamiento 608 hacia el otro lado de la cara del frontal del motor:



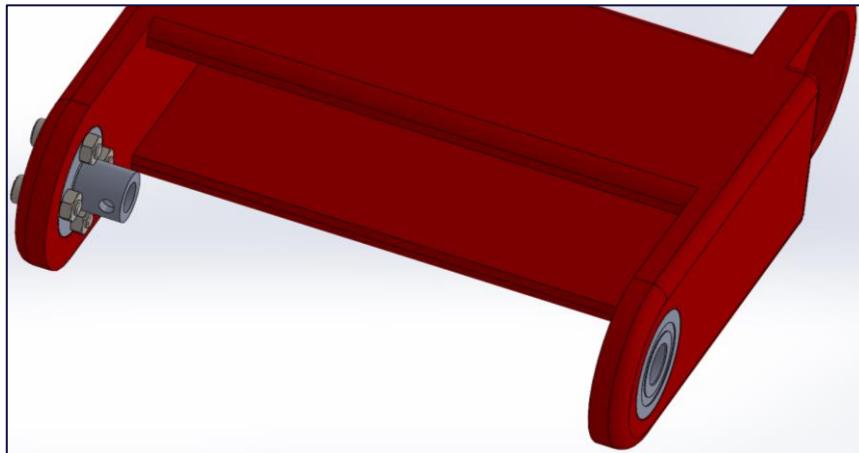
Motor fijado a su soporte y Rodamiento para disminuir la fricción al transmitir el movimiento



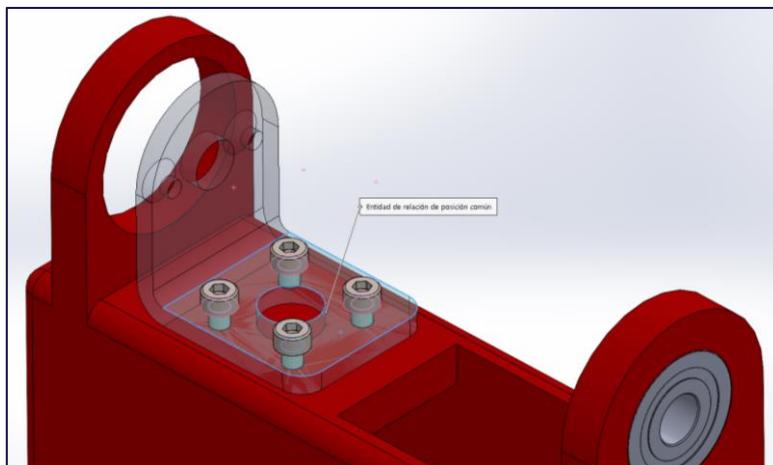
Primer Sub-Ensamblaje: Base

B. Ensamblaje del primer eslabón

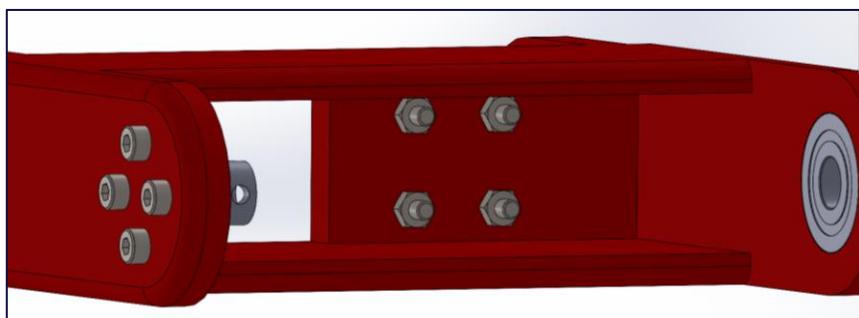
- Se empieza colocando los elementos que servirán como conexiones entre la base y este primer eslabón: acople del motor (con sus respectivos pernos M3x10 y sus tuercas) y rodamiento.



- En seguida fijamos el bracket del motor y a su vez del segundo motor a aquel soporte con sus respectivos pernos M3x15 y tuercas.

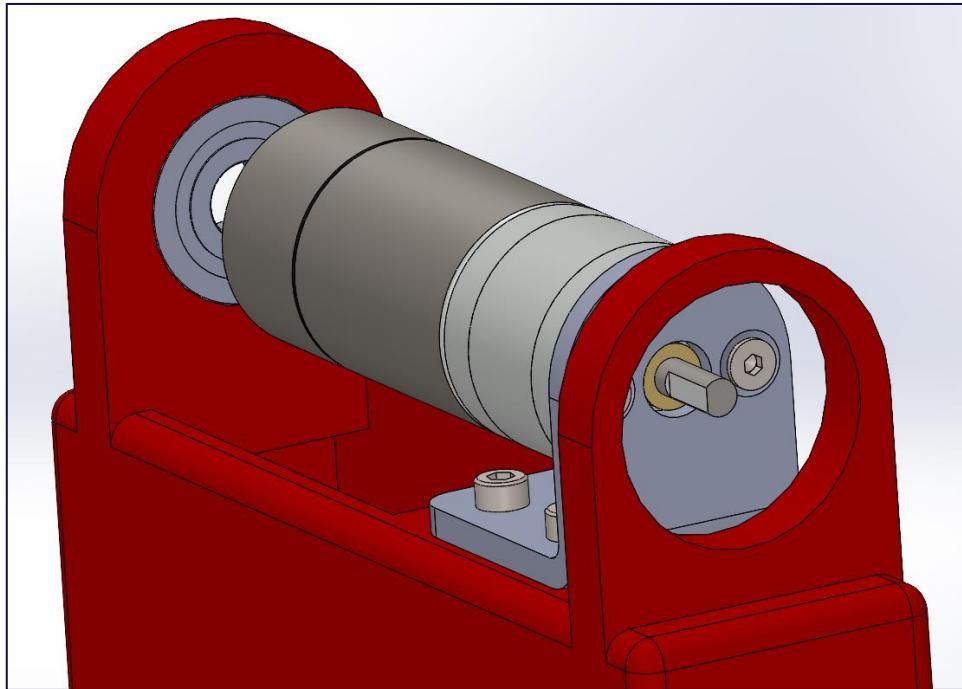


Fijación del soporte del motor y del rodamiento

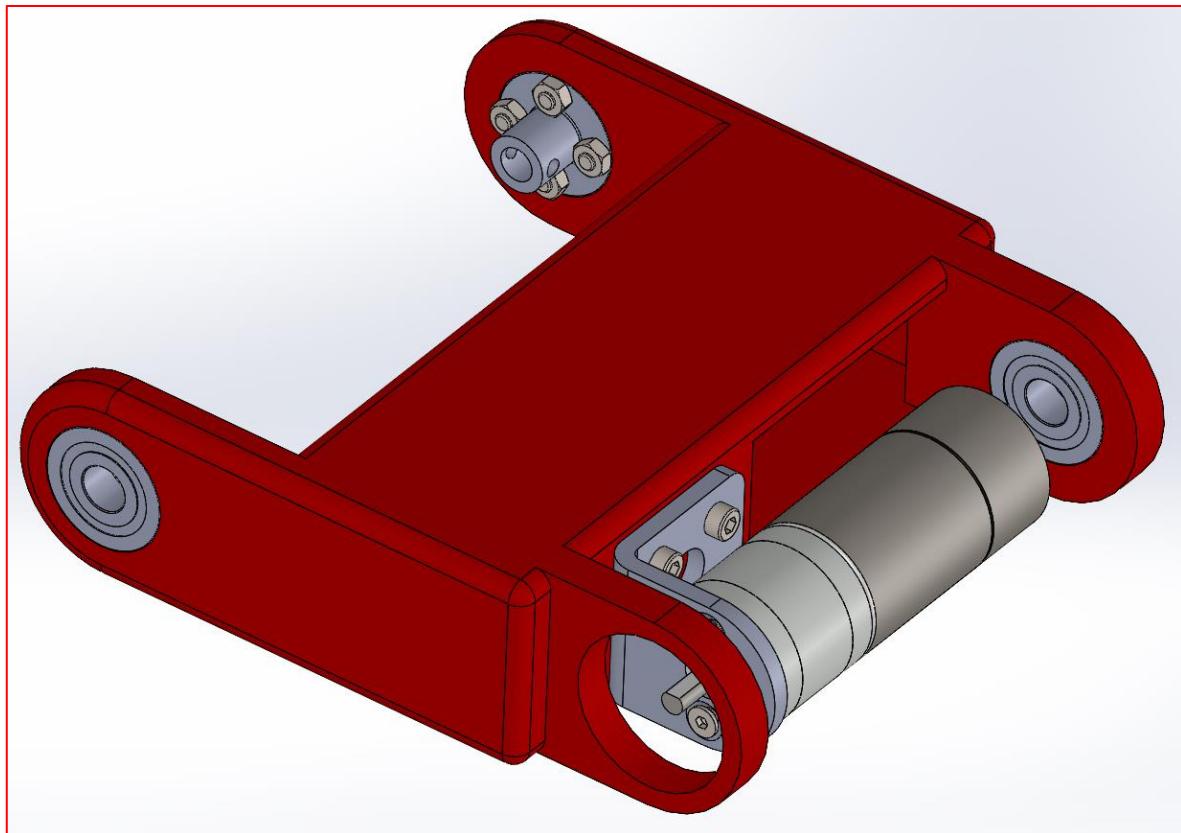


Tuercas para fijar el soporte del segundo motor

- Ahora se fija el motor con unos pernos de cabeza hueca M4x6 a su soporte y con eso quedaría listo este primer eslabón:



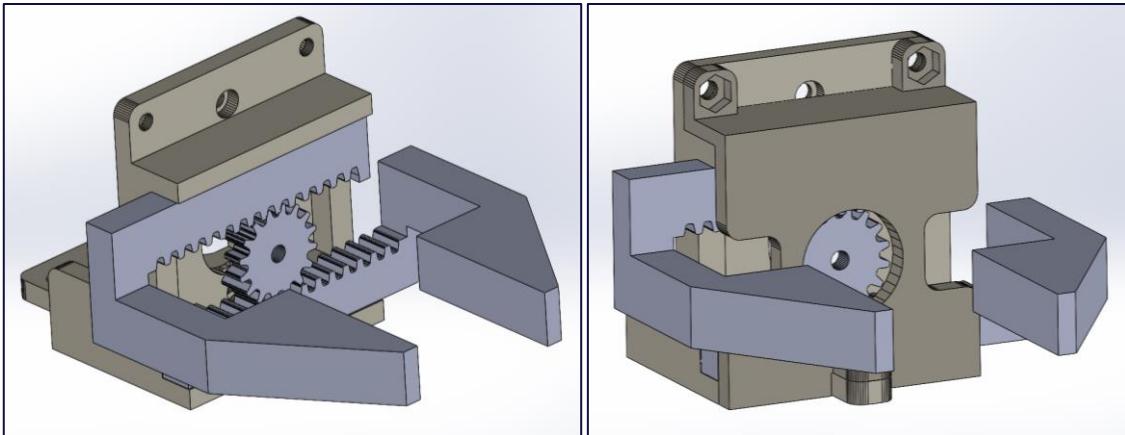
Motor fijado en el primer eslabón



Segundo Sub-Ensamblaje: Primer eslabón

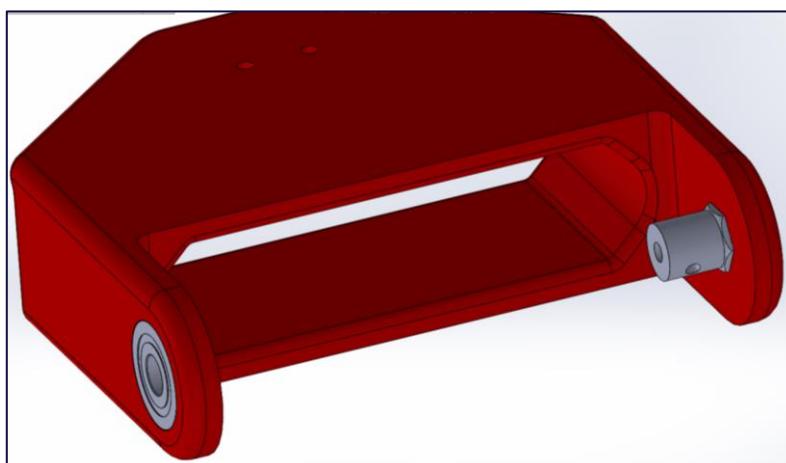
C. Ensamblaje del Segundo eslabón

- Se procede a ensamblar el gripper que sujetará algunas cosas, primero se coloca las pinzas junto con el engranaje. Luego, se coloca la tapa y se asegura:

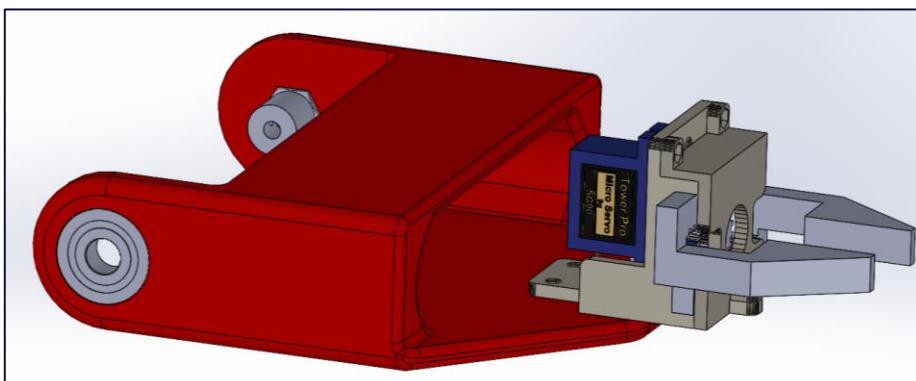


Ensamblaje del Gripper

- En el segundo eslabón se colocan los elementos que permitirán conectar este eslabón con el anterior: acople de motor y rodamiento 608, y, luego, se fija el ensamblaje del gripper.



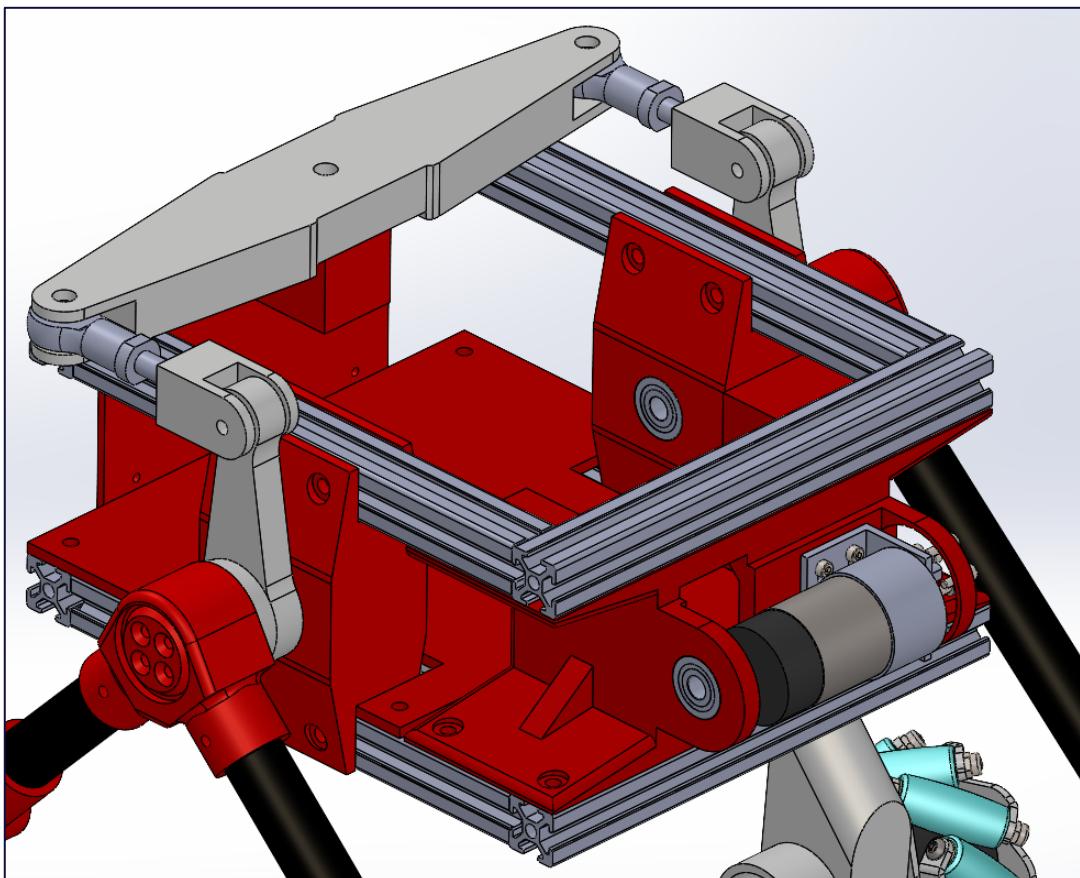
Elementos de conexión



Sujeción del gripper con su servomotor al segundo eslabón

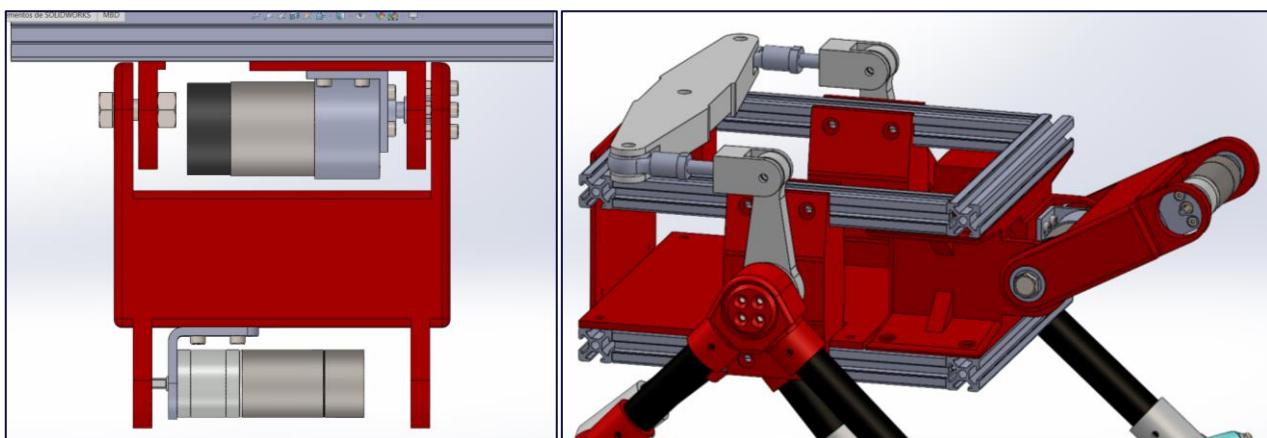
D. Ensamblaje Global

- En primer lugar, se sujetta la base al cuerpo del Rover gracias a los perfiles de aluminio de este:



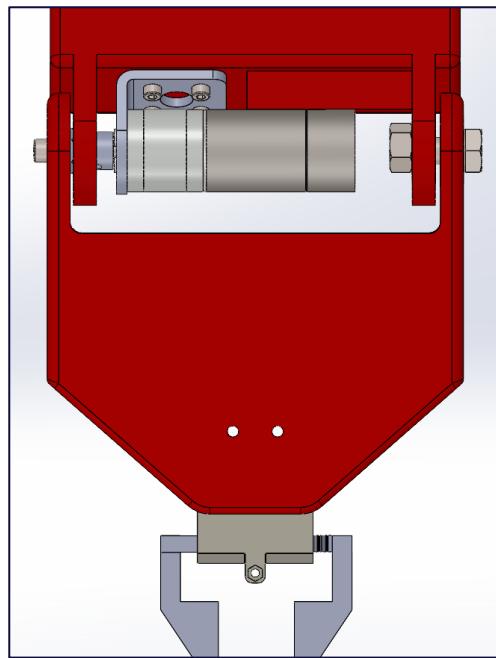
Fijación de la Base del brazo robótico al Rover

- Unión de la Base con el primer eslabón mediante 4 pernos M3x10 y sus tuercas y un perno M8x20:



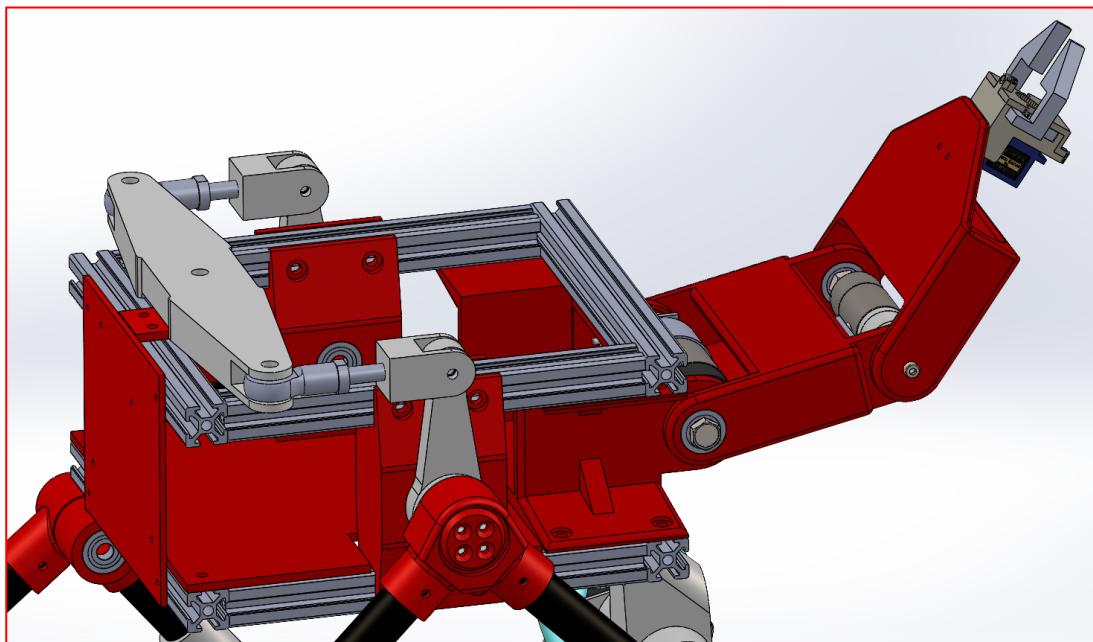
Conexión de la Base con el primer eslabón

- Se procede a unir el primer con el segundo eslabón mediante un perno M8x20 y un perno M4x6, así se tendrá la segunda junta de revolución.



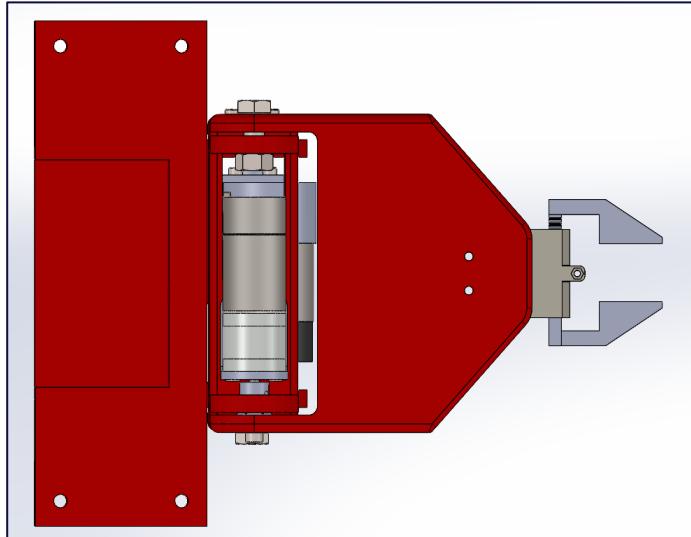
Unión de ambos eslabones mediante 2 pernos

- Finalmente, se tiene el ensamblaje global del brazo robótico incorporado al Rover:

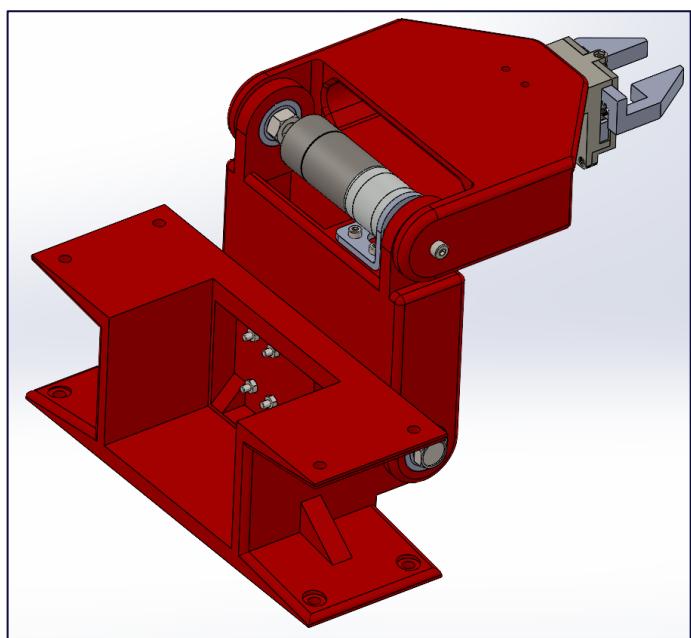


Ensamblaje global del brazo robótico de 2GDL en el Rover

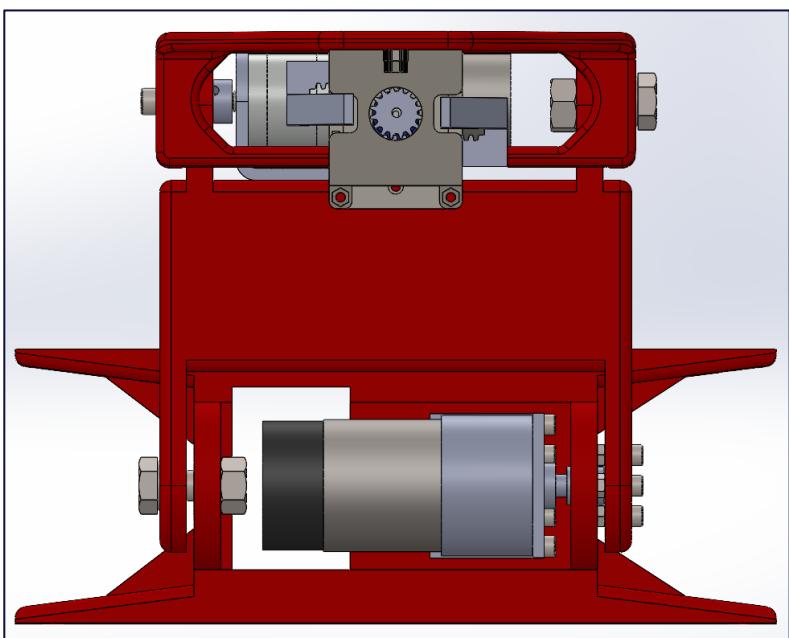
E. Vistas del robot planar de 2GDL (RR)



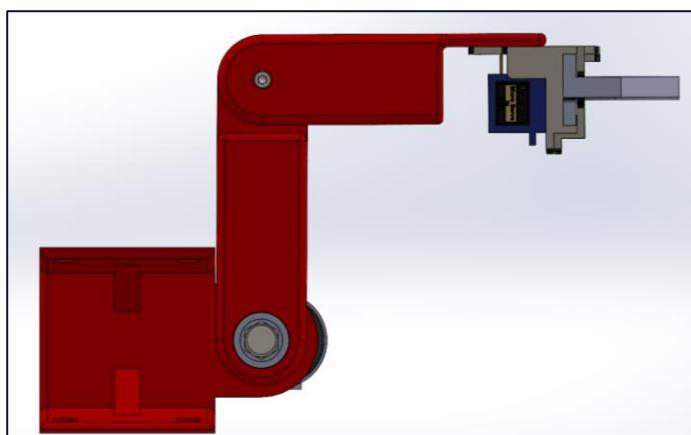
VISTA SUPERIOR



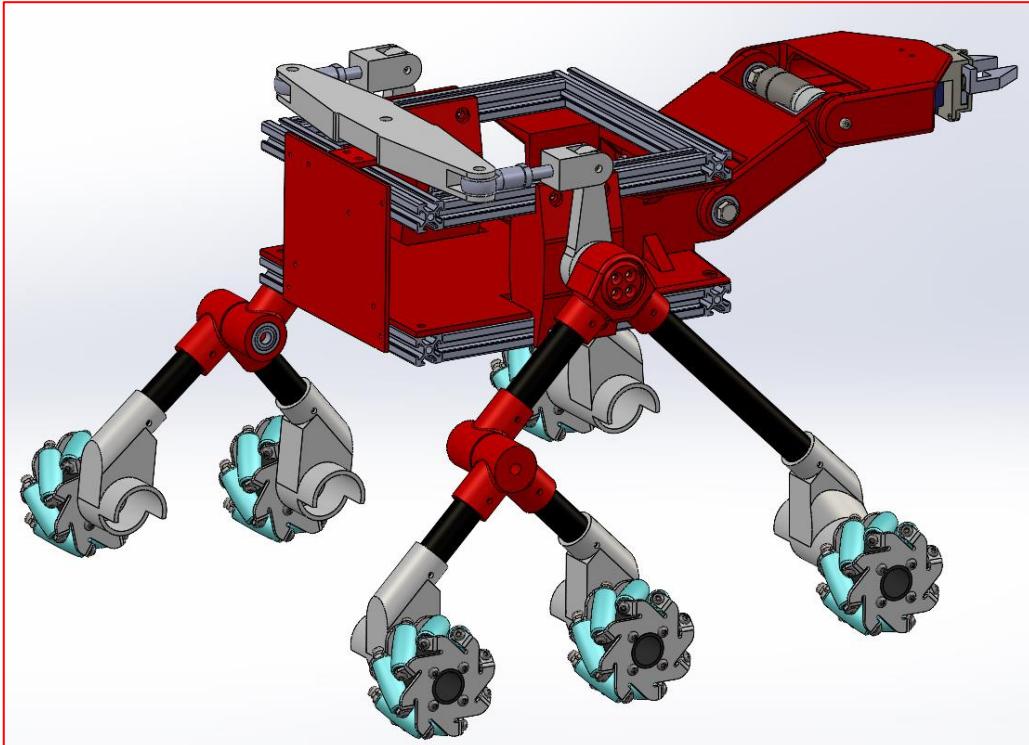
VISTA ISOMÉTRICA



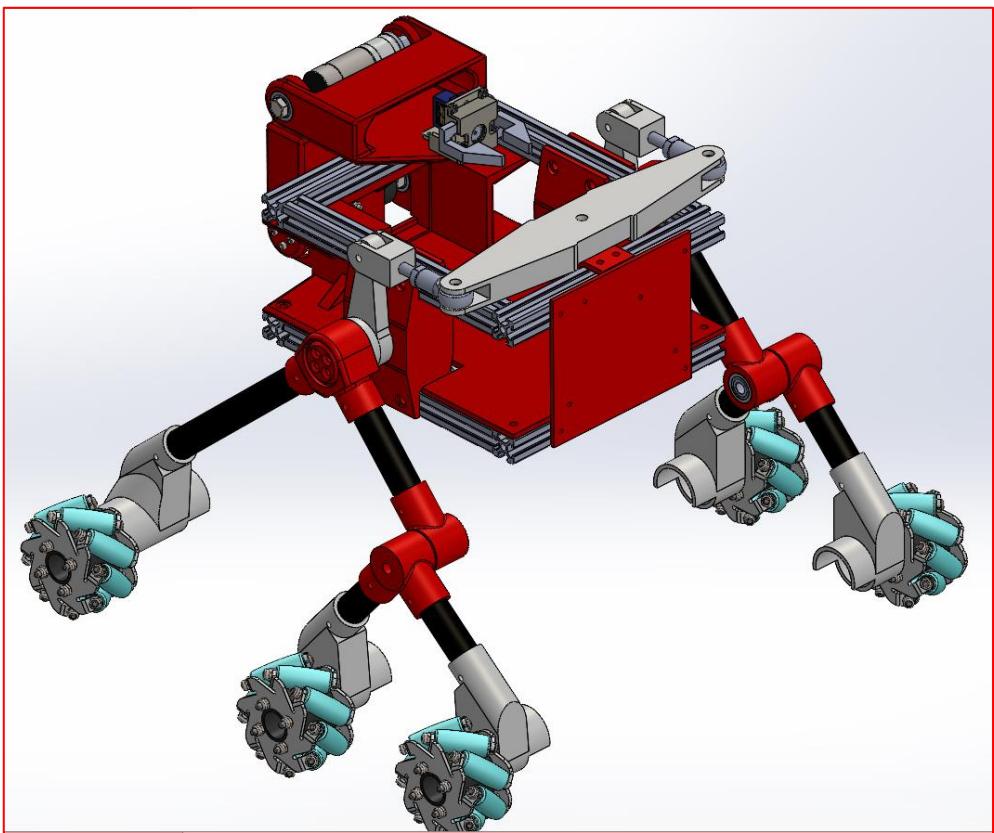
VISTA PERFIL



VISTA FRONTAL



Vista del barco robótico incorporado al Rover

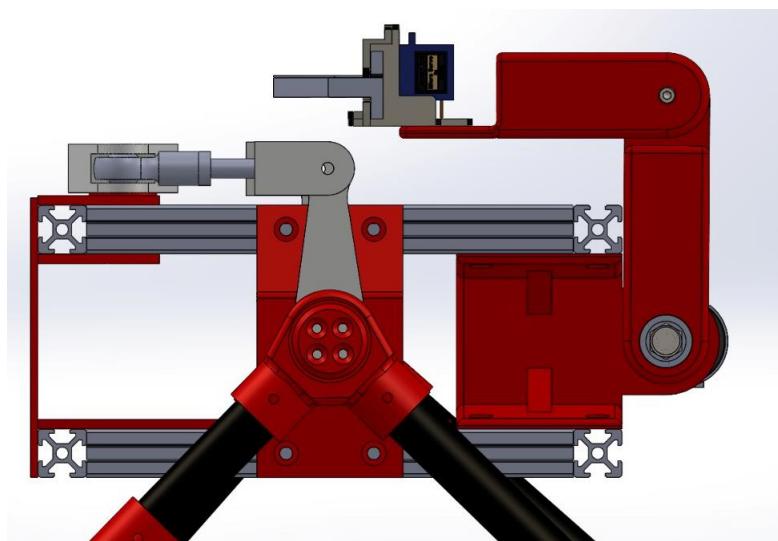


Vista del brazo robótico en su Home Position

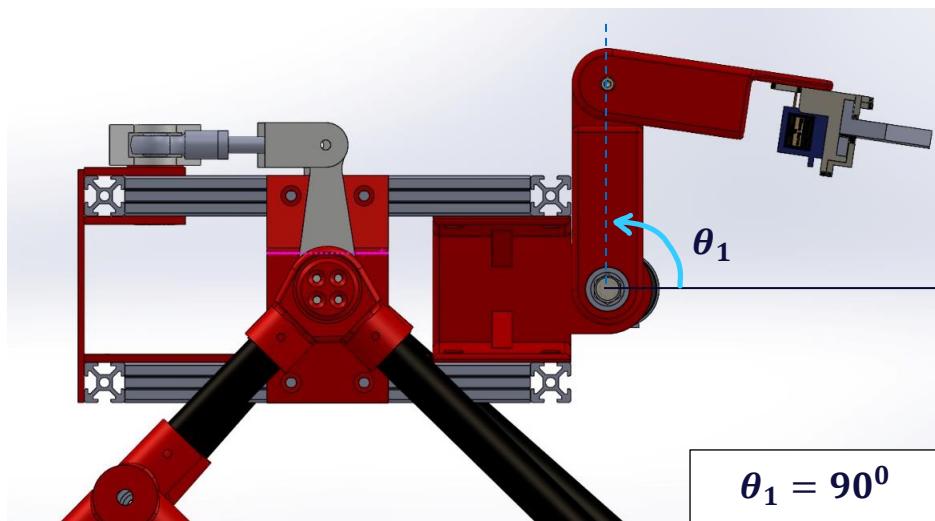
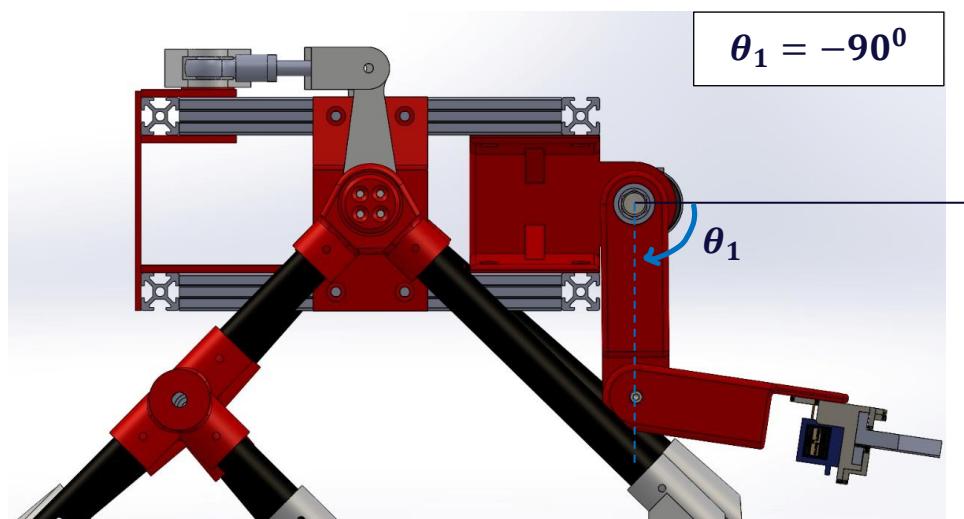
6. ESPECIFICACIÓN DEL RANGO DE MOVIMIENTO DEL ROBOT

28

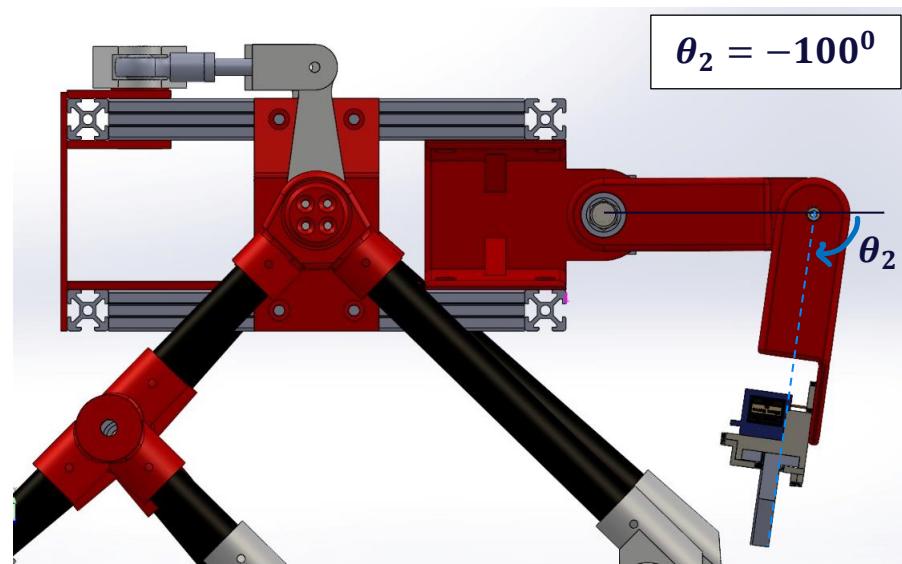
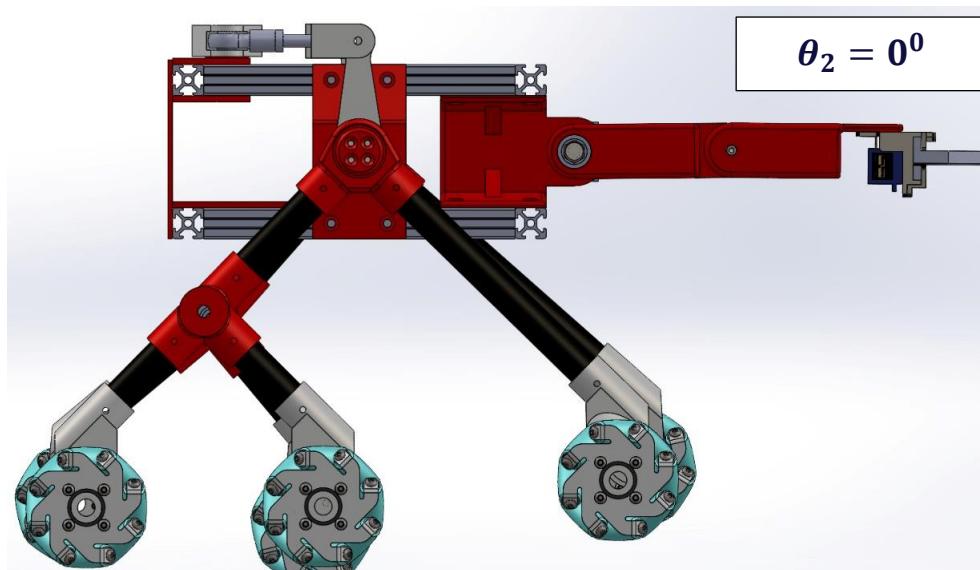
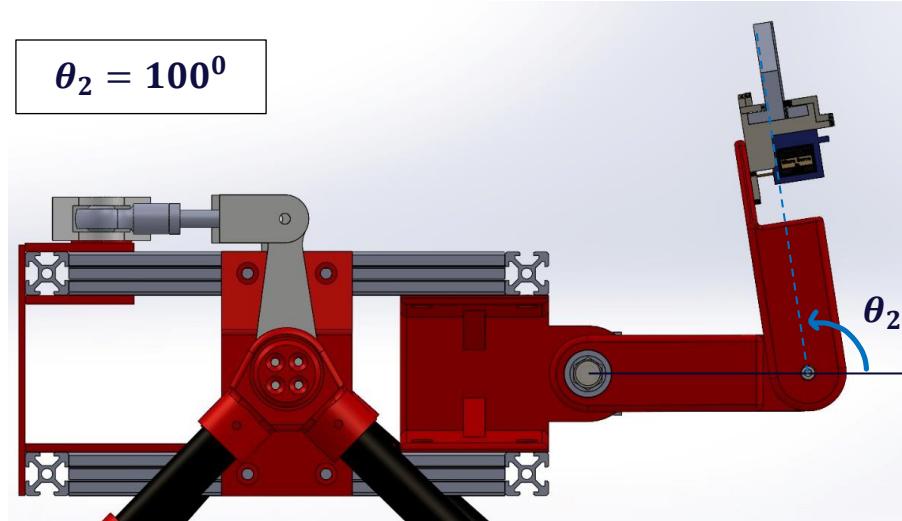
Home position



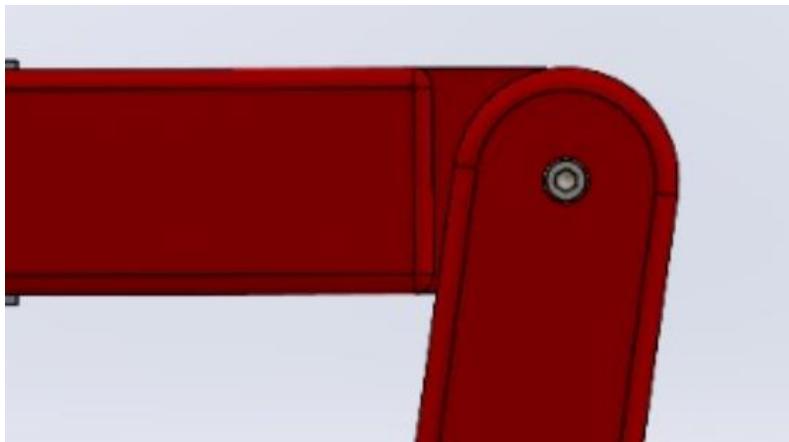
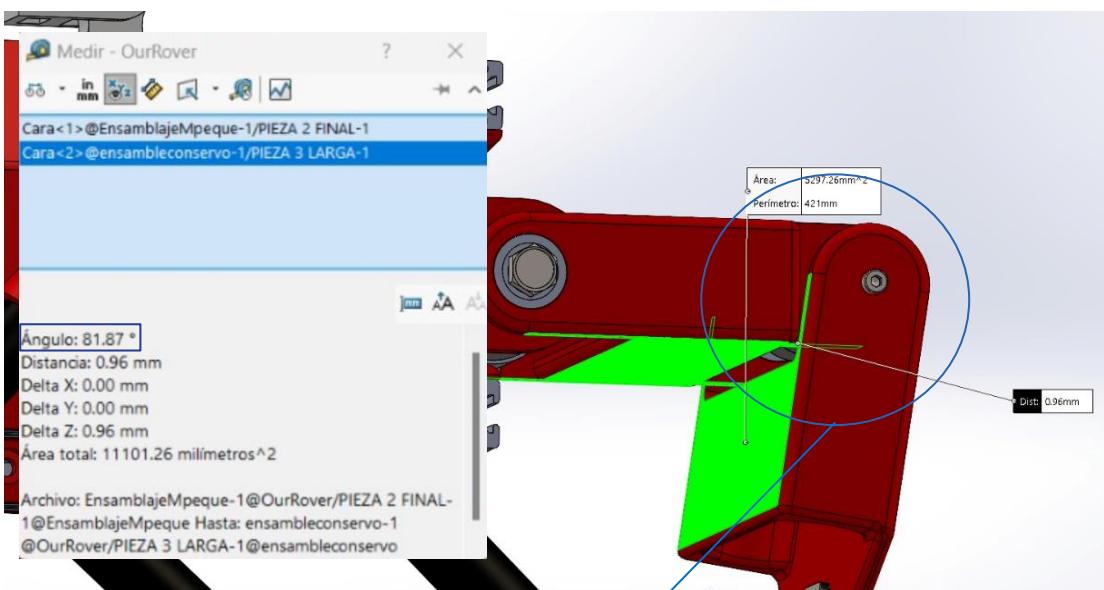
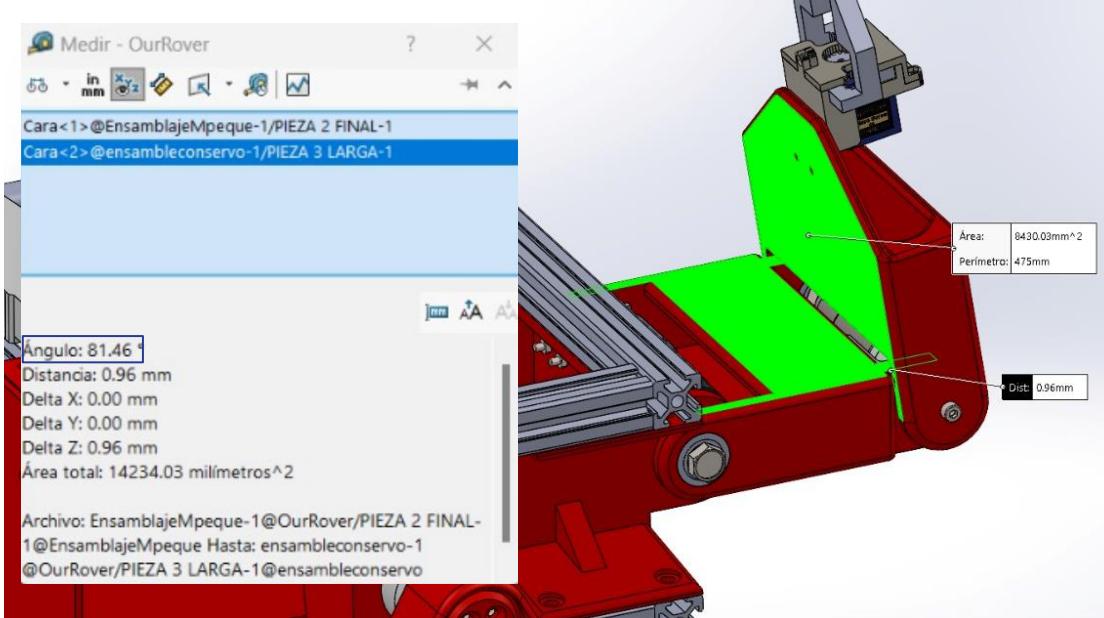
Primera Junta θ_1 :



Segunda Junta θ_2 :



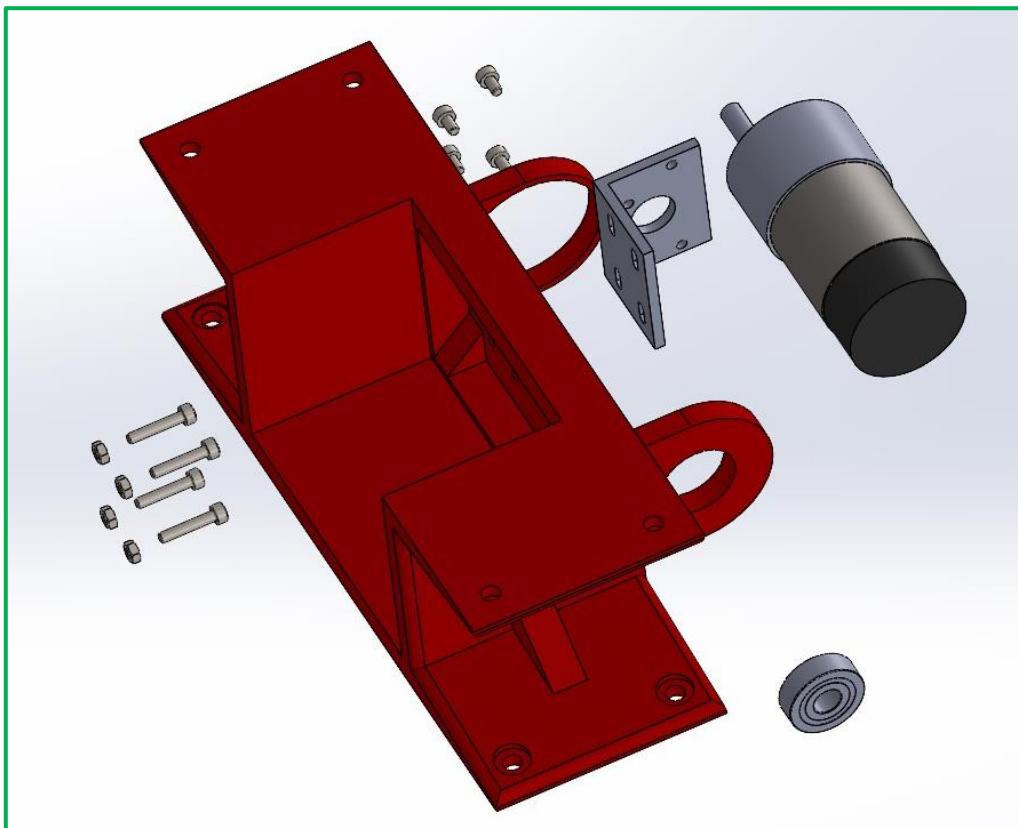
Análisis de la segunda junta por Solidworks:



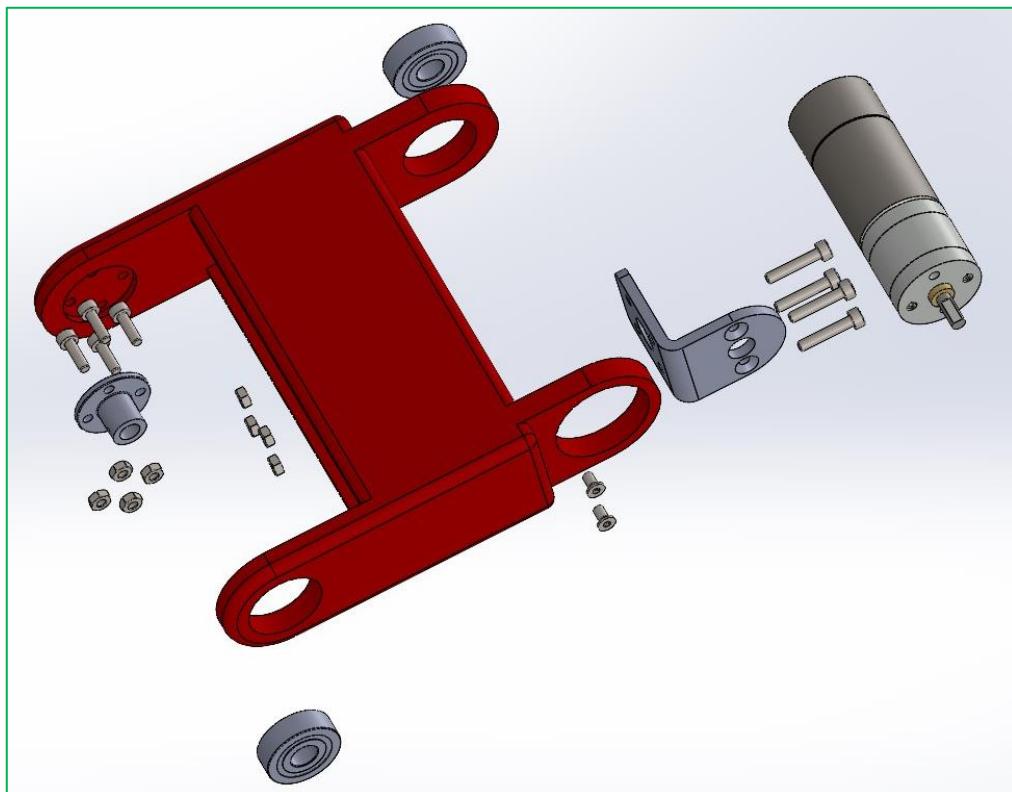
Se llegó a escoger un rango de -100° a 100° para evitar colisiones

7. VISTA EXPLOSIONADA DEL DISEÑO DEL ROBOT

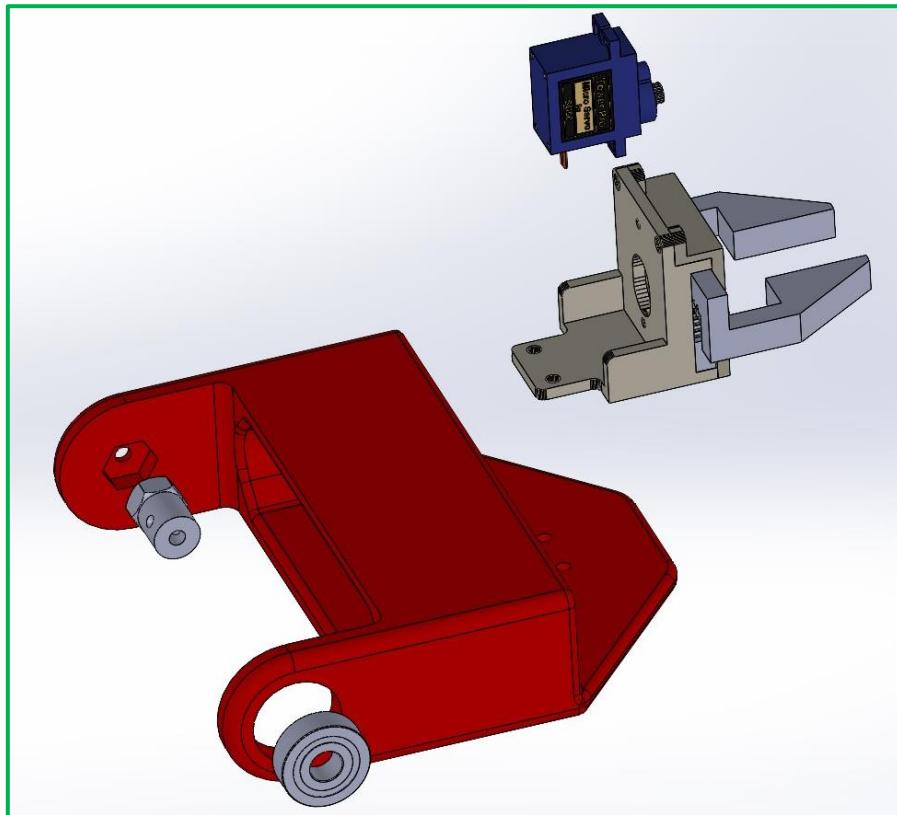
31



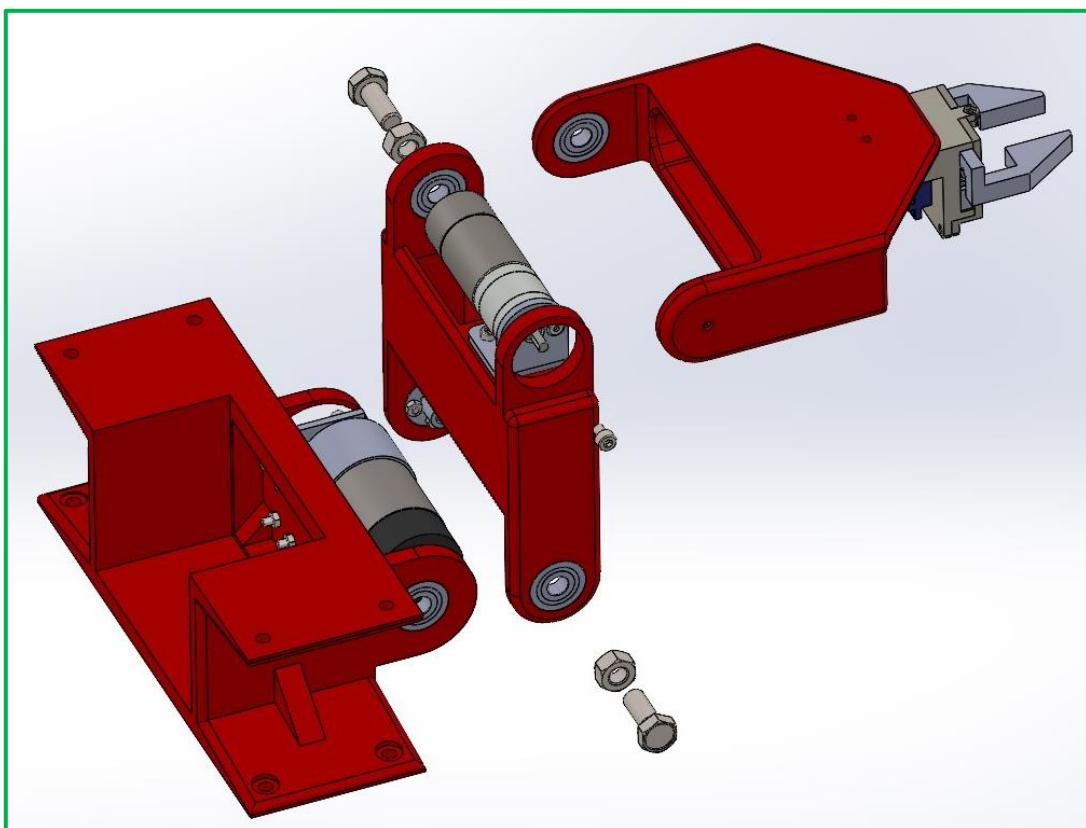
Vista explosionada del PRIMER SUB-ENSAMBLAJE



Vista explosionada del SEGUNDO SUB-ENSAMBLAJE



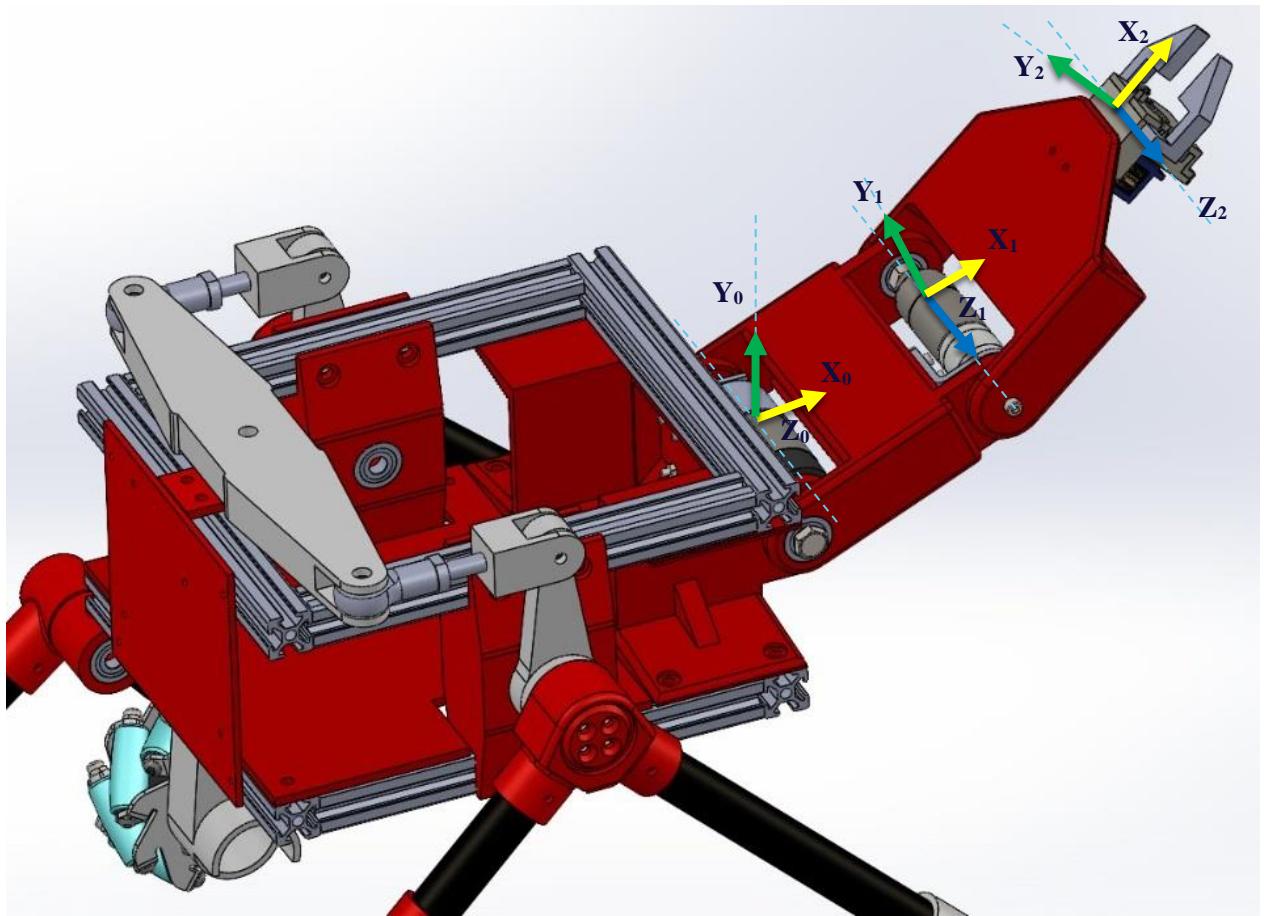
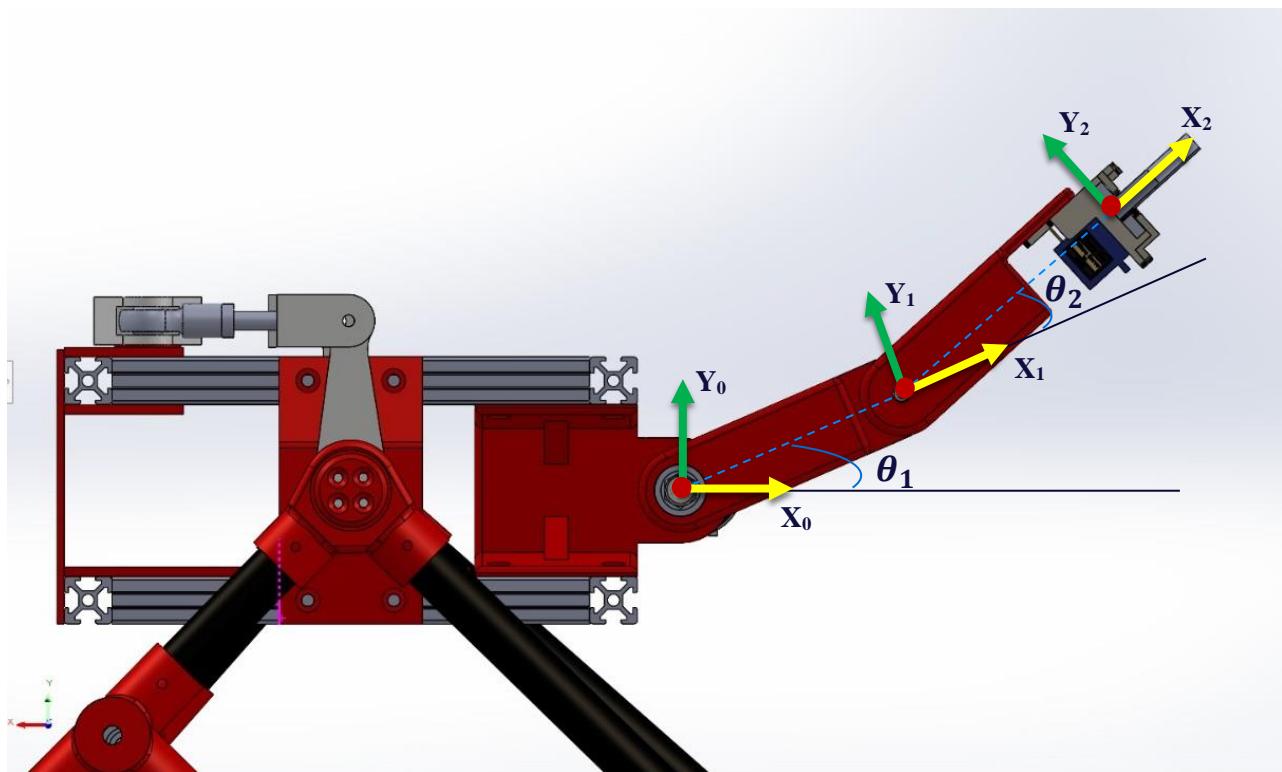
Vista explosionada del TERCER SUB-ENSAMBLAJE



Vista explosionada del ENSAMBLAJE GLOBAL

8. ASIGNACIÓN DE LOS SISTEMAS COORDENADOS SEGÚN DENAVIT-HARTENBERG

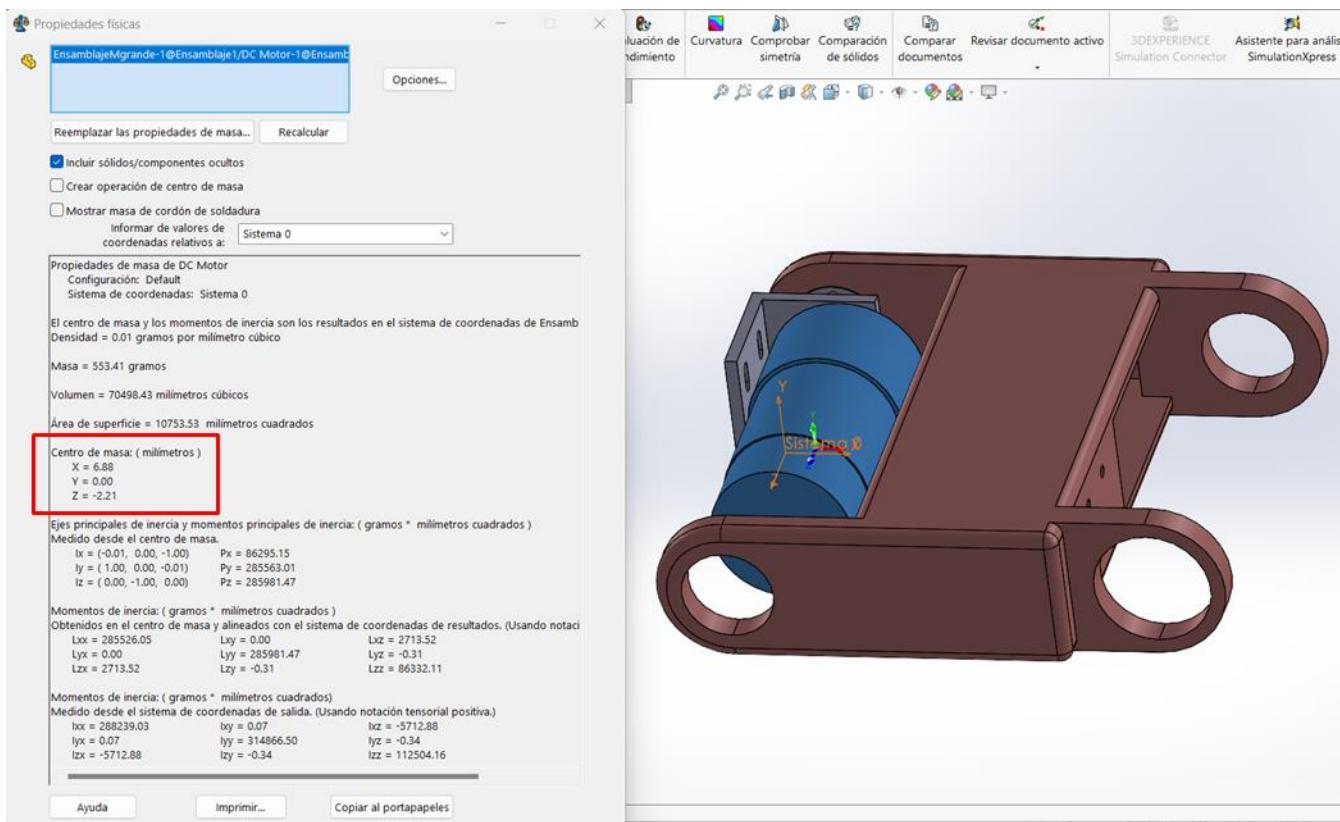
33



9. PROPIEDADES FÍSICAS DE CADA ESLABÓN

34

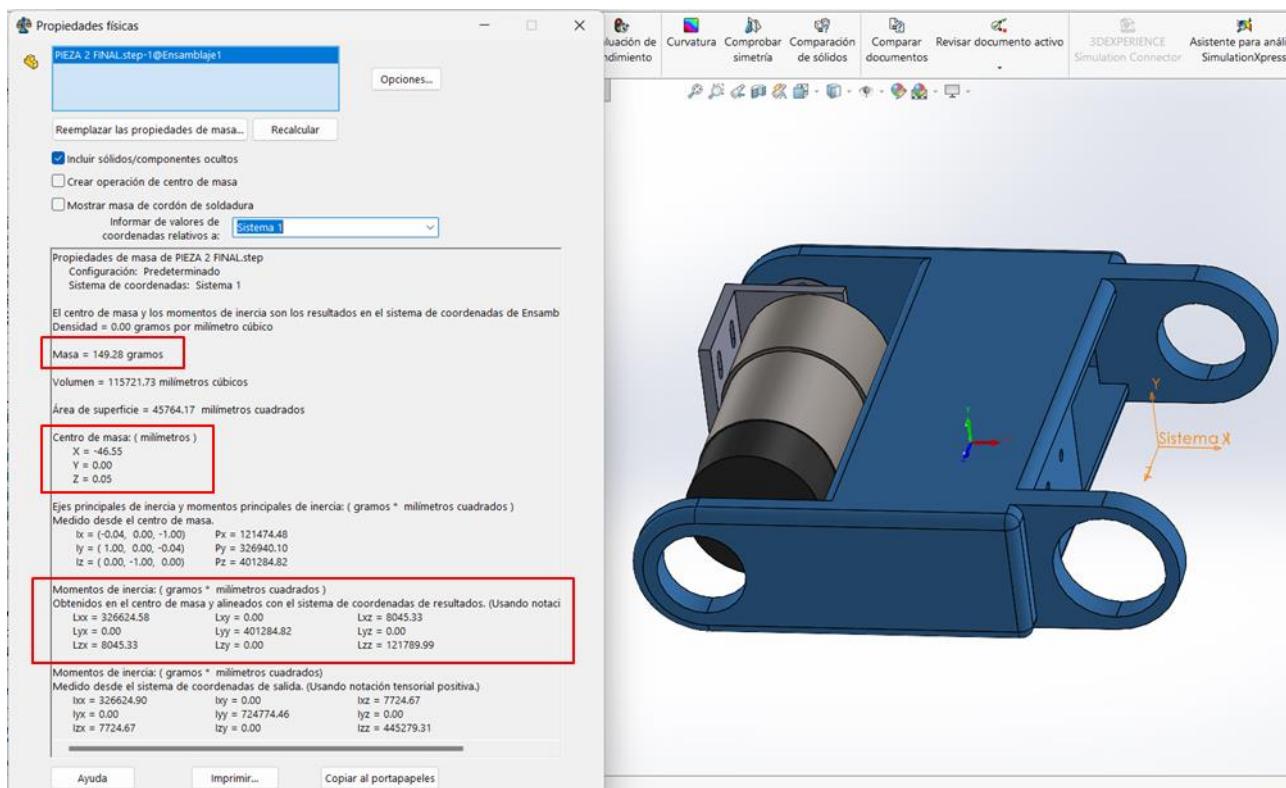
Motor – Junta 1



Coordenadas Centro de Masa respecto al Sistema de Coordenadas 0 (mm)

| | |
|---|-------|
| X | 6.88 |
| Y | 0.00 |
| Z | -2.21 |

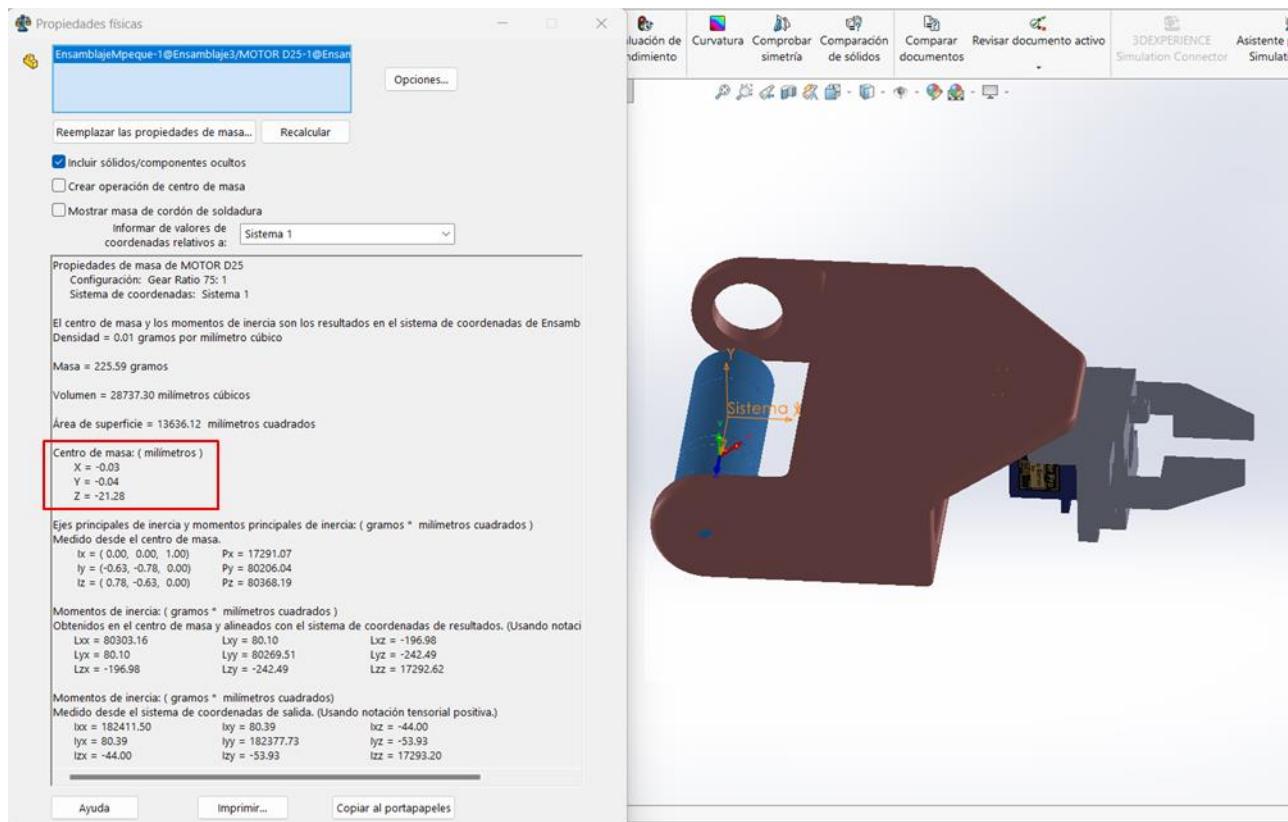
Primer eslabón



| Masa (gr) |
|-----------|
| 149.28 |

| Coordenadas Centro de Masa respecto al Sistema de Coordenadas 1 (mm) | | Momentos de inercia respecto al Sistema de Coordenadas 1 (gr mm ²) | | |
|--|--------|--|-----------------|-----------------|
| X | -46.55 | Lxx = 326624.58 | Lxy = 0.00 | Lxz = 8045.33 |
| Y | 0.00 | Lyx = 0.00 | Lyy = 401284.82 | Lyz = 0.00 |
| Z | 0.05 | Lzx = 8045.33 | Lzy = 0.00 | Lzz = 121789.99 |

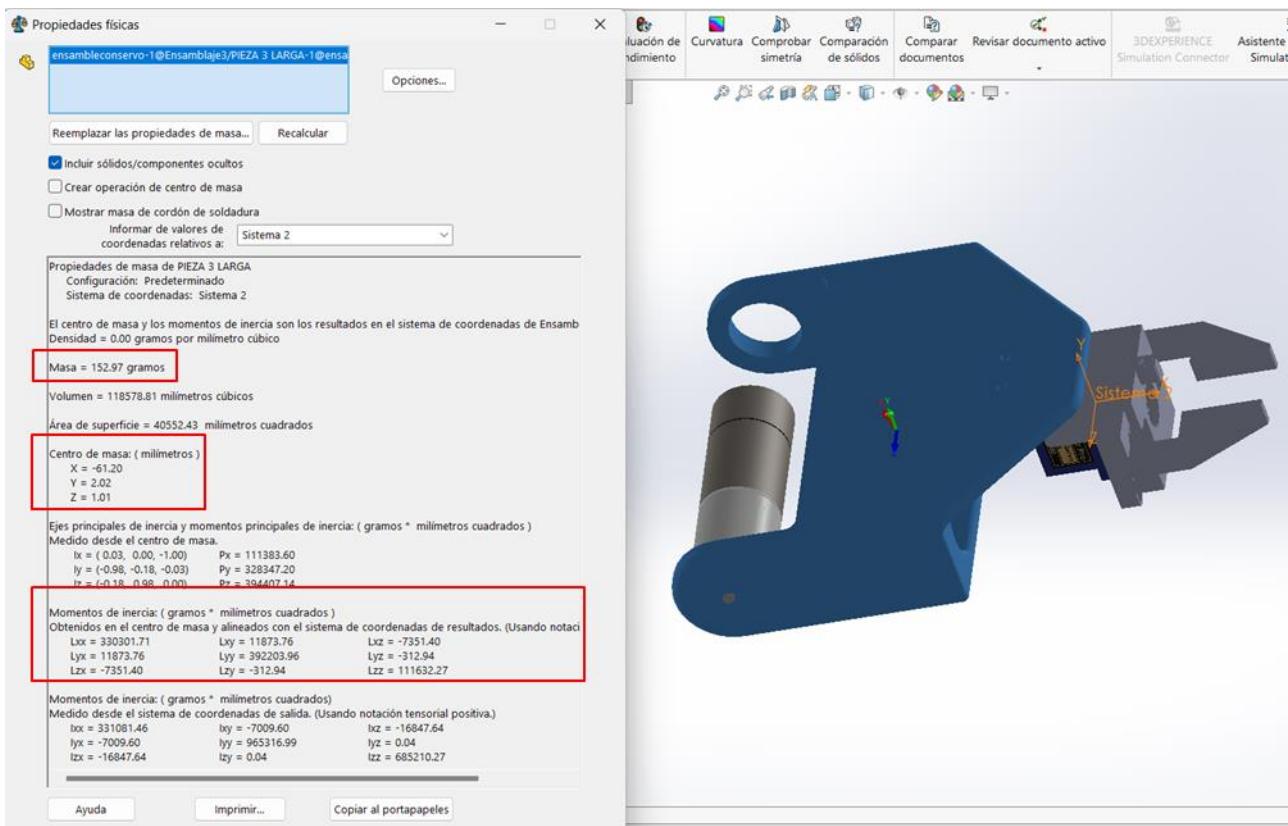
Motor – Junta 2



Coordenadas Centro de Masa respecto al Sistema de Coordenadas 1 (mm)

| | |
|---|--------|
| X | -0.03 |
| Y | -0.04 |
| Z | -21.28 |

Segundo eslabón



| Masa (gr) |
|-----------|
| 152.97 |

| Coordenadas Centro de Masa respecto al Sistema de Coordenadas 2 (mm) | | Momentos de inercia respecto al Sistema de Coordenadas 2 (gr mm ²) | | |
|--|--------|--|----------------------|----------------------|
| X | -61.20 | $L_{xx} = 330301.71$ | $L_{xy} = 11873.76$ | $L_{zx} = -7351.40$ |
| Y | 2.02 | $L_{yx} = 11873.76$ | $L_{yy} = 392203.96$ | $L_{yz} = -312.94$ |
| Z | 1.01 | $L_{zx} = -7351.40$ | $L_{zy} = -312.94$ | $L_{zz} = 111632.27$ |

10. LISTA DE MATERIALES Y PRESUPUESTO ESTIMADO

38

| PRESUPUESTO ESTIMADO | | | | | |
|----------------------|--|----------|---------------------|-----------------|--------------|
| Nº | Materiales | Cantidad | Costo unitario (S/) | Características | Costo (S/) |
| | Componentes Electrónicos | | | | |
| 1 | Motorreductor metálico 37D | 1 | 90 | 37D x 70L | 90 |
| 2 | Motorreductor JGA25-370 12V | 1 | 55 | 25D x 68.5L | 55 |
| 3 | Arduino MEGA 2560 R3 | 1 | 75 | - | 75 |
| 4 | Driver DRV8871 | 1 | 16 | - | 16 |
| 5 | Driver TB6612FNG | 1 | 10 | - | 10 |
| 6 | Fuente de alimentación AC/DC 120W 12V 10A | 1 | 45 | - | 45 |
| 7 | PCB Shield | 1 | 80 | - | 80 |
| 8 | Componentes para PCB | - | - | - | 15 |
| 9 | Servo | 1 | 15 | - | 15 |
| | Componentes Mecánicos | | | | |
| 12 | Rodamientos 608 | 4 | 2 | 8x22x7mm | 8 |
| 13 | Filamento para impresión 3D | 1 | 55 | 1kg | 55 |
| 14 | Acoples | 2 | 18 | - | 18 |
| 15 | Soporte de motores | 2 | 1 | - | 1 |
| 16 | Acoples | 2 | 18 | - | 18 |
| 17 | Perno Allen M3x15 | 8 | 0.5 | M3x15 | 4 |
| 18 | Perno Allen M3x10 | 4 | 0.5 | M3x10 | 2 |
| 19 | Perno Allen M8x20 | 2 | 0.75 | M8x20 | 1.5 |
| 20 | Perno Allen M3x5 | 4 | 0.5 | M3x5 | 2 |
| 21 | Perno Allen M4x6 | 1 | 0.5 | M4x6 | 0.5 |
| 22 | Tornillo Allen M3x6 cabeza plana | 2 | 0.5 | M3x6 | 1 |
| 23 | Perno -Tuerca cabeza martillo deslizante | 4 | 2 | - | 8 |
| 24 | Tuercas | 14 | 0.25 | - | 3.5 |
| | COSTO TOTAL DEL PROYECTO (S/) | | | | 523.5 |

III. DIAGRAMA DE GANTT

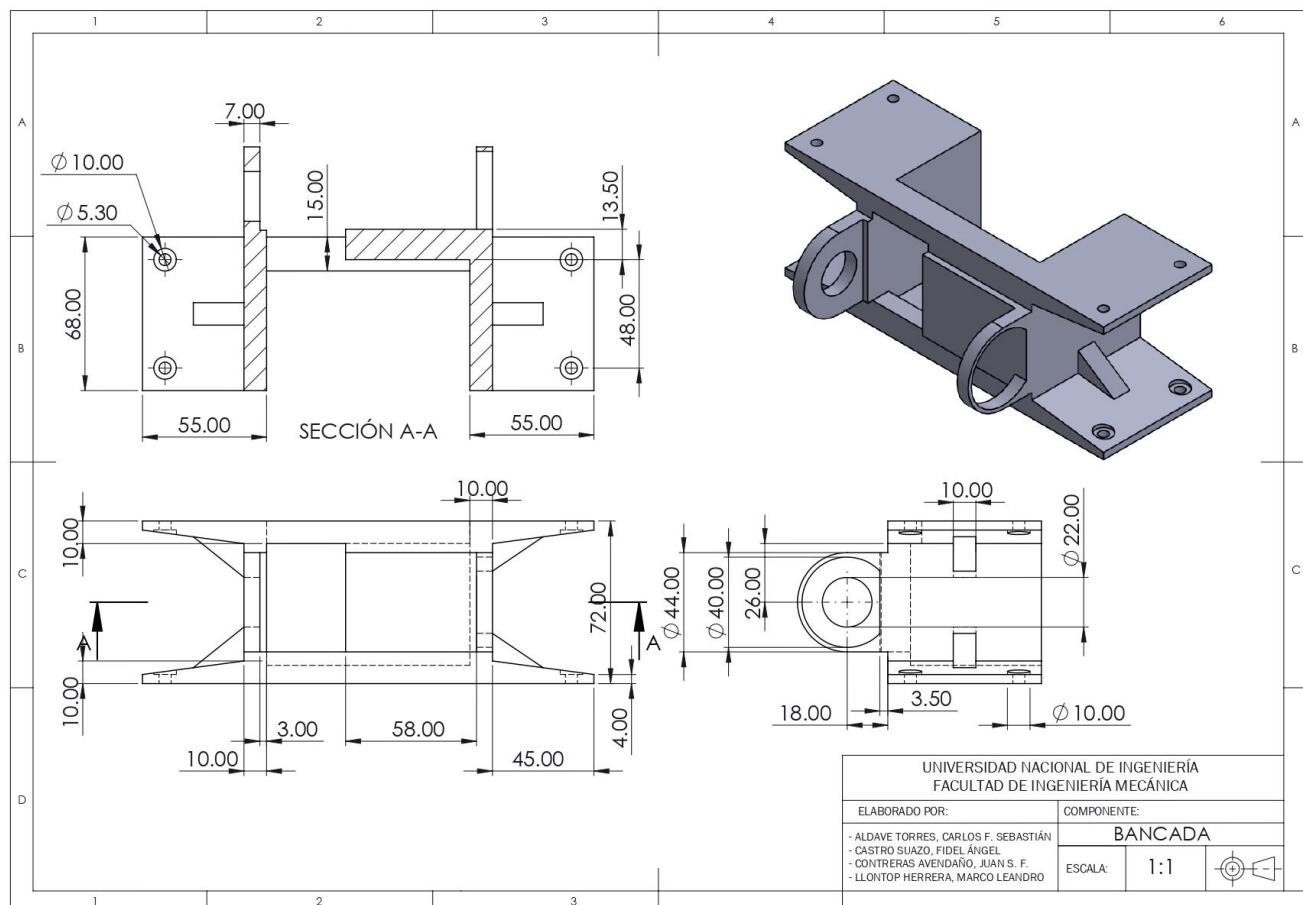
12. BIBLIOGRAFÍA

- Diseño del Arduino Mega extraído el 8 de octubre del 2023 del link:
<https://grabcad.com/library/arduino-mega-2560-8>
- Tienda online Naylamp Mechatronics: <https://www.naylampmechatronics.com/>
- Tienda online SAISAC MECATRÓNICA: <https://saisac.pe/>
- Vargas Cortés, J. (2004). *Diseño y construcción de un dispositivo manipulador de elementos. Robot cilíndrico Jagger-F03* (Bachelor's thesis, Universidad Autónoma de Occidente). Recuperado el 8 de octubre del 2023 del link:
<https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/6385/T04388.pdf?sequence=3>
- Planos de los motores extraídos el 8 de octubre del 2023 del link:
<https://www.pololu.com/file/0J1634/25d-metal-gearmotor-dimension-diagram.pdf>
<https://www.pololu.com/file/0J1736/pololu-37d-metal-gearmotors-rev-1-2.pdf>
- Gripper:
<https://www.instructables.com/How-to-Make-3D-Printed-Parallel-Gripper-With-RC-Se/>

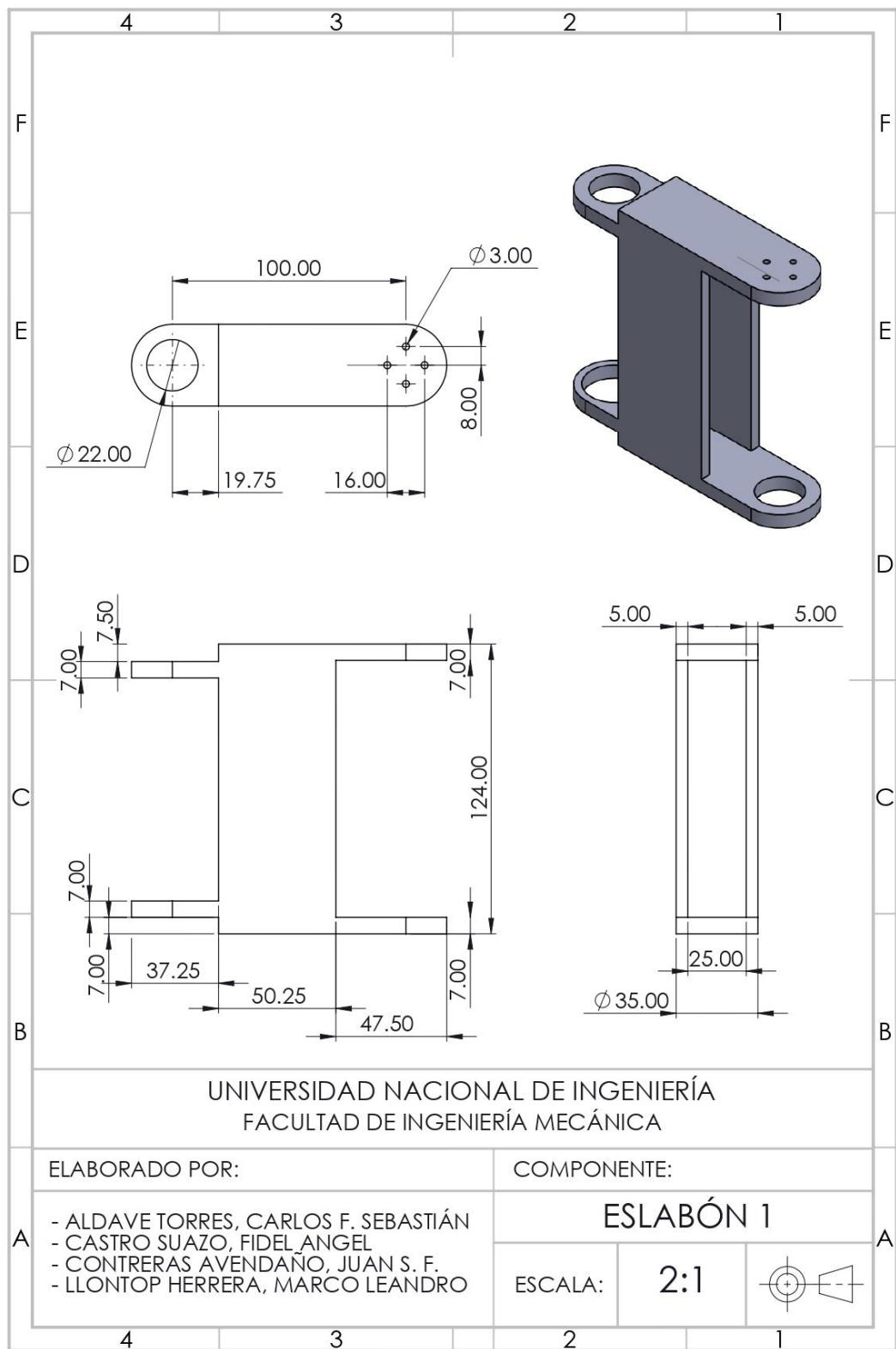
13. ANEXOS

13.1. PLANOS COMPONENTES MECÁNICOS

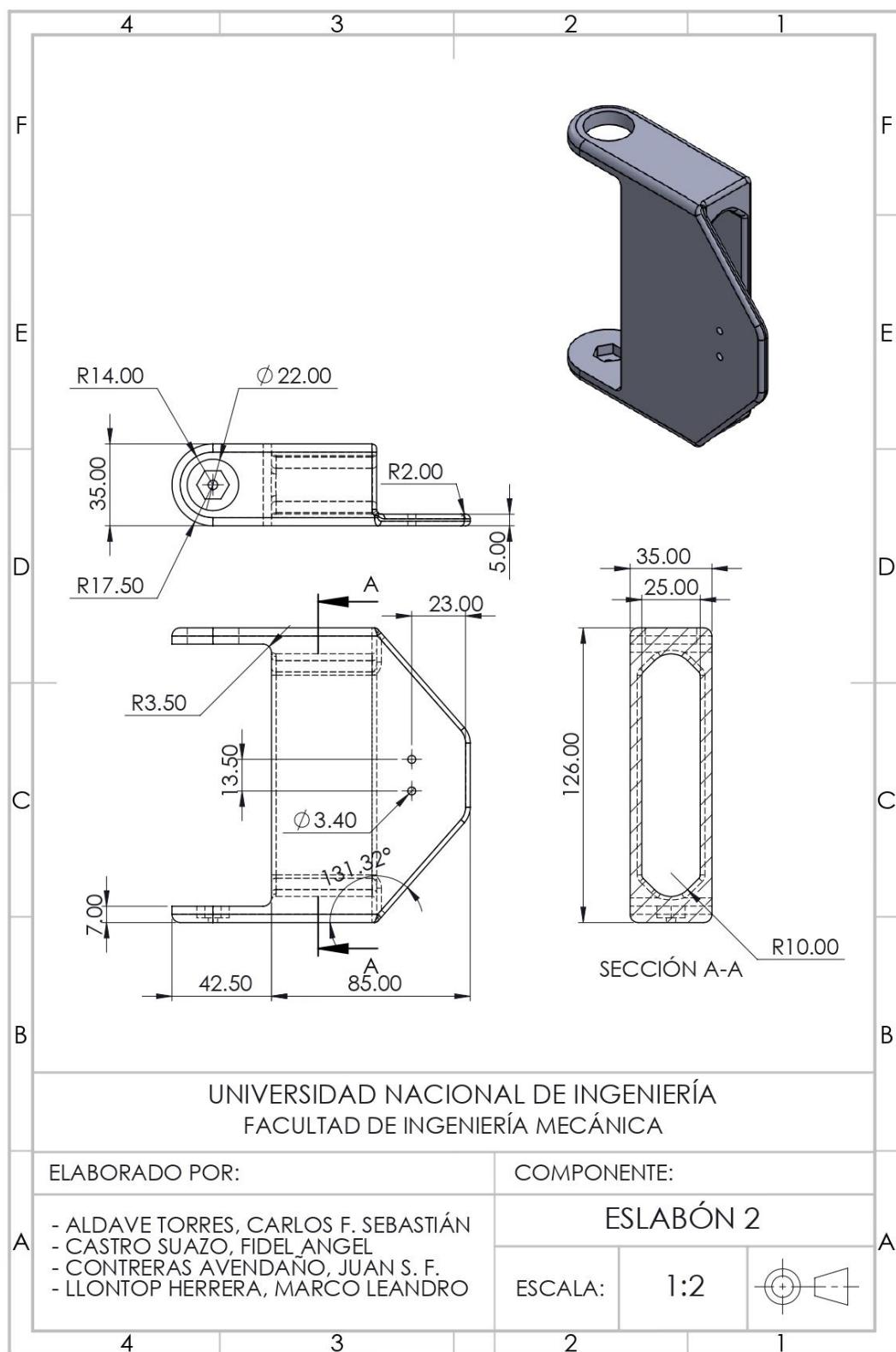
- BANCADA:** Esta componente se encargará de la conexión del manipulador con la estructura del rover, y su producción se llevará a cabo utilizando la tecnología de impresión 3D con PLA como material de fabricación.



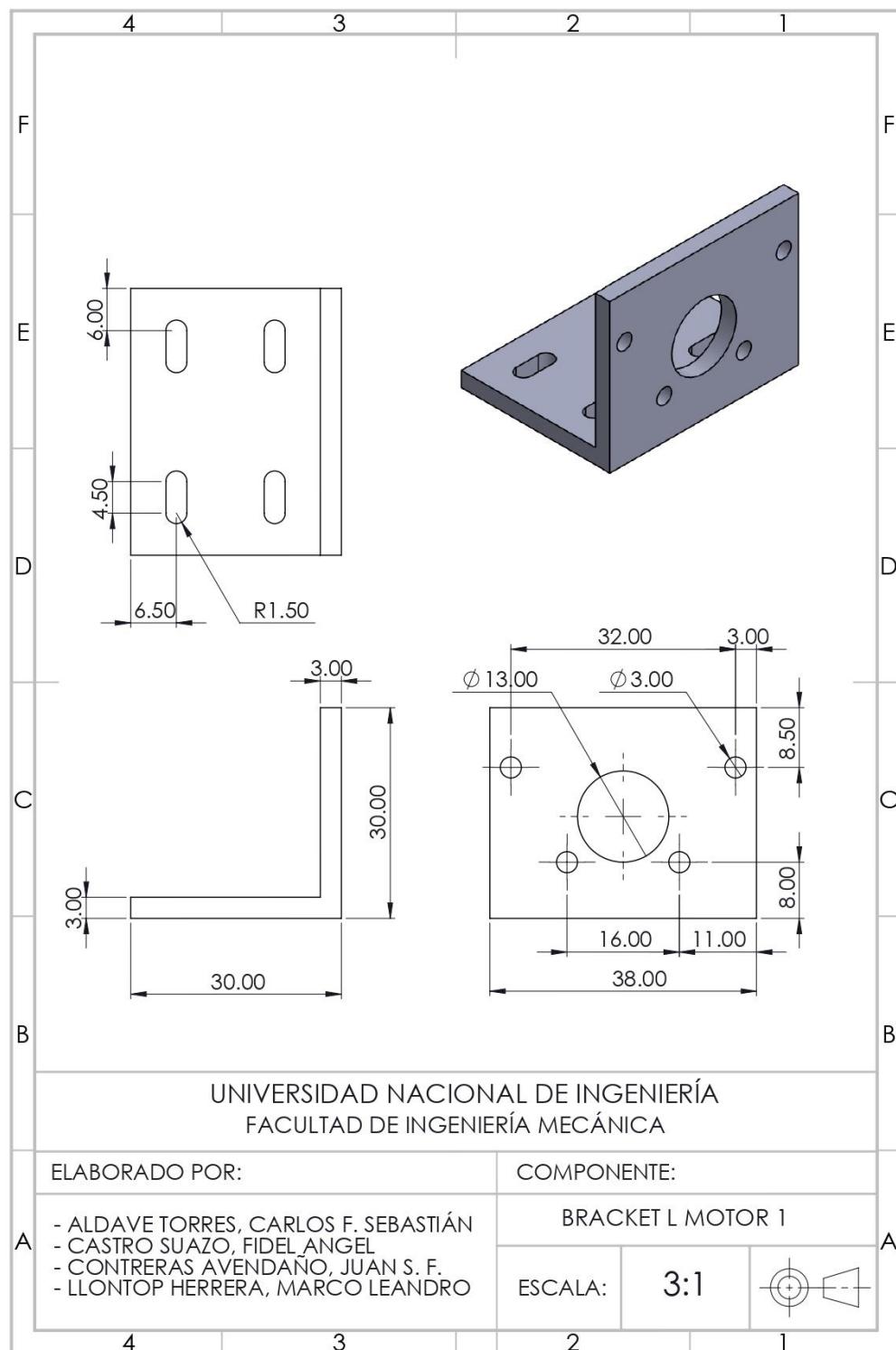
- **ESLABÓN 1:** Este componente desempeñará el papel de ser el primer eslabón de conexión del manipulador robótico, y su fabricación se llevará a cabo utilizando PLA como material principal.



- **ESLABÓN 2:** Este componente desempeñará el papel de ser el segundo eslabón de conexión y su fabricación se llevará a cabo utilizando PLA.



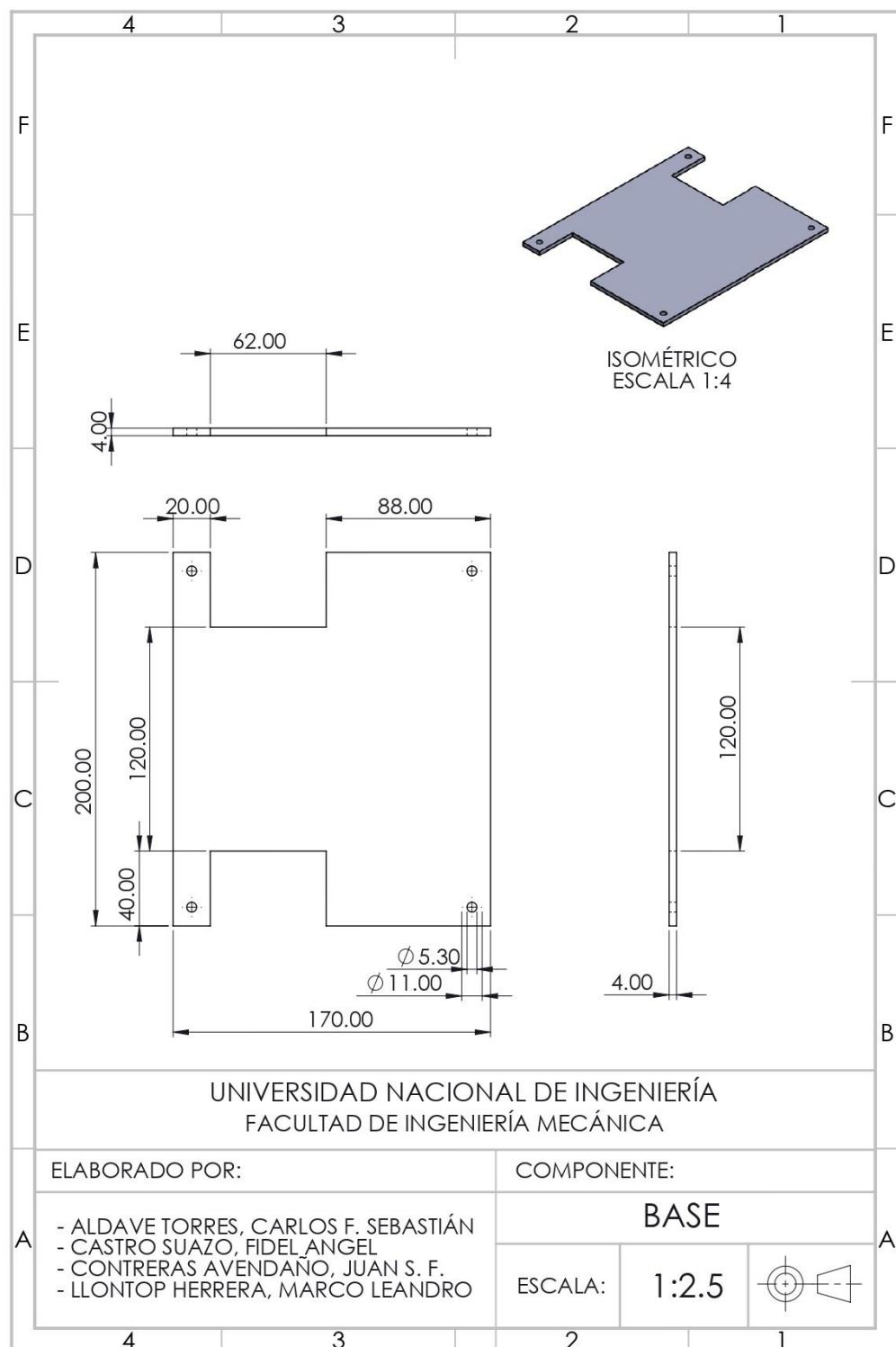
- BRACKET L MOTOR 1:** Este soporte tiene la función específica de asegurar el motor 1 al eslabón 1. Ha sido manufacturado a partir de aluminio.



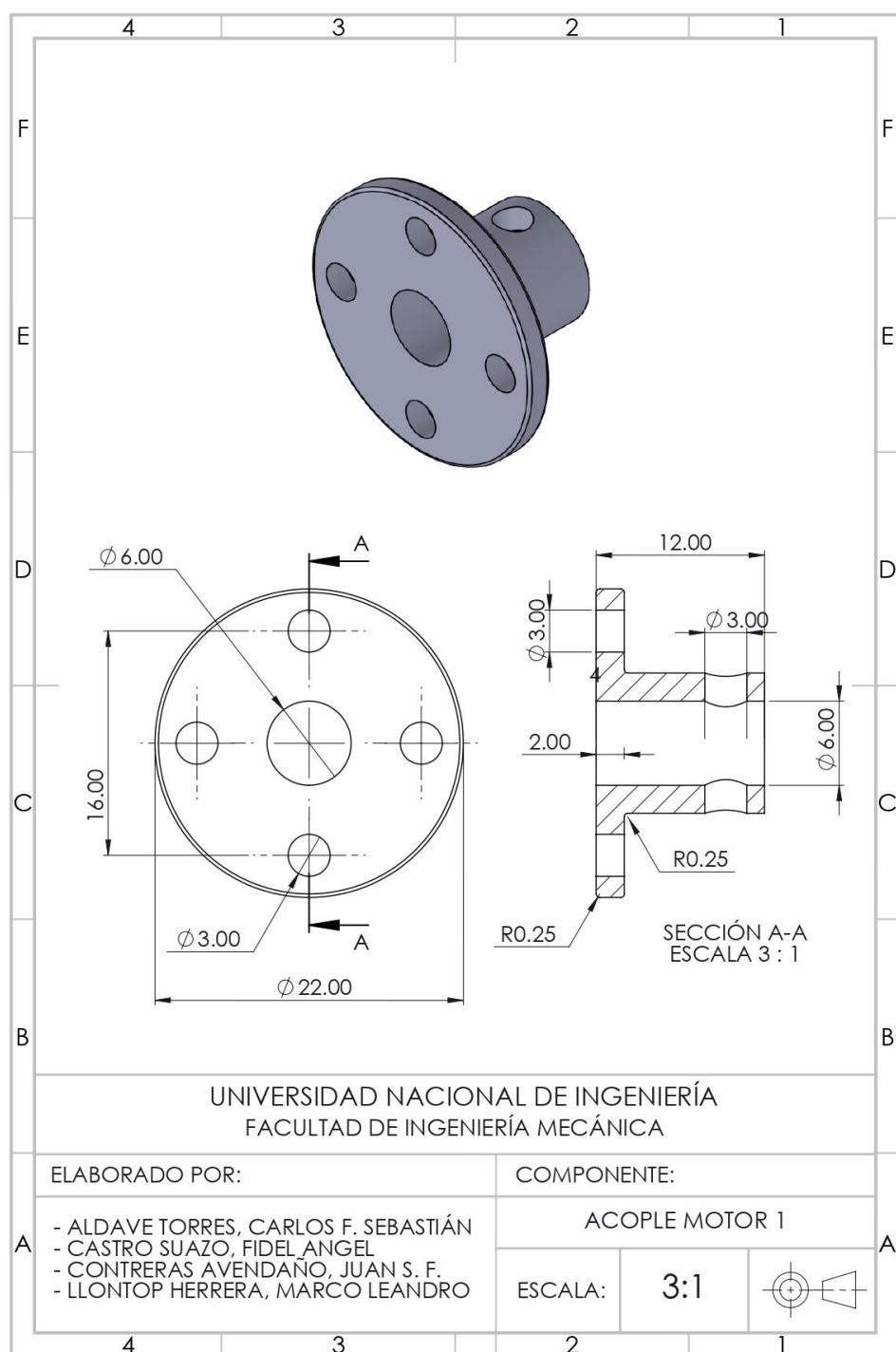
- BRACKET L MOTOR 2:** Este soporte tiene la función específica de asegurar el motor 2 al eslabón 2. Ha sido manufacturado a partir de aluminio.



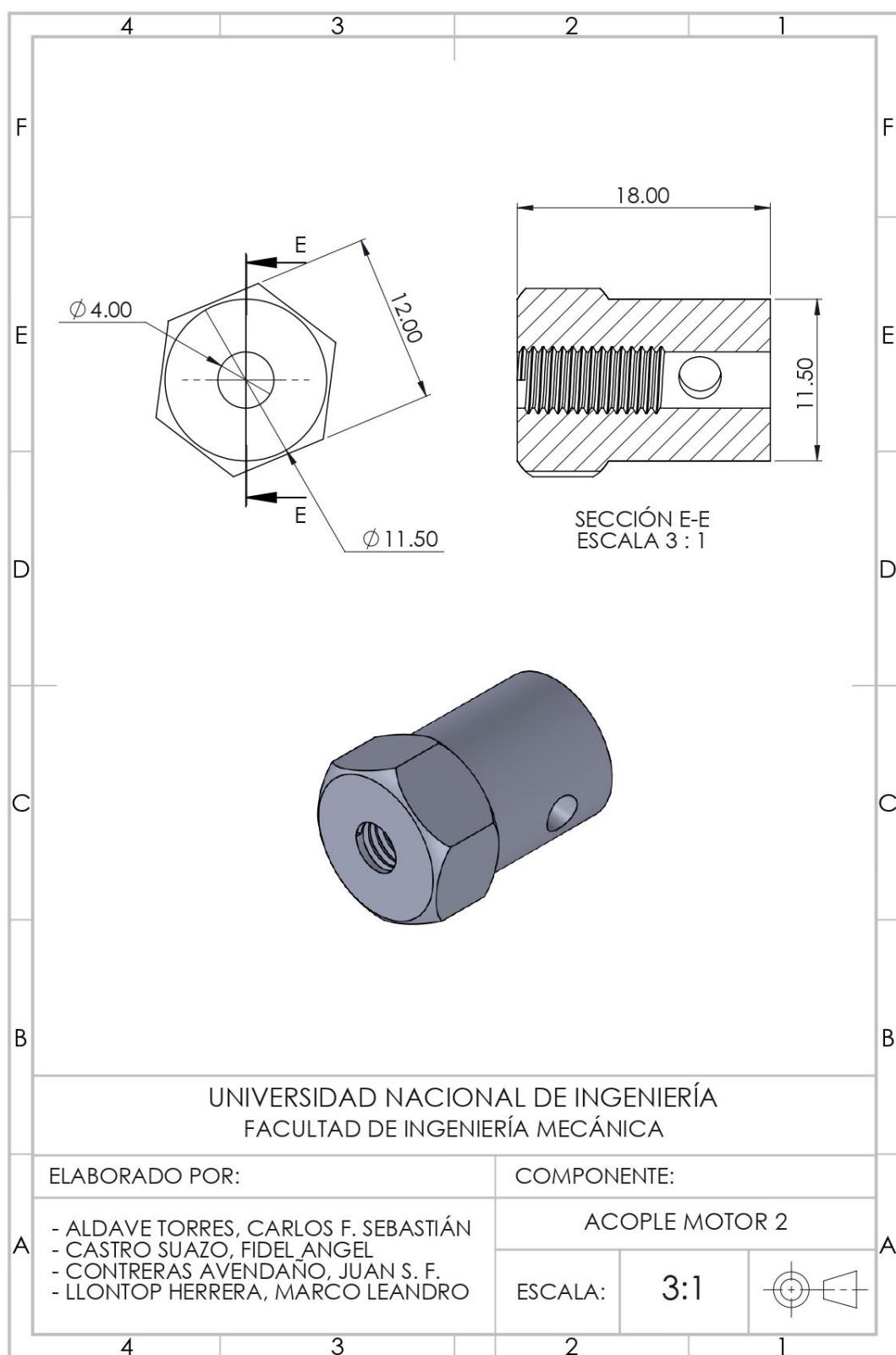
- **BASE:** Este componente tendrá la responsabilidad de sostener el Arduino Mega, las baterías y otros elementos, será impreso en PLA.



- ACOPLE DEL MOTOR 1:** Este acople de motor asumirá la función de transmitir el movimiento al eslabón 1 y está fabricado en aluminio, lo que le confiere una notable resistencia.



- ACOPLE DEL MOTOR 2:** Este acople de motor asumirá la función de transmitir el movimiento al eslabón 2 y está fabricado en bronce.



13.2. PLANOS DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS

- ARDUINO MEGA 2560 R3:

