

PROYECTO DE INTEGRACIÓN EN INGENIERÍA MECÁNICA I.

Modalidad: Proyecto Tecnológico.

“Rediseño del sistema de transmisión de potencia y el efector final de un brazo de robot ubicado en el Laboratorio de Mecanismos”.

Rivera Ramírez Pedro.

2152003571.

Licenciatura: Ingeniería Mecánica.

ASESORES:

Ing. Romy Pérez Moreno.

Dr. Israel Barragán Santiago.

Trimestre: 22-I

Fecha:30/06/2022

Yo, 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.



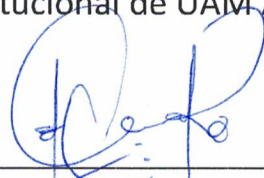
Ing. Romy Pérez Moreno.

Yo, 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.



Dr. Israel Barragán Santiago.

Yo, Pedro Rivera Ramírez, 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.



Pedro Rivera Ramírez.

AUTORIZACIÓN DE INSCRIPCIÓN A PROYECTO DE INTEGRACIÓN EN INGENIERÍA MECÁNICA

PI-A-MEC

Trimestre en que se autoriza la propuesta: 19 O

Fecha: 16 / Marzo / 2020

PI-A-MEC 046/19

DATOS DEL ALUMNO

Nombre: Pedro Rivera Ramírez

Matrícula: 2152003571

Correo personal: al2152003571@azc.uam.mx


Firma

ASESOR RESPONSABLE / DATOS DE LA EMPRESA

Nombre del asesor/Empresa: Romy Pérez Moreno

No. económico: 23812 Adscripción/Departamento/Sección: Energía

Área de investigación: Grupo de Sistemas Mecánicos de Frontera

Correo institucional: romy@azc.uam.mx


Firma

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

Nombre del asesor/Jefe o Responsable legal: Israel Barragán Santiago

No. económico/Teléfono: 26178 Adscripción/Puesto: Energía

Área de investigación/Departamento: Grupo de Sistemas Mecánicos de Frontera

Correo electrónico: barraganisrael@yahoo.com.mx


Firma

MODALIDAD DEL PROYECTO

☒ Proyecto tecnológico ☐ Proyecto de investigación ☐ Estancia profesional ☐ Experiencia profesional

TÍTULO DEL PROYECTO

Rediseño del sistema de transmisión de potencia y el efector final de un brazo de robot ubicado en el Laboratorio de Mecanismos.

Proyecto de Integración asociado a un Proyecto de Investigación: ☒ No ☐ Si Clave (?):

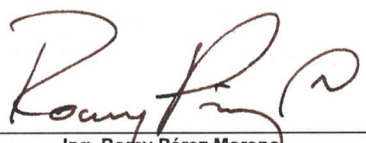
OBJETIVO GENERAL

Rediseñar el sistema de transmisión de potencia y el efector final de un brazo de robot ubicado en el Laboratorio de Mecanismos

UNIDADES DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE ASOCIADAS AL PROYECTO DE INTEGRACIÓN

Clave	UEA	UEA Autorizada	Vigencia
1100118	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica I	SI	Inicio
1100128	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica II		20 I
1100138	Introducción al Trabajo de Investigación en Ingeniería Mecánica		Término
			20 P

Nombre y firma del Coordinador de Estudios


Ing. Romy Pérez Moreno



Resumen.

Este proyecto fue realizado para rediseñar el sistema de transmisión de potencia de un brazo robótico de tipo cilíndrico de la marca FESTO modelo 80816. El sistema cuenta con cinco grados de libertad y está organizado con base en tres ejes.

Se calcularon y seleccionaron motores a pasos, respetando la estructura mecánica actual del brazo.

Se diseñaron montajes y acoplamientos para los motores a pasos en cada uno de los ejes debido a que los originales no se adaptan a la geometría y dimensiones de los motores nuevos. Se diseñó el control de movimientos y se efectuaron los cálculos y selección para el reemplazo de un actuador neumático por un motor a pasos para el movimiento del efector final.

El control de movimientos emplea múltiples recursos electrónicos: una tarjeta Arduino Mega, drivers L298N con puente H, pulsadores normalmente abiertos y micro switches. El sistema no tiene capacidad para trasladar objetos. El movimiento en los ejes 'Z' y 'Y' se genera a través de motores a pasos del tipo NEMA 17, mientras que el movimiento en el eje Θ es por medio de un motor DC. El control de movimientos consta de una botonera.

Finalmente se realizó el dibujo explosionado del sistema haciendo uso del software "Inventor". Además de una simulación cinemática del sistema completo.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	10
Figura 1. Brazo robot inhabilitado.	10
Figura 2. Tarjeta ARDUINO MEGA.	11
2. ANTECEDENTES.....	11
3. JUSTIFICACIÓN.	12
4. OBJETIVOS.....	12
Objetivo general.....	12
Objetivos Particulares.	12
5. MARCO TEÓRICO.....	13
5.1 Potencia.....	13
5.2 Transmisión de Potencia.....	14
5.3 Brazo Robot.....	14
5.4 Efecto Final.	15
6. DESARROLLO.....	15
6.1 Cálculo y selección de motores.....	15
6.2 Diseño y construcción de montajes.	17
Figura 3. Motor a pasos NEMA 23.	17
Tabla 1. Medidas del motor y la base del brazo robot.	18
Tabla 2. Medidas del montaje para el motor 1.....	19
Tabla 3. Medidas del montaje para el motor 2.....	19
6.3 Cálculo y selección de actuador final.	20
6.4 Implementación del control electrónico.	20
Figura 5. Driver “L298N” y tarjeta Arduino Mega.....	21
6.5 Evaluación del sistema.	21
7. RESULTADOS.....	21
7.1 Cálculo y selección de motores.....	21
Tabla 4. Características del motor 1.	22
Figura 6. Motor a pasos NEMA 23.....	23
Tabla 5. Características del motor 2.	23

Figura 6.1. Motor a pasos NEMA 23	24
7.2 Diseño y construcción de montajes.	24
Figura 8. Explosionado de montaje para el motor 3.....	24
Figura 8. Plano de diseño de montaje para el motor 1.	24
Figura 9. Explosionado de montaje para el motor 1.....	25
7.3 Cálculo y selección de actuador final.	26
Tabla 6. Requerimientos mínimos para la selección del efector final.....	26
Tabla 7. Especificaciones del motor seleccionado.....	26
Figura 10. Motor a pasos NEMA 23.	27
7.4 Implementación del control electrónico.	27
Figura 11. Circuito de conexión Arduino-Driver- Motor [8].	28
Figura 12. Botonera para el control de movimientos.....	28
7.5 Evaluación del sistema.	30
Tabla 8. Especificaciones del material seleccionado.	32
Tabla 9. Resultados del análisis de esfuerzos.	33
Tabla 10. Características del material seleccionado.....	39
Tabla 11. Resultados del análisis de esfuerzos.	40
Tabla 12. Características del material seleccionado.....	45
Tabla 13. Resultados del análisis de esfuerzos.	47
8. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	52
8.1 Cálculo y selección de motores.....	52
8.2 Diseño y construcción de montajes.	52
8.3 Cálculo y selección del actuador final.	52
8.4 Implementación del control electrónico.	53
8.5 Evaluación del sistema.	53
9. CONCLUSIONES.	54
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	56
ANEXO 1. Listado de código Arduino.	57
ANEXO 2. DIBUJOS DE LOS COMPONENTES.	62
Figura 14. Explosionado del Sistema.	62
Figura 15. Efector final.	63
Figura 16. Segmento del dibujo del tornillo infinito.	64

Figura 17. Engrane de la base giratoria. 65

Figura 18. Base para motor a pasos. 66

Figura 19. Cadena de movimiento. 67

Imagen . Circuito ARDUINO-TRANSISTOR-PULSADOR-MOTOR..... 68

1. INTRODUCCIÓN.

Un brazo robot es un conjunto de elementos mecánicos cuyas funciones principales pueden emular a las de un brazo humano y puede ser programado con base en una necesidad o problema a resolver. Generalmente funcionan mediante servomotores o motores a pasos los cuales generan los movimientos de rotación y traslación, y cuentan con un efector final que tiene la función de sujetar los objetos que se trasladan [1].

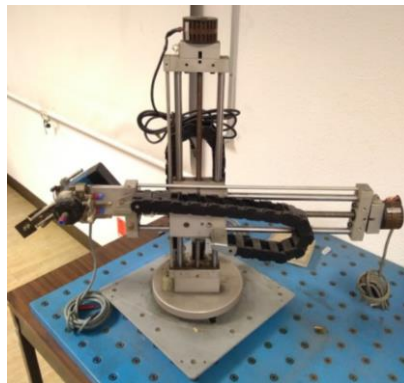


Figura 1. Brazo robot inhabilitado.

La programación de un brazo robot debe hacerse en función de las necesidades para las que fue diseñado, existen softwares libres para habilitar controles de movimiento para todo tipo de robots. ARDUINO es una plataforma de código abierto la cual permite crear controles para el movimiento de un brazo robot que cumpla con ciertas características de dimensión y especificaciones electromecánicas [2].

En el laboratorio de mecanismos se encuentra un brazo robot (Figura 1) que se encuentra inhabilitado por falta de un sistema de transmisión de potencia. Los motores y el actuador rotatorio neumático no funcionan por lo que es necesario seleccionar nuevos motores y diseñar el control de movimientos para ponerlo en funcionamiento nuevamente.



Figura 2. Tarjeta ARDUINO MEGA.

2. ANTECEDENTES.

En 2016, un alumno de Ingeniería Mecánica de la UAM Azcapotzalco desarrolló un proyecto tecnológico en el cual realizó la sustitución de un sistema de control para motores a pasos en un robot de tipo esférico mediante la aplicación de tarjetas de desarrollo (Arduino y CNC Shield), lo cual se puede tomar como referencia para el diseño del sistema de control de movimiento, ya que se propone la rehabilitación mediante motores a pasos y que sean controlados con una tarjeta Arduino [3].

Durante el trimestre 16 I un alumno de Ingeniería Mecánica de la UAM Azcapotzalco realizó un proyecto titulado “Brazo de robot con seis grados de libertad”, en el cual se llevó a cabo el diseño y construcción de los elementos del brazo, incluyendo el efector final de tipo pinza [4].

En 2015 un alumno de Ingeniería Electrónica de la UAM Azcapotzalco desarrolló un proyecto en el cual implementó un sistema de control electrónico para un brazo robot con seis grados de libertad por medio de drivers y microcontroladores que controlan el movimiento de los motores [5].

3. JUSTIFICACIÓN.

En el Laboratorio de Mecanismos se cuenta con un brazo robot cilíndrico el cual no es posible utilizar debido a la falta de un sistema de control y la falla de los sistemas neumáticos. Para volverlo operativo se diseñó el sistema de transmisión de potencia empleando motores eléctricos, como también un efector final, controlados por un tablero de mando manual para su uso didáctico.

4. OBJETIVOS.

Objetivo general.

Diseñar el sistema de transmisión de potencia y el efector final de un brazo robot ubicado en el Laboratorio de Mecanismos.

Objetivos Particulares.

Calcular y seleccionar los motores a pasos para sustituir en el sistema neumático.

Diseñar y construir los montajes de los motores.

Diseñar y construir el actuador final.

Implementar el control electrónico de los motores con base en una placa Arduino.

Evaluar el sistema para desarrollar desplazamientos de carrera completa.

5. MARCO TEÓRICO.

La implementación de brazos robóticos en la industria ha ido incrementando en los últimos años, para ello es necesario diseñar desde el mecanismo hasta el sistema de transmisión de potencia, el cual, generalmente se efectúa por medio de motores. Normalmente un brazo robótico viene complementado con un efector final, el cual puede desarrollar diversas funciones, por ejemplo, emular movimientos de una mano humana, ejecutar el trabajo de una herramienta, entre otras.

5.1 Potencia.

Todo movimiento o acción generado a partir de una fuerza genera un trabajo. El trabajo como concepto es el desplazamiento de un cuerpo a partir de una fuerza ejercida sobre éste. Como definición de trabajo se tiene la siguiente ecuación:

$$W = F * d \quad \text{ec.1}$$

Donde:

W = Trabajo.

F = Fuerza.

d = Distancia.

Si medimos el tiempo en que una fuerza genera trabajo sobre un cuerpo, se tiene entonces la potencia. La potencia se puede establecer como el tiempo que tarda una fuerza en efectuar un trabajo, y se puede definir de la siguiente manera:

$$P = \frac{W}{t} \quad \text{ec.2}$$

Donde:

P = Potencia.

W = Trabajo.

t = Tiempo.

5.2 Transmisión de Potencia.

La transmisión de potencia es un sistema que permite conducir potencia de una fuente a otro mecanismo, incrementando, manteniendo o decreciendo la velocidad y el torque.

Existen distintos métodos de transmisión de potencia, por ejemplo: engranajes, poleas, cadenas, tornillos sin fin.

Es importante identificar cuál de los métodos es el ideal para el sistema con el que se está trabajando.

5.3 Brazo Robot.

En los últimos años la industria ha desarrollado herramientas para facilitar distintas actividades y funciones. Un brazo robot es un sistema el cual emula movimientos y funciones de un brazo humano, desde el hombro hasta los dedos de la mano.

Existen diferentes tipos de brazos robóticos entre los cuales se encuentran:

- * Cartesiano.
- * Esférico o Polar.
- * Articulado.
- * Cilíndrico.
- * Paralelo.

Las aplicaciones de los diferentes tipos son muchas, y constantemente se aplica el desarrollo tecnológico en estos sistemas, lo cual ha permitido un desarrollo en la industria.

5.4 Efector Final.

Un efector final es el elemento que realiza la función o movimiento en un brazo robótico, mientras que el brazo puede realizar movimientos lineales y/o angulares, el efector final será el que ejecute acciones de una herramienta o emular la mano humana.

Un efector final se puede clasificar en dos categorías: pinzas y herramientas. Las pinzas se utilizan para tomar un objeto, normalmente la pieza de trabajo, y sujetarlo durante el ciclo de trabajo del robot. Hay una diversidad de métodos de sujeción que pueden utilizarse, además de los métodos mecánicos obvios de agarrar la pieza entre dos o más dedos.

Una herramienta se utilizaría como efector final en aplicaciones en donde se exija al robot realizar alguna operación en la pieza de trabajo. Por ejemplo: la soldadura por puntos, la soldadura por arco, la pintura por pulverización y las operaciones de taladro.

6. DESARROLLO.

6.1 Cálculo y selección de motores.

Para llevar a cabo la selección de motores se necesita conocer la masa de los componentes que los motores van a desplazar. Estos componentes son, en el caso del eje Y los siguientes:

- Tornillo infinito de 60 cm de longitud.
- Dos ejes horizontales.
- Dos bases para los ejes.
- Montaje del motor a pasos del eje X.
- Motor a pasos NEMA 17.
- Motor a pasos NEMA 17 (Efector final).
- Efector final tipo pinza.

Se conoce aproximadamente la fuerza necesaria para generar un desplazamiento de la masa del sistema la cual se obtiene de la siguiente ecuación:

$$F = m * a \quad ec.3$$

Ya conocida la fuerza necesaria para generar el desplazamiento del sistema se calculó el torque necesario con la siguiente ecuación:

$$T = F * d \quad ec.4$$

El torque es variable a lo largo del desplazamiento en el eje Y así que se calculó el máximo torque necesario para lo que se toma como dato la distancia total del eje y la fuerza calculada previamente.

Por último, para poder seleccionar un motor que cumpliera con los parámetros que se calcularon fue necesario calcular el par motor, o la potencia eléctrica que debía generar el motor a pasos para el desplazamiento. El cálculo se hizo con la siguiente ecuación:

$$P = T * w \quad ec.5$$

Donde:

El torque es conocido de la ecuación 4.

La velocidad angular se calcula sabiendo que se espera que los elementos tengan una velocidad lineal promedio de 0.01 m/s con la siguiente ecuación:

$$W = \frac{v}{r} \quad ec.6$$

En el caso del eje X los componentes son los siguientes:

- Motor a pasos.
- Montaje del motor
- Tornillo infinito.
- Soporte del tornillo.

- Efecto final.
- Montaje del efecto final.
- Motor a pasos del efecto final.
- Dos ejes horizontales.

Los cálculos de fuerza, torque, velocidad angular y potencia se realizan con las ecuaciones 3, 4, 5, y 6, antes mencionadas.

6.2 Diseño y construcción de montajes.

El robot cuenta con un par de motores a pasos los cuales deben ser sustituidos ya que no funcionan. Previamente fueron seleccionados dos motores a pasos los cuales no cumplen con las características geométricas de la estructura del robot, por lo que fue necesario diseñar un montaje con base en las medidas, tanto de los motores como de la estructura del brazo robot.

Para fines prácticos se nombró al motor del eje X "Motor 1", y, al motor del eje Y "Motor 2".

Se tomaron medidas del motor, la base del brazo robot, y en función de estas se diseñó el montaje.



Figura 3. Motor a pasos NEMA 23.

Las medidas son las siguientes:

Tabla 1. Medidas del motor y la base del brazo robot.

PIEZA	MEDIDAS (mm)			
	LARGO	ANCHO	ALTO	DIÁMETRO
BASE MOTOR	60	60	5	
BASE BRAZO	60	30	20	
BARRENOS (BASE DEL BRAZO)			20	4
BARRENO CENTRAL			20	20
BARRENOS (BASE DEL MOTOR)			10	4

El montaje del Motor 1, se diseñó en función de la geometría del brazo robot. Fue tomado como base el montaje del motor anterior ya que este coincide con la geometría del brazo.

Se adicionó una base la cual lleva las medidas de la base del motor, fue necesario realizar 4 barrenos en los extremos (esquinas) para sujetar de manera correcta el motor; se hizo un barreno central por el cual pasan, el eje del motor y el eje del tornillo infinito. La geometría y medidas de la parte superior del montaje son idénticas a las del anterior.

El montaje del Motor 2, lleva las medidas que previamente se calcularon (Tabla 1.), de igual manera con base en el montaje anterior se complementó con las

medidas en función de la geometría del motor seleccionado, las medidas de los montajes se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2. Medidas del montaje para el motor 1.

MEDIDAS (mm)		
MOTOR 1	PARTE SUPERIOR	PARTE INFERIOR
BARRENOS	4 (diámetro)	4 (diámetro)
BARRENO CENTRAL	20 (diámetro)	20 (diámetro)
LARGO	60	60
ANCHO	30	60
ESPESOR	20	3.5

Tabla 3. Medidas del montaje para el motor 2.

MEDIDAS (mm)		
MOTOR 2	PARTE SUPERIOR	PARTE INFERIOR
BARRENOS	4 (diámetro)	4 (diámetro)
BARRENO CENTRAL	20 (diámetro)	20 (diámetro)
LARGO	60	60
ANCHO	30	60
ESPESOR	20	3.5

6.3 Cálculo y selección de actuador final.

El efector final del brazo robot tiene un actuador rotatorio neumático el cual generaba un movimiento de rotación, se realizaron los cálculos necesarios para sustituir el actuador.

Se conoce aproximadamente la masa del efector final, y se sabe que el movimiento a realizar es rotativo.

Se propone sustituir el actuador rotativo neumático con un motor eléctrico a pasos.

La fuerza necesaria, el torque, la velocidad angular y la potencia se calcularon con las ecuaciones 3, 4, 5 y 6.

6.4 Implementación del control electrónico.

Teniendo la selección previa de los motores, fue necesario diseñar un control de movimientos, el cual tiene como interfaz una tarjeta "Arduino".

Inicialmente se conocía la corriente nominal de los motores, por lo tanto, se hizo una selección de drivers que controlaran la corriente que llega al motor.

Se diseñó un circuito eléctrico para la conexión de los componentes, los componentes del circuito son los siguientes:

- Fuente de voltaje (12 v).
- Driver L298N. (Puente H).
- Resistencia eléctrica de 1k.
- Pulsadores sin enclave.
- Motor a pasos.
- Tarjeta Arduino.

Para la programación de la tarjeta se diseñó un código en lenguaje C, el cual consta de una variable para cada sentido de rotación del eje del motor, una variable definida para cada motor. El ciclo se desarrolló mediante funciones condicionales para ambos sentidos de rotación.

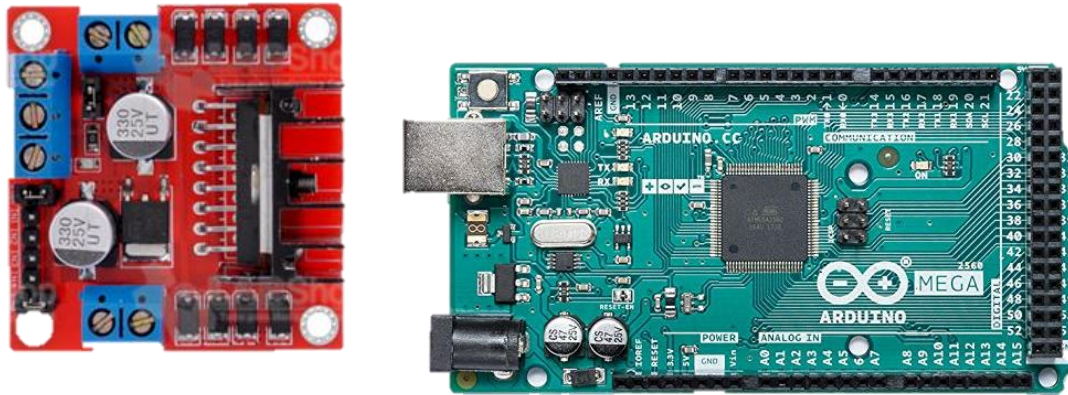


Figura 5. Driver “L298N” y tarjeta Arduino Mega.

6.5 Evaluación del sistema.

El objetivo final de este proyecto es evaluar el funcionamiento del sistema con los componentes seleccionados y conectados.

Se realizó la manufactura de los montajes, cálculo y selección de motores a pasos, diseño de control electrónico. Para evaluar el funcionamiento del sistema, por motivos de la situación actual se realizó la conexión de los motores únicamente. Se manufacturó un montaje, se desarrolló el código de programación, se seleccionaron los motores y se propuso como sustituir el actuador rotatorio neumático.

7. RESULTADOS.

7.1 Cálculo y selección de motores.

Con las ecuaciones 3, 4, 5 y 6 se obtienen los siguientes resultados: (Los datos utilizados para los cálculos son aproximados)

Para el eje X.

Masa del sistema: 3 kg

Fuerza necesaria: $F = m \cdot a = 3 \cdot 1.6 \times 10^{-4} = 5 \times 10^{-4} \text{ N}$.

Torque: $T = F \cdot d = (5 \times 10^{-4}) \cdot 0.6 = 3 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m}$.

Velocidad angular: $W = v/r = 0.01/0.003 = 3.33 \text{ rad/seg}$

Potencia: $P = T \cdot W = (3 \times 10^{-4}) \cdot (3.33) = 9.9 \times 10^{-4} \text{ w}$

Para el eje Y.

Masa del sistema: 3 kg

Fuerza necesaria: $F = m \cdot a = 3 \cdot 1.6 \times 10^{-4} = 5 \times 10^{-4} \text{ N}$.

Torque: $T = F \cdot d = (5 \times 10^{-4}) \cdot 0.6 = 3 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m}$.

Velocidad angular: $W = v/r = 0.01/0.003 = 3.33 \text{ rad/seg}$

Potencia: $P = T \cdot W = (3 \times 10^{-4}) \cdot (3.33) = 9.9 \times 10^{-4} \text{ w}$

En las siguientes tablas se muestran las características de los motores que fueron seleccionados.

Motor 1.

Tabla 4. Características del motor 1.

CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR	
TIPO	NEMA 23
CORRIENTE NOMINAL	2.8 A
TORQUE	1.26 N*m
GRADOS POR PASO	1.8°
VOLTAJE	12-24 V DC

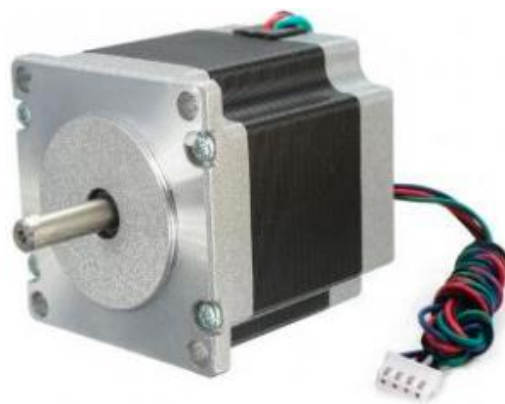


Figura 6. Motor a pasos NEMA 23

Motor 2.

Tabla 5. Características del motor 2.

CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR	
TIPO	NEMA 23
CORRIENTE NOMINAL	2.8 A
TORQUE	1.26 N*m
GRADOS POR PASO	1.8°
VOLTAJE	12-24 V DC

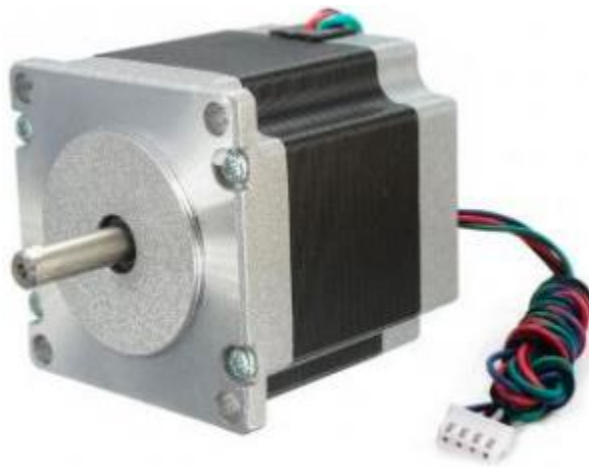


Figura 6.1. Motor a pasos NEMA 23

7.2 Diseño y construcción de montajes.

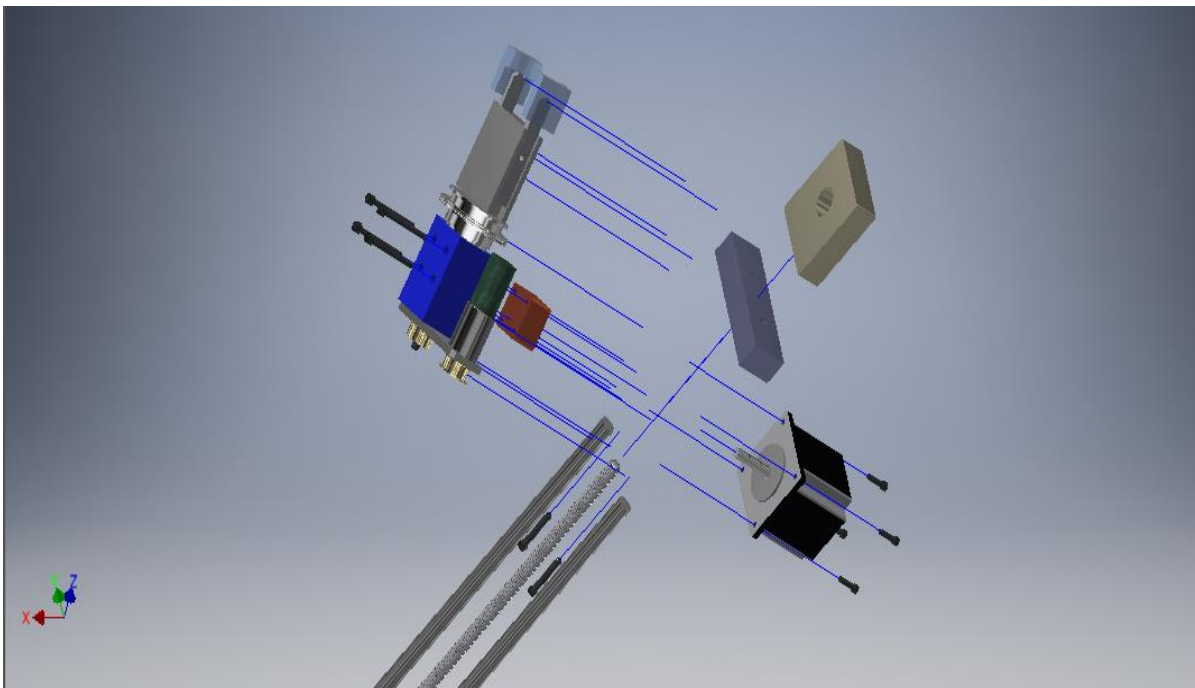


Figura 8. Explosionado de montaje para el motor 3.

Figura 8. Plano de diseño de montaje para el motor 1.

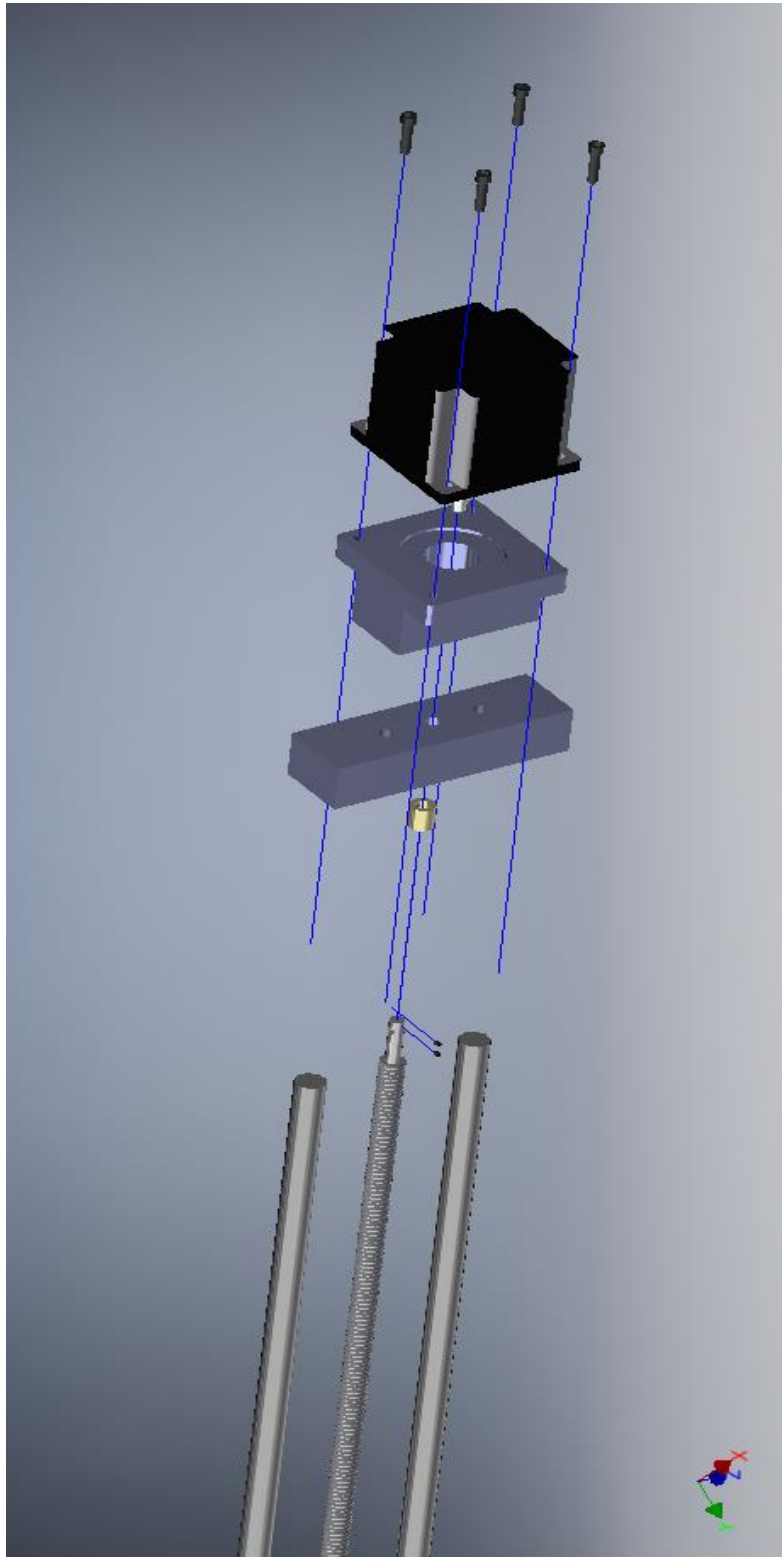


Figura 9. Explosionado de montaje para el motor 1

7.3 Cálculo y selección de actuador final.

Se propone sustituir el actuador neumático por un motor a pasos que genere el movimiento de rotación del actuador final.

Los requerimientos para el motor, en función de los todos los componentes del actuador, son los siguientes:

Tabla 6. Requerimientos mínimos para la selección del efector final.

REQUERIMIENTOS PARA LA SELECCIÓN DEL EFECTOR FINAL	
MASA DEL ACTUADOR FINAL	0.850 kg
FUERZA	8.35 N
TORQUE	0.5 N*m

Tabla 7. Especificaciones del motor seleccionado.

ESPECIFICACIONES DEL MOTOR SELECCIONADO	
TIPO	NEMA 23
MODELO	23HD5625, 23HD5626, 23HD5628
CORRIENTE NOMINAL	2.8 A
TORQUE	1.2 N*m
GRADOS POR PASO	1.8°
VOLTAJE	12 V



Figura 10. Motor a pasos NEMA 23.

7.4 Implementación del control electrónico.

El control electrónico de movimientos consta de varios componentes, se tomó como interfaz una tarjeta Arduino MEGA, Drivers L298N, pulsadores sin enclavar, una fuente de voltaje de 12 V. Se desarrolló un código en Arduino para ejecutar el movimiento de los motores en ambos sentidos. El código está implementado en ciclos por medio de funciones condicionales, las cuales permiten que haya un movimiento solamente cuando el pulsador se presiona y una vez que se desactiva el pulsador el movimiento termina.

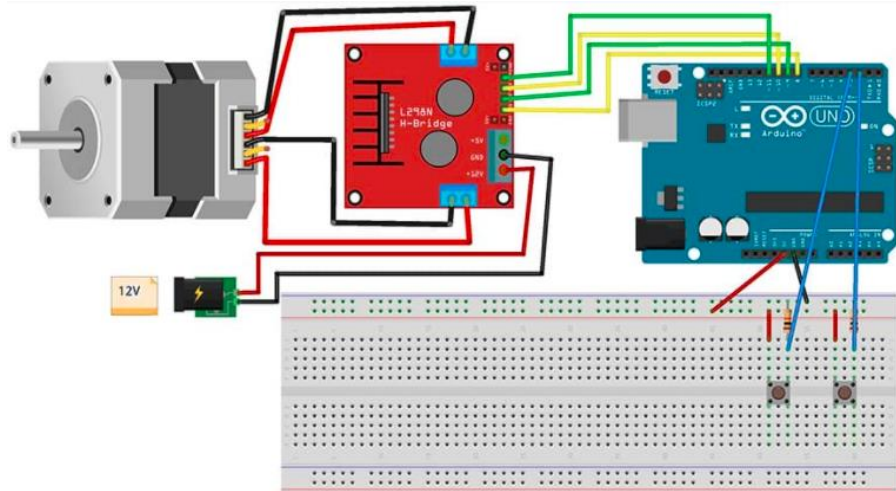


Figura 11. Circuito de conexión Arduino-Driver- Motor [8].

En la figura 11 se muestra gráficamente el circuito de conexión para un solo motor controlado por Arduino, el Driver L298N se alimenta de una fuente de 12 v, mientras que la tarjeta Arduino se alimenta de una fuente de 5 V. Los pulsadores que se muestran son utilizados para generar el movimiento en ambos sentidos.

El circuito de conexión para dos motores a pasos controlados por Arduino se muestra en la figura 13.

La botonera para el brazo completo se muestra en la figura 12.

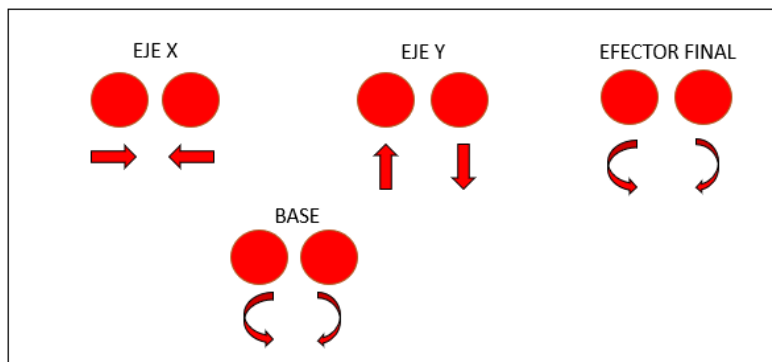


Figura 12. Botonera para el control de movimientos.

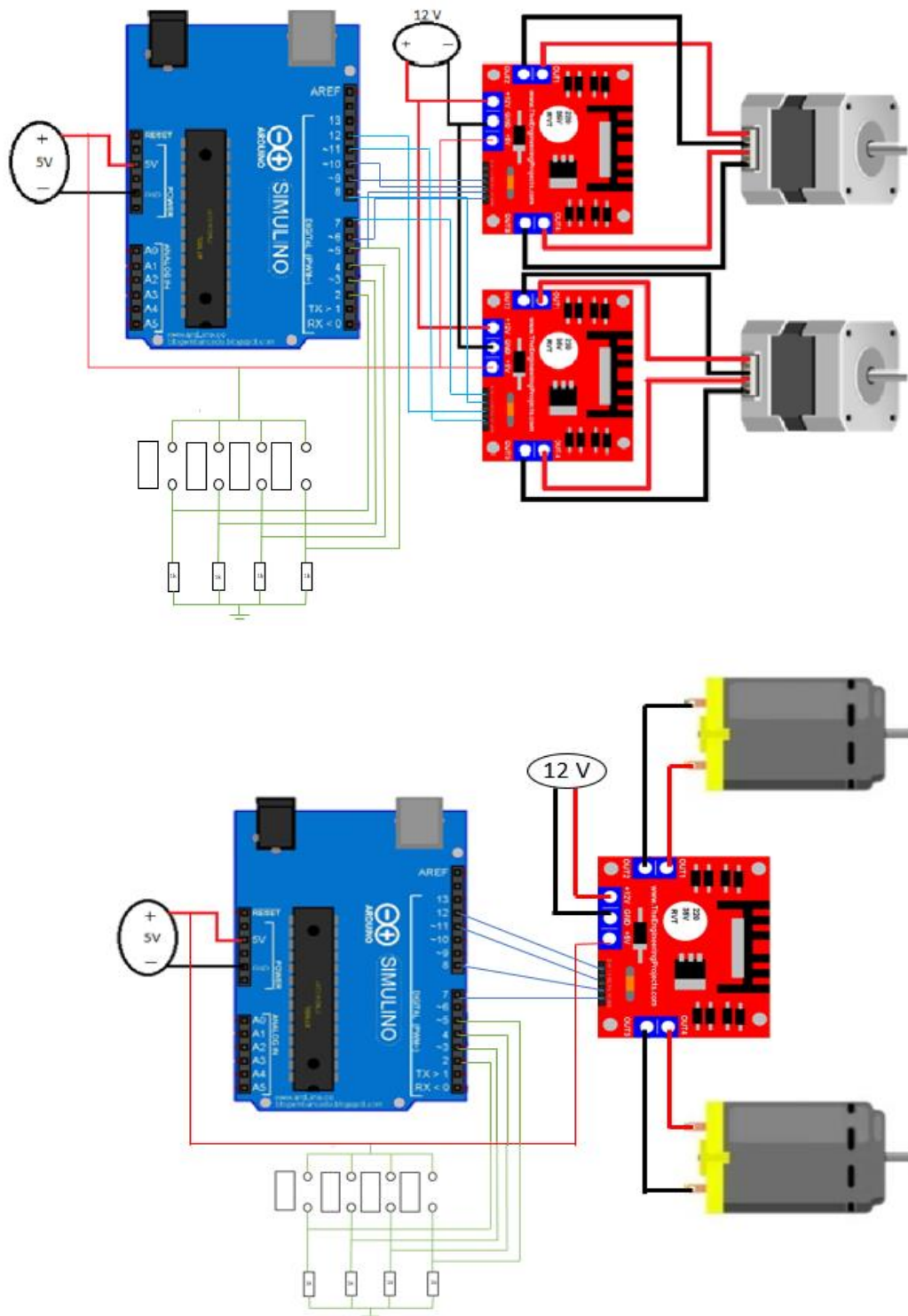


Figura 13. Circuito de conexión para dos motores con cuatro pulsadores.

7.5 Evaluación del sistema.

Se realizó la conexión de los elementos del control de movimiento y se hicieron pruebas de funcionamiento del sistema. Se hizo un video de los motores conectados en el cual se muestra que pueden girar en ambos sentidos. El video se muestra en un archivo anexo.

7.6 Análisis de esfuerzos para los montajes de los 3 motores NEMA 17.

Se realizó mediante el software inventor un análisis de elementos finitos a las piezas diseñadas para el montaje de los 3 motores obteniendo los siguientes resultados.

Para el montaje del motor 1 tenemos una carga aplicada de forma remota, es decir, que va a ejercer fuerza sobre la superficie superior, pero la carga se encuentra en una posición lateral, en la siguiente figura podemos observar cómo se aplica.



Figura 14. Selección de caras para aplicación de carga en simulación.

El montaje está fijo en los dos barrenos frontales, por lo cual se aplica una restricción en la cual indicamos que puede estar sujeto mediante tornillos, soldadura o algún otro tipo de anclaje.

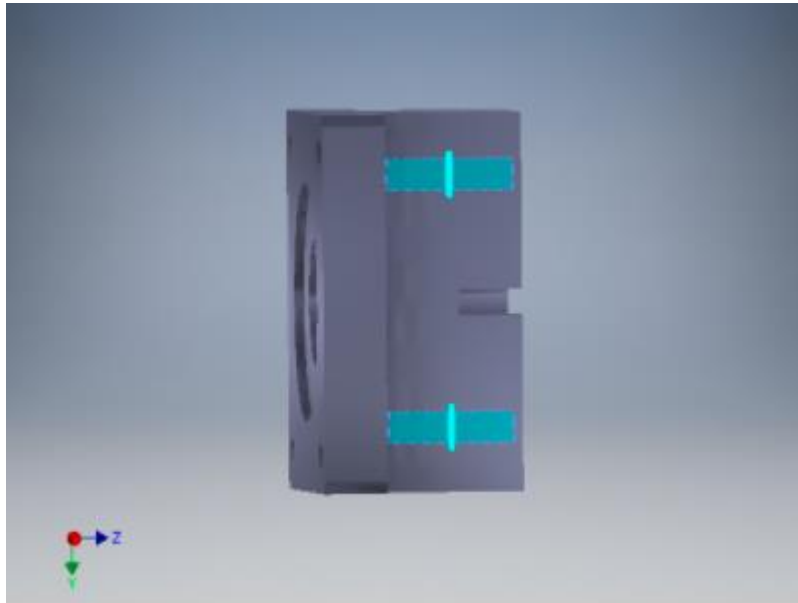


Figura 15. Selección de caras para aplicación de carga en simulación.

Se asignó Aluminio 6061 como material para el montaje ya que es el mismo con el que previamente se construyeron los montajes anteriores. Las propiedades del material se describen en la siguiente tabla.

Tabla 8. Especificaciones del material seleccionado.

MATERIAL ALUMINIO 6061			
DENSIDAD	2700 kg/cm ³	ESFUERZO DE FLUENCIA	275 MPa
MASA	0.173545 kg	ÚLTIMO ESFUERZO A LA TENSIÓN	310 MPa
AREA	0.016 m ²	MÓDULO DE YOUNG	68.9 GPa
VOLUMEN	6.43x10 ⁻⁵ m ³		

Se crea una malla de elementos que se muestra en la siguiente figura.

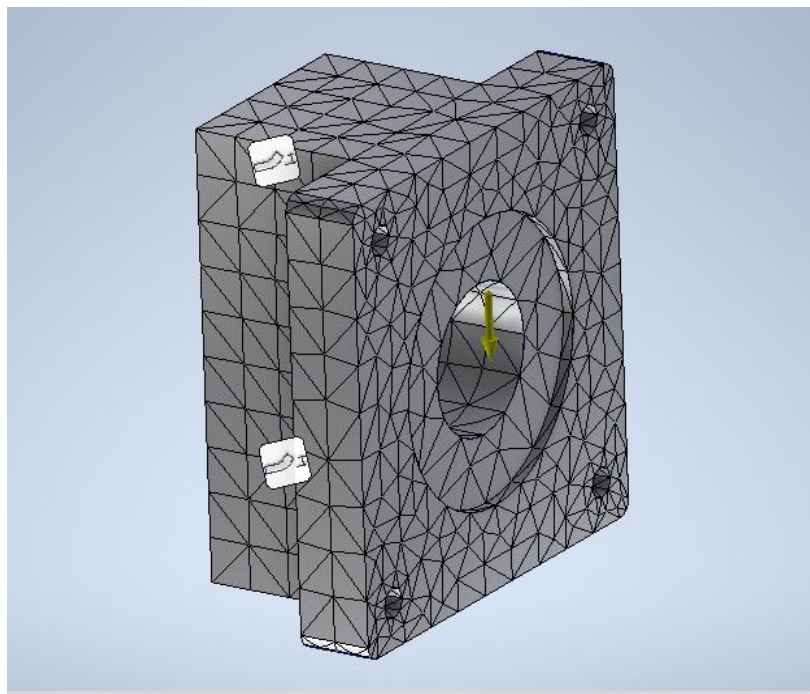


Figura 16. División en elementos de Inventor para simulación y análisis de esfuerzos.

Se corre la simulación y se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 9. Resultados del análisis de esfuerzos.

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	64275.9 mm ³	
Masa	0.173545 kg	
Tensión de Von Mises	0.0000529807 MPa	0.352569 MPa
Primera tensión principal	-0.0444954 MPa	0.448249 MPa
Tercera tensión principal	-0.332487 MPa	0.0799143 MPa
Desplazamiento	0 mm	0.0000220866 mm
Coeficiente de seguridad	15 ul	15 ul
Tensión XX	-0.0859338 MPa	0.133111 MPa
Tensión XY	-0.085456 MPa	0.0826655 MPa
Tensión XZ	-0.0278436 MPa	0.0546875 MPa
Tensión YY	-0.273482 MPa	0.323163 MPa
Tensión YZ	-0.156927 MPa	0.0599238 MPa
Tensión ZZ	-0.083028 MPa	0.185798 MPa
Desplazamiento X	-0.0000036339 mm	0.00000390335 mm
Desplazamiento Y	-0.00000534223 mm	0.0000203005 mm
Desplazamiento Z	-0.00000923212 mm	0.00000474935 mm
Deformación equivalente	0.000000000754772 ul	0.00000477669 ul
Primera deformación principal	0.000000000724564 ul	0.00000557746 ul
Tercera deformación principal	-0.00000430242 ul	-0.000000000279523 ul
Deformación XX	-0.000000764335 ul	0.000000756198 ul
Deformación XY	-0.00000164959 ul	0.00000159572 ul
Deformación XZ	-0.000000537475 ul	0.00000105565 ul
Deformación YY	-0.00000316341 ul	0.00000316289 ul
Deformación YZ	-0.00000302922 ul	0.00000115673 ul
Deformación ZZ	-0.000000767704 ul	0.0000017468 ul

El esfuerzo generado va de 0.0001 a 0.3526 MPa, el mínimo esfuerzo se crea en el límite de los barrenos donde se monta el motor, pero el esfuerzo máximo se encuentra en los barrenos donde el montaje está anclado.

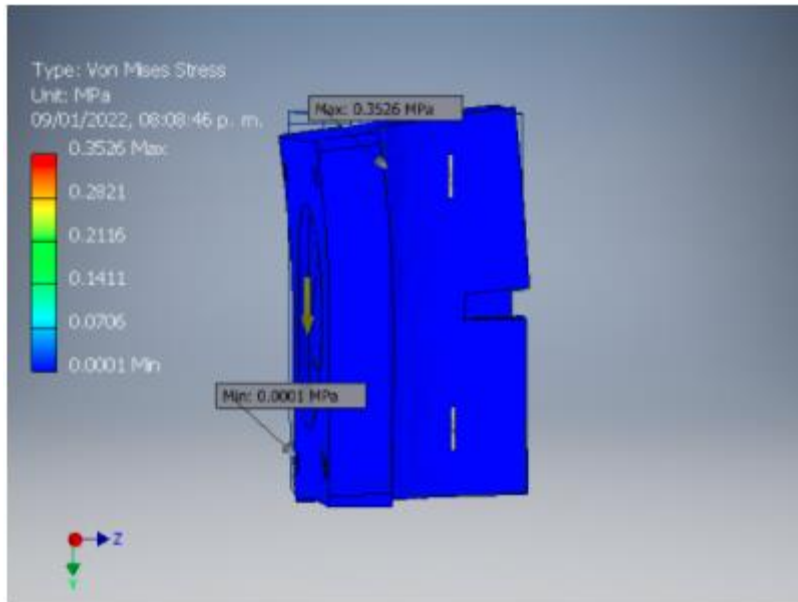


Figura 17. Esfuerzo de Von Mises.

Como se puede observar la figura completa se encuentra en color azul lo que nos indica que se encuentra en el mínimo valor de esfuerzo generado por lo que no va a sufrir deformaciones ni tendrá fallas en algún punto de la pieza.

El primer esfuerzo principal tiene valores entre 0.0445 y 0.4482 MPa y se genera en el anclaje del montaje. En las siguientes imágenes se muestra el resultado.

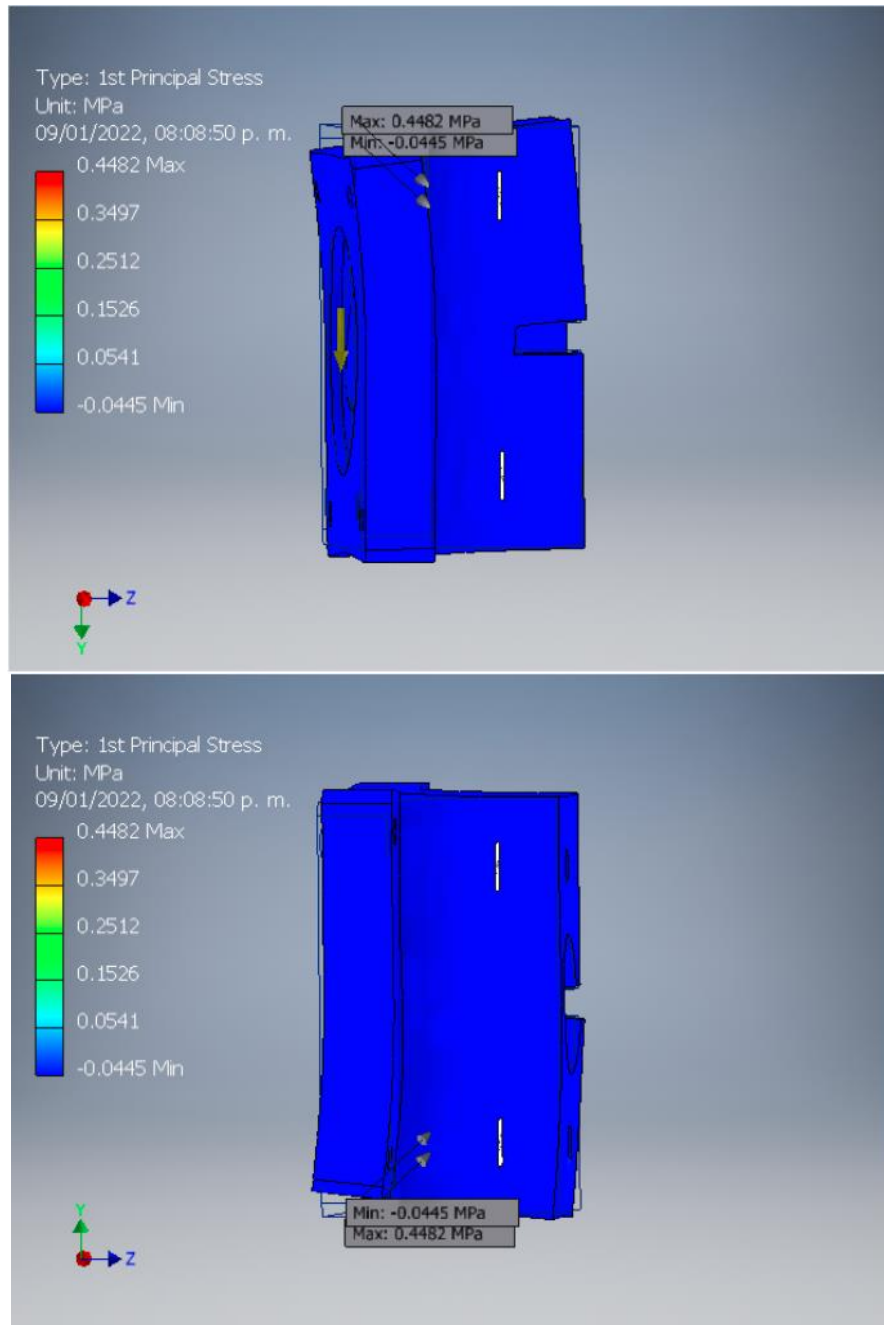


Figura 18. Primer esfuerzo principal.

El primer esfuerzo principal tiene valores por debajo del último esfuerzo a la tensión por lo que la pieza no sufrirá deformaciones ni fallas en ninguna parte.

El tercer esfuerzo principal generado tiene valores entre -0.3325 y 0.0799 MPa. En las siguientes imágenes podemos observar que valores toma y en que parte de la pieza se genera.

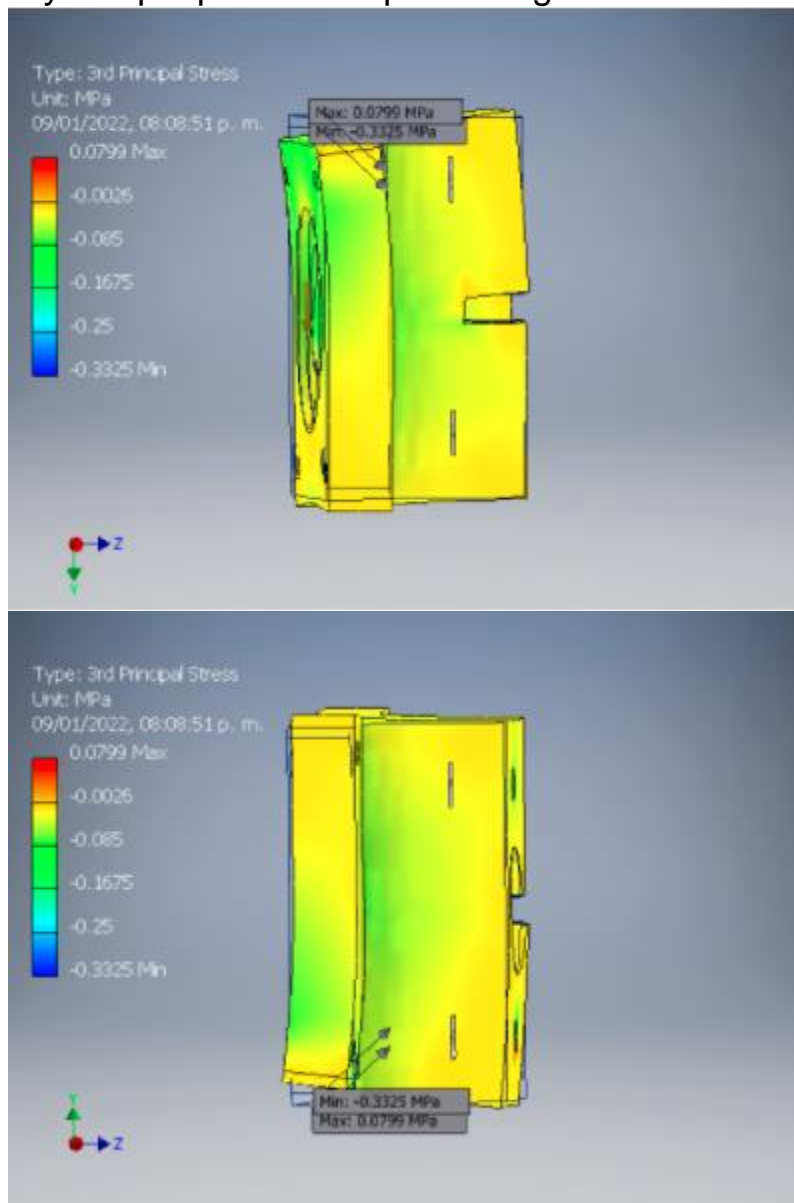


Figura 19. Tercer esfuerzo principal.

En la barra de lado izquierdo que indica mediante colores el esfuerzo generado por la carga podemos observar que la pieza está cercana al máximo valor, sin embargo este valor se encuentra por debajo del máximo permitido.

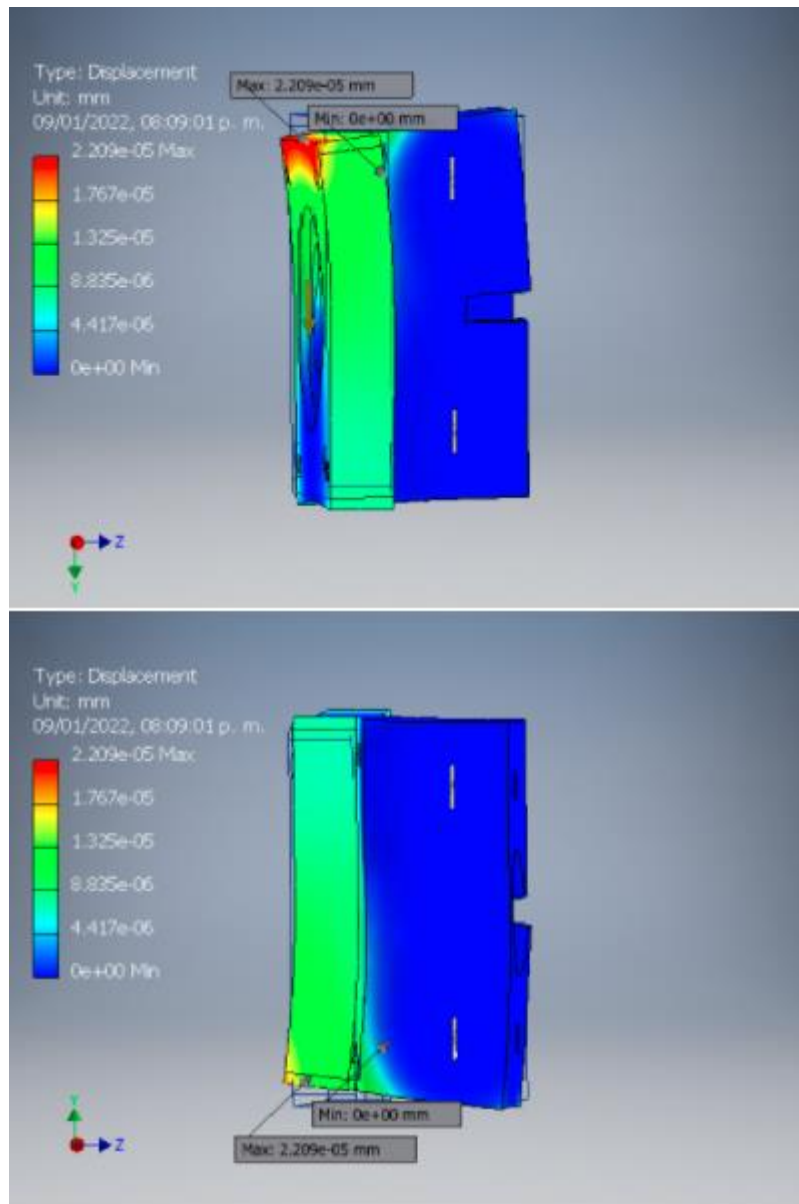


Figura 20. Desplazamiento generado por la carga.

El desplazamiento que se genera en la pieza se encuentra en la parte superior y frontal, y , tiene valores que van de 0 a 2.2×10^{-5} mm.

Para el montaje del motor 2 la fuerza se aplica sobre la cara frontal y es de tipo axial, es una fuerza que genera compresión por la forma en la que está aplicada la fuerza, los resultados de esfuerzo y deformación se muestran a continuación.

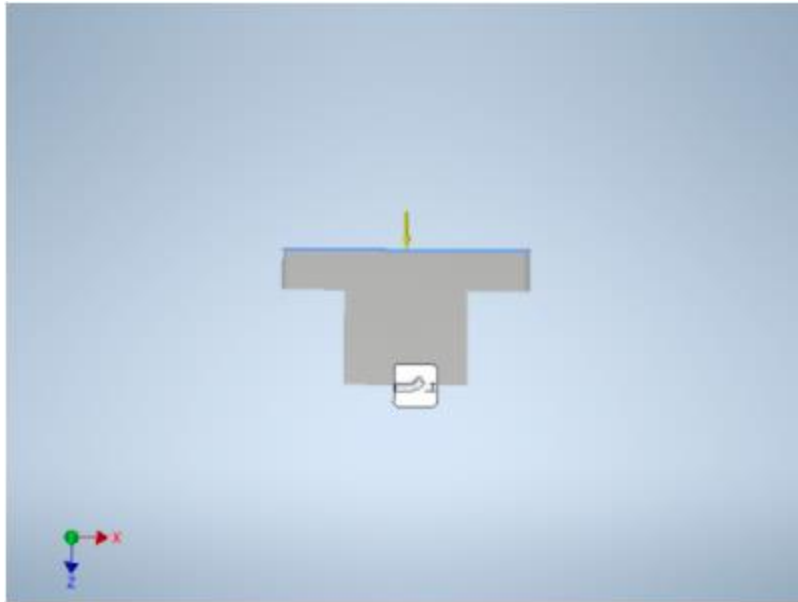


Figura 21. Desplazamiento generado por la carga.

El montaje está fijo en los dos barrenos frontales, por lo cual se aplica una restricción en la cual indicamos que puede estar sujeto mediante tornillos, soldadura o algún otro tipo de anclaje.

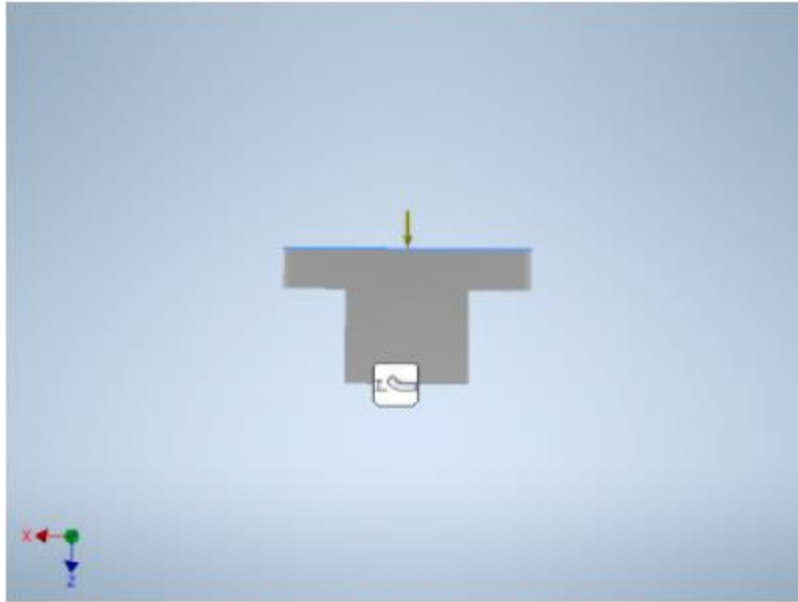


Figura 22. Selección de caras para aplicación de cargas.

El material asignado para la pieza es Aluminio 6061, las propiedades del material se describen en la siguiente tabla.

Tabla 10. Características del material seleccionado.

MATERIAL	ALUMINIO 6061		
DENSIDAD	2700 kg/cm ³	ESFUERZO DE FLUENCIA	275 MPa
MASA	0.173545 kg	ÚLTIMO ESFUERZO A LA TENSIÓN	310 MPa
{AREA	0.016 m ²	MÓDULO DE YOUNG	68.9 GPa
VOLUMEN	6.43x10 ⁻⁵ m ³		

Se realiza la simulación y se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 11. Resultados del análisis de esfuerzos.

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	64275.9 mm ³	
Masa	0.173545 kg	
Tensión de Von Mises	0.000316883 MPa	1.08131 MPa
Primera tensión principal	-0.359018 MPa	0.0462099 MPa
Tercera tensión principal	-1.40274 MPa	0.0123708 MPa
Desplazamiento	0 mm	0.0000435963 mm
Coeficiente de seguridad	15 su	15 su
Tensión XX	-0.567629 MPa	0.0421753 MPa
Tensión XY	-0.0524686 MPa	0.0490162 MPa
Tensión XZ	-0.482533 MPa	0.477553 MPa
Tensión YY	-0.609266 MPa	0.0408088 MPa
Tensión YZ	-0.511445 MPa	0.519107 MPa
Tensión ZZ	-1.10062 MPa	0.0162387 MPa
Desplazamiento X	-0.00000955492 mm	0.00000984114 mm
Desplazamiento Y	-0.00000301067 mm	0.00000290144 mm
Desplazamiento Z	0 mm	0.0000424707 mm
Deformación equivalente	0.00000000409742 su	0.0000147665 su
Primera deformación principal	0.00000000222696 su	0.00000668295 su
Tercera deformación principal	-0.0000169045 su	-0.00000000241907 su
Deformación XX	-0.000000916735 su	0.00000229005 su
Deformación XY	-0.00000101282 su	0.000000946176 su
Deformación XZ	-0.00000931451 su	0.00000921838 su
Deformación YY	-0.00000121393 su	0.00000266457 su
Deformación YZ	-0.0000098726 su	0.0000100205 su
Deformación ZZ	-0.0000110964 su	0.000000234558 su

☐ Tensión de Von Mises

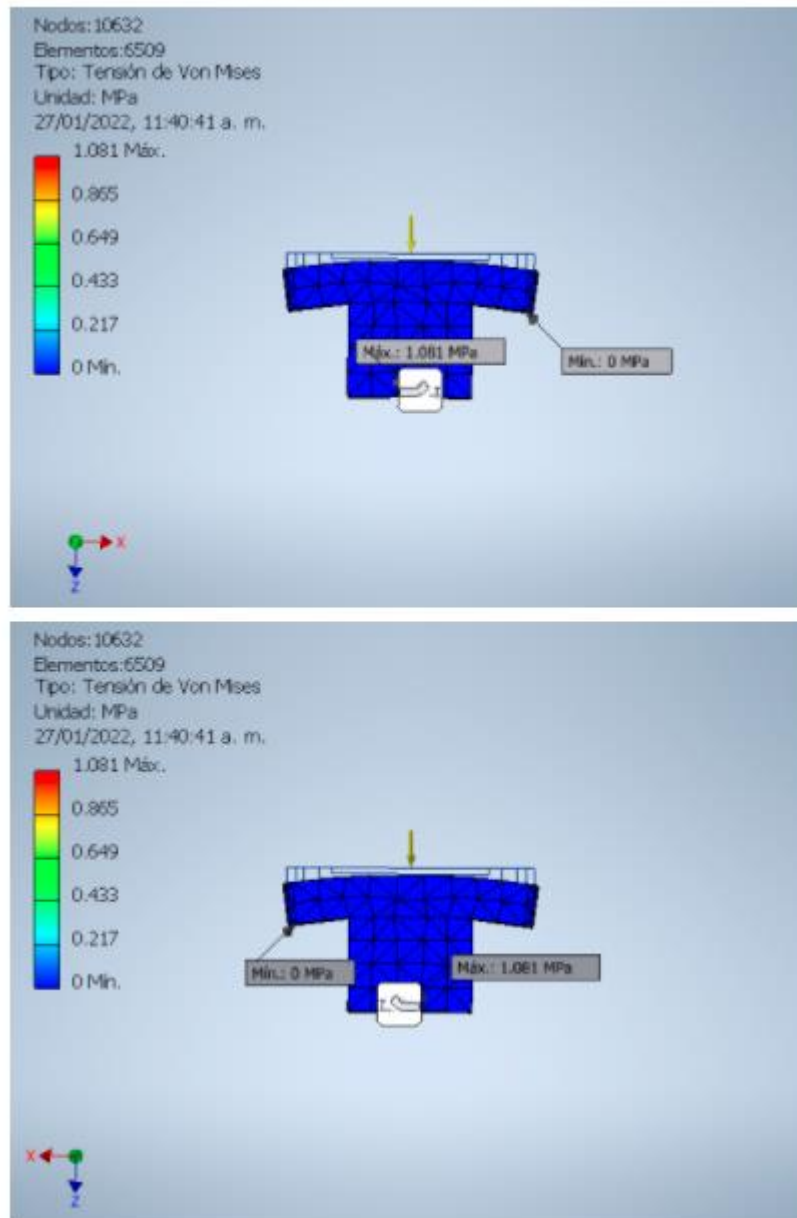


Figura 23. Esfuerzo de Von Mises.

La tensión de Von Mises toma valores que van de 0 a 1.081 MPa y debido a la carga los valores de tensión están prácticamente en 0 por lo que no sufrirá deformación en alguna parte. Si el esfuerzo generado fuera mayor al máximo permisible la deformación que sufriría sería la que se muestra en la figura.

☐ Primera tensión principal

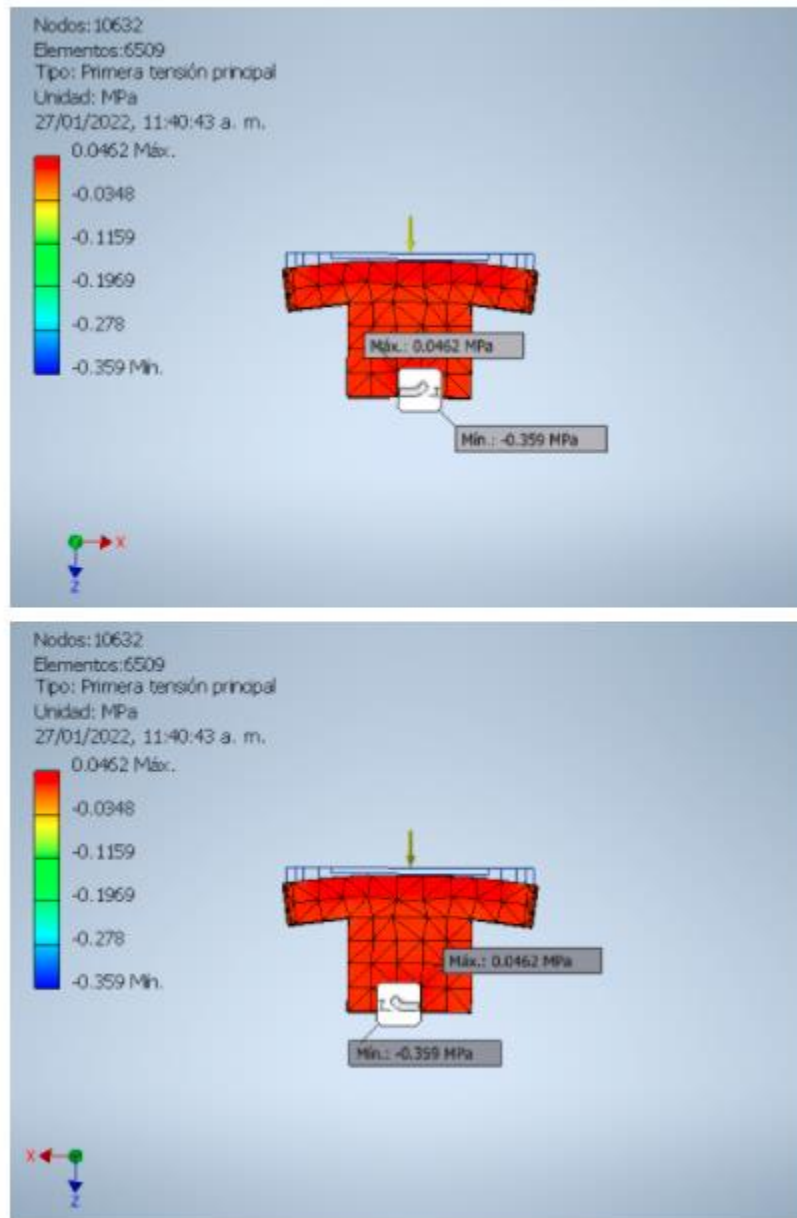


Figura 24. 1er Esfuerzo principal.

El primer esfuerzo principal toma valores que van de -0.359 MPa hasta 0.0462 MPa, como podemos observar en la figura la pieza alcanza el máximo valor, pero este se encuentra por debajo del máximo permitido por la pieza para no sufrir alguna deformación.

☐ Tercera tensión principal

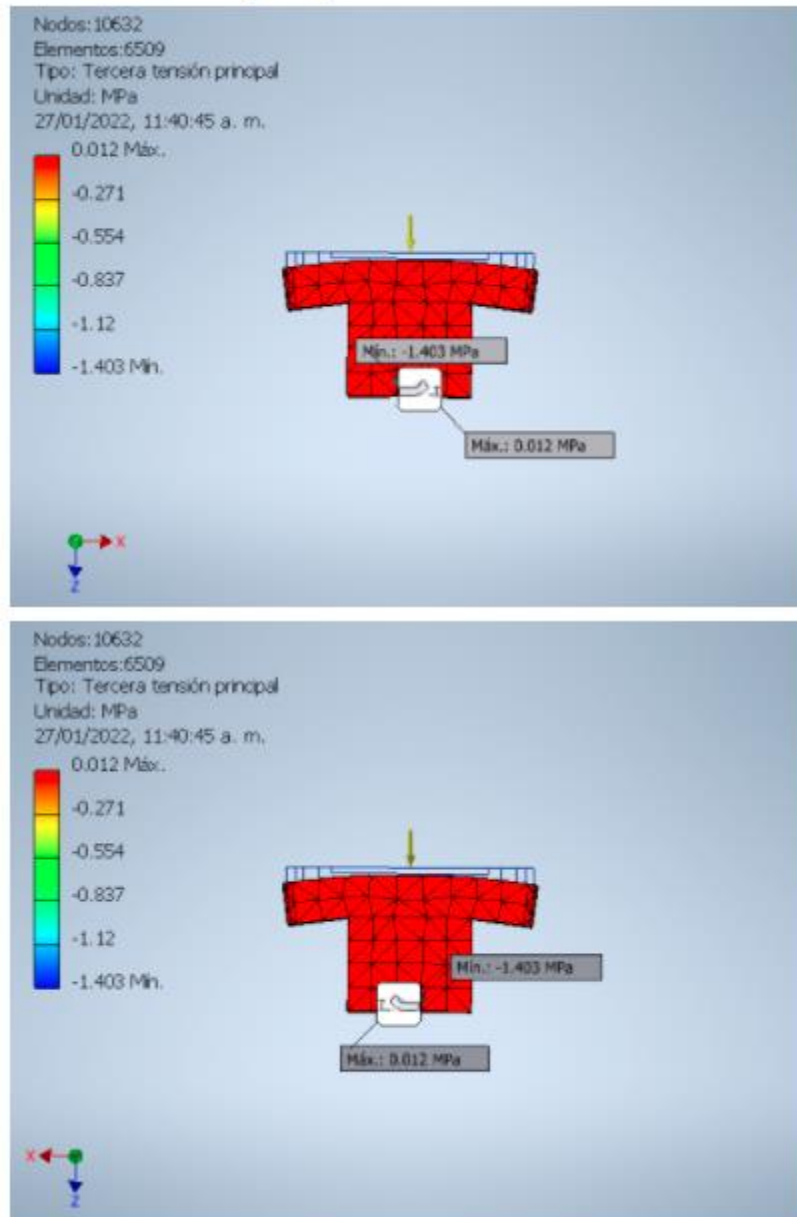


Figura 25. Tercer esfuerzo principal.

El primer esfuerzo principal toma valores que van de -1.403 MPa hasta 0.012 MPa, como podemos observar en la figura la pieza alcanza el máximo valor pero este se encuentra por debajo del máximo permitido por la pieza por lo que no va a sufrir alguna deformación.

Desplazamiento

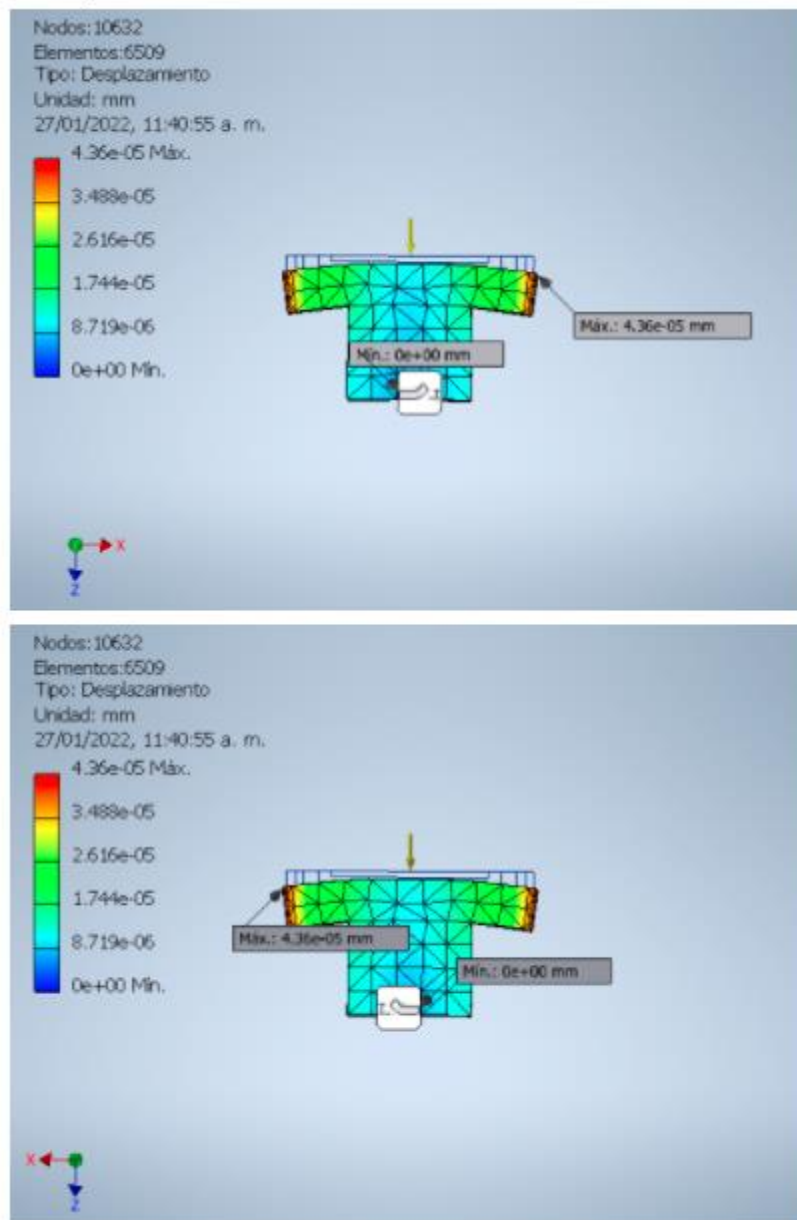


Figura 26. Desplazamiento generado debido a la carga..

El desplazamiento que pudiera sufrir la pieza debido a la carga se observa en la figura(x) el máximo valor se encuentra en el extremo de la base que soporta el motor. Los valores que toma van desde 0 mm hasta 4.35×10^{-5} mm, es decir, no sufrirá deformaciones ni desplazamientos que afecten en el funcionamiento de la pieza.

Para el montaje del motor 3 se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 12. Características del material seleccionado.

MATERIAL	ALUMINIO 6061		
DENSIDAD	2700 kg/cm ³	ESFUERZO DE FLUENCIA	275 MPa
MASA	0.173545 kg	ÚLTIMO ESFUERZO A LA TENSIÓN	310 MPa
ÁREA	0.016 m ²	MÓDULO DE YOUNG	68.9 GPa
VOLUMEN	6.43x10 ⁻⁵ m ³		

Tenemos una carga aplicada de forma remota, es decir, que va a ejercer fuerza sobre la superficie superior, pero la carga se encuentra en una posición lateral, en la siguiente figura podemos observar cómo se aplica.

☐ Cara(s) seleccionada(s)

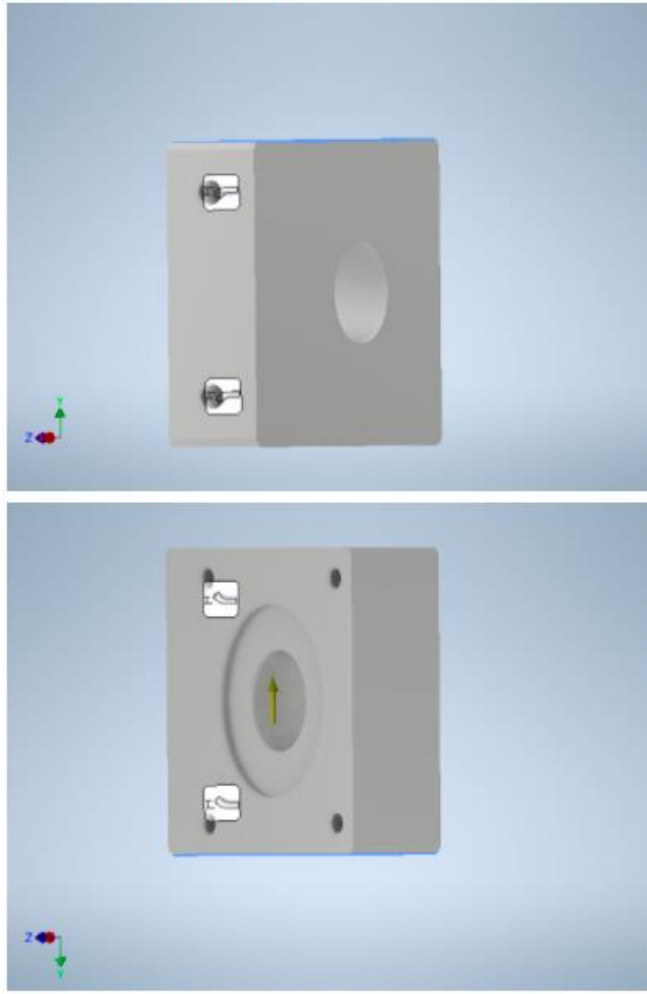


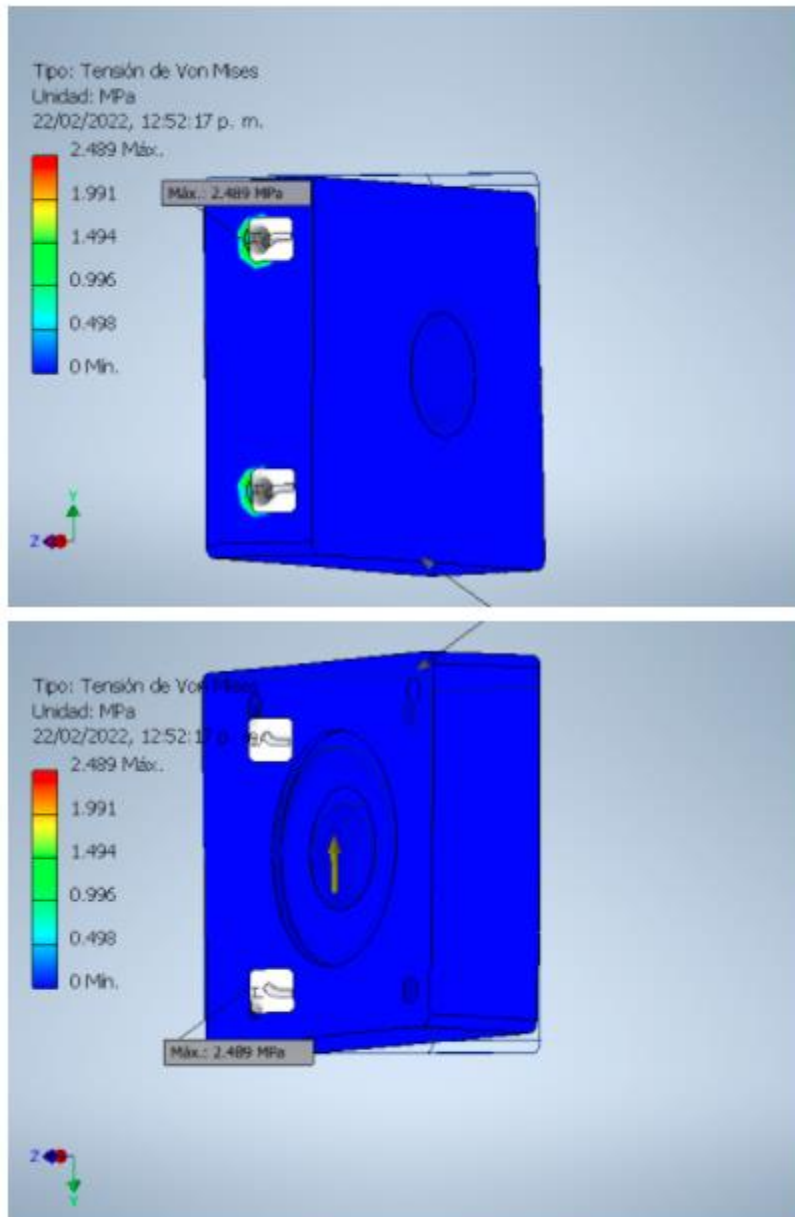
Figura 27. Selección de caras para aplicación de cargas..

El montaje está anclado en los barrenos laterales los cuales tienen una restricción indicada con las figuras en color blanco, es decir es la cara en la cual va sujeto a la estructura del brazo. En la siguiente tabla se muestran los resultados de esfuerzo a partir de la simulación.

Tabla 13. Resultados del análisis de esfuerzos.

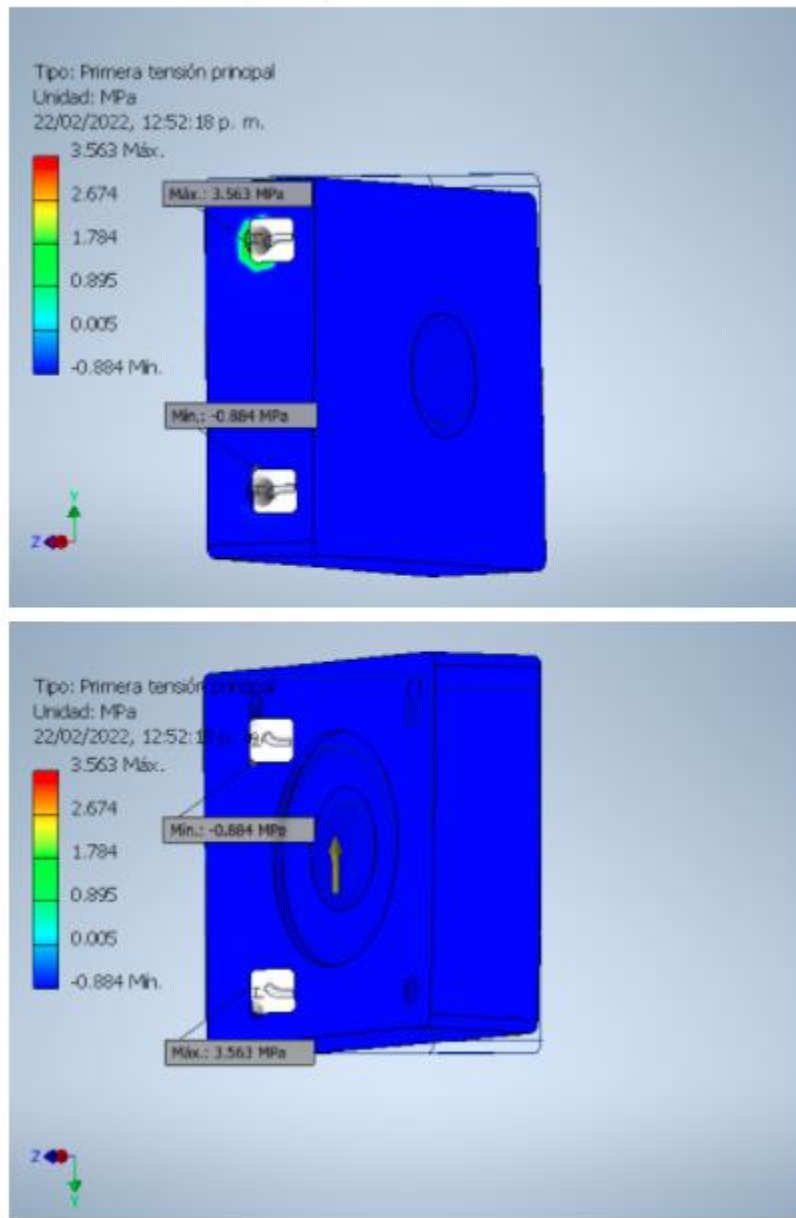
Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	75522.9 mm ³	
Masa	0.203912 kg	
Tensión de Von Mises	0.000153215 MPa	2.48919 MPa
Primera tensión principal	-0.884286 MPa	3.56335 MPa
Tercera tensión principal	-3.28026 MPa	1.02724 MPa
Desplazamiento	0 mm	0.000238234 mm
Coeficiente de seguridad	15 su	15 su
Tensión XX	-2.13348 MPa	2.32657 MPa
Tensión XY	-0.732716 MPa	1.30441 MPa
Tensión XZ	-0.839259 MPa	0.987328 MPa
Tensión YY	-2.00391 MPa	2.169 MPa
Tensión YZ	-0.391796 MPa	0.41564 MPa
Tensión ZZ	-1.34536 MPa	1.56784 MPa
Desplazamiento X	-0.0000715287 mm	0.000070126 mm
Desplazamiento Y	-0.000218162 mm	0 mm
Desplazamiento Z	-0.0000651226 mm	0.0000767 mm
Deformación equivalente	0.00000000199792 su	0.0000347338 su
Primera deformación principal	0.000000000823254 su	0.000041137 su
Tercera deformación principal	-0.0000374357 su	-0.00000000141949 su
Deformación XX	-0.0000253253 su	0.000027333 su
Deformación XY	-0.0000141439 su	0.0000251794 su
Deformación XZ	-0.0000162005 su	0.0000190587 su
Deformación YY	-0.0000130574 su	0.0000132695 su
Deformación YZ	-0.00000756298 su	0.00000802325 su
Deformación ZZ	-0.00000933307 su	0.00000975485 su

☐ Tensión de Von Mises



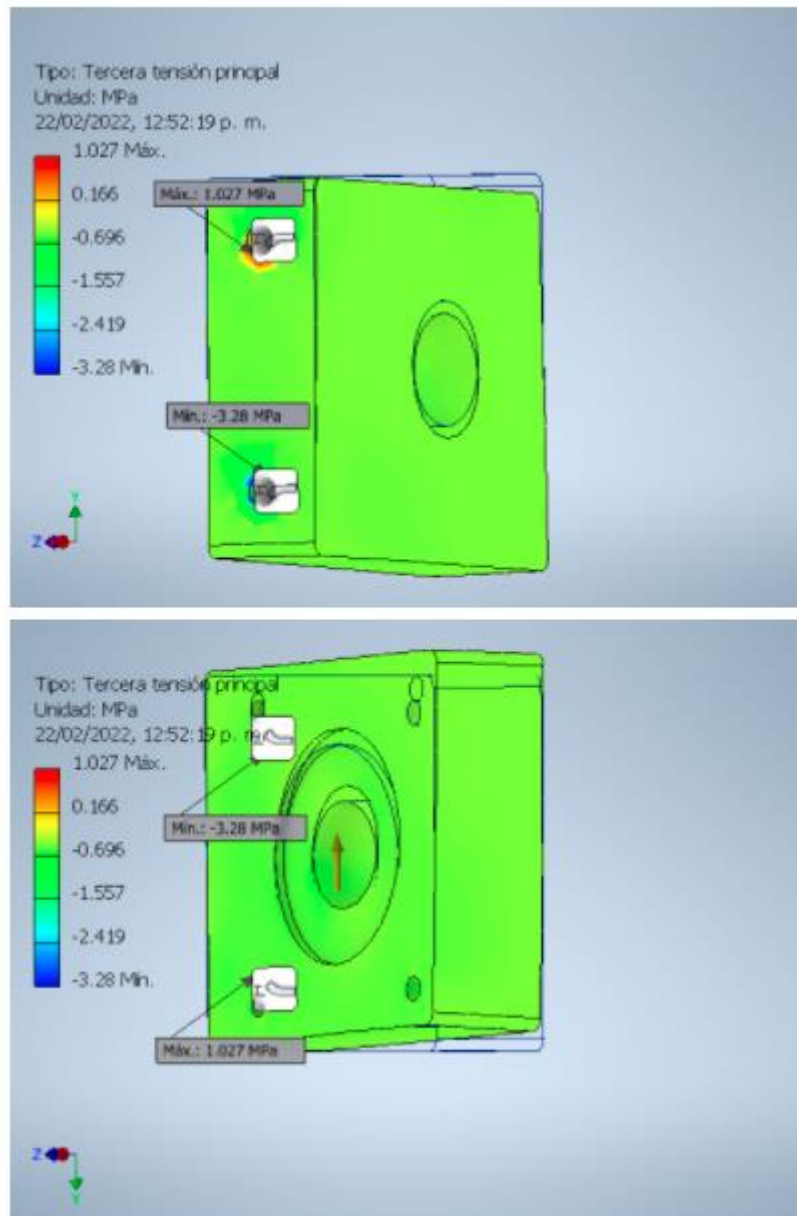
La tensión equivalente de Von Mises toma valores que van de 0 a 2.489 MPa, teniendo su punto crítico en el barreno superior en el que la pieza está anclada, en la figura anterior podemos observar en que punto alcanza el máximo valor de tensión. Los valores se encuentran por debajo del máximo permitido por las características del material.

☐ Primera tensión principal



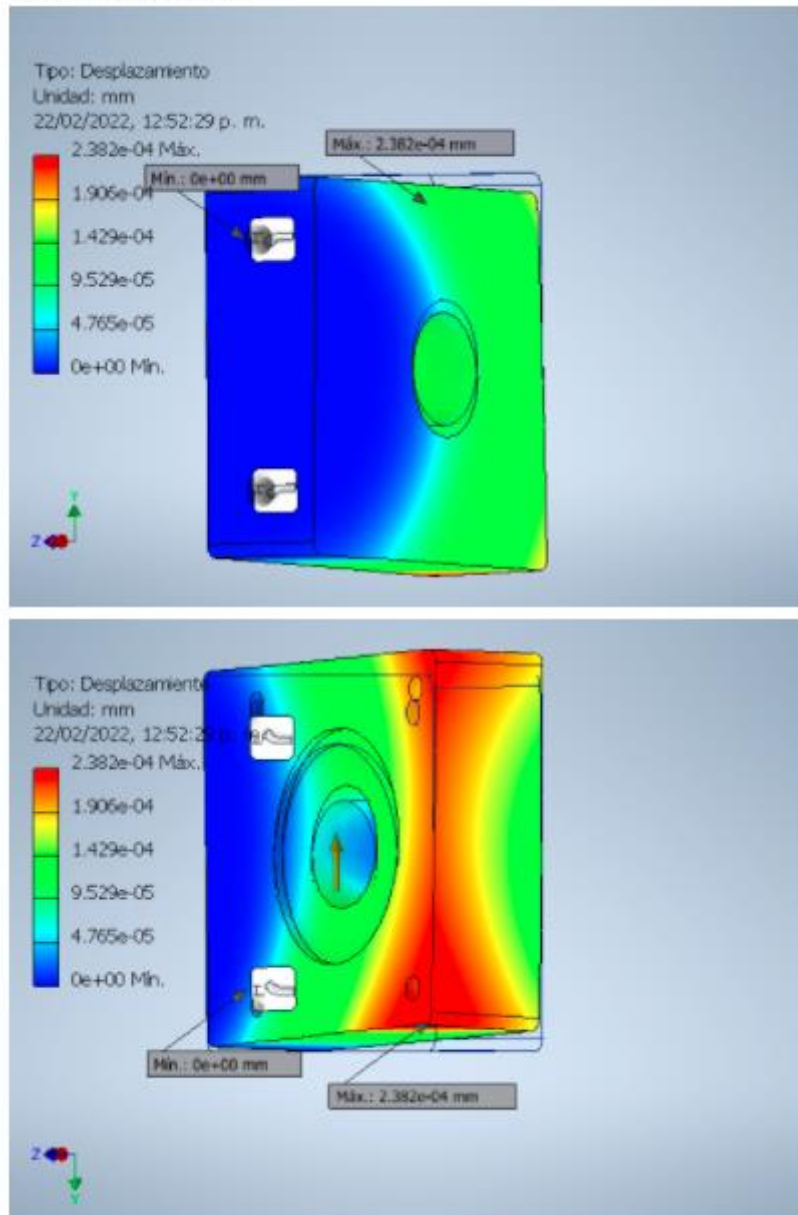
La primera tensión principal la encontramos en en los barrenos en los cuales está anclada la pieza, tomando valores que van de -0.884 a 3.563 MPa, la figura anterior nos indica justo el punto crítico de la tensión, sin embargo los valores también son menores al máximo permitido por el material.

☐ Tercera tensión principal



La tercera tensión principal se encuentra en los barrenos de anclaje, ésta toma valores que van de -3.28 a 1.027 MPa, la figura anterior indica el punto crítico de la tensión, los valores de tensión que alcanza debido a la carga son menores al máximo permitido por la figura.

Desplazamiento



El desplazamiento de la figura debido a la carga se da en los 3 ejes, en la figura anterior podemos observar la zona que sufre el mayor desplazamiento. Se tienen valores entre los 0 y los 2.382×10^{-4} . Es un valor mínimo que tendría el desplazamiento. Es decir, la fuerza aplicada por la carga en el montaje no produciría deformaciones ni fallas. La geometría cumple con lo necesario para poder usarlo para lo que fue diseñado.

8. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

8.1 Cálculo y selección de motores.

A partir de los resultados obtenidos se establece que la selección de motores fue en función de la geometría y la estructura actual del brazo robot. Los motores NEMA 23 cumplen con las características necesarias para el funcionamiento correcto del robot. Tomando en cuenta que el torque, y, la corriente de estos motores está por encima de los resultados obtenidos, por lo que no habrá inconvenientes en el funcionamiento del robot.

8.2 Diseño y construcción de montajes.

Se diseñaron los montajes necesarios para los motores previamente seleccionados, ya que los originales no cumplen con las especificaciones geométricas de los actuales, por lo que en función de la geometría se toman como base los montajes anteriores que se adecúan a la estructura del brazo y se complementan con las especificaciones geométricas de los nuevos motores.

8.3 Cálculo y selección del actuador final.

Previamente el efector final trabajaba mediante un actuador neumático, este se reemplazó por un motor a pasos, con lo cual, el brazo robot tiene únicamente motores eléctricos para generar sus movimientos. El motor NEMA 23 modelo **23HD5628**, satisface las necesidades del actuador final, es suficiente para rotar sin problemas el efector de tipo pinza. Cuenta con un torque 1.5 veces mayor al que se calculó como mínimo para poder generar el movimiento, el mismo voltaje que los motores “1” y “2”, con lo que el sistema completo funcionará con una fuente de voltaje de 12 [V]. Para este motor fue necesario también diseñar un montaje.

8.4 Implementación del control electrónico.

Los componentes del control electrónico cumplen satisfactoriamente con las necesidades del sistema. Una fuente de voltaje de 12 V, para motores que trabajan con voltajes de 12 a 24 V, drivers que entregan la corriente necesaria a los motores para su funcionamiento, una tarjeta Arduino como interfaz y pulsadores para controlar paso a paso el movimiento de los motores. La tarjeta Arduino trabaja con un voltaje de 5 V, y no entrega la corriente necesaria para los motores, por tanto, se adicionaron drivers L298N que trabajan mediante un puente H conectados a la fuente de 12 V, con lo cual se genera la corriente necesaria. El código fue desarrollado únicamente para generar rotación en sentido horario y antihorario mediante ciclos de condición. Es importante mencionar que para motores a pasos una tarjeta Arduino Mega tiene capacidad únicamente para dos motores, por lo que será necesario adicionar una más para el tercer motor a pasos y los dos motores DC que controlan la base y la muñeca de giro del efector final. El circuito de conexión y el código son los mismos que se muestran en la figura 11 y en el anexo 1 respectivamente.

8.5 Evaluación del sistema.

La selección de motores, actuador final e implementación del control electrónico se prueban con éxito, dado que no se cuenta con evidencia de funcionamiento previo, se establece que el resultado es óptimo para los requerimientos del sistema. En el archivo adjunto se puede observar que, motores, interfaz, drivers, y código son adecuados para cada movimiento del brazo robot.

9. CONCLUSIONES.

Con base en los resultados obtenidos se concluye que los objetivos se cumplieron; la selección de los motores a pasos fue en función de la geometría y estructura actual del brazo robot. Los motores cuentan con características y especificaciones que satisfacen los requerimientos para generar movimientos en el eje 'X' y el eje 'Y'. Se diseñó un sistema que trabaja con una fuente de alimentación de 12 V, no es necesario adaptar ni conectar algún componente que convierta el voltaje para el funcionamiento de algún motor.

Los montajes fueron diseñados tomando como base los anteriores ya que estos se adecúan a la geometría del brazo robot, sin embargo, fue necesario diseñar la parte que sujeta al motor, se adicionó una base con barrenos que sujetan los tornillos del motor y no interfieren en la distancia del eje del motor que se acopla al tornillo sin fin de cada eje.

El actuador final es un motor eléctrico a pasos el cual supe a un actuador neumático, el motor a pasos cumple con lo requerido por el efector final, como complemento fue diseñado un montaje ya que la geometría del actuador neumático es completamente diferente a la del motor y por tanto el montaje no es funcional.

El control electrónico de movimientos tiene como interfaz una tarjeta Arduino, la cual, no cumple con algunos requerimientos de los motores por lo que fue necesario diseñar un circuito eléctrico y complementarlo con drivers que satisfacen las especificaciones de cada motor, el control se ejecuta mediante pulsadores sin enclavar y un código en lenguaje C que generan movimientos en sentido horario y antihorario cada vez que son presionados, cabe mencionar que para cada sentido de giro hay un pulsador que controla el movimiento.

El análisis de elementos 'finitos que se realizó mediante inventor nos indica que el diseño de las piezas y el material seleccionado cumplen con lo necesario para poder montar los motores, en ningún caso se revasa el límite del valor permitido por las características del material, no habrá fallas ni deformaciones en las piezas diseñadas.

Finalmente se realizó la evaluación del sistema con lo que podemos comprobar que cada tarea realizada fue ejecutada de manera correcta, el control funciona correctamente, por lo que el código desarrollado no presenta errores, los motores giran ambos sentidos, y los montajes de los motores se adecuan a la geometría del brazo como a la del propio motor.

En conclusión, el sistema completo funciona correctamente, los movimientos se generan mediante el control, y cada elemento ejecuta la tarea para la cual fue diseñado.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] Esneca, 2019. “esneca BUSINESS SCHOOL” de <https://www.esneca.com/blog/brazo-robotico-industrias/>.
- [2] Yubal, 2018. “XATACA BASICS” de <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>
- [3] Héctor Emilio Lozano Jardón, 2016. “Aplicación de tarjetas de desarrollo (ARDUINO UNO y CNC SHIELD) en un sistema de control de movimiento”. Proyecto terminal, DCBI, Universidad Autónoma Metropolitana.
- [4] César Luis Nopal Ramírez, 2015. “Brazo de robot de seis grados de libertad” Proyecto terminal, DCBI, Universidad Autónoma Metropolitana.
- [5] Ismael Echiniqué Álvarez, 2015. “Sistema electrónico de control para un robot con seis grados de libertad” Proyecto Terminal, DCBI, Universidad Autónoma Metropolitana.
- [6] Ryan Braman, 2018. “TÜVRheiland” de <https://www.tuv.com/content-mediafiles/mexico/pdfs/industrial-services/tuv-rheinland-collaborative-roboticswhitepaper.pdf>
- [7] SEGOB, 2018. “Diario Oficial de la Federación” de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5533872&fecha=03/08/2018
- [8] CODIZI, 2020. “CODIZI BLOG” de <https://codizia>

ANEXO 1. Listado de código Arduino.

```
#include <Stepper.h>           // Incluimos la librería Stepper

#define STEPS 200              // Declaración de la variable del número de
pasos para dar una vuelta

Stepper stepper(STEPS, 5, 6, 9, 10); // Stepper nombre motor (número de
pasos por vuelta, pines de control)

                                // Pin 6-IN1, Pin 9-IN2, Pin 10-IN3, Pin
11-IN4

Stepper stepper2(STEPS, 7, 8, 11, 12);

int botonizq = 2;              // Pulsador 1

int botonder = 3;              // Pulsador 2

int estado1 = 0;

int estado2 = 0;

int botonizq2 = 4;             // Pulsador 3

int botonder2 = 5;             // Pulsador 4

int estado3 = 0;

int estado4 = 0;
```

```

void setup()
{
    stepper.setSpeed(60);           // Velocidad del motor en RPM
    stepper2.setSpeed(60);          // Velocidad del motor 2 en RPM

    pinMode(botonizq, INPUT);       // Pin del pulsador 1 como entrada
    pinMode(botonder, INPUT);       // Pin del pulsador 2 como entrada

    pinMode(botonizq2, INPUT);      // Pin del pulsador 3 como entrada
    pinMode(botonder2, INPUT);      // Pin del pulsador 4 como entrada
}

void loop()
{
    estado1 = digitalRead(botonizq);
    estado2 = digitalRead(botonder);
    estado3 = digitalRead(botonizq2);
    estado4 = digitalRead(botonder2);

    if( estado1 == HIGH)            // Girar un paso en un sentido
    {
        stepper.step(1);
    }
}

```

```
}  
  
else                                // El motor se detiene  
{  
    stepper.step(0);  
}  
  
if( estado2 == HIGH)                // Girar un paso en sentido contrario  
{  
    stepper.step(-1);  
}  
  
else                                // El motor se detiene  
{  
    stepper.step(0);  
}  
  
if( estado3 == HIGH)                // Girar un paso en un sentido  
{  
    stepper2.step(1);  
}  
  
else                                // El motor se detiene  
{  
    stepper2.step(0);  
}
```

```

if( estado4 == HIGH)           // Girar un paso en sentido contrario
{
    stepper.step(-1);
}
else                           // El motor se detiene
{
    stepper.step(0);
}
}

```

CÓDIGO PARA MOTORES DC.

```

int pinPulsador = 8 ;
int pinMotor = 9 ;
int estadoPulsador = 0 ;
void setup()
{
    pinMode(pinPulsador, INPUT);
    pinMode(pinMotor, OUTPUT);
    digitalWrite(pinMotor, LOW);
}

```

```
void loop()

{

    estadoPulsador = digitalRead(pinPulsador);

    if(estadoPulsador == HIGH)

    {

        digitalWrite(pinMotor,HIGH);

    }

    else{

        digitalWrite(pinMotor,LOW);

    }

}
```

ANEXO 2. DIBUJOS DE LOS COMPONENTES.

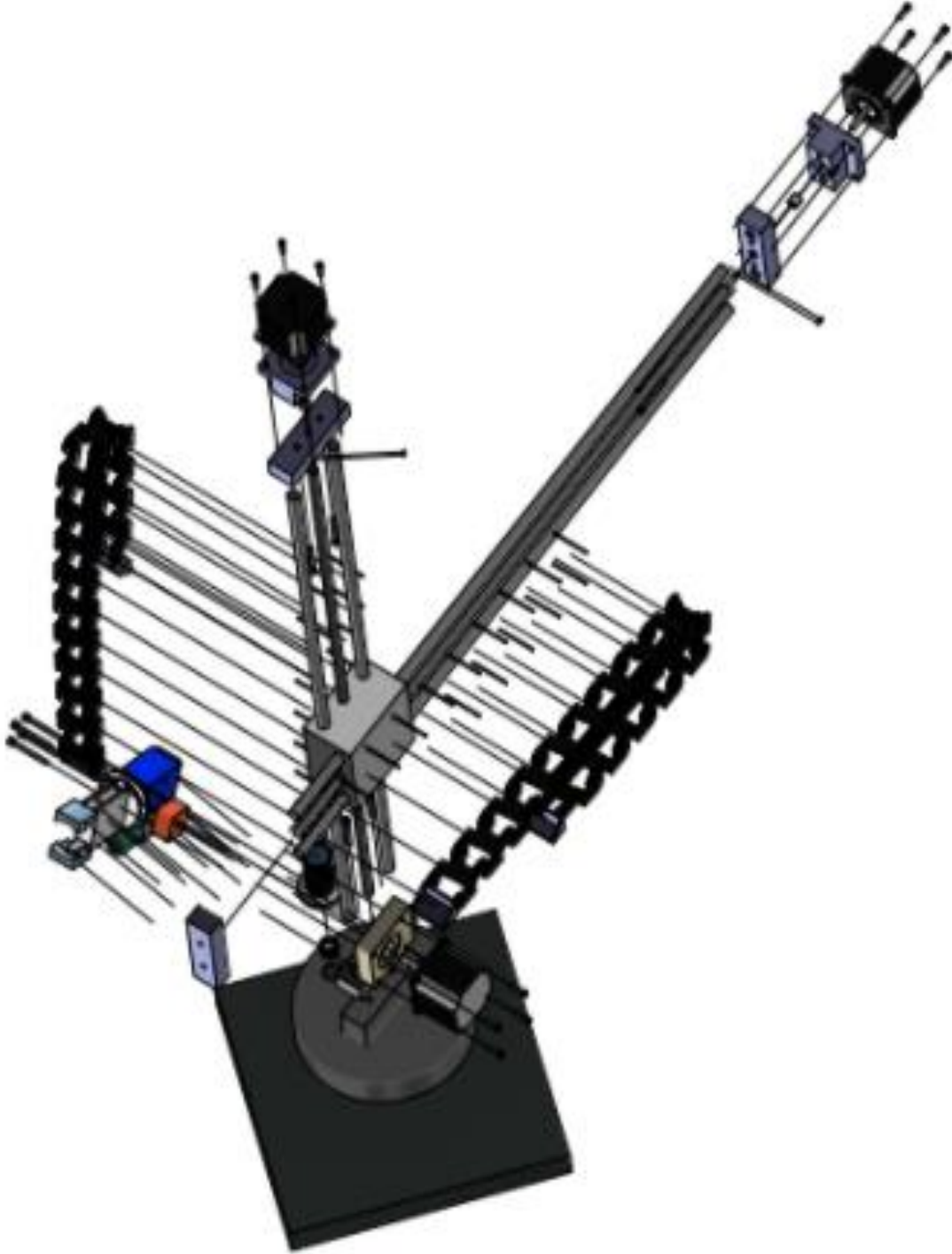


Figura 14. Explosionado del Sistema.

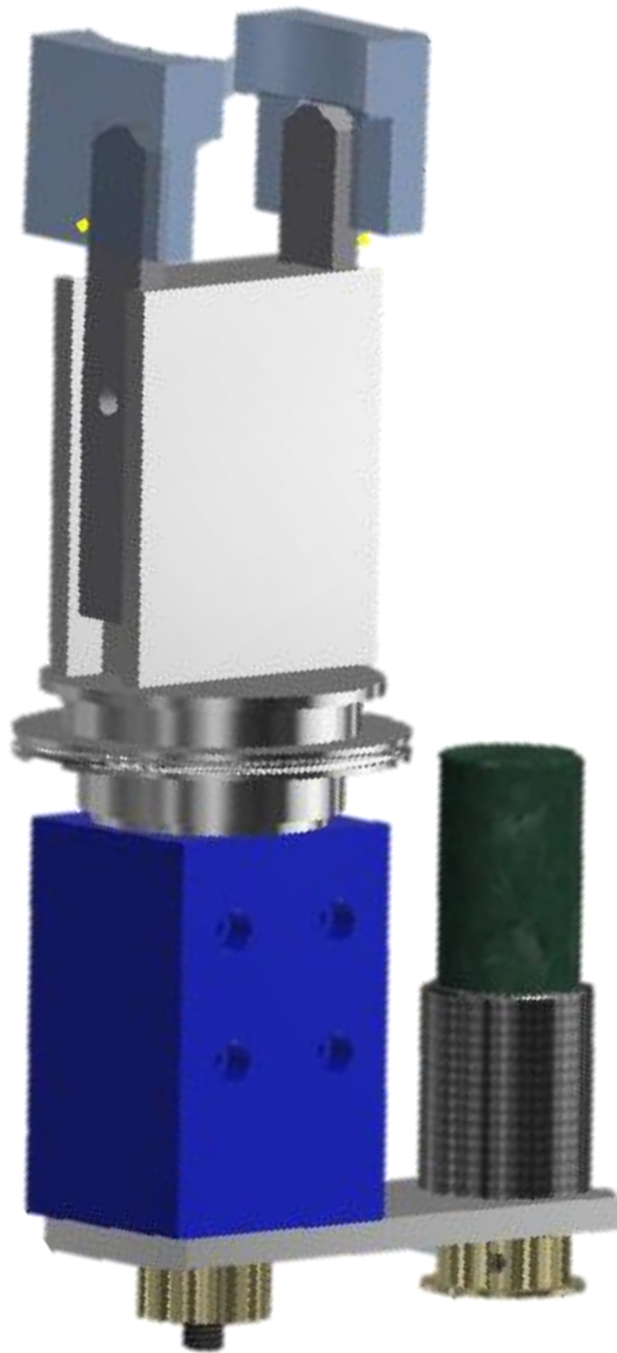


Figura 15. Efecto final.



Figura 16. Segmento del dibujo del tornillo infinito.

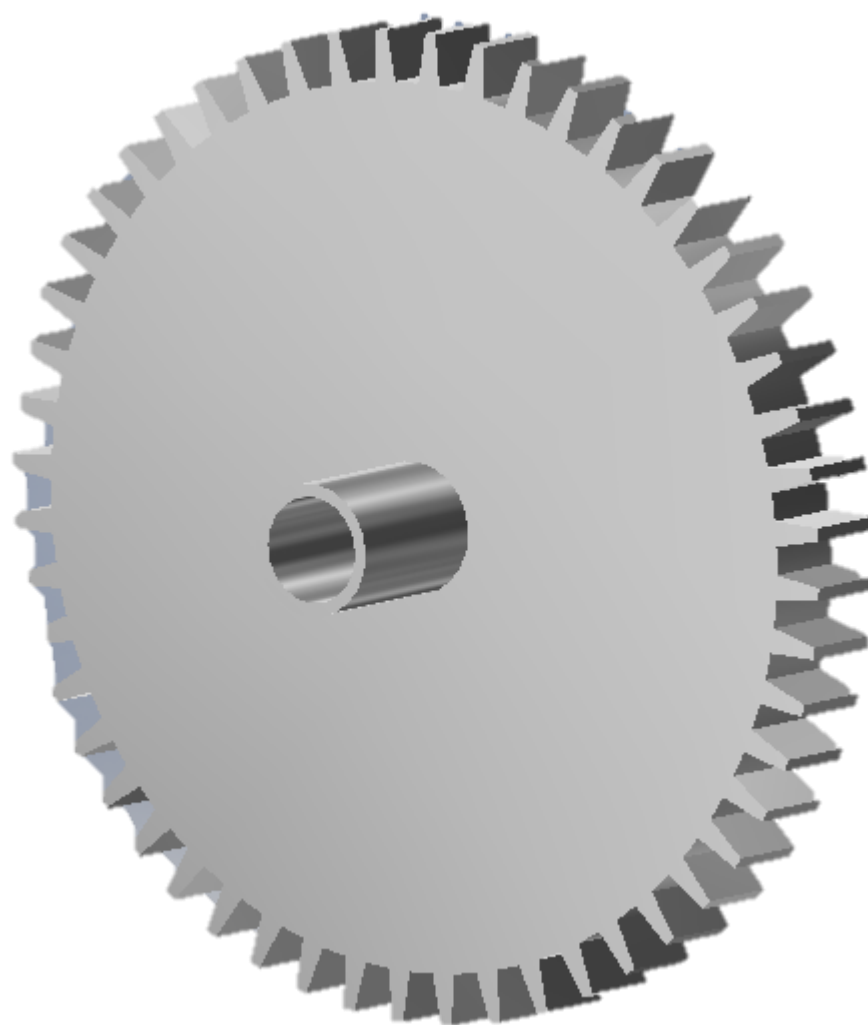


Figura 17. Engrane de la base giratoria.

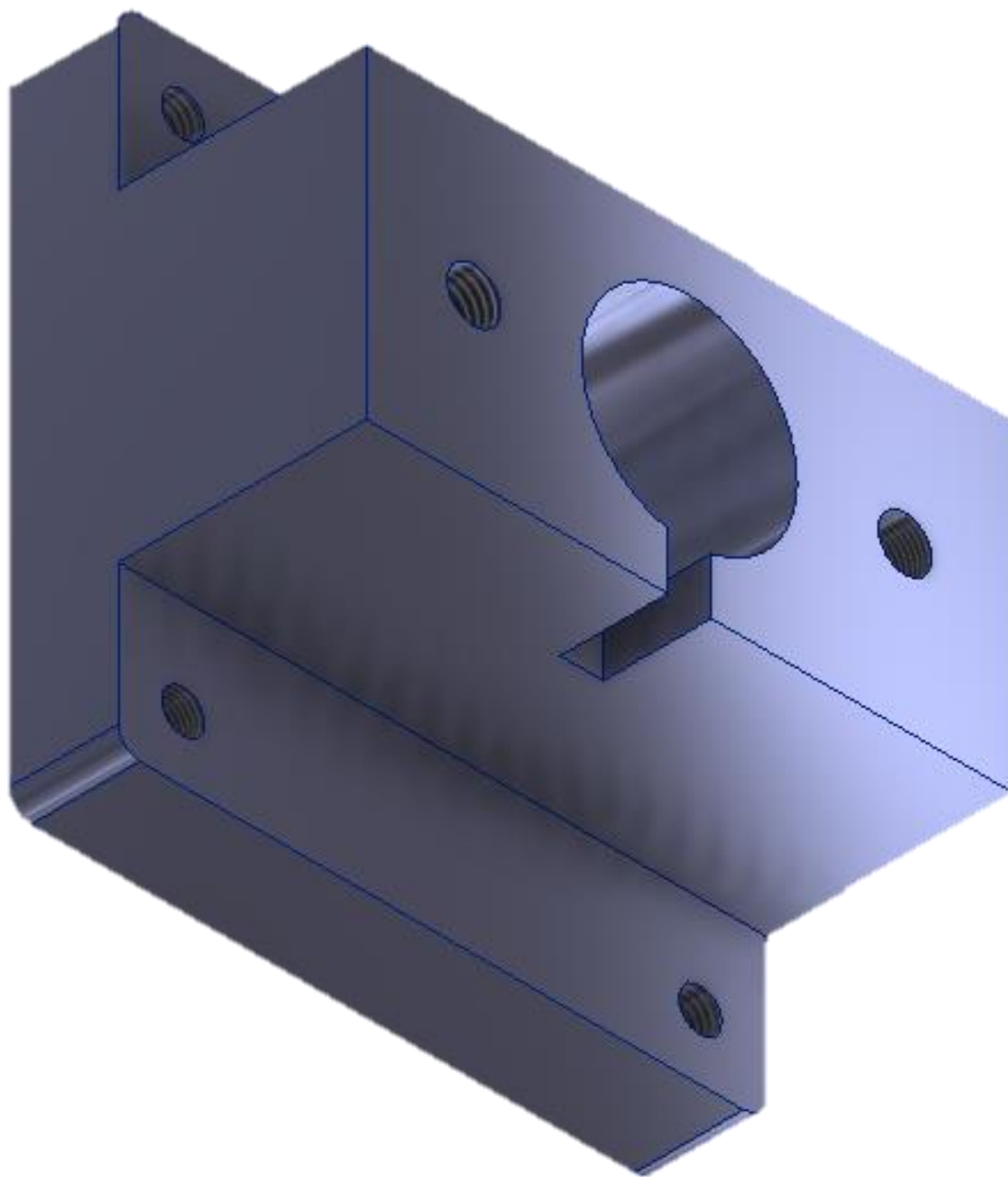


Figura 18. Base para motor a pasos.

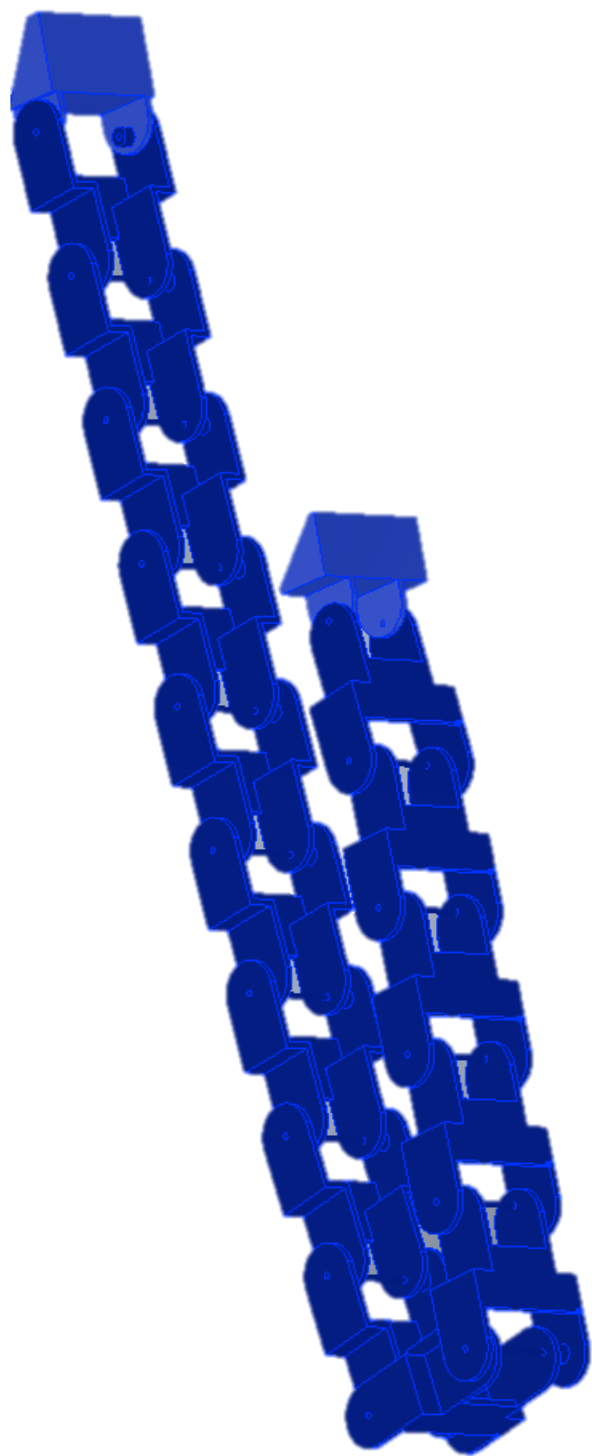


Figura 19. Cadena de movimiento.

Anexo 3. Implementación de motores DC.

Para los dos motores DC que forman parte del sistema no fue necesario llevar a cabo ninguna selección, ya que funcionan de manera regular. Ambos motores tienen diferentes formas de implementarse, dado que para el proyecto se usaron una tarjeta Arduino y drivers L298n, se propone usar estos elementos para ponerlos en funcionamiento. Importante mencionar que si fuera el caso, podría suplirse el L298n por un circuito integrado L293D o un transistor 'N', cualquiera de las opciones funciona correctamente. El circuito implementado con Arduino y L298n se muestra en el desarrollo de este reporte, en la siguiente figura se muestra un circuito ARDUINO-TRANSISTOR-PULSADOR-MOTOR, realizado en el software "Tinkercad" (Licencia de Autodesk) mediante el cual se puede realizar también una simulación del funcionamiento del circuito.

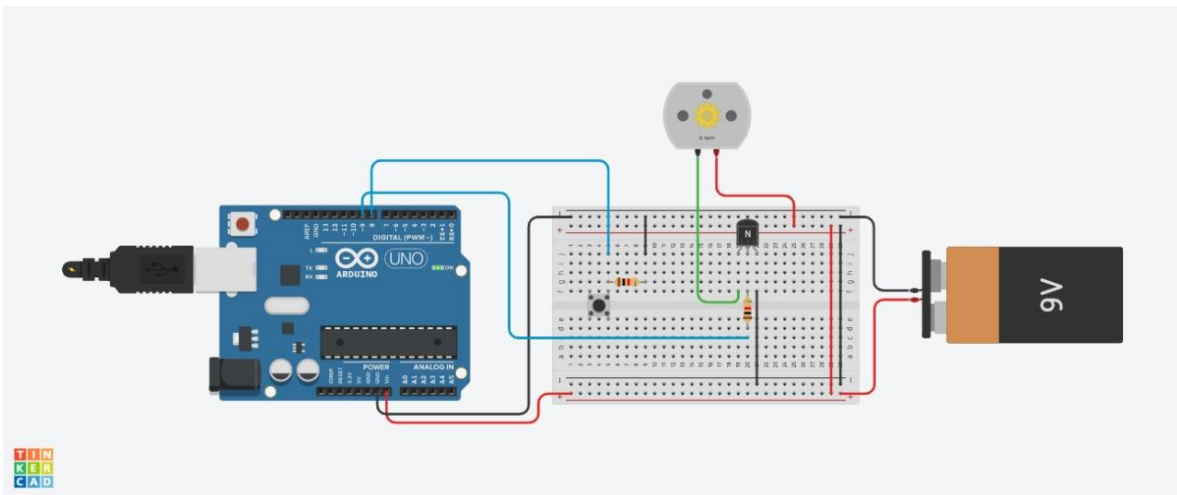


Imagen . Circuito ARDUINO-TRANSISTOR-PULSADOR-MOTOR.

El código de funcionamiento para este circuito se encuentra en el Anexo 1 del reporte.

Será necesario implementar una tarjeta más ya que en la primera las salidas digitales son ocupadas por los motores a pasos, por lo que la implementación de los motores DC, requiere de una tarjeta Arduino extra.