
Universidad Autónoma Metropolitana
División de ciencias básicas e ingeniería.

Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica.

Proyecto Tecnológico.

Adecuación mecánica y puesta en operación de
un brazo robot de configuración cilíndrica.

Presentan:

Alamilla Herrera Luis Fernando.	2172005553
Balderas Macías Edgar.	2172005464

Asesores:

Ing. Romy Pérez Moreno.
Dr. Israel Barragán Santiago.

Yo, Ing. Romy Pérez Moreno, declaro que aprobé el contenido del presente Reporte de Proyecto de Integración y doy mi autorización para su publicación en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.



Firma

Yo, Dr. Israel Barragán Santiago, declaro que aprobé el contenido del presente Reporte de Proyecto de Integración y doy mi autorización para su publicación en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized initials and a surname, positioned above a horizontal line.

Firma

Yo, Luis Fernando Alamilla Herrera, doy mi autorización a la Coordinación de Servicios de Información de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, para publicar el presente documento en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke extending to the left.

Firma

Yo, Edgar Balderas Macías, doy mi autorización a la Coordinación de Servicios de Información de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, para publicar el presente documento en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Edgar Balderas Macías', written over a horizontal line.

Firma

AUTORIZACIÓN DE INSCRIPCIÓN A PROYECTO DE INTEGRACIÓN EN INGENIERÍA MECÁNICA

PI-A-MEC

Trimestre en que se autoriza la propuesta:

Fecha:

PI-A-MEC

DATOS DEL ALUMNO

Nombre:

Matrícula:

Correo personal:


Firma

ASESOR RESPONSABLE / DATOS DE LA EMPRESA

Nombre del asesor/Empresa:

No. económico: Adscripción/Departamento/Sección:

Área de investigación:

Correo institucional:


Firma

COASESOR O ASESOR EXTERNO / JEFE O RESPONSABLE LEGAL DE LA EMPRESA

Nombre del asesor/Jefe o Responsable legal:

No. económico/Teléfono: Adscripción/Puesto:

Área de investigación/Departamento:

Correo electrónico:


Firma

MODALIDAD DEL PROYECTO

Proyecto tecnológico Proyecto de investigación Estancia profesional Experiencia profesional

TÍTULO DEL PROYECTO

Proyecto de Integración asociado a un Proyecto de Investigación: No Sí Clave (2):

OBJETIVO GENERAL

UNIDADES DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE ASOCIADAS AL PROYECTO DE INTEGRACIÓN

Clave	UEA	UEA Autorizada	Vigencia
1100118	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica I	<input type="text" value="SI"/>	Inicio <input type="text" value="220"/>
1100128	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica II	<input type="text"/>	Término <input type="text" value="231"/>
1100138	Introducción al Trabajo de Investigación en Ingeniería Mecánica	<input type="text"/>	

<p>Nombre y firma del Coordinador de Estudios</p> <p> Ing. Romy Pérez Moreno</p>	<p style="text-align: center;">  Sello de la Coordinación de Estudios </p>
---	--

AUTORIZACIÓN DE INSCRIPCIÓN A PROYECTO DE INTEGRACIÓN EN INGENIERÍA MECÁNICA

PI-A-MEC

Trimestre en que se autoriza la propuesta: Fecha: PI-A-MEC

DATOS DEL ALUMNO

Nombre: Matricula:
 Correo personal:


 Firma

ASESOR RESPONSABLE / DATOS DE LA EMPRESA

Nombre del asesor/Empresa:
 No. económico: Adscripción/Departamento/Sección:
 Área de investigación:
 Correo institucional:


 Firma

COASESOR O ASESOR EXTERNO / JEFE O RESPONSABLE LEGAL DE LA EMPRESA

Nombre del asesor/Jefe o Responsable legal:
 No. económico/Teléfono: Adscripción/Puesto:
 Área de investigación/Departamento:
 Correo electrónico:


 Firma

MODALIDAD DEL PROYECTO

Proyecto tecnológico Proyecto de investigación Estancia profesional Experiencia profesional

TÍTULO DEL PROYECTO

Adecuación mecánica y puesta en operación de un brazo robot de configuración cilíndrica.

Proyecto de Integración asociado a un Proyecto de Investigación: No Sí Clave (?):

OBJETIVO GENERAL

Adecuar mecánicamente y poner en operación, mediante una placa Arduino, los movimientos de un brazo robot de configuración cilíndrica.

UNIDADES DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE ASOCIADAS AL PROYECTO DE INTEGRACIÓN

Clave	UEA	UEA Autorizada	Vigencia
1100118	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica I	<input type="text" value="SI"/>	<input type="text" value="Inicio"/>
1100120	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica II	<input type="text"/>	<input type="text" value="220"/>
1100130	Introducción al Trabajo de Investigación en Ingeniería Mecánica	<input type="text"/>	<input type="text" value="23"/>

Nombre y firma del Coordinador de Estudios

 Ing. Romy Pérez Moreno


 Sello de la Coordinación de Estudios

Resumen.

En la actualidad, los robots son utilizados en una amplia gama de aplicaciones en diversos campos, como son la industria manufacturera, la exploración espacial, agricultura, seguridad, investigación científica y entretenimiento.

El presente Proyecto de Integración abordó la adecuación mecánica y puesta en operación de un brazo robot de configuración cilíndrica. La adecuación mecánica se refiere al diseño y construcción de un sistema o de componentes mecánicos necesarios para que un robot se ajuste correctamente a sus requerimientos funcionales, y cumpla con los criterios de rendimiento esperados.

Esto implica garantizar que los elementos mecánicos, así como las partes móviles, engranes, ejes, rodamientos, estructuras y conexiones, estén diseñados y ensamblados de manera óptima para su aplicación. La adecuación mecánica es fundamental para asegurar que el robot funcione de manera eficiente y confiable, cumpliendo con los requerimientos establecidos para su aplicación.

Para la puesta en operación del brazo robot, se instalaron motores y varios componentes eléctricos, y se programó una placa Arduino, la cual permite el control de los actuadores que realizan los movimientos del brazo.

El resultado de este trabajo es el brazo robot rehabilitado en sus movimientos y funciones operado mediante una botonera y una palanca de control.

Índice.

1. DEFINICIÓN DEL PROYECTO.....	12
1.1 INTRODUCCIÓN.....	12
1.2 ANTECEDENTES.....	13
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	13
2. OBJETIVOS.....	14
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	14
2.2 OBJETIVOS PARTICULARES.....	14
3. MARCO TEÓRICO.....	15
3.1 DEFINICIÓN.....	15
3.2 CLASIFICACIÓN DEL ROBOT.....	15
3.3 MORFOLOGÍA DE UN ROBOT.....	16
3.3.1 Estructura mecánica de un robot.....	16
3.3.2 Transmisiones y reductores.....	17
3.3.3 Actuadores.....	18
3.3.4 Momento de torsión.....	18
3.4 EFECTORES FINALES.....	19
3.5 PROGRAMACIÓN DE ROBOTS.....	20
3.6 ENSAMBLES MECÁNICOS.....	20
3.7 PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS.....	21
4. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	23
4.1 FUERZA Y TORQUE DE LOS MOVIMIENTOS ROTATORIOS Y LINEALES DEL ROBOT.....	23
4.1.1 Análisis en el eje X.....	25
4.1.2 Análisis en el eje Y.....	27
4.1.3 Análisis en el eje Z.....	28
4.2 ANÁLISIS Y ACOPLAMIENTO DE MOTORES PASO A PASO NEMA23.....	30
4.2.1 Análisis de actuadores del tipo NEMA 23.....	30
4.2.2 Acoplamiento para los actuadores NEMA 23.....	31
4.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE FIJACIÓN PARA EL MONTAJE DE LOS MOTORES NEMA 23.....	31
4.4 SISTEMA ELECTROMECAÁNICO QUE REEMPLAZARÁ AL ACTUADOR NEUMÁTICO.....	35
4.5 DISEÑO DEL SISTEMA DE FIJACIÓN DEL ACTUADOR ELECTROMECAÁNICO.....	37
4.6. PROGRAMACIÓN Y COMPONENTES ELECTRÓNICOS.....	40
4.6.1 Placa Arduino Mega 250.....	40
4.6.2 Drivers.....	41
4.6.3 Diagrama eléctrico.....	42
4.7 DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA BASE MÓVIL PARA EL BRAZO ROBOT.....	45
4.8 SELECCIONAR Y COTIZAR LOS COMPONENTES DEL SISTEMA MECÁNICO Y ELECTROMECAÁNICO.....	46
5. RESULTADOS.....	47
6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	52
7. CONCLUSIONES.....	53
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
9. ENTREGABLES.....	54
10. APÉNDICES.....	55
A. RESULTADOS DE SIMULACIONES.....	55
B. CÓDIGO ELABORADO EN LA PLATAFORMA GRATUITA ARDUINO IDE.....	59
C. DIBUJOS TÉCNICOS.....	61

Índice de figuras.

Figura 1. Brazo robot de configuración cilíndrica, antes del Proyecto de Integración.	12
Figura 2. Muñeca neumática del brazo robot.	12
Figura 3. Tipos de articulaciones para robots [3].....	16
Figura 4. Configuraciones más frecuentes en robots [3].	17
Figura 5. Efecto final tipo pinza [3]......	19
Figura 6. Tipos de ensambles mecánicos [10].	20
Figura 7. Brazo real y modelo en Inventor.	23
Figura 8. Componentes de los ejes.....	24
Figura 9. Peso en kg del conjunto X.	24
Figura 10. Peso en kg del conjunto Y.	24
Figura 11. Peso en kg del efecto final.	25
Figura 12. Diagrama de cuerpo libre eje X.....	25
Figura 13. Diagrama de cuerpo libre en el tornillo de avance eje X.....	26
Figura 14. Diagrama de cuerpo libre eje Y.....	27
Figura 15. Diagrama de cuerpo libre en el tornillo de avance eje Y.....	28
Figura 16. Diagrama de cuerpo libre eje Z.	29
Figura 17. Cople flexible de aluminio AFP 1218.....	31
Figura 18. Soporte de motores NEMA 23 diseñados para el proyecto.	32
Figura 19. Prueba de tensión de Von Mises en base para NEMA 23.....	34
Figura 20. Desplazamiento en base para NEMA 23.....	35
Figura 21. Diagrama de cuerpo libre de la muñeca del robot.	36
Figura 22. Motor YWBL-WH.	37
Figura 23. Soporte para el motorreductor diseñado en un CAD.....	37
Figura 24. Prueba de tensión de Von Mises en Motorreductor.....	39
Figura 25. Desplazamiento en Motorreductor.	39
Figura 26. Coeficiente de seguridad - Base Motorreductor.	40
Figura 27. Arduino Mega 2560.....	41
Figura 28. Driver TB6600.....	42
Figura 29. Driver L298N.....	42
Figura 30. Diagrama eléctrico Arduino – Driver TB6600– NEMA 23 - Joystick.....	43
Figura 31. Diagrama eléctrico Driver L298N – Motores DC – Botones.....	44
Figura 32. Mando o botonera de los ejes del robot	44
Figura 33. Base móvil diseñados en un CAD.....	45
Figura 34. Base en Eje X.	47
Figura 35. Base en Eje Y.	48
Figura 36. Ensamble de la base y motorreductor en la muñeca.....	49
Figura 37. Circuito eléctrico.	50
Figura 38. Reemplazó de botones de plástico por botones metálicos.....	50
Figura 39. Base móvil para el robot cilíndrico.....	51
Figura 40. Base móvil para el robot cilíndrico.....	51
Figura 41. Diseño en CAD y proyecto físico.....	52
Figura 42. Cara(s) seleccionada(s) – Fuerza Base NEMA 23.....	55
Figura 43. Cara(s) seleccionada(s) – Momento - Base NEMA 23.....	55
Figura 44. Coeficiente de seguridad - Base NEMA 23.....	56
Figura 45. Deformación equivalente - Base NEMA 23.....	56
Figura 46. Cara(s) seleccionada(s) – Fuerza - Base Motorreductor.....	57
Figura 47. Cara(s) seleccionada(s) – Momento - Base Motorreductor.....	57

Figura 48. Restricción fija: Cara(s) seleccionada(s) - Base Motorreductor.	57
Figura 49. Coeficiente de seguridad - Base Motorreductor.	58
Figura 50. Deformación equivalente- Base Motorreductor.	58

Índice de tablas.

Tabla 1. Coeficientes de fricción [7].	22
Tabla 2. Peso de los conjuntos.	24
Tabla 3. Cargas en el eje X.....	25
Tabla 4. Cargas generadas en la base.	29
Tabla 5. Especificaciones técnicas actuadores NEMA 23.....	30
Tabla 6. Comparación de momentos de torsión.....	31
Tabla 7. Propiedades del material.....	33
Tabla 8. Resumen de resultados soporte NEMA 23.....	33
Tabla 9. Especificaciones del motor YWBL-WH.....	37
Tabla 10. Resumen de resultados para el soporte del Motorreductor.	38
Tabla 11. Costos de materiales para la implementación del proyecto.....	46
Tabla 12. Fuerza y momento aplicada en base NEMA 23.	55
Tabla 13. Fuerza y momento aplicada en base del motorreductor.....	56

1. DEFINICIÓN DEL PROYECTO.

1.1 Introducción.

La robótica se ha posicionado como una de las áreas de mayor impacto en aplicaciones industriales y de procesos, su intervención es cada vez mayor y ha sido de vital importancia en el incremento de la eficiencia, la precisión y la productividad de los mismos, y a su vez ha contribuido en la reducción de los errores o fallas humanas provocadas por la diversidad de factores relacionados con los descuidos o fatiga laboral [1].

La clásica definición de la "Robotic Industries Association (RIA)" especifica que: "un robot industrial manipulador es un dispositivo programable en tres o más ejes, controlado automáticamente, reprogramable y multifuncional, que puede estar fijado en un lugar o ser móvil, y cuya finalidad es la utilización en aplicaciones de automatización industrial" [2].

Mecánicamente el manipulador es el componente principal del sistema. Está formado por una serie de elementos estructurales en sólidos unidos mediante articulaciones que permiten un movimiento relativo entre cada dos eslabones consecutivos [3].

La existencia de variedad de configuraciones ha llevado a la robótica a contar con una gran versatilidad y flexibilidad de adaptación en los procesos. Entre las configuraciones de robot se encuentra la configuración cilíndrica. Esta configuración tiene la articulación de la base rotacional, mientras que la segunda y tercera articulación son prismáticas. Entre las aplicaciones de robots manipuladores se encuentran aquellas que procesan cavidades horizontales y transporte de objetos [1].

Debido a la importancia de contar con robots de este tipo para impartir la UEA Temas Selectos de Ingeniería Mecánica (Robótica), se rehabilitó mecánicamente y por medio de un sistema de control, un brazo robot de configuración cilíndrica. Este se encuentra ubicado en el Laboratorio de Mecanismos en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco (UAM AZC).



Figura 1. Brazo robot de configuración cilíndrica, antes del Proyecto de Integración.

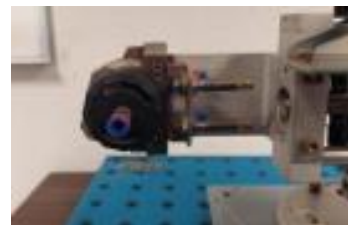


Figura 2. Muñeca neumática del brazo robot.

Para la rehabilitación del robot mostrado en la Figura 1, se implementó el uso de motores a pasos y se diseñó un sistema con partes electromecánicas, este último hizo el reemplazo de la muñeca del brazo, ya que contaba previamente con un actuador rotatorio neumático que ya no era posible usar mostrada en la Figura 2.

La operación de los motores que se utilizaron en el brazo robot se implementó mediante una placa Arduino, que cuenta con una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software libre.

1.2 Antecedentes.

En el año 2012, dos alumnos de Ingeniería Mecánica de la UAM Azcapotzalco desarrollaron su Proyecto de Integración titulado “Diseño, Manufactura y programación de un robot antropomórfico en un alcance de prototipo didáctico” [4]. Lo cual representa una alternativa de control en el movimiento de motores a pasos.

En 2016, un alumno de Ingeniería Mecánica de la UAM Azcapotzalco desarrolló su Proyecto de Integración titulado “Aplicación de tarjetas de desarrollo (Arduino UNO y CNC Shield) en un sistema de control de movimiento” [5]. En este proyecto se diseñó e instalaron componentes mecánicos para el funcionamiento, mediante de una placa Arduino, donde se permite transmitir potencia entre los elementos.

En el año 2022, un alumno de Ingeniería Mecánica de la UAM Azcapotzalco desarrolló su Proyecto de Integración titulado “Rediseño del sistema de transmisión de potencia y el efector final de un brazo robot ubicado en el laboratorio de Mecanismos” [6]. En este proyecto se rediseñó el sistema de transmisión de potencia entre sus ejes, mediante el control de una placa Arduino, sin embargo, a pesar de los esfuerzos realizados, el alumno enfrentó dificultades en la implementación, esto puede deberse a dificultades técnicas, limitaciones de recursos o restricciones de tiempo que afectaron la ejecución del proyecto.

1.3 Justificación.

Un brazo robot de configuración cilíndrica, ubicado en el laboratorio de mecanismos se encuentra deshabilitado por la ausencia de motores en sus ejes y por una configuración neumática en la muñeca que ya no es posible usar.

La estructura del brazo robot está en buen estado y esto se puede aprovechar para rehabilitarlo y permitir su uso para fines didácticos, por ejemplo, en la UEA Temas Selectos de Ingeniería Mecánica (Robótica).

Este proyecto de integración se enfocará, por un lado, en diseñar, analizar e implementar un sistema electromecánico que reemplazará al actuador rotatorio neumático de la muñeca, y por otro lado se diseñarán e implementarán los sistemas de fijación y montaje para los motores que se usarán en sus ejes. Los motores se actuarán empleando una placa de Arduino y una botonera.

2. OBJETIVOS.

2.1 Objetivo general.

Adecuar mecánicamente y poner en operación, mediante una placa Arduino, los movimientos de un brazo robot de configuración cilíndrica.

2.2 Objetivos particulares.

Analizar y determinar los requerimientos de fuerza y torque de los movimientos rotatorios y lineales del robot.

Analizar, caracterizar y acoplar motores a pasos para los movimientos mecánicos del brazo.

Diseñar y construir el sistema electromecánico que reemplazará al actuador rotatorio neumático de la muñeca.

Seleccionar y cotizar los componentes del sistema mecánico y electromecánico.

Reemplazar el actuador rotatorio neumático de la muñeca por el sistema electromecánico.

Diseñar y construir el sistema de fijación para el montaje de los motores a pasos y el actuador electromecánico.

Programar el sistema de control mediante una placa Arduino.

Instalar el sistema eléctrico de actuación del sistema.

Diseñar y fabricar una base móvil para el brazo robot, adaptada a sus dimensiones y peso.

3. MARCO TEÓRICO.

3.1 Definición.

La adecuación mecánica se refiere a la capacidad de un sistema mecánico para cumplir con los requisitos de funcionamiento y rendimiento para los cuales es diseñado. En el contexto de los robots, la adecuación mecánica implica que las estructuras y los componentes mecánicos del robot sean apropiados y suficientemente robustos para llevar a cabo las tareas y operaciones requeridas.

La adecuación mecánica también implica la selección adecuada de los materiales, la configuración y geometría de las partes mecánicas del robot. Esto es de suma importancia ya que estos elementos deben ser capaces de soportar fuerzas, movimientos y condiciones de trabajo a las que se deben someter.

Para que el proyecto cumpla con los objetivos establecidos, es indispensable conocer algunas definiciones mecánicas y aspectos relacionados con los robots.

3.2 Clasificación del robot

Los robots se pueden clasificar de diferentes maneras, según sus características y aplicaciones. Posteriormente, se presentan los cuatro tipos de configuraciones más comunes en los robots:

1. Según su apariencia física.
 - Robots móviles: Son capaces de moverse y desplazarse de un lugar a otro.
 - Robots industriales: Son utilizados en entornos de manufactura y poseen brazos articulados que permiten realizar tareas repetitivas y precisas.
2. Según su grado de autonomía:
 - Robots teleoperados: Son controlados por un operador humano a distancia.
 - Robots semiautónomos: Pueden realizar algunas tareas de manera autónoma, pero requieren supervisión humana.
3. Según su aplicación:
 - Robots médicos: utilizados en cirugía asistidas, rehabilitación.
 - Robots domésticos: Diseñados para tareas del hogar, como limpieza, cocina o asistencia en actividades diarias.
4. Según su capacidad de interacción:
 - Robots colaborativos: Son capaces de trabajar de manera segura y colaborativa junto a los seres humanos, compartiendo un espacio de trabajo.
 - Robots de servicio: Diseñados para asistir a las personas en tareas cotidianas, como atención al cliente o educación.

3.3 Morfología de un robot

La morfología es un concepto primordial, ya que de esto depende la forma y la estructura que tiene un robot, esto es de suma importancia puesto que condicionan en gran manera su funcionamiento y las prestaciones que debe tener el robot.

Un robot está conformado por los siguientes elementos: estructura mecánica, transmisiones, sistemas de accionamiento, sistemas de control y elementos terminales [3]. Estos se describen en la sub-secciones siguientes:

3.3.1 Estructura mecánica de un robot

Mecánicamente, un robot está formado por una serie de elementos o eslabones unidos mediante articulaciones que permite un movimiento relativo entre cada dos eslabones consecutivos. La composición física de la mayor parte de los robots guarda cierta similitud con la anatomía del brazo humano, por lo que, en ocasiones, para hacer referencia a los distintos elementos que componen el robot, se usan términos como cuerpo, brazo, codo y muñeca.

El movimiento de cada articulación puede ser de desplazamiento, giro, o de una combinación de ambos. De este modo son posibles los seis tipos diferentes de articulaciones que se muestran en la Figura 3, aunque, en la práctica solo se emplean de rotación y prismática. Cada uno de los movimientos independientes que realiza cada articulación con respecto a la anterior, se denomina grado de libertad (GDL).

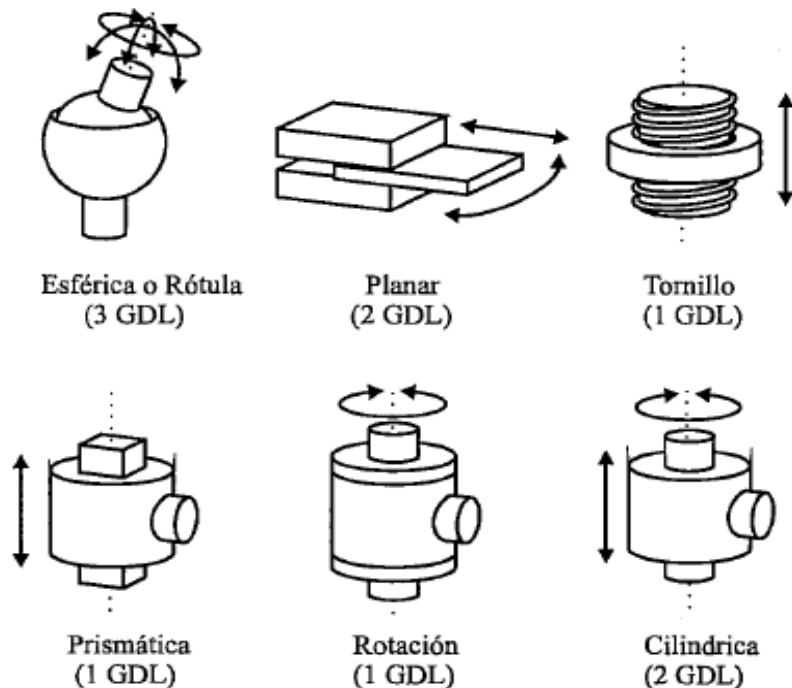


Figura 3. Tipos de articulaciones para robots [3].

En la práctica, es necesario contar con seis GDL para tener total libertad en el posicionado y orientación del robot, muchos solo cuentan con cuatro o cinco GDL, por ser estos suficientes para llevar a cabo ciertas tareas.

Ahora bien, el empleo de diferentes combinaciones de articulaciones en un robot, da lugar a diferentes configuraciones (ver Figura 4) con características a tener en cuenta tanto en el diseño y construcción del robot como en su aplicación [3].

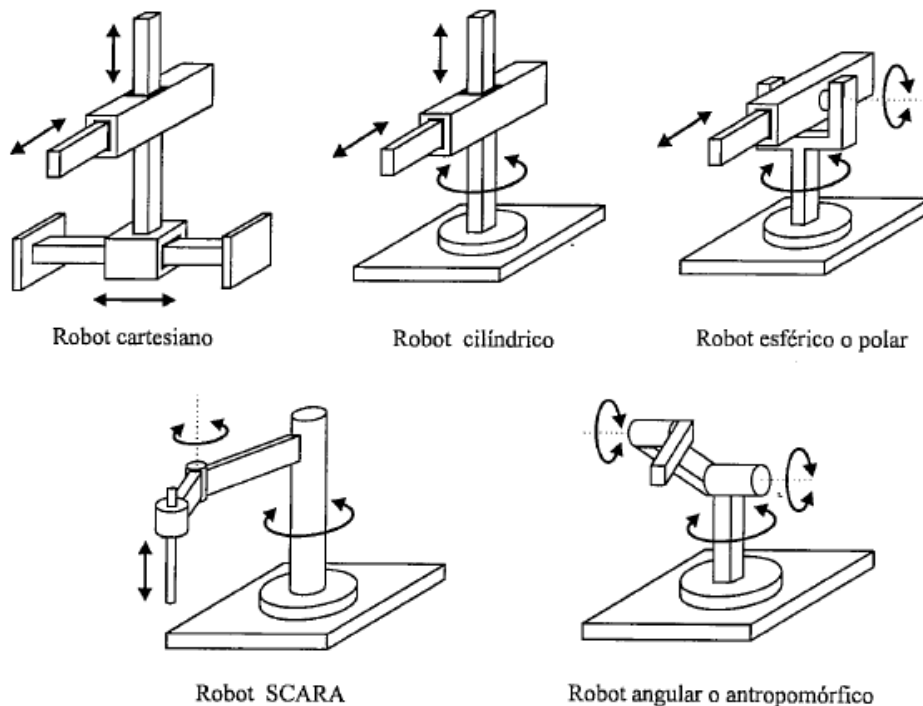


Figura 4. Configuraciones más frecuentes en robots [3].

3.3.2 Transmisiones y reductores.

Las transmisiones y reductores son componentes esenciales en los sistemas mecánicos, ya que, estos mecanismos permiten transmitir y controlar el movimiento, ya sea en maquinaria industrial, vehículos, robots u otros dispositivos.

Las transmisiones se utilizan para transmitir el movimiento y torque entre diferentes componentes de un sistema mecánico. En el caso de los robots, las transmisiones se emplean para transferir el movimiento del motor a las extremidades del robot. Existen diferentes mecanismos, como engranajes, correas, ejes de transmisión o cadenas, según las necesidades específicas.

Por otra parte, los reductores son dispositivos mecánicos los cuales se encargan de reducir una velocidad y aumentar el torque o par torsor de un sistema. Estos son esenciales en los robots, ya que permiten adaptar la velocidad y fuerza de los motores

3.3.3 Actuadores

Los actuadores son componentes clave en los robots, ya que son los encargados de convertir energía en movimiento mecánico, permitiendo que los robots realicen tareas físicas. Los actuadores son responsables de generar el movimiento y la fuerza necesaria para que el robot interactúe con su entorno.

Los actuadores que se utilizan en robótica son mediante energía neumática, hidráulica o eléctrica. Cada uno de los sistemas presenta características diferentes.

Los actuadores neumáticos que son impulsados mediante aire comprimido, suelen aplicarse donde el objetivo primordial es un movimiento rápido ya que no cuentan con una buena precisión, mientras los actuadores hidráulicos son recomendados en manipuladores donde el objetivo es una buena capacidad de carga junto a una buena regulación de velocidad.

En cambio, los actuadores eléctricos por sus características de control, sencillez y precisión de los accionamientos eléctricos han hecho que sean los más usados en los robots actuales. Dentro de los actuadores eléctricos pueden distinguirse tres tipos diferentes:

- Motores de corriente continua (DC)

Son los más utilizados en la actualidad, debido a su facilidad de control. Los motores DC están constituidos por dos devanados internos, inductor e inducido, que son alimentados con corriente continua.

- Motores de corriente alterna (AC)

Este tipo de motores no ha tenido aplicaciones en este campo de la robótica, debido fundamentalmente a la dificultad de su control.

- Motores paso a paso

Los motores paso a paso en los últimos años se han mejorado notablemente sus características técnicas, especialmente en lo relativo a su control, lo que ha permitido fabricar motores paso a paso capaces de desarrollar pares suficientes en pequeños pasos para su uso como actuadores. Algunas de las características a conocer para la selección de actuadores son: Momento de torsión, peso, volumen, precisión, velocidad, mantenimiento y coste.

3.3.4 Momento de torsión:

Cuando se ejerce una fuerza en un objeto rígido que se articula en torno a un eje, el objeto tiende a dar vuelta en torno a dicho eje. La tendencia de una fuerza al dar vuelta un objeto en torno a cierto eje se mide mediante una cantidad llamada momento de torsión (o par motor) [7].

En general, para una fuerza de magnitud F cuya línea de acción está a una distancia perpendicular de un punto, el momento de torsión se representa de la siguiente manera

$$\tau = F * d \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$\tau =$ Momento de torsión [Nm]

$F =$ Fuerza [N]

$d =$ distancia [m]

Para la obtención del momento de torsión, tenemos una fuerza F la cual tiene como unidad de medida el Newton. El Newton es una unidad derivada del SI (Sistema Internacional) que se define como la fuerza necesaria para proporcionar una aceleración en un objeto [8].

$$F = m * a \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde :

$F =$ Fuerza [N]

$m =$ Masa [kg]

$a =$ Aceleracion $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

3.4 Efectores finales.

Los elementos terminales, también llamados efectores finales (Figura 5), son los encargados de interactuar directamente con el entorno del robot. Pueden ser tanto elementos de aprehensión como herramientas.

Se puede establecer una clasificación de los elementos terminales atendiendo a si se trata de un elemento de sujeción o de una herramienta. Los elementos de sujeción se utilizan para agarrar y sostener objetos y, se suelen denominar pinzas mientras las herramientas pueden ser de corte o soldadura, sensores, cámaras entre otras más [3].

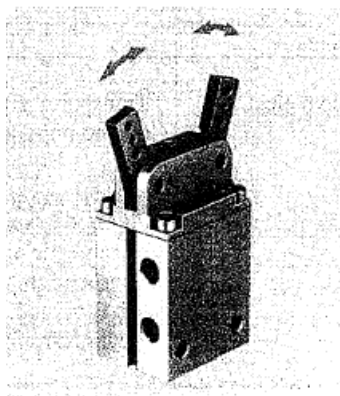


Figura 5. Efector final tipo pinza [3].

3.5 Programación de robots

La programación de un robot se emplea mediante un controlador el cual gobierna los movimientos, para ello Arduino es una buena opción, ya que cuenta con una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basados en software y hardware flexibles.

A través de la computadora y por medio de programación es posible que el usuario logre interactuar con circuitos electrónicos y controlarlos por software. A la vez Arduino es capaz de actuar de manera autónoma sin estar conectado a una computadora.

Existen múltiples modelos de Arduino con diferentes características. Cada modelo posee un nombre, formas, capacidades y funciones distintas. La programación del micro controlador se hace a través de una plataforma gratuita llamada Arduino IDE.

Todo programa escrito en Arduino consta de dos funciones principales. Ambas son del tipo void (no devuelven un valor) y se denominan de la siguiente manera: La función setup se ejecuta una sola vez mientras que el loop se ejecuta un número infinito de veces. Todo programa debe contar con estas dos funciones, de lo contrario no será posible ejecutar el mismo [9].

3.6 Ensamblajes mecánicos.

Los métodos de ensamble mecánico existen para sujetar dos (o más) partes en una pieza a conveniencia. Los ensambles se utilizan en una amplia gama de industrias, desde la automotriz hasta la aeroespacial y la manufactura en general. El uso de tornillos, remaches y otros sujetadores mecánicos, son métodos tradicionales importantes de los ensambles y cada uno tiene su uso propio y método de unión, algunos de los ensambles mecánicos más comunes se ilustran en la Figura 6.

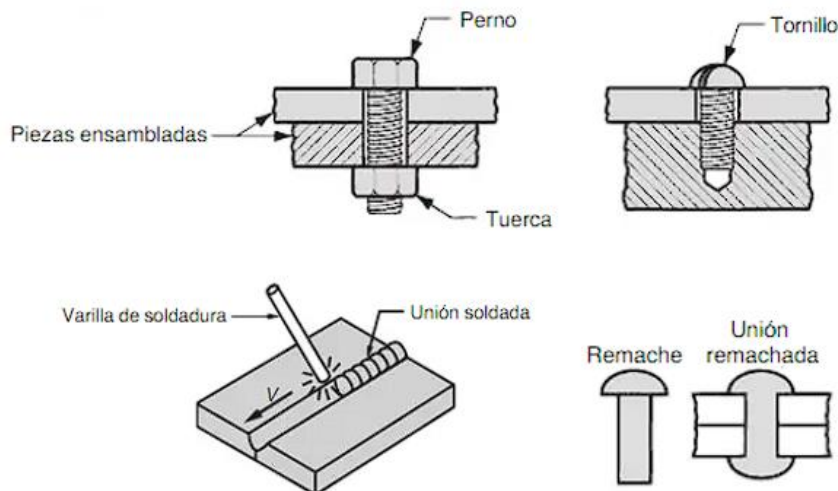


Figura 6. Tipos de ensambles mecánicos [10].

Dentro de los ensambles mecánicos también es posible utilizar el acoplamiento mecánico o acoples mecánicos, los cuales son elementos que nos sirven para la conexión de dos ejes. Los acoplamientos pueden tener varias funciones, pero su propósito principal es conectar ejes de elementos que fueron manufacturados por separado y que cuentan con una transmisión de momento de torsión, ya sea que ambos ejes estén alineados o no.

Este tipo de elementos nos proporciona una gran flexibilidad al igual que una fácil desconexión en los ejes conectados, esto con el fin de un mantenimiento ya sea de reparación o modificaciones que se requieran hacer. De igual manera estos acoplamientos mejoran relativamente las vibraciones que son producidas por el eje motor ya que reduce el choque entre ambos ejes.

Existen una gran variedad de acoplamientos mecánicos, por lo general se clasifican en tres tipos: rígidos, flexibles y espaciales o articulados.

3.7 Propiedades y características mecánicas.

Las propiedades y características mecánicas son atributos físicos que se deben cumplir para la selección de materiales y estructuras utilizados en los robots. Estas propiedades influyen en el rendimiento y la capacidad de los robots para realizar tareas específicas. Se mencionan algunas de estas propiedades que se tomarán en cuenta para la realización del proyecto.

Resistencia: La resistencia mecánica se refiere a la capacidad de un material o estructura para soportar cargas o fuerzas sin sufrir deformaciones o daños permanentes. Una alta resistencia mecánica es deseable para garantizar que el robot pueda manejar cargas pesadas o aplicar fuerzas significativas sin sufrir fallas.

Rigidez: Se refiere a la resistencia de un componente mecánico a deformarse bajo la aplicación de una carga. Un componente rígido es aquel que mantiene su forma y posición sin experimentar deformaciones excesivas. La rigidez está relacionada con la resistencia estructural y puede ser evaluada mediante pruebas de flexión, torsión u otras pruebas específicas.

Fuerza de fricción: La fuerza de fricción es una fuerza resistente que actúa entre dos superficies en contacto. La magnitud de la fuerza de fricción depende de varios factores como lo es el coeficiente de fricción, el cual es un valor adimensional que indica la rugosidad y la adherencia entre superficies en contacto, este valor se expresa en la Tabla 1.

Existen dos tipos de coeficiente de fricción: estático y dinámico. El coeficiente de fricción estático se refiere a la fuerza necesaria para iniciar el movimiento entre superficies, mientras el dinámico se aplica una vez que el movimiento ha comenzado.

$$F_r = \mu * F_N$$

Ecuación 3

Donde:

F_r = *Fuerza de fricción estática*

μ = *Coefficiente de fricción cinética*

F_N = *Fuerza normal [N]*

Tabla 1. Coeficientes de fricción [7].

Superficies en contacto	Coefficiente de fricción cinemática
<i>Hule sobre concreto</i>	0.80
<i>Acero sobre acero</i>	0.57
<i>Aluminio sobre acero</i>	0.47
<i>Vidrio sobre vidrio</i>	0.40
<i>Cobre sobre acero</i>	0.36

4. DESARROLLO DEL PROYECTO.

El desarrollo del proyecto para la adecuación mecánica del robot de configuración cilíndrica implica una serie de apartados y consideraciones las cuales se deben cumplir, es por ello, que antes de comenzar a diseñar y hacer cálculos matemáticos se recrearán los elementos en el software de Dibujo Asistido por Computadora CAD 3D Inventor. Esto con el fin de familiarizarnos con los elementos y los movimientos con los que cuenta el robot.

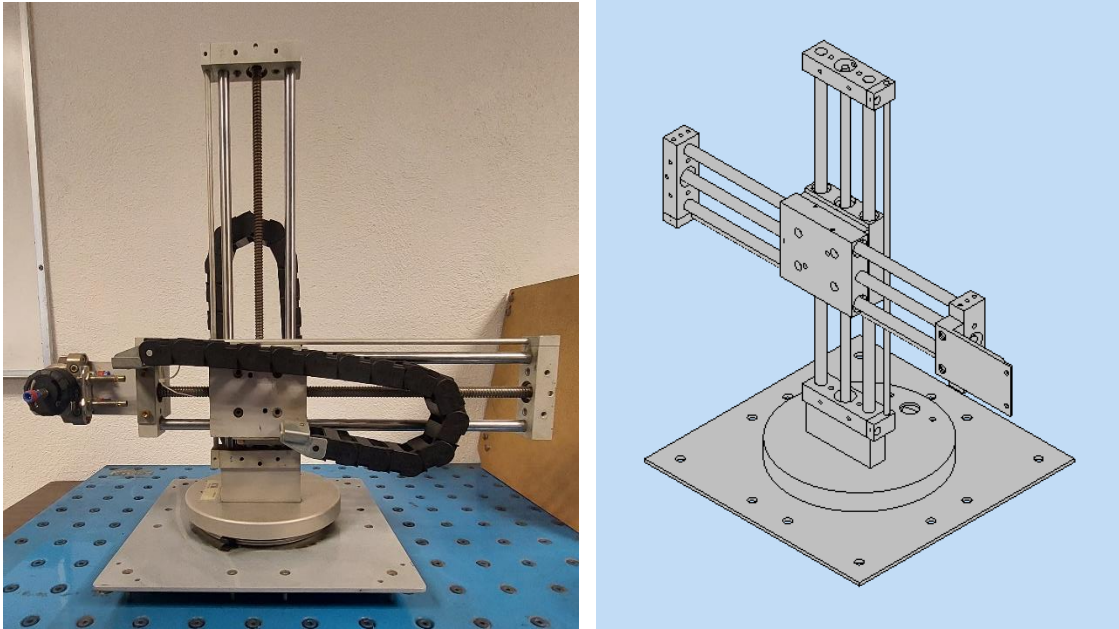


Figura 7. Brazo real y modelo en Inventor.

Haciendo las recreaciones en el software CAD, como se muestra en la Figura 7, nos percatamos que el robot cilíndrico nos proporciona una estructura mecánica, por lo tanto, se debe realizar un análisis de fuerzas lineales, como rotacionales.

4.1 Fuerza y torque de los movimientos rotatorios y lineales del robot.

Para fines de simplificación en los cálculos matemáticos, se considera como dos sistemas o conjuntos a todos los componentes que se encuentran en los ejes principales, los cuales llamaremos Eje x y Eje y. Estos componentes se encuentran ilustrados en la Figura 8.

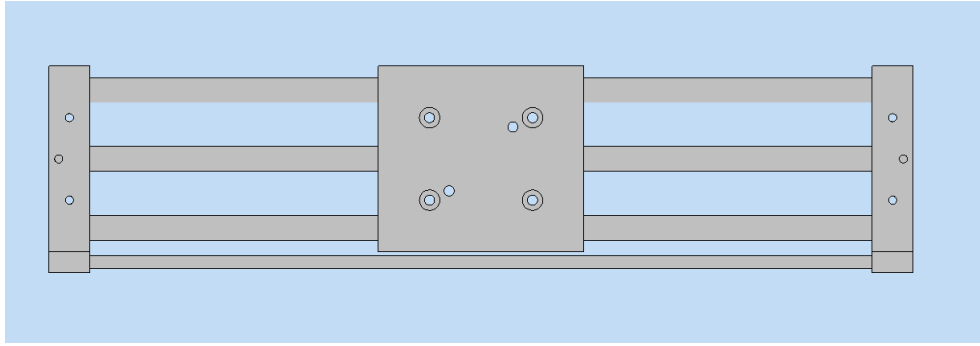


Figura 8. Componentes de los ejes.

Para hacer posible la simplificación de cálculos, se proceden a pesar cada conjunto del eje y de igual manera el efector final tipo pinza con el que cuenta el robot, el cual se obtuvieron los pesos expresados en la Tabla 2. Estos resultados se obtienen mediante el uso de una báscula digital (véase las Figuras 9,10 y 11).

Tabla 2. Peso de los conjuntos.

Elemento	Peso [kg]
Conjunto Eje X	2.048
Conjunto Eje Y	2.187
Efector final	0.900

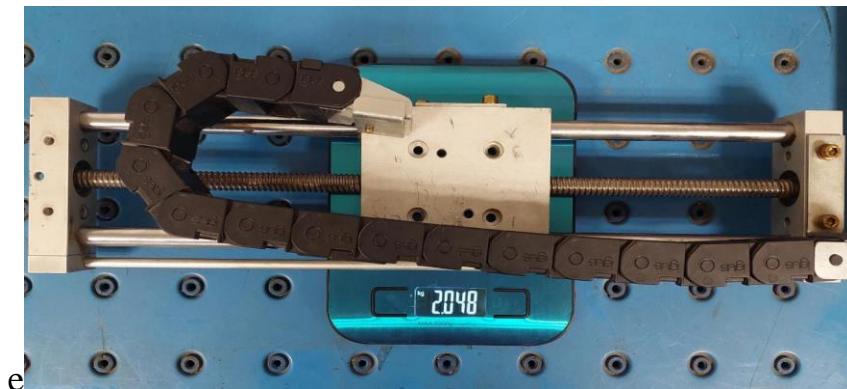


Figura 9. Peso en kg del conjunto X.

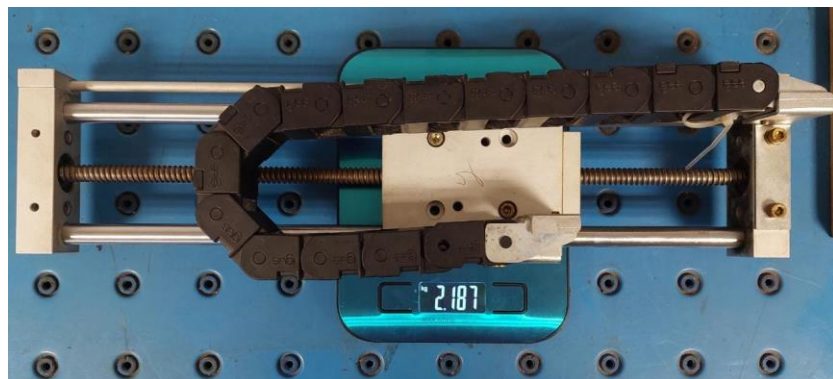


Figura 10. Peso en kg del conjunto Y.

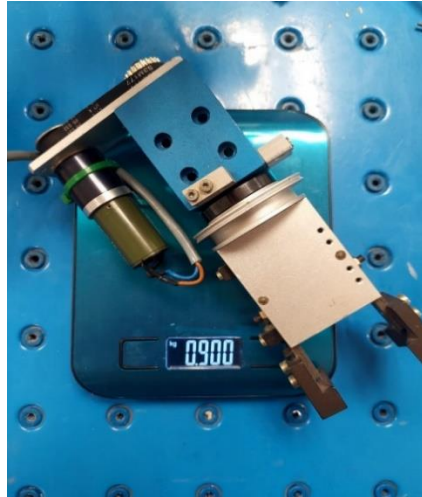


Figura 11. Peso en kg del efector final.

También se determinará un peso aproximado de las masas que tendrán los actuadores con sus respectivas bases, estas se representan en la Tabla 3.

Tabla 3. Cargas en el eje X.

Elemento	Peso aproximado [kg]
Actuador tipo NEMA 23 con base	0.700
Actuador tipo Motorreductor con base	0.600

4.1.1 Análisis en el eje X

Para comenzar a analizar las fuerzas que interactúan en el eje x, se procede a crear un diagrama de cuerpo libre DCL, el cual se representa a continuación:

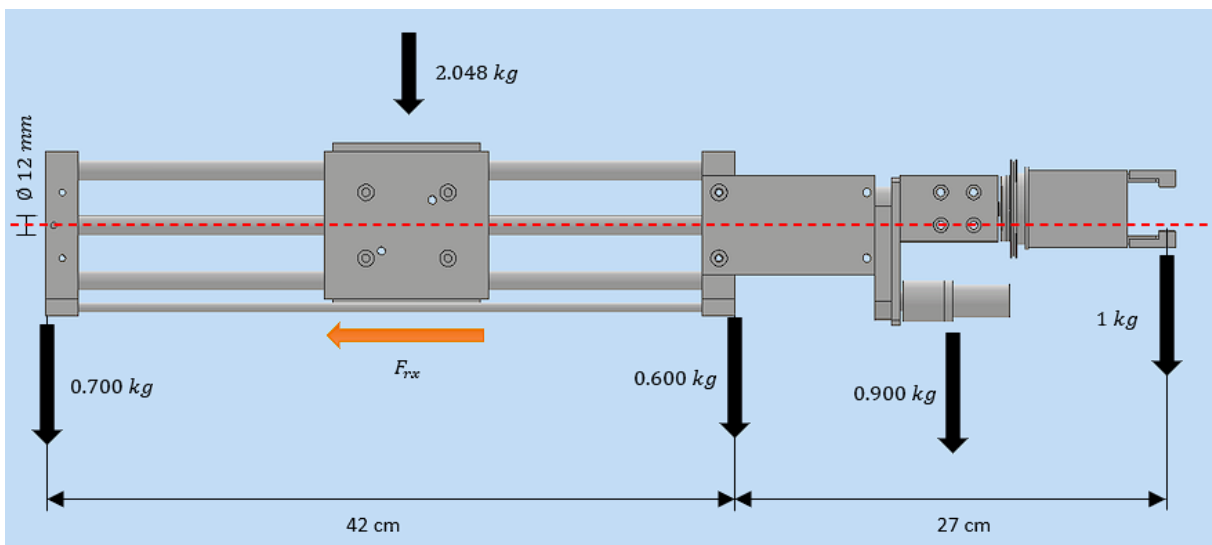


Figura 12. Diagrama de cuerpo libre eje X.

Al analizar la Figura 12 se puede observar que se tienen varias cargas, es por ello que se comienza haciendo la suma de las mismas.

$$m_1 = \sum Cargas = 0.7 + 2.048 + 0.6 + 0.9 + 1 = 5.248 [kg]$$

Este resultado obtenido, se entiende como la masa total de todos los elementos con los que contará el robot en el eje x y la llamaremos m_1 . Al ser evaluada esta masa, se implementa la ecuación 2 para obtener la fuerza normal del robot.

$$F_{N_x} = m_1 * a$$

$$F_{N_x} = (5.248 \text{ kg}) * \left(9.81 \frac{m}{s^2} \right) = 51.482 \text{ N}$$

Al calcular la fuerza normal que se genera por la m_1 , se procede a determinar la fuerza de fricción que se produce en el eje x. Los materiales que se utilizan en los ejes, son aluminio y acero, por ende, de acuerdo a la Tabla 1, se obtiene el coeficiente de fricción cinemático que presentan estos dos materiales.

$$F_{rx} = \mu * F_{N_x}$$

$$F_{rx} = (0.61) * (51.482 \text{ N}) = 31.404 \text{ N}$$

Ahora bien, al tener la fuerza de fricción que se genera en el eje x, se determina el momento de torsión o par mínimo que debe de presentar el actuador sobre el tornillo de avance para que éste proporcione un movimiento lineal, lo cual se obtiene de la siguiente forma (véase la Figura 13).

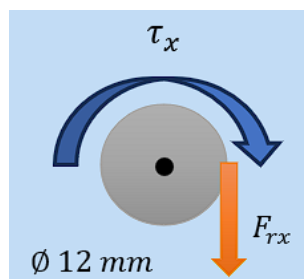


Figura 13. Diagrama de cuerpo libre en el tornillo de avance eje X.

$$\tau_x = F_{rx} * r_{tornillo}$$

$$\tau_x = (31.404 \text{ N}) * (0.006 \text{ m}) = 0.1884 \text{ Nm}$$

Con el resultado del momento de torsión, se expresa como la fuerza mínima que se debe de generar en el tornillo de avance, para que el sistema pueda desplazarse de forma lineal en el eje x. Este cálculo nos ayuda para la selección del actuador, ya que, si ponemos un actuador con menor momento de torsión, el sistema fallará.

4.1.2 Análisis en el eje Y

De igual manera que sea analizó en el apartado anterior, se analiza el eje y, Por consiguiente, se procede a crear el DCL, para así obtener momento de torsión mínimo que se debe de presentar en el tornillo de avance en el eje y.

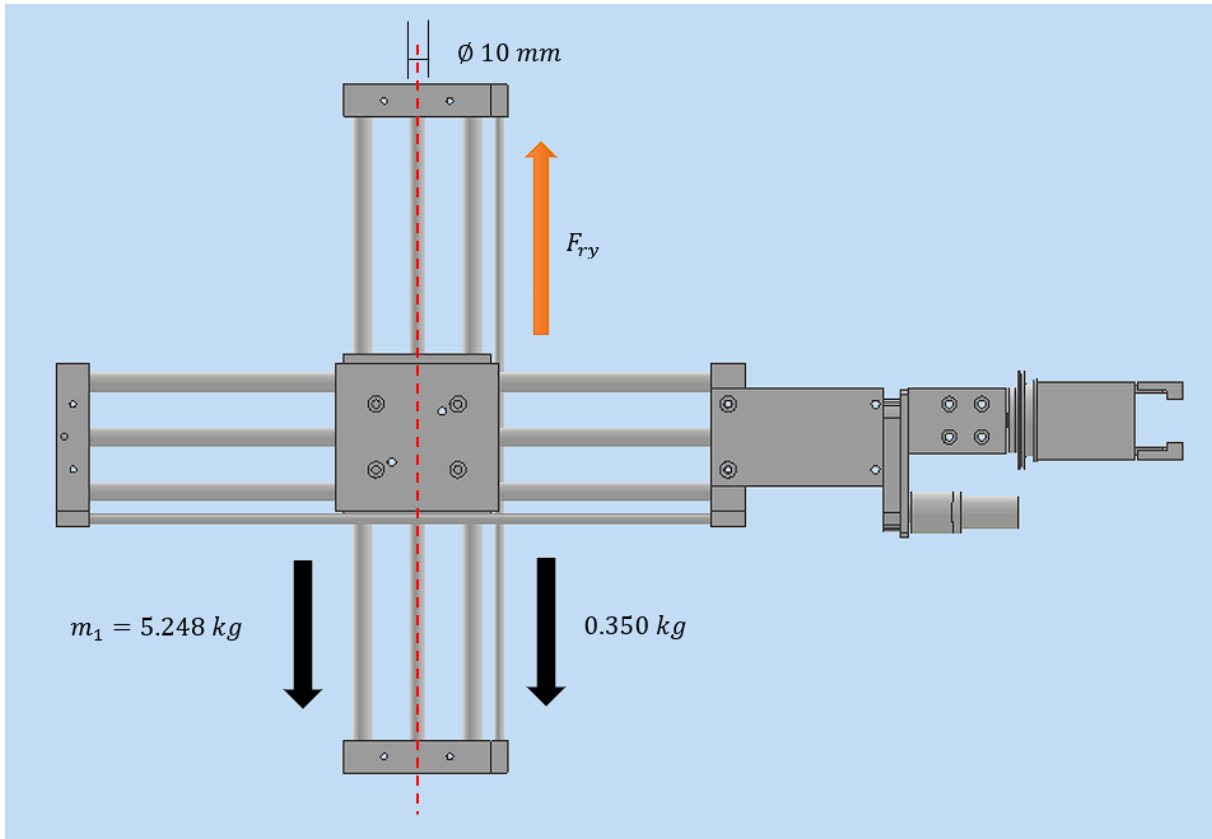


Figura 14. Diagrama de cuerpo libre eje Y.

Como se observa en la Figura 14, tenemos dos cargas, una generada por los elementos analizados en el apartado anterior y una carga extra, esta se propone ya que es un elemento que contiene el Eje y, el cual no es posible retirar y pesar. Conociendo lo anterior, se procede a sumar ambas cargas.

$$m_2 = \sum \text{Cargas} = 5.248 + 0.350 = 5.598 \text{ [kg]}$$

Este resultado, se entiende como la masa total la cual soportará el actuador en eje y, la llamaremos m_2 . Al ser evaluada está masa, se implementa la Ecuación 2, para obtener la fuerza normal.

$$F_{N_y} = m_2 * a$$

$$F_{N_y} = (5.598 \text{ kg}) * \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) = 54.916 \text{ N}$$

La fuerza de fricción que se produce al momento de la rotación del eje y, con el tornillo de avance, se determina mediante el resultado de la fuerza normal con el coeficiente de fricción cinemático, el cual cuenta con los materiales de aluminio y acero, de acuerdo a la Tabla 1, se obtiene dicha fuerza.

$$F_{ry} = \mu * F_{Ny}$$

$$F_{ry} = (0.61) * (54.916 N) = 33.498 N$$

Una vez calculada la fuerza de fricción que se genera en el eje por los elementos, se procede a determinar el momento de torsión mínimo que se debe presentar el actuador para un movimiento lineal (véase la Figura 15).

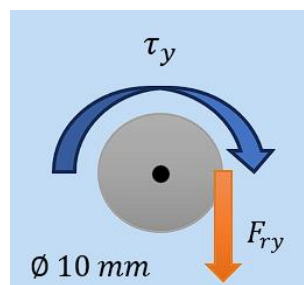


Figura 15. Diagrama de cuerpo libre en el tornillo de avance eje Y.

$$\tau_y = F_{ry} * r_{\text{tornillo}}$$

$$\tau_y = (33.498 N) * (0.005 m) = 0.334 Nm$$

Con el resultado obtenido, se expresa como el momento de torsión mínimo que se debe de generar en el tornillo de avance para que el sistema pueda desplazarse de forma lineal en el eje y.

4.1.3 Análisis en el eje Z

Ahora bien, en este apartado se analiza las fuerzas y momentos de torsión indispensables para que el eje rotacional z pueda soportar todo el peso del robot y poder hacer un movimiento rotacional, para ello se hace el DCL y se calcula el momento de torsión para dicho movimiento.

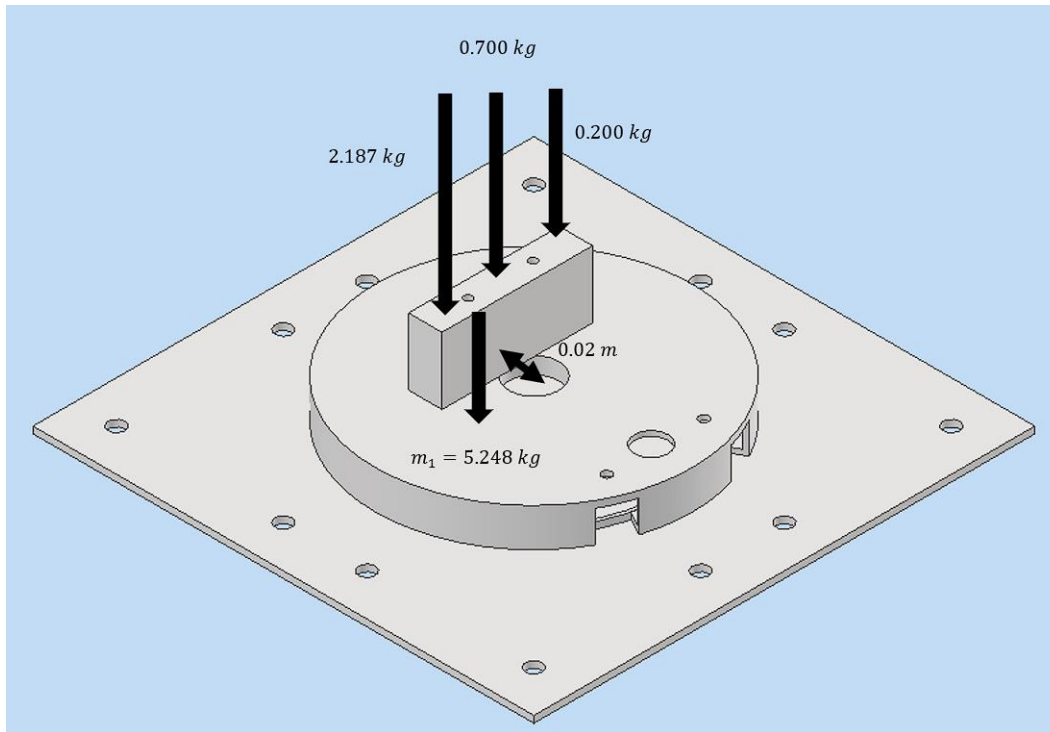


Figura 16. Diagrama de cuerpo libre eje Z.

Al analizar la Figura 16 se puede observar que se tienen varias cargas, las cuales se representan en la Tabla 4, es por ello que se comienza haciendo la suma de las mismas.

Tabla 4. Cargas generadas en la base.

Elemento	Peso [kg]
Masa 1	5.248
Conjunto Eje Y	2.187
Actuador tipo NEMA 23 con base	0.700
Base unión yz	0.200

$$m_3 = \sum \text{Cargas} = 5.248 + 2.187 + 0.700 + 0.200 = 8.335 \text{ [kg]}$$

Conociendo la masa total que soportará el actuador del movimiento rotacional, la llamaremos m_3 , se procede a determinar el momento de torsión el cual deberá presentar el actuador.

$$F_{N_z} = m_3 * a$$

$$F_{N_z} = (8.335 \text{ kg}) * \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) = 81.766 \text{ N}$$

La fuerza de fricción que se produce al momento de la rotación del eje Z, se determina mediante la Ecuación 3, el cual cuenta con los materiales de acero sobre acero, de acuerdo a la Tabla 1, se obtiene dicha fuerza de fricción cinemática.

$$F_{r_z} = \mu * F_{N_z}$$

$$F_{r_z} = (0.74) * (81.766 \text{ N}) = 60.507 \text{ N}$$

Ahora bien, al tener las fuerzas que se generan en el eje, se procede a determinar el torque que debe de presentar para mover la fuerza que se genera por el peso de todo el robot.

$$\tau_z = F_{r_z} * d$$

$$\tau_z = (60.507 \text{ N}) * (0.02 \text{ m}) = 1.210 \text{ Nm}$$

Con el resultado del momento de torsión, se expresa como la fuerza mínima que se debe de generar un movimiento rotacional del robot, más sin en cambió, el robot aun cuenta con el actuador de este eje que es del modelo Dunkermotoren y cuenta con un par motor 1.8 Nm (ver Tabla 6), es por ello, que solo se analizó por cuestiones de mantenimiento o compra de otro actuador en caso de una posible falla.

4.2 Análisis y acoplamiento de motores paso a paso NEMA23.

4.2.1 Análisis de actuadores del tipo NEMA 23.

Se cuenta con dos actuadores del tipo NEMA 23, los cuales cuentan con las especificaciones técnicas mostradas en la siguiente tabla.

Tabla 5. Especificaciones técnicas actuadores NEMA 23.

Modelo	Voltaje [V]	Corriente [A]	Angulo de pasos [°]	Torque [Nm]	Fuerza radial [kg/cm]
23KM-K380-01V	12 – 24	2.5	1.8	1.10	11.22
23HD5625-P4	12 – 24	2.8	1.8	1.26	12.85

Al tener en cuenta los momentos de torsión analizados en el apartado anterior y las especificaciones de los actuadores tipo NEMA 23 con los que se cuentan, procedemos a comparar y seleccionar el tipo de actuador que se acoplará en cada eje.

Tabla 6. Comparación de momentos de torsión.

Resultados obtenidos.	Actuadores NEMA 23 y DC
$\tau_x = 0.1884 \text{ Nm}$	$\tau_{Modelo\ 23KM} = 1.10 \text{ Nm}$
$\tau_y = 0.334 \text{ Nm}$	$\tau_{Modelo\ 23HD} = 1.26 \text{ Nm}$
$\tau_z = 1.210 \text{ Nm}$	$\tau_{Modelo\ Dunkermotoren} = 1.8 \text{ Nm}$

Según la Tabla 6, los actuadores NEMA 23 y el motor de corriente (DC) son adecuados para el funcionamiento del robot. La propuesta es que, con la información presentada en dicha tabla, se sugiere que los actuadores se acoplen en el mismo orden mostrado, quedando como resultado para cada eje:

Eje x → NEMA 23 Modelo 23KM.
Eje y → NEMA 23 Modelo 23HD.
Eje z → DC Modelo Dunkermotoren.

4.2.2 Acoplamiento para los actuadores NEMA 23.

La unión de los actuadores NEMA 23 con los ejes para la transmisión del momento de torsión, se hará mediante acoplamientos flexibles, los cuales tienen excelentes características mecánicas, es por ello, que se implementará uno del modelo AFP 1218 (véase la Figura 17).



Figura 17. Cople flexible de aluminio AFP 1218.

4.3 Diseño del sistema de fijación para el montaje de los motores NEMA 23.

El diseño del sistema de fijación para el montaje de los motores NEMA 23 puede variar dependiendo de la aplicación específica y los requerimientos del montaje. Sin embargo, hay algunos parámetros a considerar.

Primero, se determina la orientación del actuador NEMA 23, esto quiere decir que, si el motor se montara en posición horizontal, vertical u otra orientación específica, esto nos ayuda a determinar la configuración del montaje adecuado.

Después de identificar el posicionamiento se identifica los puntos del montaje, esto se refiere que los motores NEMA 23 tienen una brida cuadrada con cuatro orificios en las esquinas. Estos orificios son estándares y están posicionado en una cuadrícula aproximada de 50 mm.

Existen varias opciones de soporte de montaje disponibles en el mercado, como soportes tipo L, soportes en U, soportes en T, etc. Sin embargo, estos tipos de soportes no se adaptan a nuestras necesidades, es por ello, que se procedió a crear un diseño conveniente para los actuadores.

Utilizando un software de Diseño Asistido por Computadora (CAD) es posible crear un modelo 3D del soporte de montaje. Es importante dimensionar correctamente los orificios de montaje para que coincidan con los actuadores.

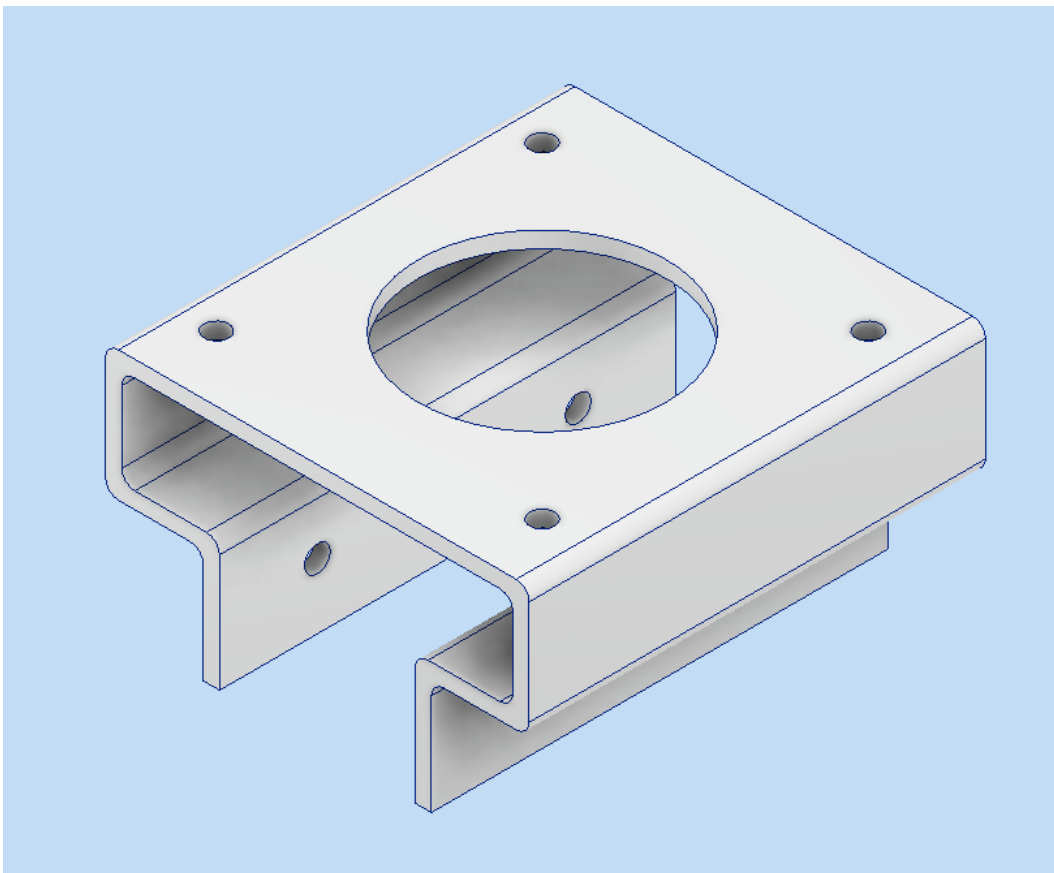


Figura 18. Soporte de motores NEMA 23 diseñados para el proyecto.

Los materiales más comunes en el mercado para estos soportes son metales, como acero o aluminio, para brindar resistencia y estabilidad. Para seleccionar el material es indispensable considerar el entorno de aplicación y las cargas que el actuador tendrá que soportar. Es por ello, que se propuso implementar aluminio 6061, el cual por sus excelentes propiedades mecánicas (ver Tabla 7), es una buena opción para la implementación de los sistemas de fijación.

Tabla 7. Propiedades del material.

Nombre	Aluminio 6061	
General	Densidad de masa	2.7 g/cm ³
	Límite de elasticidad	275 MPa
	Resistencia máxima a tracción	310 MPa
Tensión	Módulo de Young	68.9 GPa
	Coefficiente de Poisson	0.33
	Módulo cortante	25.9023 GPa

Antes de proceder con la fabricación del soporte, debemos de verificar que sean confiables y que soporten las fuerzas a las que se someterán, es por ello que se procede a analizar las tensiones que puede sufrir el soporte.

Las fuerzas que debe soportar las bases diseñadas son el peso del actuador tipo NEMA 23 y el mayor momento de torsión que genera el actuador a la hora de su accionamiento, para hacer el análisis se efectúa mediante un software CAD, con lo cual se obtuvo como resultado lo mostrado en la Tabla 8.

Tabla 8. Resumen de resultados soporte NEMA 23.

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	25800.6 mm ³	
Masa	0.0696617 kg	
Tensión de Von Mises	0.00689824 MPa	4.15764 MPa
Primera tensión principal	-2.26951 MPa	6.90326 MPa
Tercera tensión principal	-6.20963 MPa	2.46892 MPa
Desplazamiento	0 mm	0.00237123 mm
Coefficiente de seguridad	15 %	15 %
Tensión XX	-2.79811 MPa	3.09282 MPa
Tensión XY	-1.50079 MPa	1.34939 MPa
Tensión XZ	-0.983524 MPa	0.615417 MPa
Tensión YY	-5.11142 MPa	6.29954 MPa
Tensión YZ	-1.52567 MPa	1.43933 MPa
Tensión ZZ	-4.10837 MPa	3.57435 MPa
Desplazamiento X	-0.00108372 mm	0.00108469 mm
Desplazamiento Y	-0.00213301 mm	0.00042333 mm
Desplazamiento Z	-0.000794181 mm	0.000793658 mm
Deformación equivalente	0.000000907796	0.0000608564
Primera deformación principal	0.000000655617	0.0000735541
Tercera deformación principal	-0.0000658536	-0.000000227932
Deformación XX	-0.000024251	0.0000183093
Deformación XY	-0.0000289703	0.0000260477
Deformación XZ	-0.0000189853	0.0000118796
Deformación YY	-0.0000515708	0.0000619005
Deformación YZ	-0.0000294505	0.0000277838
Deformación ZZ	-0.0000305005	0.0000349527

En general, para determinar si los resultados de diseño son buenos para la implementación en la base para los NEMA 23, se deben analizar los resultados para concluir si todos los parámetros cumplen con los objetivos.

La tensión de Von Mises es un criterio utilizado para evaluar si a resistencia de una pieza o material es buena ante la combinación de diferentes tensiones, como se muestra en la Figura 19, se cuenta con un valor mínimo y uno máximo, esto representan que si al someter un esfuerzo dentro de estos límites, la pieza tendrá un comportamiento seguro, ya que puede soportar el esfuerzo sin sufrir fallas.

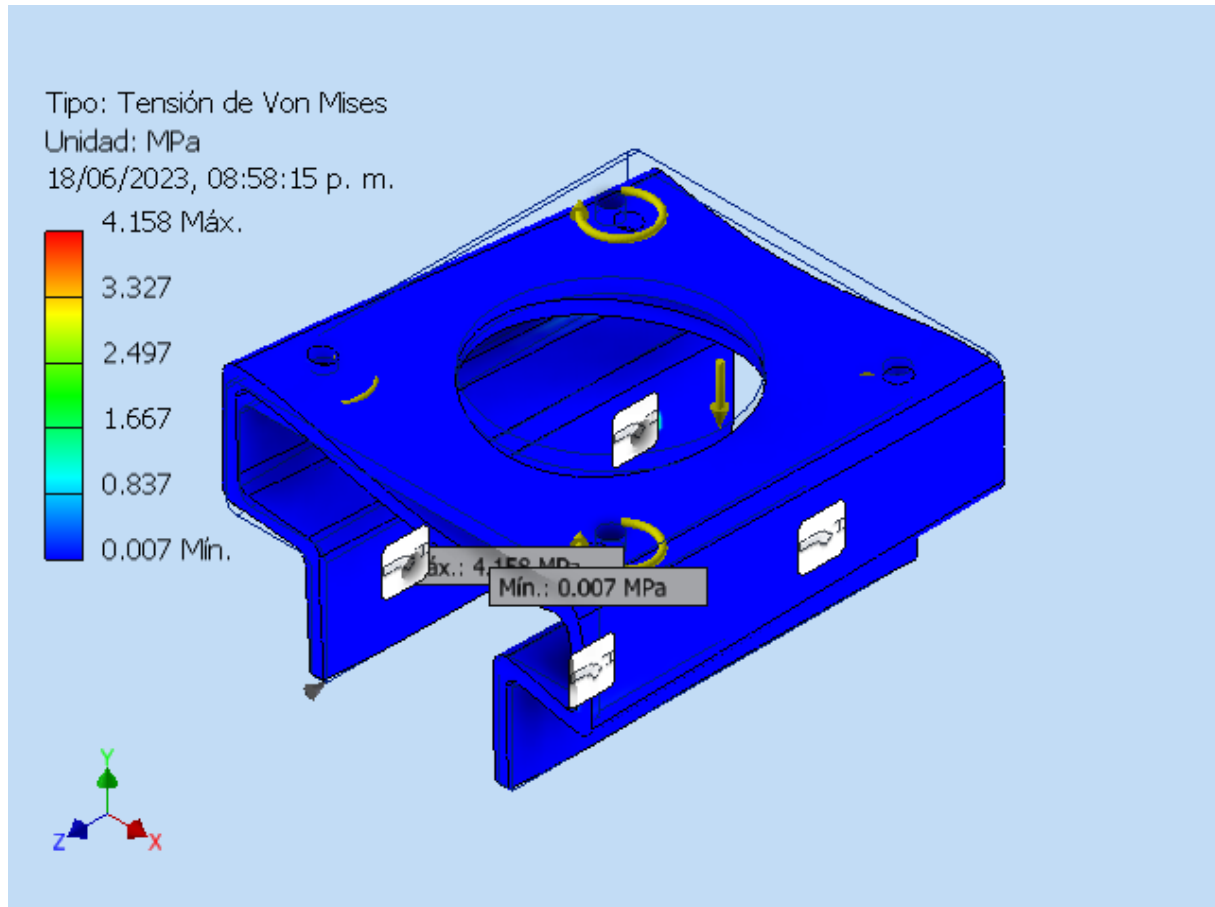


Figura 19. Prueba de tensión de Von Mises en base para NEMA 23.

Los valores mínimos y máximos de desplazamiento mostrados en la Figura 20, indican el rango de movimiento de la pieza. Si los desplazamientos se mantienen dentro de estos límites, se considera como aceptables y no afectan negativamente el rendimiento o estabilidad de la pieza, y es por ello que se considera como buena característica de diseño.

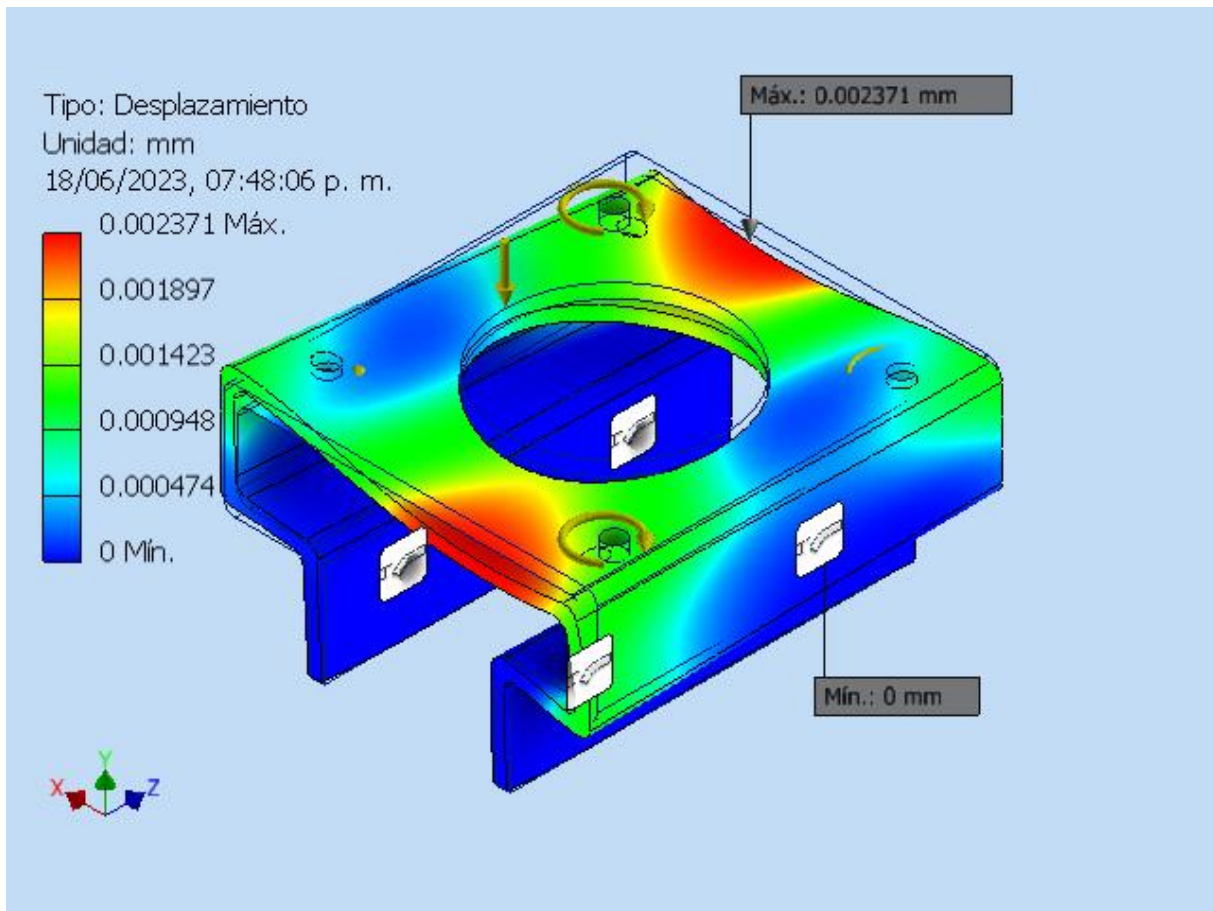


Figura 20. Desplazamiento en base para NEMA 23.

Existe un coeficiente de seguridad, el cual se representa en la Tabla 8, este valor indica que el diseño se ha realizado considerando un margen adicional de resistencia para garantizar la confiabilidad y la seguridad de la pieza, es por ello que se considera como un indicador positivo para así proceder a fabricar los soportes de acuerdo al diseño propuesto. Para mayor información tanto de planos técnicos como del análisis aplicado en las bases de los actuadores NEMA 23, ver la sección A y C del Apéndice.

4.4 Sistema electromecánico que reemplazará al actuador neumático.

Para sustituir el actuador neumático con el que cuenta el robot, se debe comprender los requerimientos necesarios para un buen remplazo, para ello, se debe de realizar un diagrama de cuerpo libre, para conocer el mínimo momento de torsional que debe entregar el remplazo del actuador neumático.

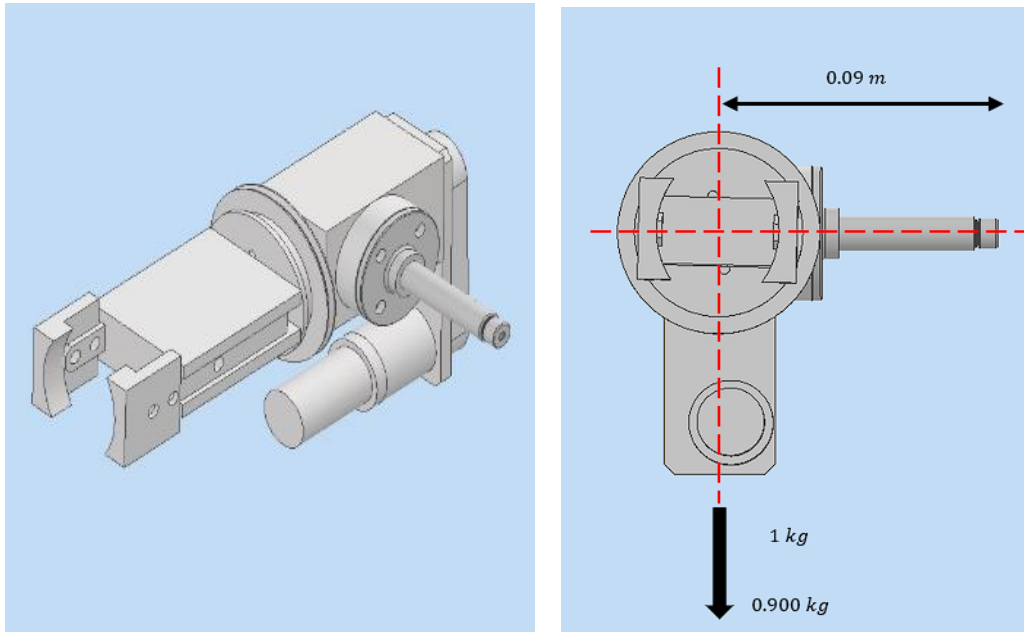


Figura 21. Diagrama de cuerpo libre de la muñeca del robot.

Una vez conocidas las fuerzas que interactúan en la muñeca (véase Figura 21), se procede a realizar los cálculos siguientes. Como se propuso anteriormente la muñeca deberá cargar 1 kg y el peso de la muñeca es de 0.900 kg.

$$F_{N_{muñeca}} = m_4 * a$$

$$F_{N_{muñeca}} = (1 + 0.99 \text{ kg}) * \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) = 18.639 \text{ N}$$

En este caso no se tomará en cuenta una fuerza de fricción, ya que este el contacto ente ejes es pequeño y es insignificante, por lo cual, con esta fuerza normal nos permitirá determinar el mínimo momento de torsión requerido para la selección del actuador.

$$\tau_{muñeca} = F_{N_{muñeca}} * d$$

$$\tau_{muñeca} = (18.639 \text{ N}) * (0.09 \text{ m}) = 1.677 \text{ Nm}$$

Con los cálculos antes vistos, es posible seleccionar un motor que cumpla con el objetivo, es por ello que se procedió a buscar y seleccionar un actuador del tipo motorreductor que tengan el suficiente momento de torsión.

Haciendo la comparación de varios actuadores en el mercado, se propuso implementar un motor de la marca YWBL-WH (ver Figura 22), el cual cuenta con las especificaciones mostradas en la Tabla 9.

Tabla 9. Especificaciones del motor YWBL-WH.

Modelo	Voltaje [V]	Corriente [A]	RPM	Torque [Nm]	Fuerza radial [kg/cm]
YWBL-WH	12	1.6	30	3.922	40

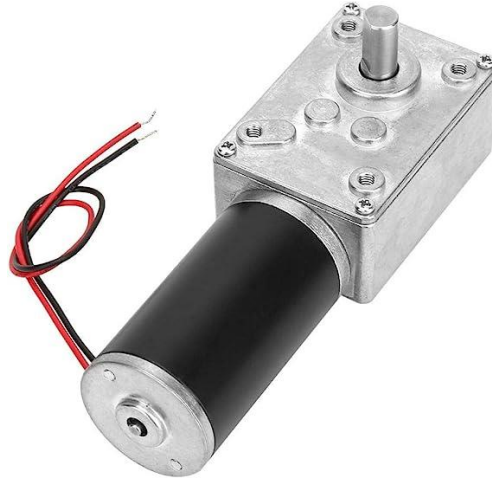


Figura 22. Motor YWBL-WH.

4.5 Diseño del sistema de fijación del actuador electromecánico.

El diseño del sistema de fijación del actuador electromecánico se llevó a cabo considerando dos aspectos importantes como en el apartado 4.3, el cual considera el tipo de orientación y el posicionamiento del montaje del actuador, para posteriormente realizar el diseño en n CAD y en seguida simular las fuerzas y cargas involucradas.

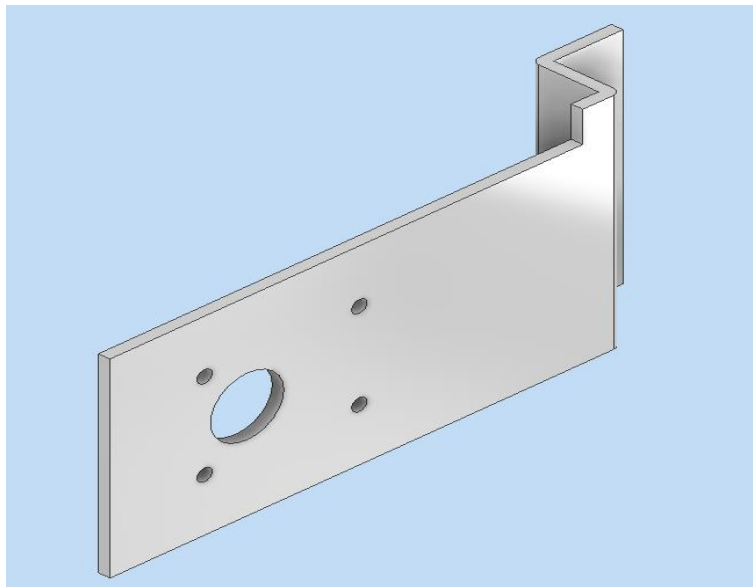


Figura 23. Soporte para el motorreductor diseñado en un CAD.

Para hacer la simulación, se implementó el mismo material con el cual se diseñaron las bases de los motores NEMA 23, el cual cuenta con las propiedades mostradas en la Tabla 7. Se procede a simular y comprobar que soporte sea óptimo para su funcionamiento, lo cual se obtuvo como resultado mostrado en la Tabla 10.

Tabla 10. Resumen de resultados para el soporte del Motorreductor.

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	31512 mm ³	
Masa	0.0850823 kg	
Tensión de Von Mises	0.00539905 MPa	34.568 MPa
Primera tensión principal	-23.2261 MPa	52.7373 MPa
Tercera tensión principal	-59.6739 MPa	20.4192 MPa
Desplazamiento	0 mm	0.205604 mm
Coeficiente de seguridad	7.95534 %	15 %
Tensión XX	-27.2148 MPa	23.7796 MPa
Tensión XY	-6.79244 MPa	6.97217 MPa
Tensión XZ	-12.3518 MPa	8.68263 MPa
Tensión YY	-27.357 MPa	24.1416 MPa
Tensión YZ	-9.77084 MPa	11.1951 MPa
Tensión ZZ	-55.6852 MPa	49.3769 MPa
Desplazamiento X	-0.00676627 mm	0.179947 mm
Desplazamiento Y	-0.0336905 mm	0.0861142 mm
Desplazamiento Z	-0.0512413 mm	0.0507841 mm
Deformación equivalente	0.0000000705253	0.000513495
Primera deformación principal	0.0000000593597	0.000551992
Tercera deformación principal	-0.000623824	-0.0000000565528
Deformación XX	-0.000162148	0.000172421
Deformación XY	-0.000131117	0.000134586
Deformación XZ	-0.000238431	0.000167604
Deformación YY	-0.000232736	0.000249534
Deformación YZ	-0.00018861	0.000216102
Deformación ZZ	-0.000546828	0.000487125

Debemos de asegurar que los resultados de la simulación comprueben un buen funcionamiento de la pieza para la implementación del robot. Como se explicó en el apartado 4.3, la tensión de Von Moisés indica el nivel de deformación plástica o la falla bajo cargas en la pieza, lo cual, en esta simulación se encuentra dentro de los límites de resistencia para la pieza indicando que el material tiene la capacidad de soportar las cargas esperadas. En la Figura 24, se muestra los valores mínimo y máximo obtenidos en la simulación.

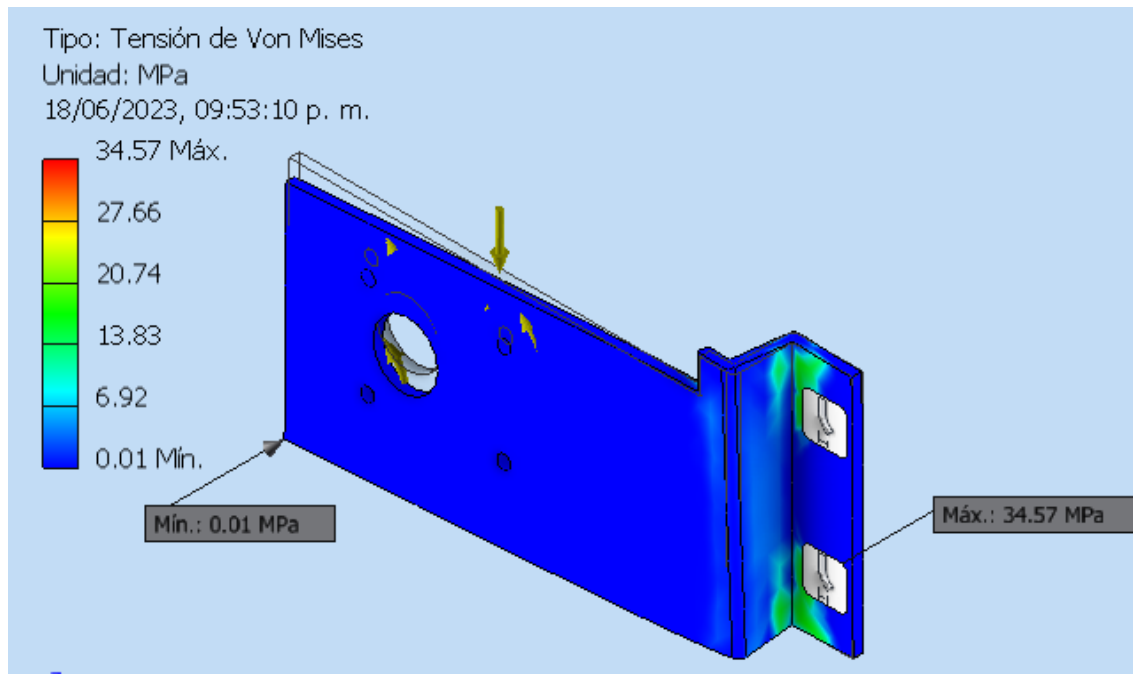


Figura 24. Prueba de tensión de Von Mises en Motorreductor.

Ahora bien, el desplazamiento sufrido en el diseño de la base para el motorreductor, se muestra en la Figura 25, este desplazamiento se refiere a la magnitud y dirección del movimiento experimentado en la pieza debido a la aplicación del peso y torque que genera el motorreductor. Si los desplazamientos se encuentran dentro de los límites aceptables y no afectan el rendimiento o la funcionalidad del actuador, se considera que el diseño es bueno para la implementación del robot.

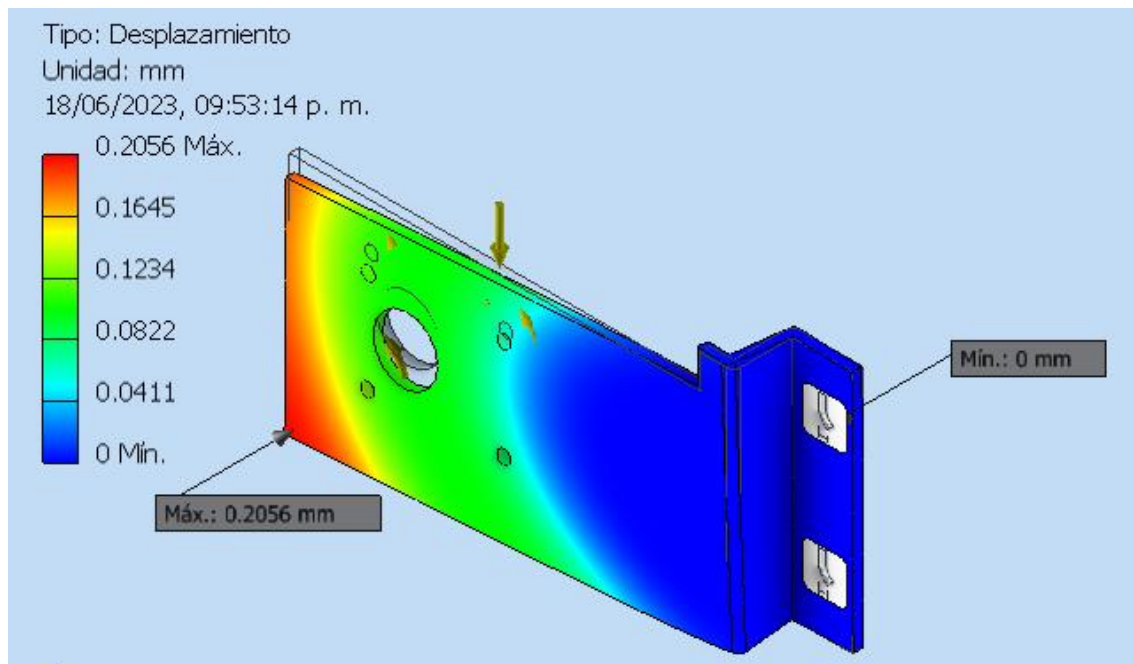


Figura 25. Desplazamiento en Motorreductor.

Existe un coeficiente de seguridad, el cual se representa en la Figura 26, indica que el diseño se ha realizado considerando un margen adicional de resistencia para garantizar la confiabilidad y la seguridad de la pieza.

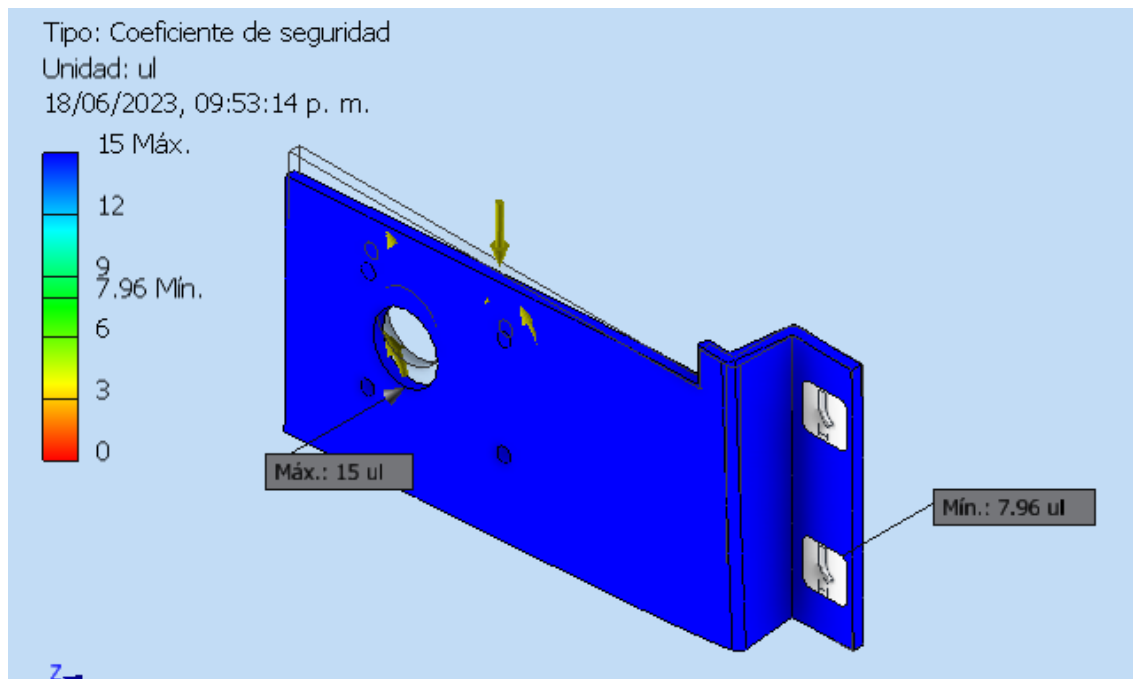


Figura 26. Coeficiente de seguridad - Base Motorreductor.

En esta ocasión se tiene un coeficiente de 7.86, esto nos indica que la resistencia del material utilizado en la base es aproximadamente 7.86 veces mayor que las fuerzas aplicadas sobre la pieza. Esto quiere decir que la capacidad de carga del material es considerablemente mayor que las cargas a las que está expuesto.

Considerando lo anterior se proceder a fabricar los soportes de acuerdo al diseño propuesto. Para mayor información tanto de planos técnicos como del análisis aplicado en la base del motorreductor, ver la sección A y C del Apéndice.

4.6. Programación y componentes electrónicos.

4.6.1 Placa Arduino Mega 250

El sistema de control que se implementará para el accionamiento de los actuadores electromecánicos se utilizará una placa Arduino Mega 250, este tipo de hardware es de excelente utilidad, ya que para proyectos de este tipo son muy amigables.

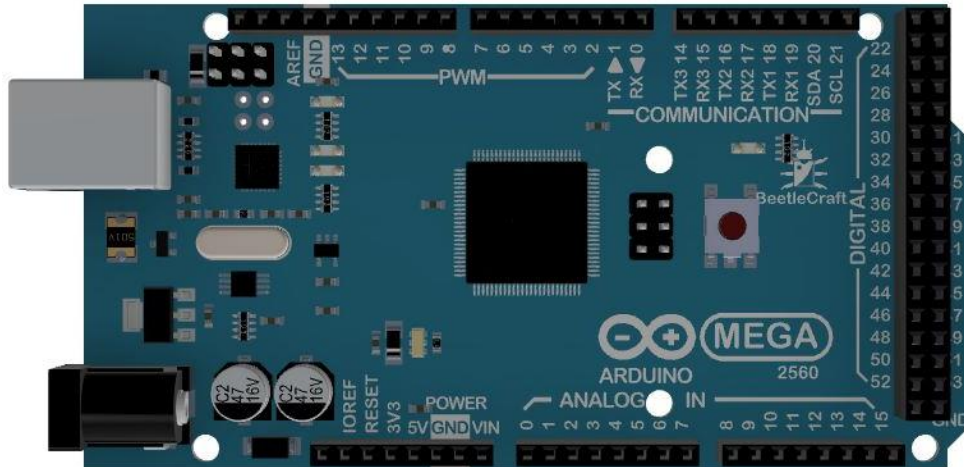


Figura 27. Arduino Mega 2560.

Como se muestra en la Figura 27, la placa cuenta con varios componentes electrónicos los cuales nos ayudan a generar pequeños pulsos de voltaje que nos servirán para el accionamiento de los actuadores, de igual manera cuenta con borneras encargadas de recibir señales mediante otros componentes como botones o joystick los cuales ayudan a controlar el movimiento de los actuadores.

4.6.2 Drivers

Para que los actuadores tengan un funcionamiento, es indispensable utilizar drivers. Los drivers son dispositivos electrónicos que se encargan de suministrar la corriente adecuada y generar los pulsos de control necesarios para que el actuador funcione de manera precisa. Estos controladores pueden variar en cuanto a su diseño, características y capacidades, pero en general, su función principal es convertir las señales de entrada en pulsos de corriente.

Con base en lo anterior, y el conocimiento de las especificaciones de los actuadores NEMA 23, se propone implementar un driver del tipo TB6600 (ver Figura 28).

Ahora bien, un controlador utilizado comúnmente para el accionamiento de los motores de corriente continua (DC) en proyectos electrónicos, proporciona un medio conveniente para alimentar y controlar la dirección de los motores de manera independiente. Es por ello que se propone la utilización de un Driver del tipo L298N (ver Figura 29).



Figura 28. Driver TB6600.

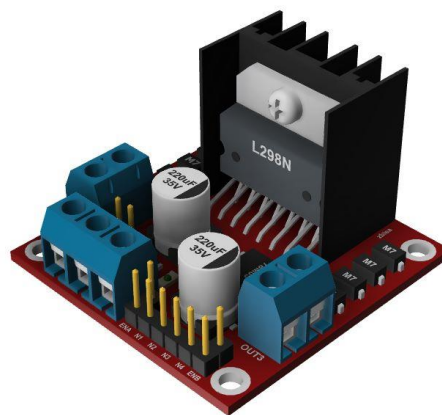


Figura 29. Driver L298N.

4.6.3 Diagrama eléctrico.

Los diagramas electrónicos son representaciones gráficas que representan las conexiones entre componentes, en este caso se expresarán la unión de todos estos para que los motores a utilizar sean accionados mediante botones y un joystick. Estos diagramas se utilizan para comunicar visualmente la estructura y el funcionamiento de un circuito, facilitando la comprensión de su diseño, ver Figuras 30 y Figura 31.

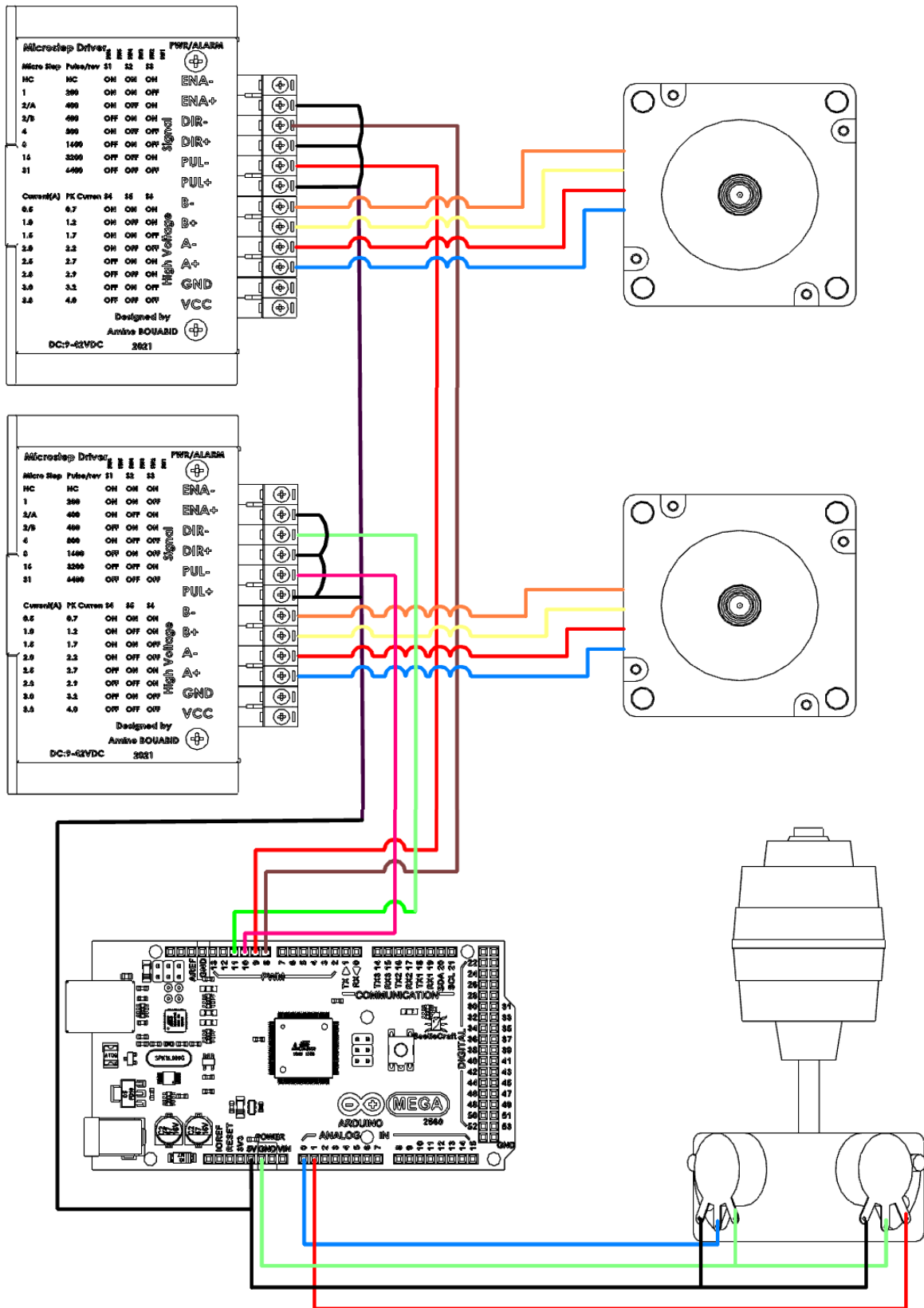


Figura 30. Diagrama eléctrico Arduino – Driver TB6600– NEMA 23 - Joystick.

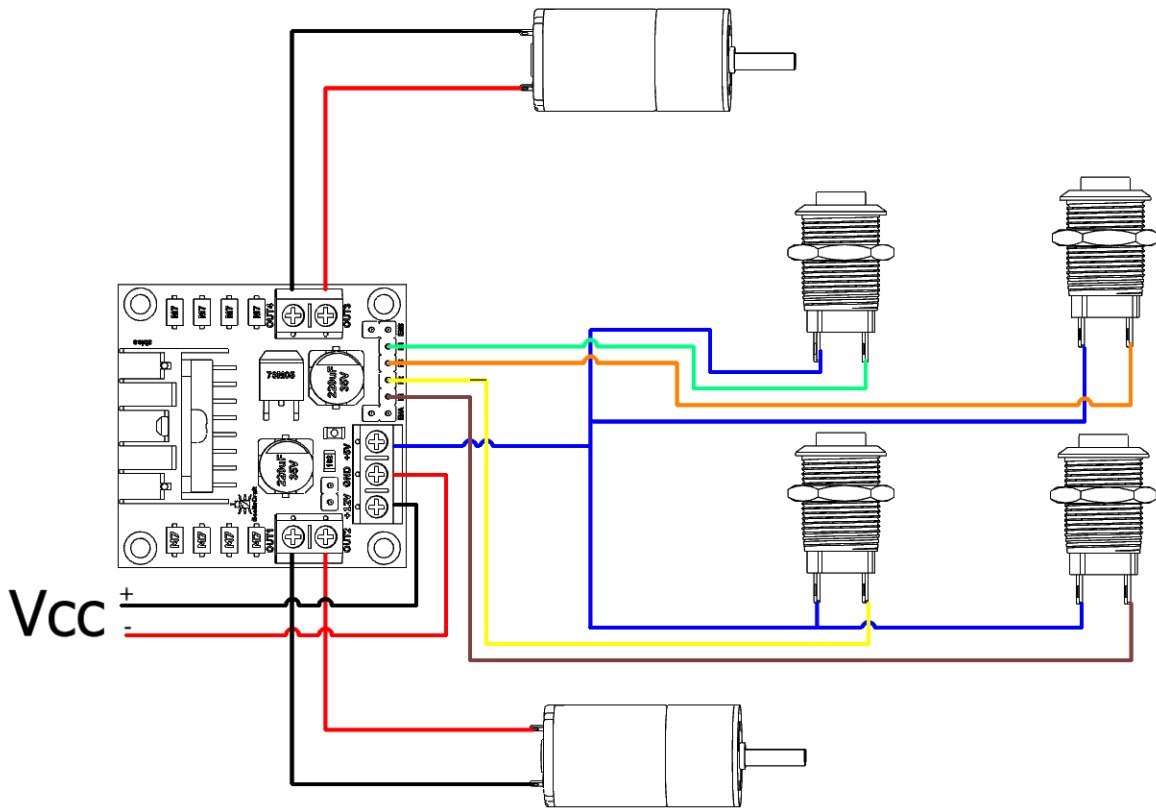


Figura 31. Diagrama eléctrico Driver L298N – Motores DC – Botones.

Como se mencionó anteriormente el control de los ejes tanto lineales como rotacionales son accionados mediante la utilización de botones push y un joystick de palanca, los cuales están ubicados en una botonera (ver Figura 32), el cual es el mando de los motores NEMA 23 como de los motores DC.

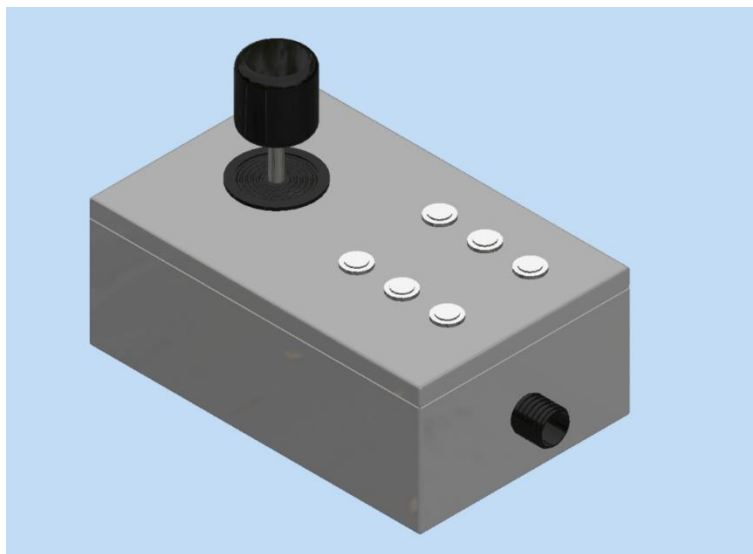


Figura 32. Mando o botonera de los ejes del robot

Una vez teniendo los elementos necesarios para el funcionamiento de los motores, se estableció la programación utilizando la plataforma Arduino IDE. El código se divide generalmente en dos partes: la configuración inicial y el bucle principal.

En la configuración inicial se definen los pines de entrada y salida, establecer velocidades de comunicación y configuración de parámetros iniciales que debe presentar el robot.

Mientras tanto, en el bucle principal se colocan las líneas del código que se ejecutará repetitivamente mientras el robot esté en funcionamiento. Aquí es donde se encuentran los movimientos, se leerán los botones y el joystick para la toma de decisiones. El código diseñado para el funcionamiento del robot cilíndrico se puede observar en el apartado C del Apéndice.

4.7 Diseño y fabricación de una base móvil para el brazo robot.

El proceso del diseño de una base móvil se comienza con el análisis de acuerdo a las dimensiones y peso del robot cilíndrico. Para ello, el material que se propone implementar en la base móvil es PTR, también conocido como Perfil Estructural Rectangular, es un material comúnmente utilizado en la construcción de estructuras metálicas. Este tipo de acero estructural cuenta con unas excelentes propiedades mecánicas, lo cual se caracteriza por su forma rectangular hueca, que proporciona resistencia y rigidez.

Con el fin de cumplir con los objetivos del proyecto, se busca la solución al problema diseñando una estructura en un software CAD, la cual se representa en la Figura 33.



Figura 33. Base móvil diseñados en un CAD.

4.8 Seleccionar y cotizar los componentes del sistema mecánico y electromecánico.

Para que el robot tenga un adecuado funcionamiento, se dispone a buscar en el mercado los materiales que se analizaron previamente, esto con el fin de analizar el costo aproximado el cual se describe en la Tabla 11.

Tabla 11. Costos de materiales para la implementación del proyecto.

No.	Cantidad	Descripción	Precio unitario	Subtotal
1	2	Driver TB6600	\$ 199.00	\$ 398.00
2	1	Driver L298NR	\$ 60.00	\$ 60.00
3	6	Botones push	\$ 35.00	\$ 210.00
4	1	Joystick	\$ 250.00	\$ 250.00
5	3	Acoples flexibles de aluminio	\$ 32.00	\$ 96.00
6	1	Motorreductor 30 rpm	\$ 453.00	\$ 453.00
7	6	Terminal Block 2 Pin	\$ 4.00	\$ 24.00
8	4	Thermofit 3/32"	\$ 5.50	\$ 22.00
9	50	Cable estaño	\$ 3.50	\$ 175.00
10	3	PTR 1" x 6m	\$ 256.00	\$ 768.00
11	1	Madera	\$ 500.00	\$ 500.00
12	1	Malla electrosoldada 1m x 1m	\$ 150.00	\$ 150.00
13	1	Caja Botonera	\$ 150.00	\$ 150.00
14	1	Lamina calibre 14 - 4m	\$ 500.00	\$ 500.00

SUMA =	\$ 3,756.00
--------	-------------

5. RESULTADOS

Una vez adecuado mecánicamente el robot de configuración cilíndrica, se realizaron pruebas de inspección, tanto en la movilidad, apariencia y el funcionamiento adecuado del brazo robot. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada una de estas áreas:

1. Inspección en las bases diseñadas para los actuadores NEMA 23.

Se llevó a cabo una inspección en las bases diseñadas para los NEMA 23. Estas bases desempeñan un papel fundamental en la fijación y estabilidad de los motores, asegurando su correcto funcionamiento y un rendimiento óptimo.

- **Diseño y construcción de las bases:**
Las bases fueron diseñadas teniendo en cuenta las especificaciones técnicas de los motores NEMA 23 y las consideraciones de montaje en el robot. Ver Figura 34 donde se muestra la base en el eje X, y la Figura 35, donde se muestra la base en el eje Y.

Se evaluó la robustez y la calidad de los materiales utilizados de la base, verificando que fueran lo suficientemente resistentes y duraderos para soportar las cargas y vibraciones asociadas al accionamiento.

- **Ajuste y alineación de los motores:**
Se inspeccionó que los motores acoplaran correctamente en las bases y que a la hora de fijarlos estuviesen con un ajuste seguro y estable. Se evaluó la alineación de los ejes del motor con los componentes y sistemas a los que se conectan en este caso el tornillo de avance.
- **Estabilidad:**
Se verificó que las bases proporcionaran un soporte sólido y que los motores permanecieran firmemente fijados, evitando cualquier movimiento no deseado o vibraciones excesivas que pudieran afectar su rendimiento.

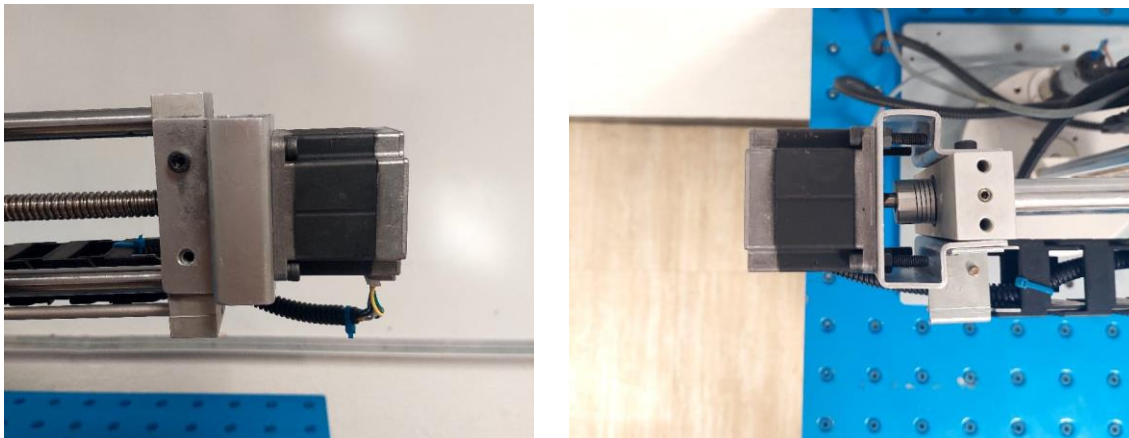


Figura 34. Base en Eje X.

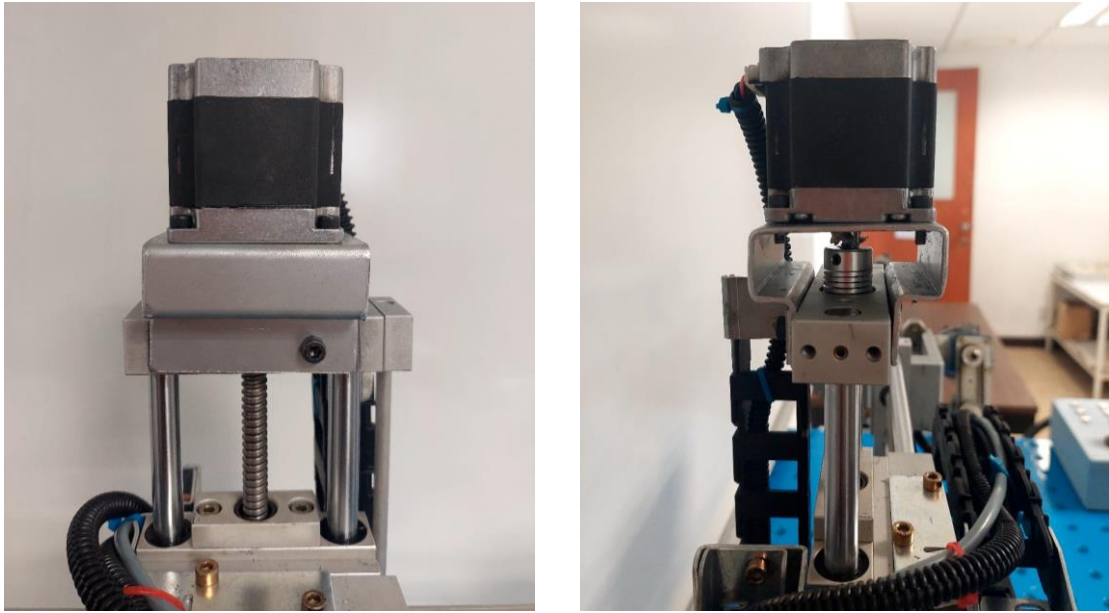


Figura 35. Base en Eje Y.

2. Inspección en la base y funcionamiento del motorreductor de la muñeca.

Durante el proceso de evaluación, se realizó una inspección del ensamble de toda la muñeca del robot. La muñeca desempeña un papel importante en la manipulación y movimiento preciso de objetos, por lo que fundamentalmente debemos asegurar la integridad y el correcto funcionamiento del motorreductor.

Posteriormente, se representan los resultados y hallazgos obtenidos durante esta inspección (véase la Figura 36):

- Inspección de la base:
Se examinó la base del motorreductor para verificar su estructura, resistencia y estabilidad, también se verificó que la base este correctamente alineada y fija de manera que sea segura para su implementación en el robot.
- Funcionamiento del motorreductor:
Para este apartado se evaluó el rendimiento y funcionamiento del motorreductor en la muñeca. Se comprobó que el motorreductor respondiera adecuadamente a los comandos de movimiento.

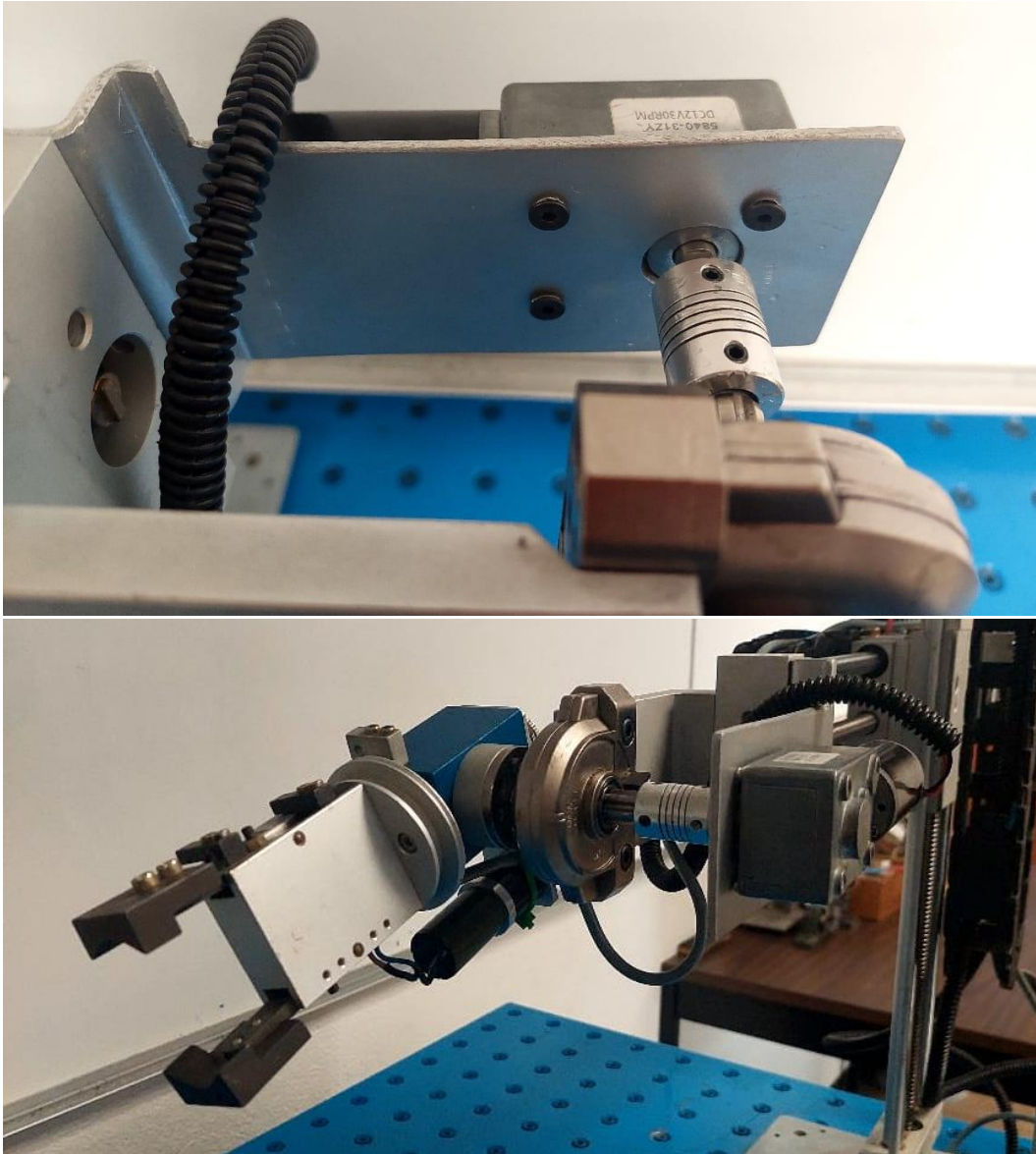


Figura 36. Ensamble de la base y motorreductor en la muñeca.

3. Botonera, y circuitos eléctrico y electrónico.

Esta inspección tuvo como objetivo garantizar la integridad de todos los componentes electrónicos y el correcto funcionamiento del robot eléctricamente.

- Inspección del circuito:

Se examinaron todas las conexiones eléctricas del circuito, verificando que estuvieran correctamente conectados. Se inspeccionaron los cables para asegurarse de que estén en buen estado y sin signos de rotura. Véase la Figura 37.

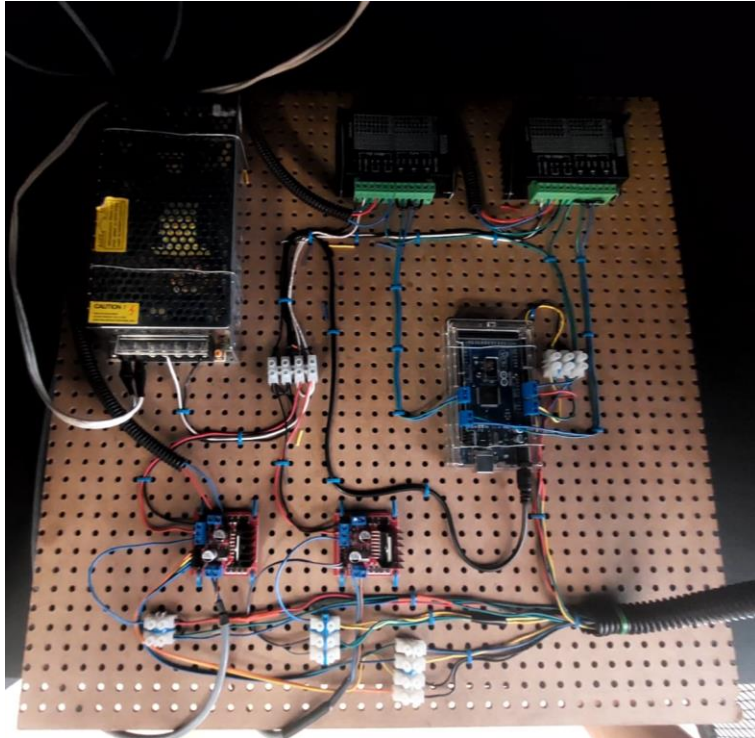


Figura 37. Circuitos eléctrico y electrónico.

- Inspección de la botonera:

Se examinaron los botones y el joystick de control, verificando que estuvieran en buen estado y respondieran adecuadamente. Sin embargo se tuvieron algunos problemas en los botones, ya que, al presionarlos, no mandaban las señales adecuadas al Arduino, por ello, se decidió sustituir los botones plásticos, por botones de mayor calidad (véase la Figura 38).



Figura 38. Reemplazó de botones de plástico por botones metálicos.

4. Inspección del funcionamiento de la base móvil para el robot cilíndrico. Durante el proceso de evaluación, se realizó una inspección especialmente a la movilidad y versatilidad en entornos de trabajo para el robot, permitiendo el traslado y almacenamiento de todo el circuito como se muestra en la Figura 39.

- Funcionamiento de las llantas:

Se evaluó el estado y la calidad de las llantas de la base móvil (véase la Figura 39), verificando que estuvieran en buen estado, sin deformaciones ni desgaste excesivo, de igual manera se comprobó la movilidad y el desplazamiento suave de las llantas, asegurándose de que pudieran girar libremente.



Figura 39. Base móvil para el robot cilíndrico.

- Capacidad de carga y estabilidad:

Se examinó la capacidad de carga de la mesa, asegurándose de que estuviera diseñada y construida para soportar el peso y los objetos previstos sin sufrir deformaciones ni comprometer su estabilidad.

De igual manera se evaluó la estabilidad de la mesa con las llantas bloqueadas, verificando que pudiera mantenerse firme y sin movimientos inestables (ver Figura 40).



Figura 40. Base móvil para el robot cilíndrico.

6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Los resultados obtenidos en las pruebas de inspección indican que el brazo robot de configuración cilíndrica, una vez adecuado mecánicamente y puesto en operación utilizando una placa Arduino, ha superado las expectativas en cuanto movilidad, apariencia y funcionamiento. Se han cumplido los criterios de diseño y se ha logrado un buen desempeño en términos de estabilidad.

Sin embargo, se identificaron algunos problemas, como los botones que no accionaban de acuerdo a lo esperado y de igual forma los acoplamientos, ya que estos si no tienen un buen ajuste o simplemente los prisioneros los cuales cuenta en algunas ocasiones se aflojan y surge la falla de que no ajusta bien con el tornillo de avance lo cual provoca movimientos tanto en las bases como en los ejes.

En resumen, el análisis de resultados muestra que el proyecto ha sido exitoso en la adecuación mecánica y puesta en operación del brazo robot de configuración cilíndrica (véase la Figura 41). Estos resultados sientan una base sólida para continuar con la implementación de tareas específicas y explotar posibles mejoras y aplicaciones adicionales.

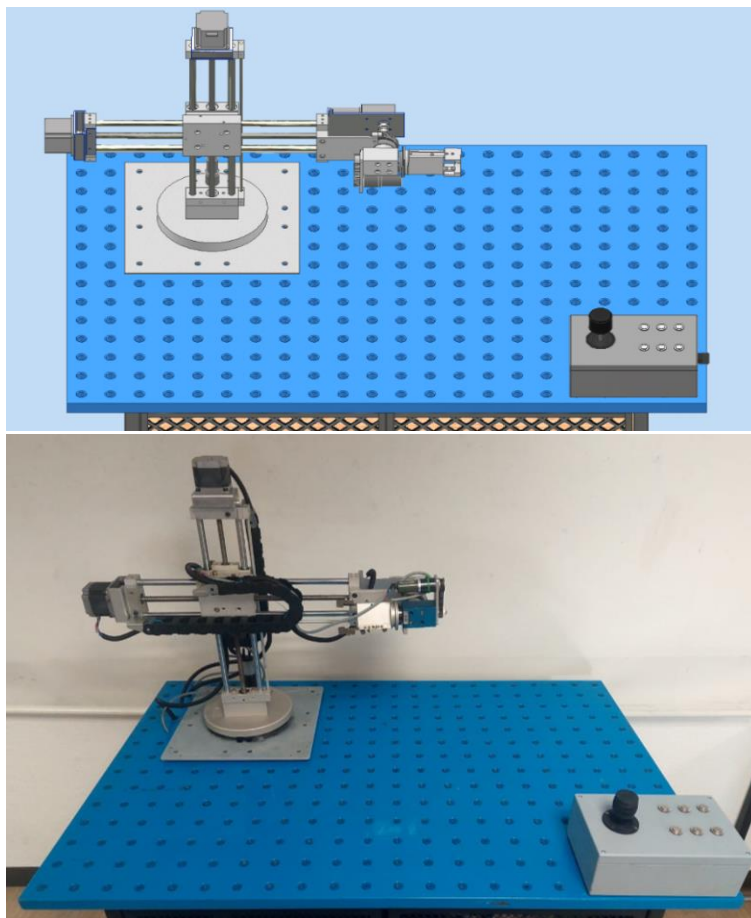


Figura 41. Diseño en CAD y proyecto físico.

7. CONCLUSIONES.

La adecuación mecánica del brazo robot, junto con la implementación de una placa Arduino y la integración de los diferentes sistemas, ha permitido poner en operación el brazo robot de configuración cilíndrica.

En conclusión, una vez realizadas las pruebas de inspección en el robot, se obtuvieron resultados positivos.

Las bases diseñadas para los motores Nema 23 demostraron ser robustas y resistentes, proporcionando un montaje seguro y estable.

En cuanto al remplazo de los actuadores en la muñeca, se encontró un adecuado funcionamiento, pero se detectó una ligera vibración en el efector final tipo pinza, debido al tipo de acoplamiento implementado. Es importante tener en cuenta este aspecto para futuras mejoras y optimizaciones, por ejemplo, analizando un posible reemplazo del acoplamiento por algo más rígido.

En lo que respecta al circuito y botonera, la inspección permitió resolver los problemas identificados, logrando un sistema en buen estado y un funcionamiento adecuado.

Es importante considerar mejoras posteriores al trabajo presentado aquí, por ejemplo, abordar un nuevo diseño del efector final con miras a posibilitar la sujeción de objetos. Es posible también trabajar en la posibilidad futura de implementar rutinas de secuencias de movimiento del brazo robot mostrando así sus capacidades de funcionamiento.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1]. Jara, R., Rodríguez, ME., López, YF., y Robles, RD., 2018, "Control de un robot cilíndrico", Revista de Ingeniería Biomédica y Biotecnología, 2 (5), págs. 22-23.
- [2]. Pérez, V., y Mayta, R., 2001, "Actualidad y perspectiva de la robótica", Facultad de ingeniería industrial, 4 (1), págs. 1-6.
- [3]. Barrientos, A., Peñin, LF., Balaguer, C., y Aracil, R., 2007, "Fundamentos de robótica", McGRAW-HILL, España.
- [4]. Colin, GS y Valencia, RJ, 2012, "Diseño, Manufactura y programación de un robot antropomórfico en un alcance de prototipo didáctico", Proyecto terminal, Universidad Autónoma Metropolitana.
- [5]. Lozano, JHE, 2016, "Aplicación de tarjetas de desarrollo (Arduino UNO y CNC Shield) en un sistema de control de movimiento", Proyecto terminal, Universidad Autónoma Metropolitana.
- [6]. Rivera, RP, 2022, "Rediseño del sistema de transmisión de potencia y el efector final de un brazo robot ubicado en el laboratorio de Mecanismos", Proyecto terminal, Universidad Autónoma Metropolitana.
- [7]. Serway, RA., y Jewett, JW., 2008, "Física para ciencias e ingeniería. Volumen 1 7 ed", CENGAGE Learning.
- [8]. CENAM, "Magnitudes". de <https://www.cenam.mx/FYP/Fuerza/magnitud1.aspx>
- [9]. García, A., "Conceptos básicos de micro controladores: Conociendo a Arduino". Panamá Hitek, Panamá.
- [10]. Groover, MP., 2007, "Fundamentos de manufactura moderna. 3ra ed", McGRAW-HILL, México.

9. ENTREGABLES

- I. Reporte final de proyecto de integración.
- II. Prototipo funcional del brazo robótico de configuración cilíndrica.
- III. Base móvil para el robot cilíndrico.

10. APÉNDICES

A. RESULTADOS DE SIMULACIONES

- **Complemento de simulación en base NEMA 23.**

Tabla 12. Fuerza y momento aplicada en base NEMA 23.

Fuerza		Momento	
Tipo de carga	Fuerza	Tipo de carga	Momento
Magnitud	5.800 N	Magnitud	1260.000 N mm
Vector X	0.000 N	Vector X	0.000 N mm
Vector Y	-5.800 N	Vector Y	-1260.000 N mm
Vector Z	0.000 N	Vector Z	0.000 N mm

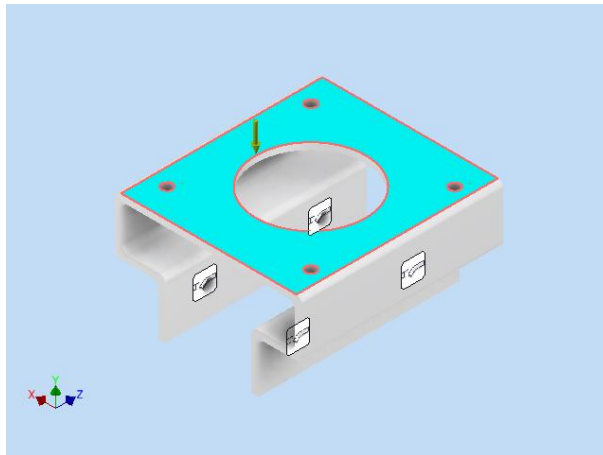


Figura 42. Cara(s) seleccionada(s) – Fuerza Base NEMA 23.

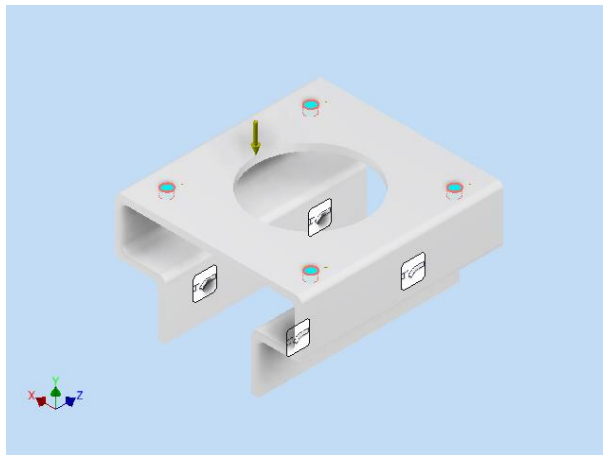


Figura 43. Cara(s) seleccionada(s) – Momento - Base NEMA 23.

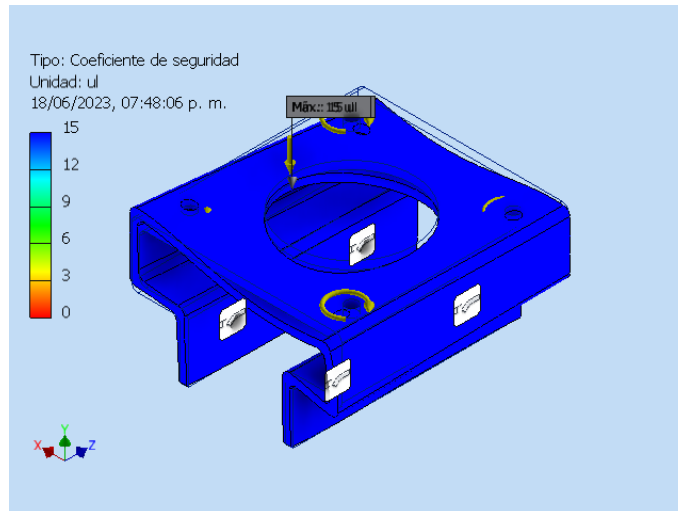


Figura 44. Coeficiente de seguridad - Base NEMA 23.

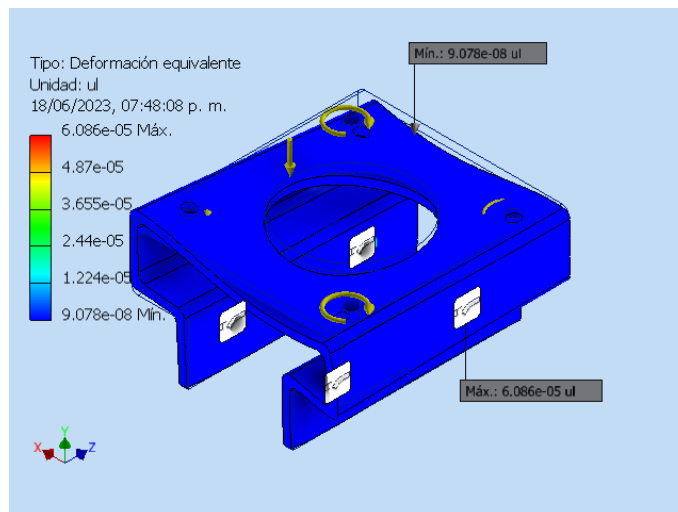


Figura 45. Deformación equivalente - Base NEMA 23.

- **Complemento de simulación en base del motorreductor.**

Tabla 13. Fuerza y momento aplicada en base del motorreductor.

Fuerza	
Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	3.481 N
Vector X	3.481 N
Vector Y	0.000 N
Vector Z	-0.000 N

Momento	
Tipo de carga	Momento
Magnitud	3923.000 N mm
Vector X	0.000 N mm
Vector Y	3923.000 N mm
Vector Z	0.000 N mm

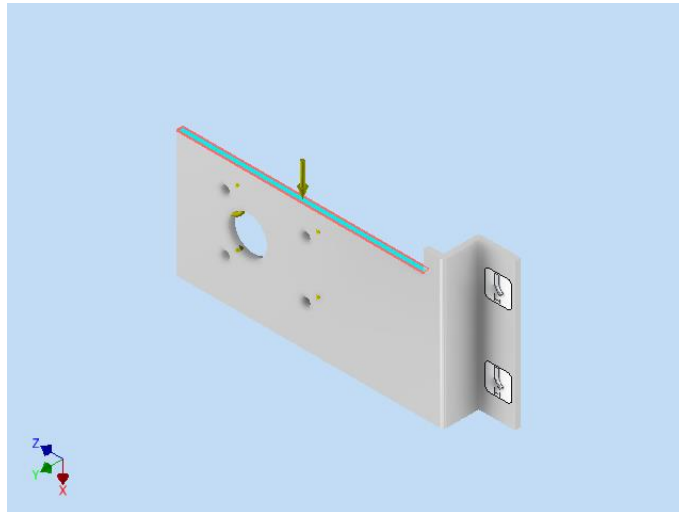


Figura 46. Cara(s) seleccionada(s) – Fuerza - Base Motorreductor.

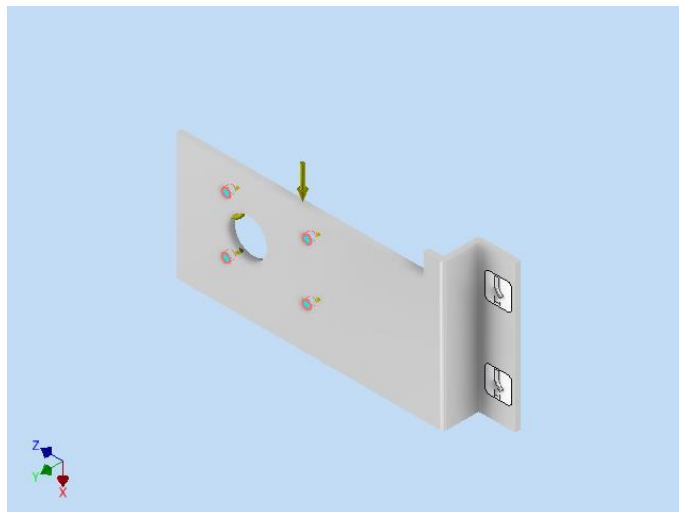


Figura 47. Cara(s) seleccionada(s) – Momento - Base Motorreductor.

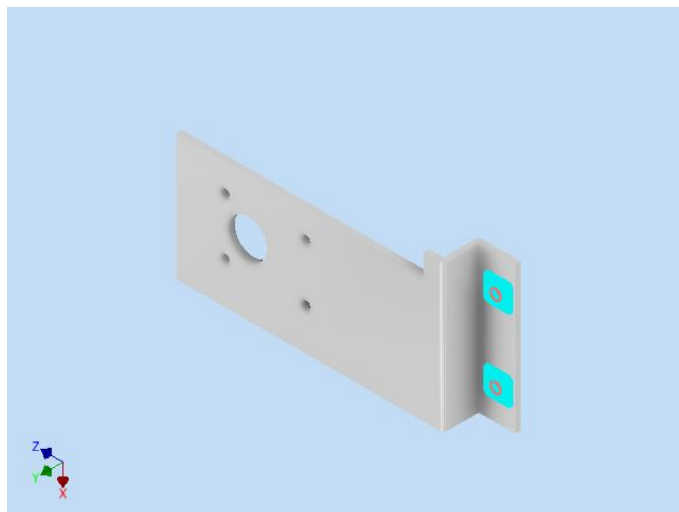


Figura 48. Restricción fija: Cara(s) seleccionada(s) - Base Motorreductor.

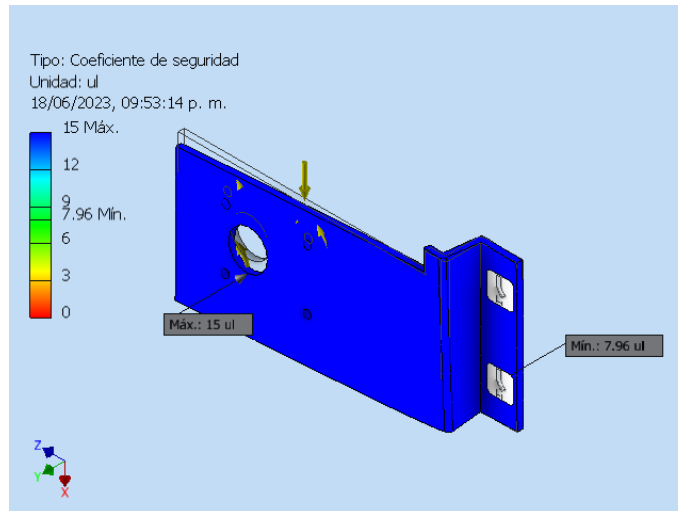


Figura 49. Coeficiente de seguridad - Base Motorreductor.

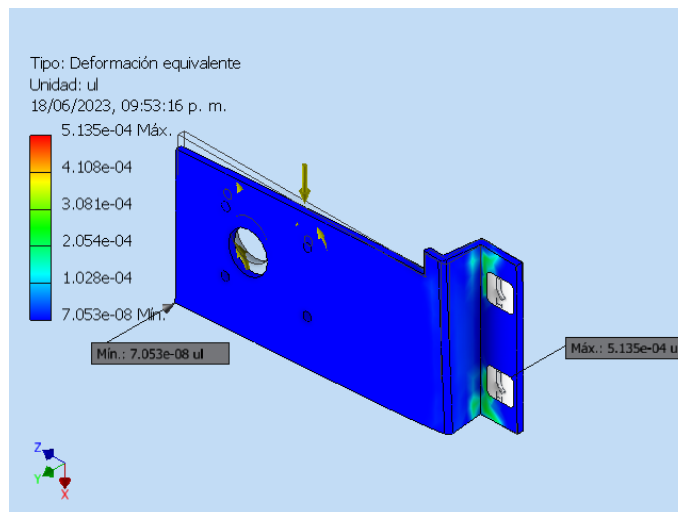


Figura 50. Deformacion equivalente- Base Motorreductor.

B. CÓDIGO ELABORADO EN LA PLATAFORMA GRATUITA ARDUINO IDE.

```
#include <AccelStepper.h>

AccelStepper stepper(1, 11, 13);
AccelStepper stepper2(1, 7, 5);

//Pines
const byte Analog_X_pin = A0;
const byte Analog_Y_pin = A2;

//Variables
int Analog_X = 0;
int Analog_Y = 0;

//Variables Promedio
int Analog_X_AVG = 0;
int Analog_Y_AVG = 0;

void setup()
{
  //PINS
  pinMode(Analog_X_pin, INPUT);
  pinMode(Analog_Y_pin, INPUT);
  //-----
  InitialValues();
  //-----
  //Datos motor nema
  stepper.setMaxSpeed(2500);
  stepper.setAcceleration(500);
  stepper.setSpeed(250);
  delay(500);
  //-----
  //Datos motor nema 2
  stepper2.setMaxSpeed(2500);
  stepper2.setAcceleration(500);
  stepper2.setSpeed(250);
  delay(500);
}

void loop()
{
  ReadAnalog();
  stepper.runSpeed();
  stepper2.runSpeed();
}
```

```

}

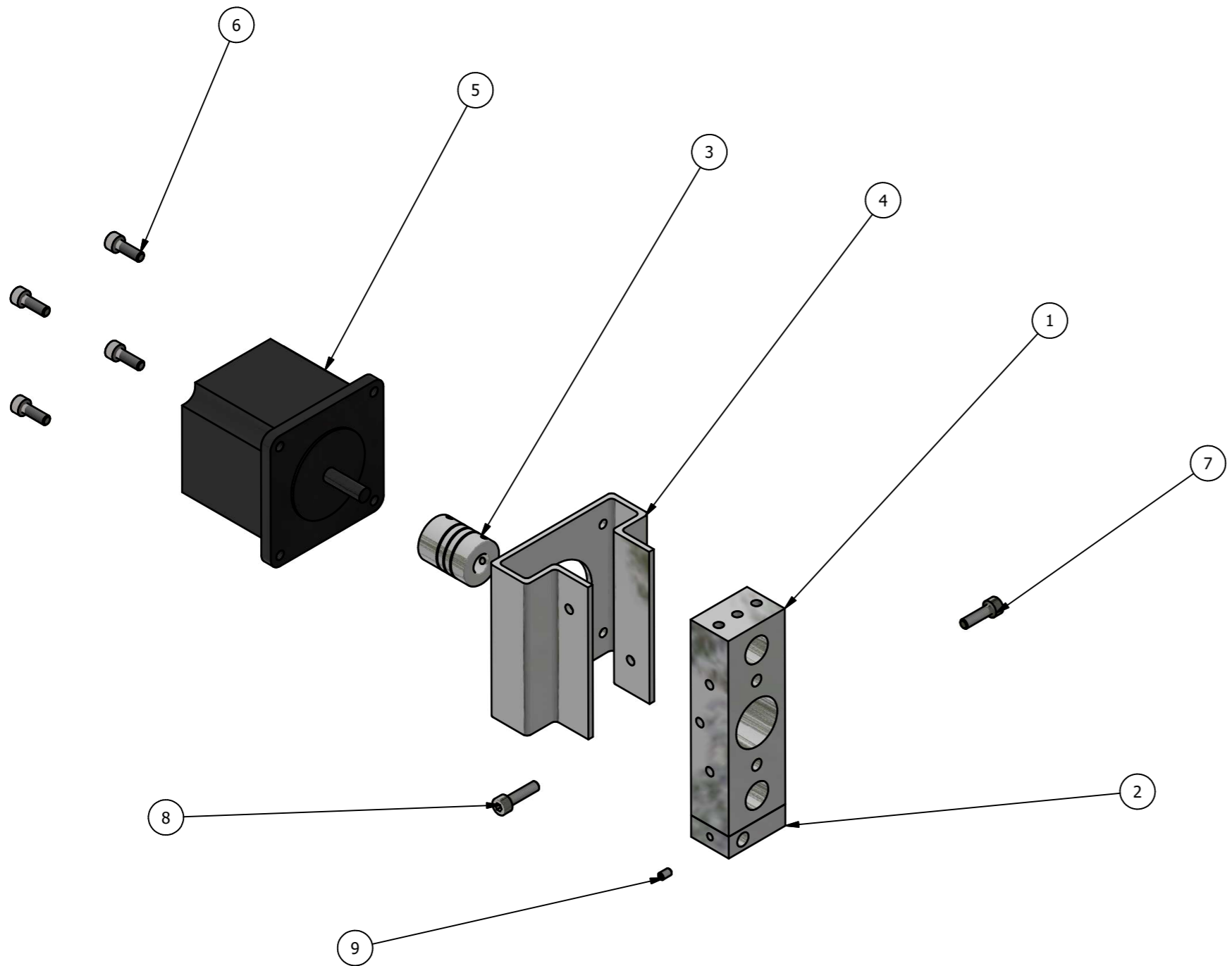
void ReadAnalog()
{
  Analog_X = analogRead(Analog_X_pin);
  Analog_Y = analogRead(Analog_Y_pin);
  //-----
  if(abs(Analog_X-Analog_X_AVG)>25)
  {
    stepper.setSpeed(5*(Analog_X-Analog_X_AVG));
  }
  else
  {
    stepper.setSpeed(0);
  }
  //-----
  if(abs(Analog_Y-Analog_Y_AVG)>25)
  {
    stepper2.setSpeed(5*(Analog_Y-Analog_Y_AVG));
  }
  else
  {
    stepper2.setSpeed(0);
  }
}

void InitialValues()
{
  float tempX = 0;
  float tempY = 0;
  //-----
  for(int i = 0; i<50; i++)
  {
    tempX += analogRead(Analog_X_pin);
    delay(10);
    tempY += analogRead(Analog_Y_pin);
    delay(10);
  }
  //-----
  Analog_X_AVG = tempX / 50;
  Analog_Y_AVG = tempY / 50;
}

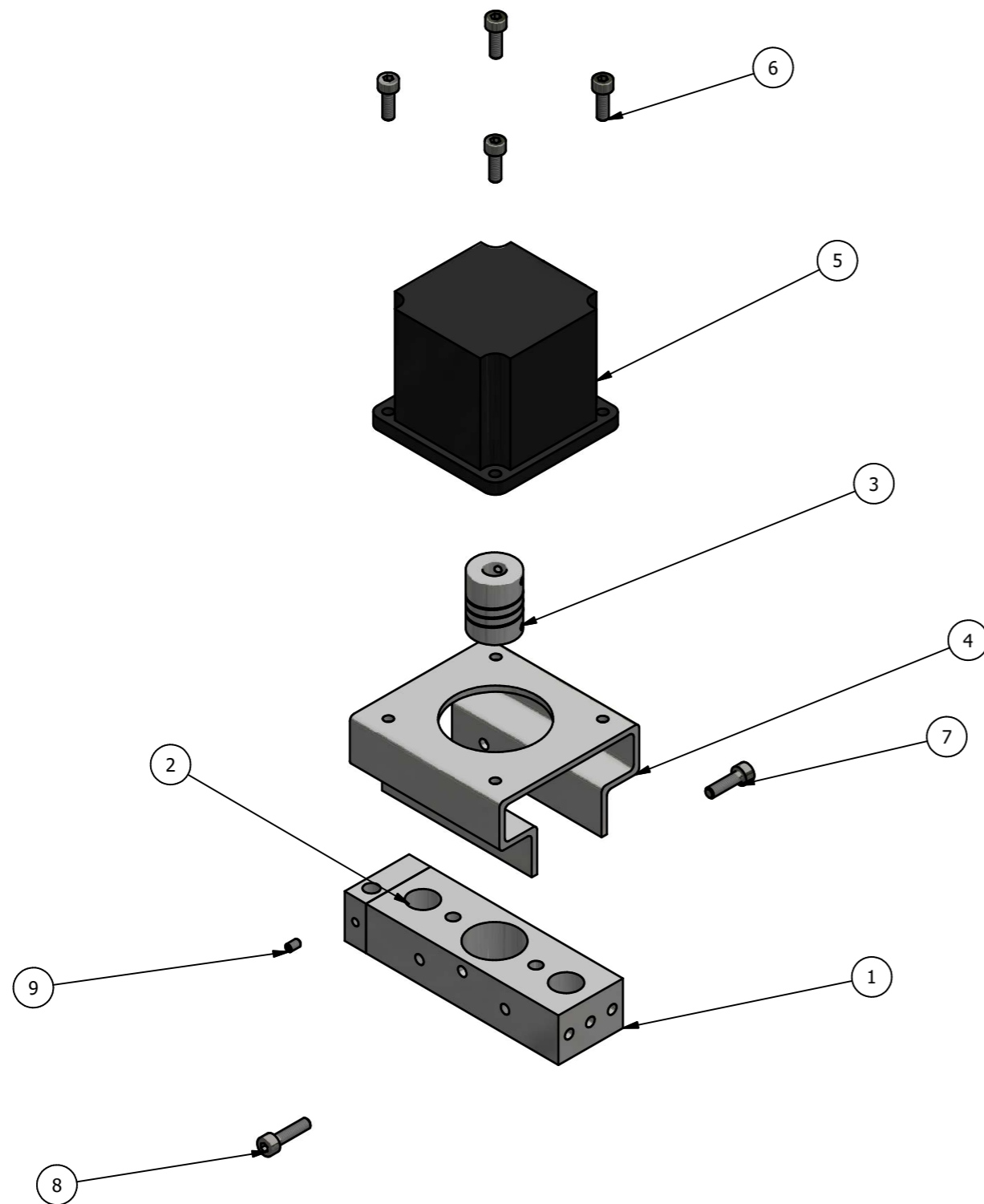
```

C. DIBUJOS TÉCNICOS.

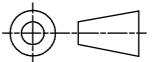
LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CANTIDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Base Eje Y
2	1	Base Eje X
3	1	Acople
4	1	Base Nema 23
5	1	Nema 23
6	4	CNS 3932 - M 4 x 12
7	1	CNS 3932 - M 4 x 14
8	1	CNS 3932 - M 4 x 16
9	1	ANSI B18.3.6M - M3x0.5 x 5

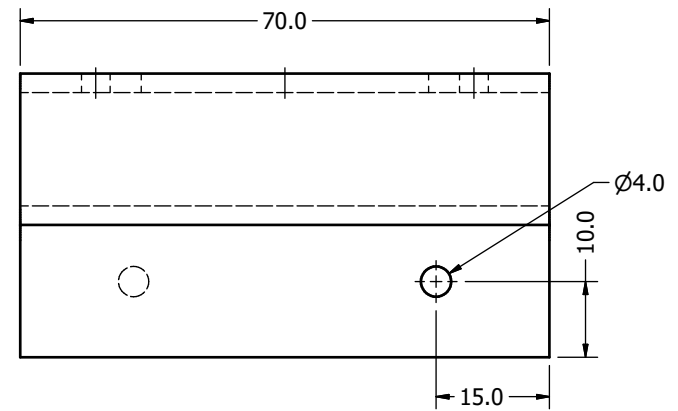
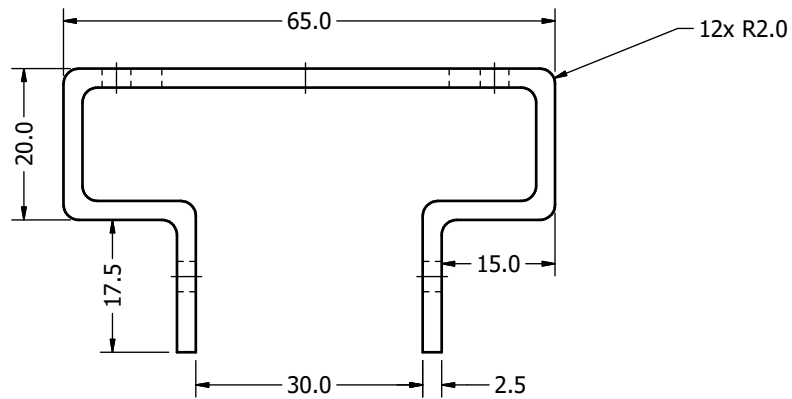
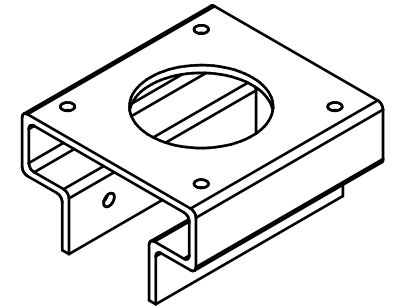
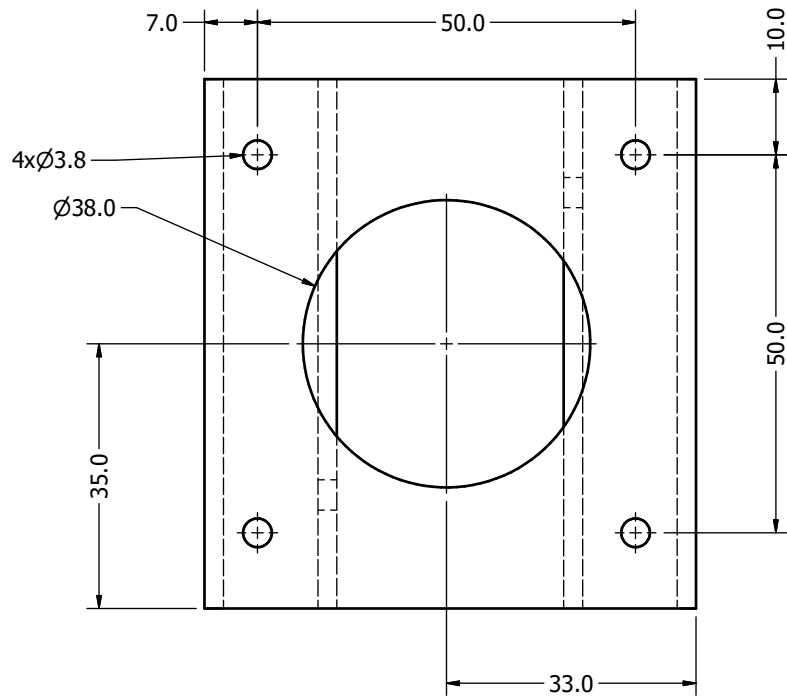


UAM	1:2	mm		Fecha: 30/06/23
	Base Eje X			
				1/1



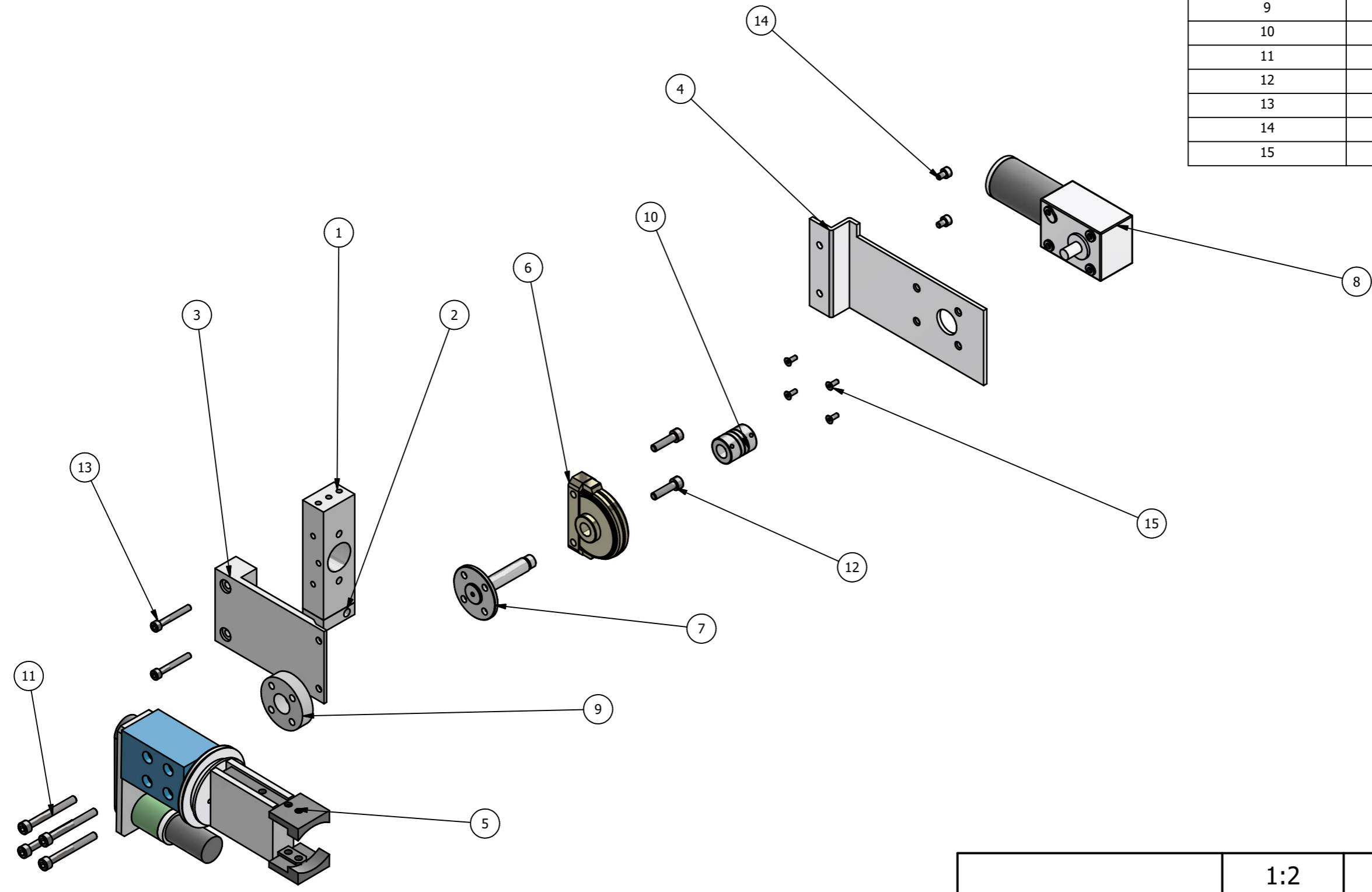
LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CANTIDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Base Eje Y
2	1	Base Eje Y
3	1	Acople
4	1	Base Nema 23
5	1	Nema 23
6	4	CNS 3932 - M 4 x 12
7	1	CNS 3932 - M 4 x 14
8	1	CNS 3932 - M 4 x 16
9	1	ANSI B18.3.6M - M3x0.5 x 5

UAM	1:2	mm		Fecha: 30/06/23
	Base Eje Y			1/1

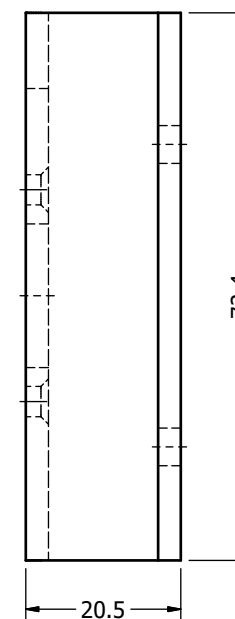
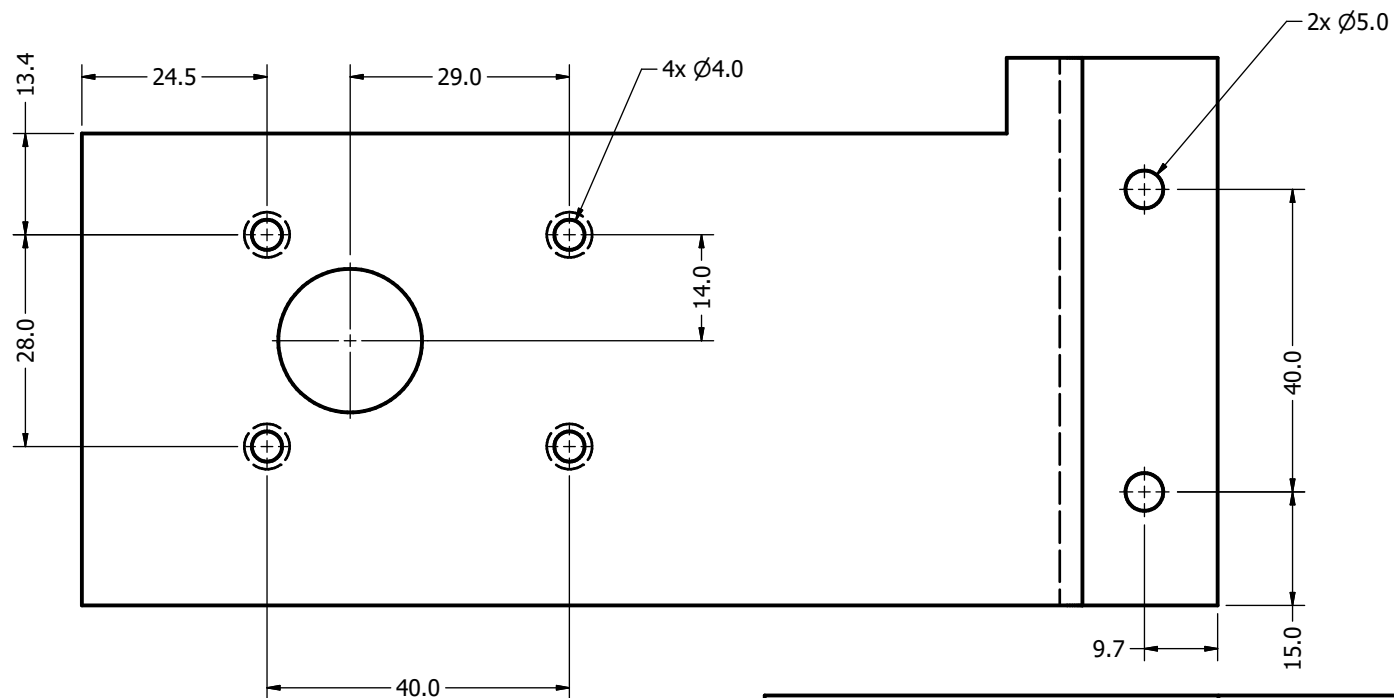
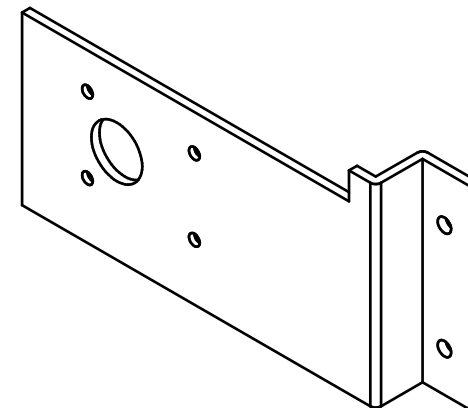
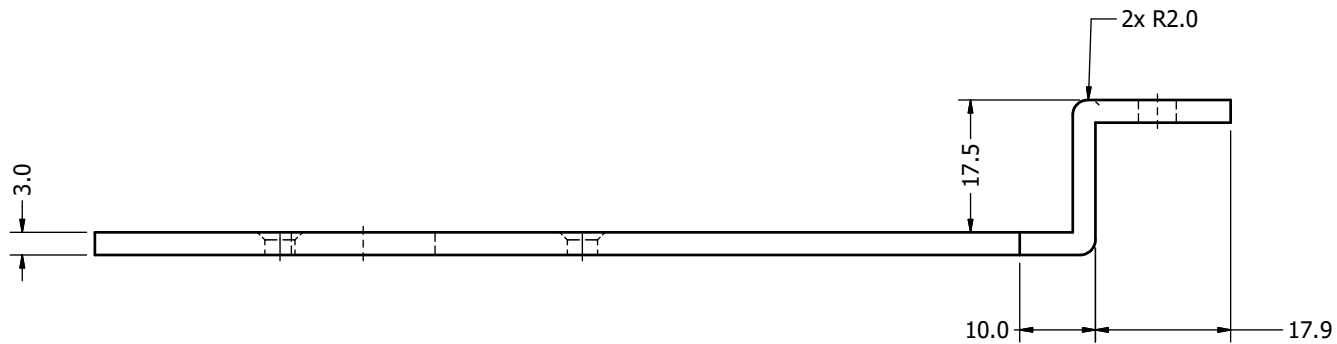


Material:	Aluminio	1 : 1	mm		Fecha:	30/06/23
UAM		Base Motor Nema 23				
		1/1				

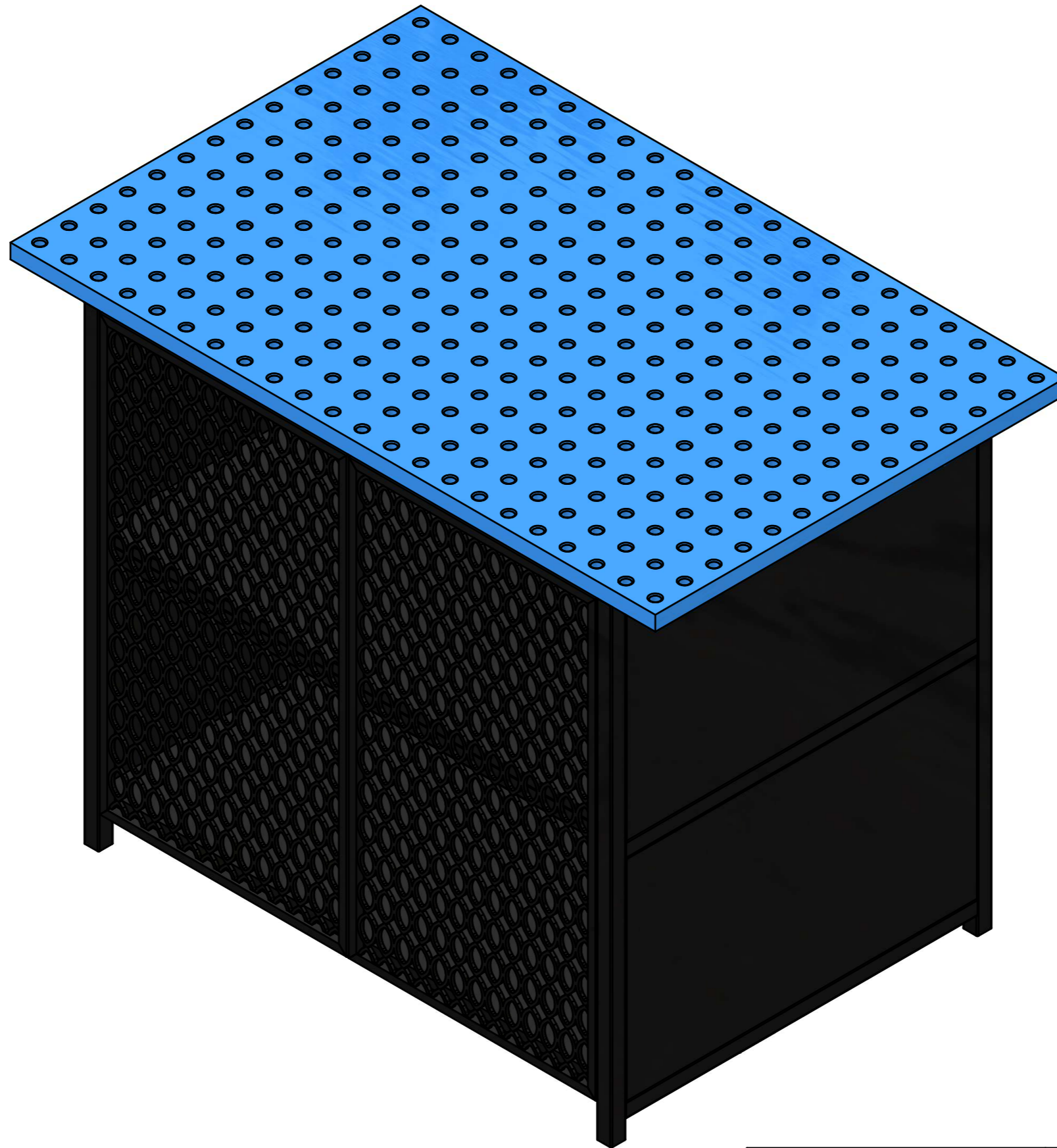
LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Base Eje
2	1	Base Eje X
3	1	Base Muñeca
4	1	Base motorreductor
5	2	Efactor Final
6	1	Soporte EJE
7	1	EJE
8	1	MOTOREDUCTOR
9	1	Acople eje muñeca
10	1	Acople
11	4	BS EN ISO 4762 - M5 x 45
12	2	BS EN ISO 4762 - M5 x 20
13	2	BS 4168 - M4 x 30
14	2	BS 4168 - M4 x 6
15	4	CNS 4558 - M3 x 8

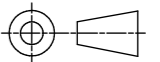


UAM	1:2	mm		Fecha: 30/06/23
	Base Motorreductor			
	1/1			



Material:	Aluminio	1 : 1	mm		Fecha:	30/06/23
UAM		Base Motorreductor				
		1/1				



	1:6	mm		Fecha: 30/06/23
UAM	Base Movil			
				1/1