



FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS

Trabajo de fin de Carrera titulado:

Fabricación de un modelo de brazo robótico, mediante manufactura aditiva para prácticas de programación de movimientos para la Facultad de Arquitectura e Ingenierías.

Realizado por:

Martin Esteban Navarrete Ortiz

Director del proyecto:

PhD. Diana Belén Peralta Zurita

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERO EN MECÁNICA EN DISEÑO DE MATERIALES

QUITO, Febrero 8 del 2025

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, MARTIN ESTEBAN NAVARRETE ORTIZ, ecuatoriano, con Cédula de ciudadanía N° 172426322-1, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional, y se basa en las referencias bibliográficas descritas en este documento.

A través de esta declaración, cedo los derechos de propiedad intelectual a la

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y normativa institucional vigente.



MARTIN ESTEBAN NAVARRETE ORTIZ

C.I.: 172426322-1

DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.

Director de proyecto

PhD. Diana Belén Peralta Zurita

LOS PROFESORES INFORMANTES:

Msc. Jaime Vinicio Molina Osejos

Msc. María Gabriela Mancheno

Después de revisar el trabajo presentado lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador.

Msc. Jaime Vinicio Molina Osejos

Msc. María Gabriela Mancheno

Quito,

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.



MARTIN ESTEBAN NAVARRETE ORTIZ

C.I.: 172426322-1

Resumen

El presente proyecto consistió en la fabricación de un brazo robótico utilizando un modelo de libre acceso de 6 grados de libertad, mediante el proceso de fabricación de filamentos fundidos. Este brazo fue elaborado con el fin de que sea herramienta de estudio en la facultad de arquitectura e ingenierías destinando a las carreras STEAM de la Universidad Internacional SEK

Con el modelo seleccionado se diseñó cada una de las piezas en 3D con el software Inventor, considerando las medidas para colocar los motores y asegurar que el brazo tuviera una dimensión de más de 80 cm. Posteriormente, se ensamblaron las piezas comprobando la forma final del brazo. Se analizó matemáticamente aspectos como: el agarre de la pinza, grados de libertad, análisis de cargas máximas y estructural para identificar cual es el punto de mayor esfuerzo.

Con los resultados de los análisis, se procedió a imprimir en 3D de cada pieza del brazo, para luego ensamblar los componentes electrónicos y a su vez conectar el brazo robótico a una aplicación que permite mover las articulaciones mediante bluetooth, esta aplicación se desarrolló en MIT App Inventor, para realizar los movimientos del mismo.

Como resultado, el análisis estructural reveló que el punto de mayor esfuerzo determinado se encuentra en la unión de la articulación 2 y 3 denominado Punto A, este tiene que aplicar más fuerza para poder mover el peso. Además, el brazo robótico demostró que cuenta con una capacidad de levantar un peso de 2,5kg teórico en los ensayo que se realizó levanta hasta 1kg, ejecuta los movimientos controlados por la aplicación con la que está conectada el brazo.

Palabras clave: 1. Brazo Robótico, 2. Fabricación por fundición de filamentos, 3. Impresión 3D, 4. Control Automático.

Abstract

The present Project consisted of the manufacture of a robotic arm using a free Access model of 6 degrees of freedom, through the process of manufacturing fused filaments. This arm was developed in order to be a study tool in the faculty of architecture and engineering destined for STEAM careers at SEK International University.

With the selected model, each of the parts was designed in 3D with the measurements to place the motors and ensure that the arm had a dimension of more than 80 cm. Subsequently, the pieces were assembled by checking the final shape of the arm. Aspects such as the grip of the gripper, degrees of freedom, analysis of maximum loads and structural were mathematically analyzed to identify which is the point of greatest effort.

With the results of the analyses, each piece of the arm was 3D Printed, and then the electronic components were assembled and in turn the Robotic arm was connected to an application that allows the joints to be moved via bluetooth, this application was developed in MIT App Inventor, to perform the movements of the same.

As a result, the structural analysis revealed that the point of greatest effort determined is located at the junction of joint 2 and 3 called Point A, this has to apply more force to move the weight. In addition, the Robotic arm showed that it has a capacity to lift a theoretical weight of 2.5kg in the test that was performed lifts up to 1kg, executes the movements controlled by the application with which the arm is connected.

Keywords: 1. Robotic Arm, 2, Manufacturing Fused Filament, 3. 3D Printing, 4. Automatic Control.

Tabla de Contenidos

Introducción	14
Justificación	18
Objetivos	19
Hipótesis	19
Estado del arte	20
Metodología	38
Discusión de Resultados	109
Conclusiones	111
Recomendaciones	113
Lista de referencias	115
Anexos	117

Lista de tablas

Tabla 1. Parámetros de impresión 3D.....	68
Tabla 2. Análisis puntos críticos.....	102
Tabla 3. Esfuerzos cortantes	103

Lista de Figuras

Figura 1. Robot angular o antropomórfico	21
Figura 2. Piezas del robot antropomórfico.....	22
Figura 3. Representación del porcentaje de relleno	25
Figura 4. Patrón de relleno.....	26
Figura 5. Servomotor RDS 5160	30
Figura 6. EP32 ONE	31
Figura 7. Página principal de la plataforma MIT App Inventor	33
Figura 8. Página para la creación de aplicaciones	34
Figura 9. Grados de libertad según tipo de articulación.	35
Figura 10. Flujograma.....	39
Figura 11. Modelo de brazo robótico.....	40
Figura 12. Partes del brazo robótico	42
Figura 13. Base de Brazo Robótico	43
Figura 14. Articulación 1	45
Figura 15. Articulación 2	46
Figura 16. Articulación 3	48
Figura 17. Ensamble total de brazo robótico	51
Figura 18. CREALITY ENDER-3 V3 KE	66
Figura 19. BAMBU LAB X1- CARBON.....	67
Figura 20. Laminado de piezas en Ultimaker Cura	70
Figura 21. Impresión 3D de piezas	77
Figura 22. Proceso de impresión con impresora Bambu Lab X1-Carbon	82
Figura 23. Armado de piezas	83
Figura 24. Colocación de componentes electrónicos Articulación 1.....	84
Figura 25. Colocación de componentes electrónicos Articulación 1.....	85
Figura 26. Colocación de componentes electrónicos Articulación 2.....	87
Figura 27. Garra o Gripper.....	89
Figura 27. Colocación de componentes electrónicos Articulación 3.....	89
Figura 28. Ensamble final del brazo	91
Figura 29. Conexión y programación de motores.....	92
Figura 30. Programación en Arduino Ideal.....	94
Figura 31. Aplicación para brazo robótico	95
Figura 32. Ensamblaje 3D Articulaciones	96
Figura 33. Ensamblaje 3D final del brazo robótico	99
Figura 34. Dimensiones Brazo.....	101
Figura 35. Ensamble Final	103
Figura 36. Ensayos de movimientos	105

Lista de diagramas

Diagrama 1. Grados de libertad	52
Diagrama 2. Diagrama de cuerpo libre punto crítico 1.....	58
Diagrama 3. Diagrama de cuerpo libre punto crítico 2.....	60
Diagrama 4. Esfuerzo cortante Articulación 1.....	63
Diagrama 5. Esfuerzo cortante Articulación 2.....	64
Diagrama 6. Esfuerzo cortante Articulación 3.....	65
Diagrama 7. Diagrama Eléctrico.....	104

Lista de ecuaciones

Ecuación 1. Ecuación de Gruebler.....	36
Ecuación 2. Ecuación de equilibrio	36
Ecuación 3. Esfuerzo cortante.....	37
Ecuación 4. Momento flector.....	37
Ecuación 5. Cortante doble	38

Lista de anexos

Anexo 1. Servo motor DS5160SSG.....	118
Anexo 2. Servo motor MG996R.....	120
Anexo 3. Servo motor HS-805MG	122
Anexo 4. Placa eléctrica.....	123

Introducción

En la actualidad existen diversos estudios, en los que analizaron las distintas aplicaciones que pueden tener las tecnologías de la información y comunicación, también conocidas como TIC, estas se las pueden utilizar en distintos sectores como: industriales, de servicios, así como la educación. Tomando un enfoque en el sector educativo, utilizando la robótica educativa que también es denominada robótica pedagógica o robótica aplicada a la educación, se tiene dos perspectivas que es como objeto de estudio y herramienta mediática para el aprendizaje, con esta última al ser un método visual ha sido demostrado que ayuda a los estudiantes en comprender de mejor manera el diseño, manejo y construcción de un robot. (González et al., 2021)

En la formación en campos como la automatización, control de procesos o programación de sistemas; las carreras STEAM al combinar elementos de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas con el arte, permite que los estudiantes se motiven y enfrenten a los problemas reales, generando que estos sean los principales protagonistas, permitiéndoles encontrar soluciones adecuadas. De igual manera, si las soluciones se las puede probar sobre plataformas reales, esto producirá que el alumno comprenda de mejor manera cómo aplicar los conocimientos adquiridos y a su vez obtener competencias, las cuales se les serán útiles para su futuro profesional. (Casado & Checa, 2020)

Múltiples artículos han evidenciado que el aprendizaje STEAM gana cada vez más fuerza en el sector educativo, ya que permite la familiarización con el desarrollo tecnológico de una manera lúdica y motivante, logrando que los estudiantes obtengan competencias asociadas al modelo como: autonomía, emprendimiento, colaboración,

comunicación, conocimiento y manejo de la tecnología, creatividad, e innovación, diseño y fabricación de productos, pensamiento crítico y resolución de problemas. (González et al., 2021)

El presente proyecto consiste en la fabricación de un brazo robótico de 6 grados de libertad impresión 3D con fabricación de filamentos fundidos (FFF). Se hizo con la finalidad de que este se utilice como herramienta didáctica, para que a los estudiantes se les facilite la comprensión de los conceptos teóricos y que puedan realizar prácticas.

Antecedentes

Un estudio realizado por Rivera en 2020, el cual analizo la importancia de la didáctica en los procesos de enseñanza y determinó que es fundamental en la mejora educativa, el proyecto de innovación didáctica es una estrategia, que permite un proceso de indagación y solución, el cual tiene tres fases elementales que son: planeación, implementación y evaluación del profesional de la educación.

En la docencia universitaria no existen estrategias didácticas, por lo que esto puede afectar el rendimiento de los estudiantes debido a que se cuenta con métodos y recursos actualizados, por lo que toda la planificación didáctica logra optimizar la adquisición de competencias en los alumnos y facilitar la tarea del profesor. (W. Rivera, 2020)

Para el diseño y fabricación del brazo robótico se han ejecutado varias investigaciones, de las cuales una fue realizada por Víctor Erazo, desarrolló un análisis sobre el diseño, la manufactura y otras técnicas de fabricación, por lo que es beneficioso para el aprendizaje.

Mediante la utilización de software, este nos ayuda a reducir las horas de diseño y construcción de prototipos, previniendo así los errores en el momento de su fabricación. (Erazo-Arteaga, 2022)

Al evaluar los diversos métodos de fabricación para el brazo robótico, se determinó que la adecuada es la manufactura aditiva con impresión 3D, ya que está proporcionar beneficios en la industria automotriz, manufactura industrial y electrónica.

La manufactura de elementos se la define como una herramienta innovadora, cuyos beneficios son modelos a bajo costo y con un tiempo de manufactura eficiente. (Cruz et al., 2023) En proyecto realizado por Franco en 2023, estudio la fabricación aditiva, con el fin de imprimir capa a capa las diferentes piezas, mediante capas no planas cilíndricas; que permite un mayor ajuste a las distintas pieza, permitiendo que tengan un mejor acabado superficial y mejor comportamiento de las piezas con respecto a los esfuerzos a los que se sometieron, evitando los concentradores de tensiones, logrando una distribución más homogénea sobre la pieza. (Franco, 2023)

Planteamiento del Problemas

Hasta la actualidad a nivel educativo, hay ocasiones en las que los estudiantes pierden el interés en algunos temas, a causa de la falta de entendimiento o por la complejidad que se presenta, por lo que es necesario que cuenten con una herramienta didáctica para mejorar la comprensión del material brindado por los docentes. Para esto en el año 2022, un grupo de investigadores enfocándose en la enseñanza de entornos de

programación de sistemas robóticos, diseñaron una herramienta interactiva que facilitó la comprensión de la composición de los sistemas robóticos. (Peñaloza et al., 2022)

Al tener implementadas las estrategias didácticas facilita los procesos de enseñanza, el estudiante adquiere y desarrolla conocimientos significativos que permiten el uso de herramientas basado en los aprendizajes de STEAM, el cual se aplicó a una investigación hecha en 2020, teniendo como resultado que el grupo intervenido estuvo caracterizado por tener constante motivación de aprendizaje, evidenciando el interés intrínseco por aprender y descubrir nuevas habilidades. (Melo, 2020)

Dadas estas razones se puede afirmar, que es una necesidad que los docentes universitarios cuenten con herramientas pedagógicas, para que la información del aprendizaje sea significativa que ayude a los estudiantes a tener una mejor comprensión.

En resumen, el diseño y construcción del brazo robótico ha demostrado ser una herramienta didáctica de gran interés en el ámbito educativo universitario. Los estudios realizados han abordado diversos aspectos del diseño, como los materiales, el software adecuado y los métodos de aplicación en la educación. Este estudio se centra en la fabricación de un modelo de brazo robótico, con el objetivo de crear una herramienta que permita poner en práctica los conocimientos y mejorar la comprensión de los estudiantes.

Justificación

Las carreras STEAM en la actualidad son disciplinas encargadas del desarrollo de proyectos electrónicos y mecánicos, sin embargo, su campo de acción es cada vez más amplio debido a las necesidades de automatización de procesos y acciones en diferentes áreas.

La materia de programación impartida en las carreras de ingeniería mecánica y mecatrónica, tienen como métodos, el aprendizaje teórico, por lo que es necesario que también se utilice el método práctico implementando material didáctico, mejorando la comprensión de los estudiantes de cómo funciona mejor cada elemento.

Los proyectos que se dan en el transcurso de la carrera, se podrían solucionar con la ayuda de herramientas didácticas, para poder probar la automatización del proceso y resolver los errores antes de implementar en su proyecto.

Se puede utilizar es un brazo robótico, como material didáctico para que los estudiantes pueden ver cómo este puede realizar los movimientos y las acciones automáticamente gracias a la programación, así estos comprenderían, como es el funcionamiento del brazo robótico o los robots y tengan ideas de cómo realizar los proyectos en la carrera.

La fabricación de un modelo de brazo robótico, para las prácticas de programación, es una mejora adecuada en la educación de la facultad de Arquitectura e ingenierías ya que esta ayudaría a aumentar la eficacia en el aprendizaje sobre la programación de movimientos y procesos industriales.

Objetivos

❖ Objetivo general:

- Elaborar un brazo robótico mediante el proceso de fabricación de filamento fundido, para ser utilizado como herramienta de estudio en la facultad de arquitectura e ingenierías, destinando a las carreras STEAM de la Universidad Internacional SEK.

❖ Objetivos específicos:

- Fabricar virtualmente el diseño de libre acceso escogido utilizando el software Autodesk Inventor, para modificar las dimensiones del brazo.
- Analizar matemáticamente la estructura del brazo con las medidas modificadas para elegir los motores adecuados y obtener el punto más crítico del funcionamiento.
- Imprimir las piezas mediante el proceso de fabricación de filamentos fundidos (FFF), para el ensamble con componentes electrónicos.
- Implementar una aplicación desarrollada en MIT App Inventor, para controlar el movimiento de los motores con conexión bluetooth con el fin de controlar los rangos de movimiento de cada articulación desde cualquier dispositivo.

Hipótesis

Fabricar un brazo robótico como herramienta didáctica en las materias STEAM en la facultad de arquitectura e ingenierías de la universidad SEK, mejorará la comprensión

de los estudiantes sobre la automatización y la realización de proyectos robóticos, facilitando así el aprendizaje práctico con los conceptos teóricos.

Estado del arte

Diseño

El diseño y construcción de un brazo robótico es un tema que ha sido estudiado previamente en el área académica. área de investigación que ha sido estudiada previamente en la industria minera. En (2019) Rivera, Sánchez y Ordoñez diseñaron un brazo robótico, el cual permite simular un proceso industrial, esto accede que el estudiante, este más en contacto para experimentar entornos automatizados, que involucren brazos robóticos implementados en una línea de producción. Con esta investigación se pudo afirmar que el brazo robótico representó una excelente posibilidad de desarrollo para los alumnos, ya que brinda la capacidad de experimentar un escenario de producción con herramientas de manufactura avanzada. (J. D. Rivera et al., 2019)

Una investigación realizada en 2022, demostró que es necesario usar un software especializado para el modelamiento matemático de la cadena cinemática de un robot manipulador, ya que sin este puede generar dificultades al contrario que usándolo el producto final que se obtuvo, logró ser lo más cercano a la realidad. La simulación cinemática realizada, presentada de manera gráfica, permitió visualizar todos los movimientos que puede realizar el robot. En un esquema tridimensional, se mostró los movimientos, indicadores de posicionamiento y orientación de este. (León, 2022)

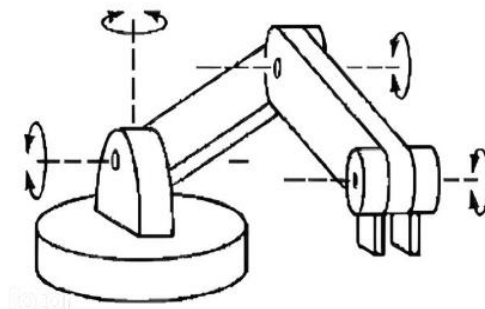
En un estudio llevado a cabo por Arcón, Coronado, Maestre y Romero (2022), se planteó el diseño y construcción de un brazo robótico que estuvo orientado a facilitar el

aprendizaje de los estudiantes a nivel universitario. El diseño del brazo robótico tuvo como objetivo de que los estudiantes puedan comprender y afianzar los conocimientos teóricos, mediante actividades prácticas puedan ponerlas en aplicación, utilizando el brazo para simular a pequeña escala los grandes procesos industriales, para que de esta manera puedan entender el funcionamiento y todo el proceso que conlleva construir este tipo de máquinas. (Arcon et al., 2022)

Robots Antropomorfos

Se distingue por su diseño antropomórfico, el que le permite realizar movimientos similares a los de un brazo humano. Su estructura cuenta con cuatro ejes, donde el primero simboliza el torso, el segundo el brazo, el tercero el antebrazo y el cuarto la muñeca. Es debido a esto que la movilidad se basa en tres articulaciones rotacionales, que son controladas por medio de coordenadas angulares, tal y como se puede observar en la figura 1.

Figura 1. Robot angular o antropomórfico



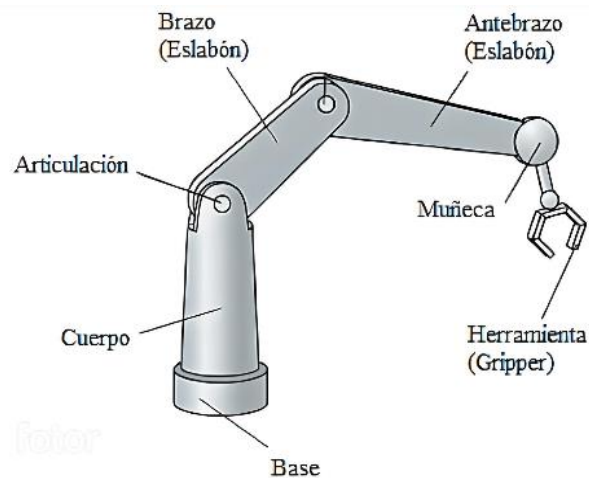
Nota. Balseca, J. J. & Chusin, B. N. (2023). Robot angular o antropomórfico [Dibujo]

IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT ANTROPOMÓRFICO PARA LA

CLASIFICACIÓN DE OBJETOS MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL. En repositorio Universidad Técnica de Cotopaxi. <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/10356>.

Para entender o comprender de una manera más a detalle las capacidades y actividades que puede efectuar un robot, es estudiando los componentes, los cuales se lo puede observar en la siguiente figura: (Balseca & Chusin, 2023)

Figura 2. Piezas del robot antropomórfico



Nota. Balseca, J. J. & Chusin, B. N. (2023). Partes del robot [Dibujo]

IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT ANTROPOMÓRFICO PARA LA CLASIFICACIÓN DE OBJETOS MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL. En repositorio Universidad Técnica de Cotopaxi. <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/10356>.

Diseño y Ensamble de piezas en 3D en Inventor Autodesk

Un proyecto realizado por Juan Atehortúa y Juan Saldarriaga en 2023, evidenciaron que es factible desarrollar el diseño de un motor generador con imanes de neodimio en 3D, esto lo realizaron usando el software de Autodesk Inventor, consideraron distintas variables, las cuales pueden afectar al funcionamiento desde el prototipado, estas variables fueron: el ángulo de los imanes en el robot, el número de imanes del estator y rotor, la ubicación o sentido, entre otras limitaciones. Además de que utilizando el Inventor para realizar los modelos 3D, les permitió diseñar las piezas necesarias para el funcionamiento del motor y con estas lograron el ensamble, por lo que se da el sentido y ubicación a cada una, por último, consiguieron realizar una renderización del modelo. (Atehortúa & Saldarriaga, 2023)

Fabricación de Fundición de Filamentos

En un análisis de tracción de probetas impresas en 3D por Gustavo Pacheco en 2019, uno de los equipos que se utilizó fue una impresora con tecnología de fabricación de fundición de filamentos, o también conocido como FFF. Esta tecnología consiste en un método de manufactura aditiva, en donde se deposita capa a capa de material fundido sobre una superficie plana que tiene un movimiento constante.

Para este estudio se tomaron en cuenta en la impresión varios parámetros como la velocidad, temperatura del material, patrón de relleno, densidad de relleno, entre otros.

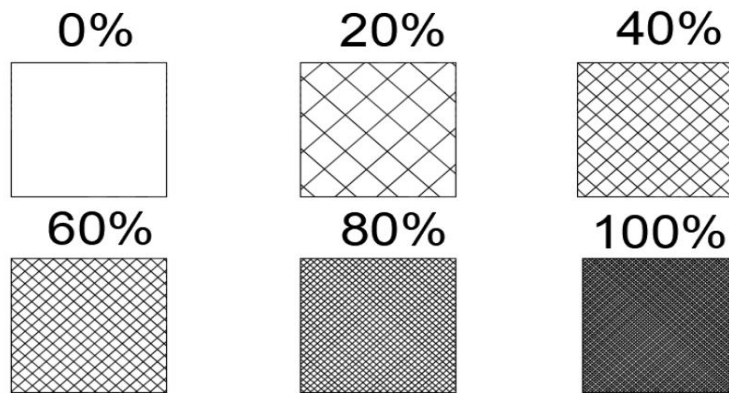
Dentro de los parámetros analizados uno de ellos fue el espesor de capa, este corresponde al grosor que tiene cada capa de filamentos, el cual es depositado mediante la boquilla extrusora. La resolución de este parámetro se determina en el eje Z, llegando a

afectar al número de capas que constituye al objeto que se imprimió, así como también el acabado o rugosidad que tendrá el objeto, influyendo que mientras la altura de la capa sea lo mayor posible, menor será la calidad que llegará a tener la pieza. Adicional a esto se debe de tomar en cuenta que este parámetro debe estar relacionado con el diámetro de la boquilla.

Otro de los parámetros es la densidad del relleno, se lo puede describir como la cantidad que es colocada en la estructura impresa, es decir que no se considera la porción de vacío. Para expresar la densidad del relleno se lo hace en formato decimal, por esta razón que 0.1 es para un 10% de relleno, 0.9 para un 90%. Si se quiere obtener piezas huecas o modelos vacíos se puede configurar el relleno al 0%, mientras que para realizar piezas rellenas en su totalidad se lo puede también configurar al 100%.

Además, se debe de considerar que mientras cuanto mayor sea el porcentaje de relleno, aumentará la cantidad, en consecuencia, el tiempo de impresión incrementará. Existen diferentes porcentajes de relleno que pueden ser establecidos, estos están demostrados en la figura 3.

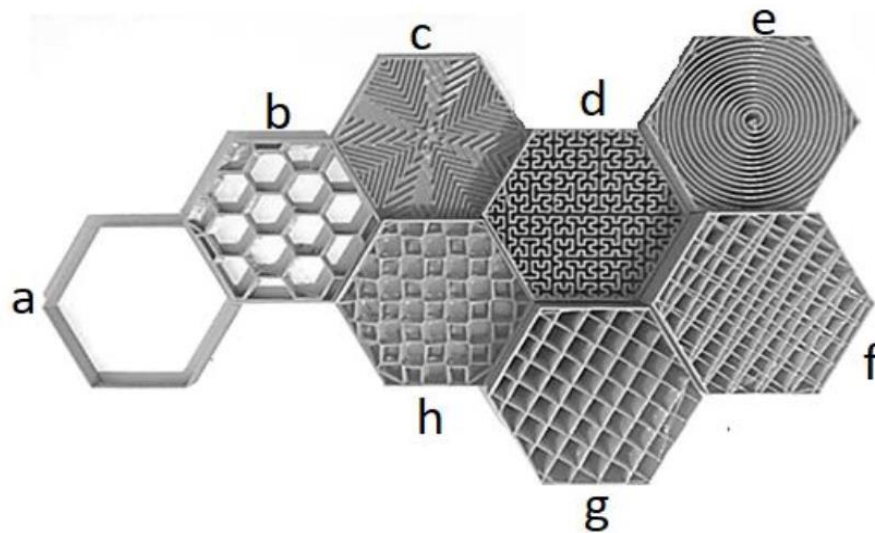
Figura 3. Representación del porcentaje de relleno



Nota. Pacheco, G. M. (2019). Representación del porcentaje de relleno que puede tener una pieza impresa [Dibujo] *ANÁLISIS DE TRACCIÓN DE PROBETAS IMPRESAS EN 3D MEDIANTE DEPOSICIÓN DE HILO FUNDIDO DE PLA, ABS Y PLA/MLO*. En repositorio Universidad Politécnica Salesiana <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17123>.

El patrón de relleno se lo define como el parámetro de la estructura interna por lo que necesariamente debe tener la pieza impresa en todas las capas, excluyendo la superior e inferior.

Figura 4. Patrón de relleno



Nota. * Figura 4. a) Sin relleno, b) Panel de abeja, c) Octaedro, d) Hilbert, e) Archi, f) Line, g) Grid y h) Rectilíneo.

*Pacheco, G. M. (2019). Patrón de relleno [Dibujo] ANÁLISIS DE TRACCIÓN DE PROBETAS IMPRESAS EN 3D MEDIANTE DEPOSICIÓN DE HILO FUNDIDO DE PLA, ABS Y PLA/MLO. En repositorio Universidad Politécnica Salesiana <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17123>.

Esto es con la finalidad de que se adapte de la mejor manera a la pieza que se destinó a imprimir. Se pueden observar los diversos patrones de relleno que se puede utilizar con la tecnología FFF. (Pacheco, 2019)

Material plástico de Impresión 3D PLA

Un estudio realizado en 2019, donde los materiales utilizados para la impresión por FFF, determinaron que para este tipo de impresiones es necesario que tenga un

filamento de material, el cual debe de mantener un diámetro constante, con el objetivo de prevenir problemas de flujo de material. En el comercio las bobinas de filamento tienen diámetros de 1,75 mm hasta 3mm, siendo más comerciales los materiales PLA y el ABS.

El material Ácido Poli Láctico o también conocido como PLA, es un filamento que por presentar una baja temperatura 58° centígrados de transición vítrea, es muy utilizada en los procesos de impresión 3D, FDA sugiere usar el filamento PLA en el uso de implementos médicos ya que esta posee incompatibilidad y la degradación de los mismo no son tóxicos. En la pandemia del Covid - 19 las impresiones en 3D utilizando el filamento PLA, fue muy utilizada para la escasas de suministros médicos, se fabricaron equipos de protección personal, dispositivos médicos y de prueba. Al ser el PLA un material con alta resistencia y rigidez, por lo que tiende a ser un material frágil, por lo que se espera tenga una baja resistencia en los procesos de esterilización, restringiendo el amplio uso en dispositivos quirúrgicos de un solo uso.

Este es considerado un polímero biodegradable que al ser obtenido por la fermentación del almidón de yuca y caña de azúcar es considerado de origen natural, este filamento se lo puede usar en la impresión de objetos que estén en contacto con los diferentes alimentos.

Los filamentos de PLA para impresoras 3D, se tienen composiciones, un ejemplo es el uso de partículas de cerámica y madera que permite que el relleno de la pieza tenga más resistencia, a más de esto se usa una variedad de colores que son compatibles con las impresoras que se utilizan para la fabricación de piezas que se quiere elaborar.

Con respecto al proceso de impresión 3D con el material PLA, se debe tomar en cuenta diversos parámetros como que este no requiere que la cama de impresión tenga una alta temperatura lo recomendado es trabajar con un rango de temperatura de 60°C o menor a esta, sin embargo, para realizar la impresión se debe establecer una temperatura entre 195°C y 220°C. (Fuentes, 2022)

En 2019 Paula Chonillo y Marcos Endara realizaron el diseño de un robot de seguridad, en el cual seleccionaron como material para la carcasa, la razón de su elección fue que este al tener la versatilidad para los procesos de manufactura aditiva por adición de material. Tuvieron resultados al analizar la carga estática y extrema, obteniendo que el diseño y material escogido tuviera un factor de seguridad mayor a 4, por lo que llegaron a la conclusión de que era adecuado para cumplir con el propósito planteado. (Chonillo & Endara, 2019)

Ultimaker Cura

Es uno de los softwares de configuración y simulación más utilizado para impresiones 3D, esto es debido a que es compatible con una amplia variedad de marcas de impresora como Creality, Ultimaker, Anet, Prusa, además de que es de acceso gratuito. Este ayuda a que cualquier diseño CAD en 3D con formato STL puede ser convertido en un archivo con código G para que pueda imprimirse en una impresora 3D.

Al momento de imprimir este permite modificar algunos parámetros de los diseños, entre los cuales se puede ajustar esta el ancho de cada capa, este se puede elegir entre rangos de 0,12 milímetros a 0,4 milímetros. A su vez se puede modificar el número de capas a fin

de incrementar la resistencia del objeto, la velocidad de impresión, varios patrones de relleno, soporte para las partes que se van a imprimir alejadas de la placa o que no tienen punto de apoyo para imprimirse, etc.

Adicional a estas características este da una vista previa en la que se puede visualizar como se va a imprimir capa por capa, verificando que los parámetros seleccionados sean los adecuados para que se imprima el objeto correctamente. (Urcuango, 2023)

Servomotores

Un servomotor es un dispositivo actuador que puede ser rotativo o lineal, facilita un control preciso en posición angular, aceleración y velocidad del eje. Este está estructurado de un motor eléctrico convencional, este puede ser de Corriente Alterna (AC) o Corriente Directa (DC), el que logra la integración de un sistema de retroalimentación permitiendo el funcionamiento adecuado de todo el sistema. Se puede encontrar varios tipos como servomotores lineales, rotativos, de escobillas, sin escobillas, que funcionan con Corriente Alterna (AC) o con Corriente Continua (CC). (Heredia, 2024)

Servomotor RDS 5160

Cuenta con un tamaño estándar con una fuerza de 60 kg como se lo puede observar en la figura 5, entre las diversas características una de ellas es que es digital y cuenta como material a engranajes metálicos, además tiene rodamientos de bolas dobles, tomando en cuenta todo esto es una de las razones por la que se le considera un servo digital de alta calidad. Al ser un servo potente con reducción metálica que incluye

brackets metálicos los cuales permiten la conexión entre articulaciones. Estos son ideales para proyectos de brazos robóticos, bípedos o artrópodos en general. Con respecto a los ángulos de operación este dispone tanto de inicial como máximo de 270 grados (135° en cada dirección). También es tomado en cuenta en varios proyectos, ya que este tiene la capacidad de poder trabajar con variedad de plataformas de desarrollo como Arduino, PICs, Raspberry Pi, o con cualquier otro microcontrolador. (Chavez & Yugsi, 2020)

Figura 5. Servomotor RDS 5160



Nota. Chavez, J. S. & Yugsi E. A. (2020). Servomotor RDS 5160 [Figura]

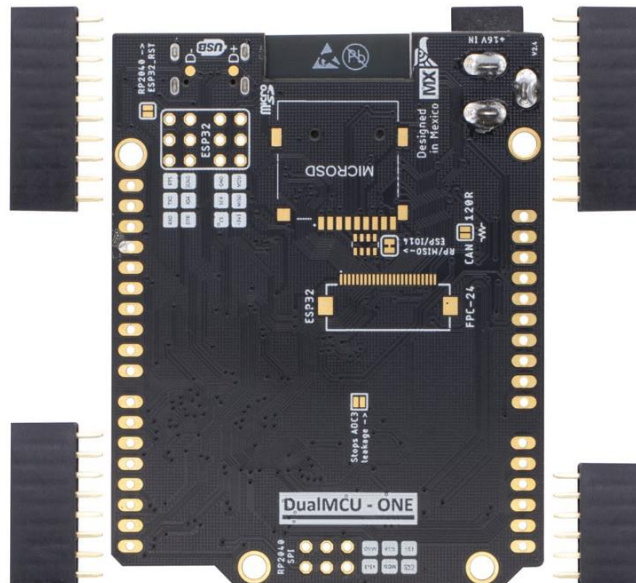
DESARROLLO DE UNA SILLA AUTOMÁTICA PARA TERAPIA DE EXTREMIDADES SUPERIORES PARA PACIENTES DE LA FUNDACIÓN “AYUDEMOS A VIVIR”. En repositorio Universidad Politécnica Salesiana

<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18587>

Microcontrolador EP32

Es un microcontrolador, en sus características tecnológicas, este cuenta con capacidades wifi, bluetooth y BLE (siglas en inglés de bluetooth de baja energía). Además, tiene un CPU de dos núcleos de hasta 240 MHz (Mega Hertz), los mismos que se los puede controlar independientemente. Internamente está integrado por una gran cantidad de periféricos los que incluyen: sensores táctiles capacitivos, sensor de efecto Hall, amplificadores de bajo ruido, interfaz para tarjeta SD, Ethernet, SPI de alta velocidad, UART, I2S e I2C. (Espressif Systems, 2020)

Figura 6. EP32 ONE



Nota. Espressif Systems. (2020). EP32 NodeMCU [Figura] ESP32-D0WD Datasheet (PDF) - ESPRESSIF SYSTEMS (SHANGHAI) CO., LTD. Extraído de <https://www.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/1242998/ESPRESSIF/ESP32-D0WD.html>

Aplicación móvil MIT App Inventor

Es un IDE (Entorno de Desarrollo Integrado) que fue creado por el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), con el fin de facilitar el proceso de creación de aplicaciones fue adoptado por Google Labs. (Wu Zhan, 2023)

Está sustentada en un lenguaje de programación encaminado a bloques, que sirven para la elaboración de estructuras más complicadas.

Con respecto a su funcionamiento esta aplicación posee dos pantallas, la primera pantalla sirve para el diseño, esta funciona de la siguiente manera, sus movimientos son de izquierda a derecha, dando facilidad a la selección de varios componentes con los que se quiere trabajar en la aplicación, como son botones, switches, listas desplegables, al igual que sensores, mapas y elementos multimedia, son considerados los sonidos y llamadas que se realizan a la cámara del dispositivo. Hacia el lado derecho se extiende una lista de componentes seleccionados que son los que conforman la app, al realizar un clic en cualquiera de estos nos permite ver sus características; en la parte de abajo se localiza la sección media en la que el usuario puede insertar vídeos, imágenes y sonidos, con estos componentes el usuario tiene como resultado un trabajo más personalizado.

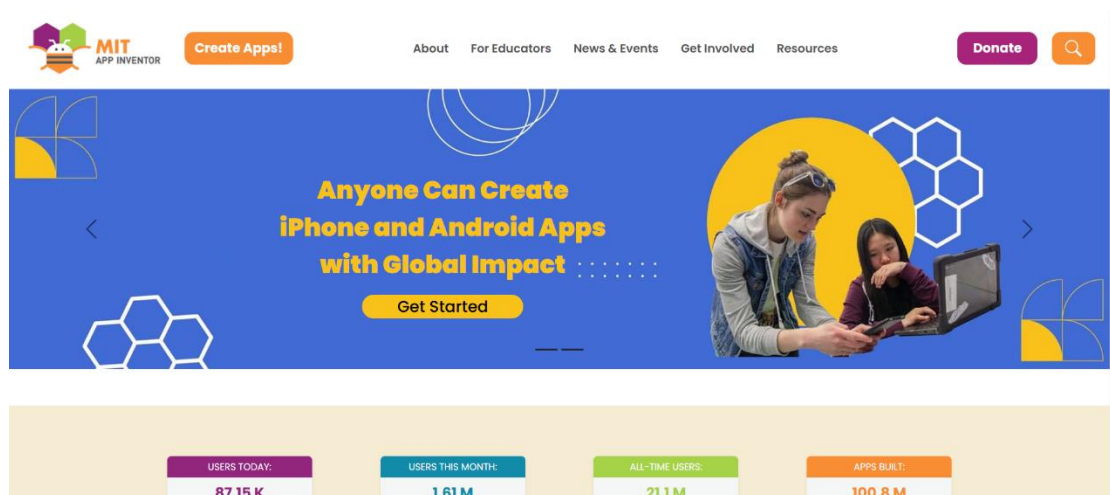
Para puntualizar las acciones que ejecuta e interactúan cada uno de los elementos, se utiliza la pantalla número dos que se la designa como bloques, esta pantalla alberga diferentes módulos de programación los cuales están ordenados en diferentes categorías, así se tiene que, en la primera categoría, se ubican las categorías genéricas este bloque contiene todas las programaciones disponibles y en la parte inferior de esta se observa la lista que conforman la app. Al hacer un clic en cada uno de los elementos, facilita el

proceso de programación, porque al desplegarse una lista de los diferentes bloques estos son similares a los elementos que se van a utilizar.

Tanto la pantalla uno y dos tienen similares conceptos, la única diferencia es que la segunda pantalla se observan los bloques que se incluyen, los cuales permiten que al unirse entre estas se pueda identificar que las uniones tengan un sentido adecuado y que falta para que estas se unan en una forma correcta.

Una vez presentada la información acerca de la interfaz, se procede a detallar con más claridad la función del código Arduino, una vez encendida la aplicación el primer paso será emparejar el dispositivo donde funciona la aplicación app con el módulo Bluetooth HC-06, por esta razón se habilita el ListPicker (Componente de UI que permite al usuario seleccionar un valor desde una lista preconfigurada) este muestra una lista de dispositivos Bluetooth conectados con el móvil con el que se va a trabajar. (Tham, 2020)

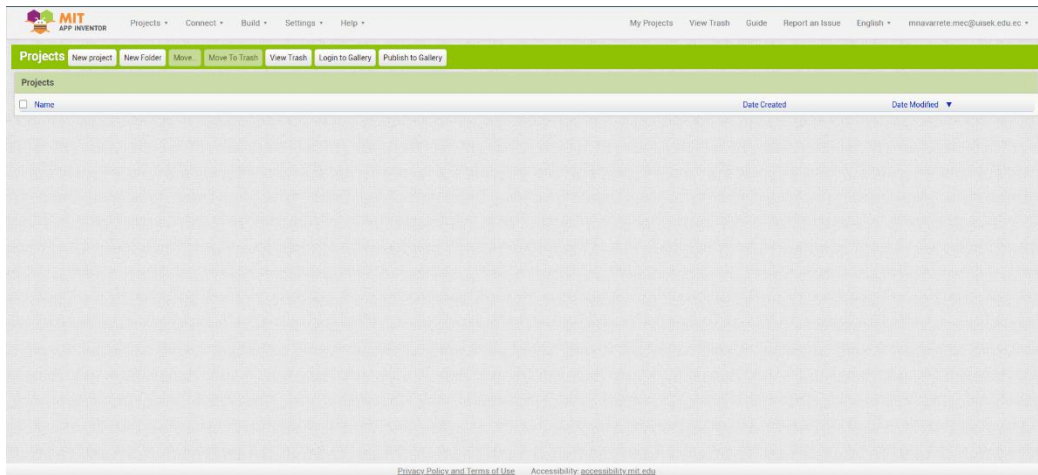
Figura 7. Página principal de la plataforma MIT App Inventor



Nota. Massachusetts Institute of Technology. (2024). MIT App Inventor [Figura]

<https://appinventor.mit.edu/>

Figura 8. Página para la creación de aplicaciones

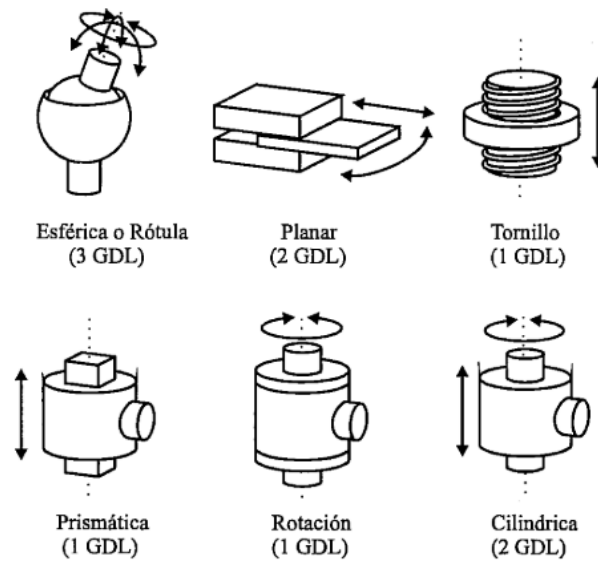


Nota. Massachusetts Institute of Technology. (2024). MIT App Inventor [Figura]
<https://ai2.appinventor.mit.edu/>

Grados de Libertad

Se los puede determinar de acuerdo con la cantidad de eslabones que el robot posee y la posición de estos, es decir, la ubicación en tres coordenadas de traslación y rotación; existen 6 tipos de articulación el cual cada una tiene el número de grados de libertad (Guillen & Merchan, 2022), como se puede observar en la siguiente figura:

Figura 9. Grados de libertad según tipo de articulación.



Nota. Guillen, J. M. & Merchan, W. A. (2022). Tipos de articulaciones y eslabones usados en la robótica [Dibujo] IMPLEMENTACIÓN DE BRAZO ROBÓTICO 6DOF PARA LA ORGANIZACIÓN DE PRODUCTOS MEDIANTE LECTURA DE CÓDIGO DE BARRAS. En repositorio Universidad Politécnica Salesiana <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22830>.

En el diseño y análisis de un brazo robótico de nivel industrial (2019), obtuvieron los grados de libertad de forma analítica con la ecuación de Gruebler, con la que obtuvieron resultados de cuatro grados de libertad, por las cuatro articulaciones rotacionales y sus cinco eslabones, incluyendo la base (Molina & Gutiérrez, 2019). La ecuación utilizada fue la siguiente:

Ecuación 1. Ecuación de Gruebler

$$M = 3(n - 1) - 2J$$

M= Numero de los movimientos.

n= Numero de los eslabones

J= Numero de las juntas

Cálculos Estructurales

Steven Bernal diseño y construyo una escalera plegable, considerando varios conceptos básicos de estática, para poder tener claro y analizar la estructura del objeto, teniendo las fórmulas de cada uno de los aspectos que se necesitan evaluar.

Uno de ellos es la Ecuación de equilibrio es cuando un cuerpo se encuentra la sumatoria de fuerzas y momentos, a pesar de que la dirección sea igual a cero.

Ecuación 2. Ecuación de equilibrio

$$\sum f_x = 0 ; \sum f_y = 0 ; \sum f_z = 0$$

$$\sum M_x = 0 ; \sum M_y = 0 ; \sum M_z = 0$$

Una vez utilizadas las ecuaciones de equilibrio es cuando se empieza a resolver el problema, ya que se debe de establecer las fuerzas que son ejercidas sobre el cuerpo que se va a estudiar, evaluando los apoyos, cargas de los elementos de unión y cargas

internas. Es por esta razón que se analiza el esfuerzo cortante, que es la relación que hay entre el área y la fuerza cortante contenida en los planos, por lo que esta genera que se deslicen uno sobre otro. Produciendo que el elemento cambie su forma. Se obtiene de la siguiente forma:

Ecuación 3. Esfuerzo cortante

$$\tau = \frac{V}{A}$$

Donde:

τ : Esfuerzo cortante

V: Fuerza contenida

A: Área

El momento flector, se lo puede definir como la flexión que produce y genera que el elemento tome la forma de una curva, debido a esto la longitud puede variar. Se lo puede calcular con la siguiente ecuación:

Ecuación 4. Momento flector

$$\sigma = \frac{MC}{I}$$

Donde:

σ : Esfuerzo

M: Momento flector

C: Distancia del eje neutro a la fibra más alejada en la sección transversal de la viga

I: Momento de inercia transversal con relación al eje neutro

Con respecto a las conexiones, la cortante doble, se denomina cuando dos secciones transversales se resisten a la fuerza ejercida al remache o perno. Se puede calcular mediante la ecuación 5. (Bernal, 2021)

Ecuación 5. Cortante doble

$$\tau = \frac{F}{2A}$$

Donde:

τ : Esfuerzo cortante

F: Fuerza

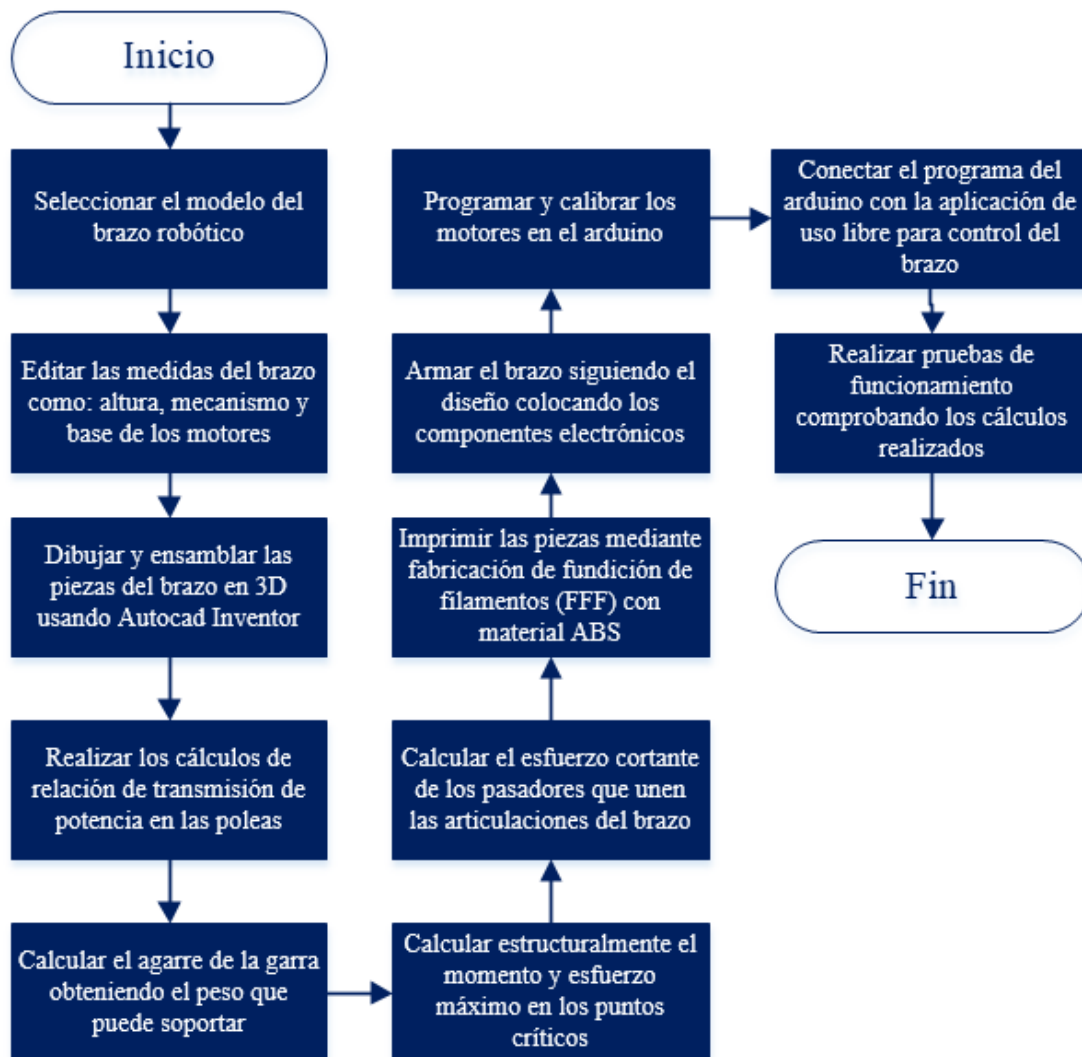
A: Área

Metodología

La metodología científica con orientación experimental cuantitativa, es aquella en la que se manipula premeditadamente una o más variables independientes, con el fin de observar las consecuencias y poder llegar a la meta planteada. (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2020) Se seleccionó esta metodología, ya que en este proyecto se van a manejar variables como: materiales, movimientos y dimensiones.

El brazo robótico, se basó en un robot con manipulador tipo gripper de 6 GDL, el modelo es de uso libre y se sustentó para realizar el brazo robótico en el presente proyecto.

Figura 10. Flujograma

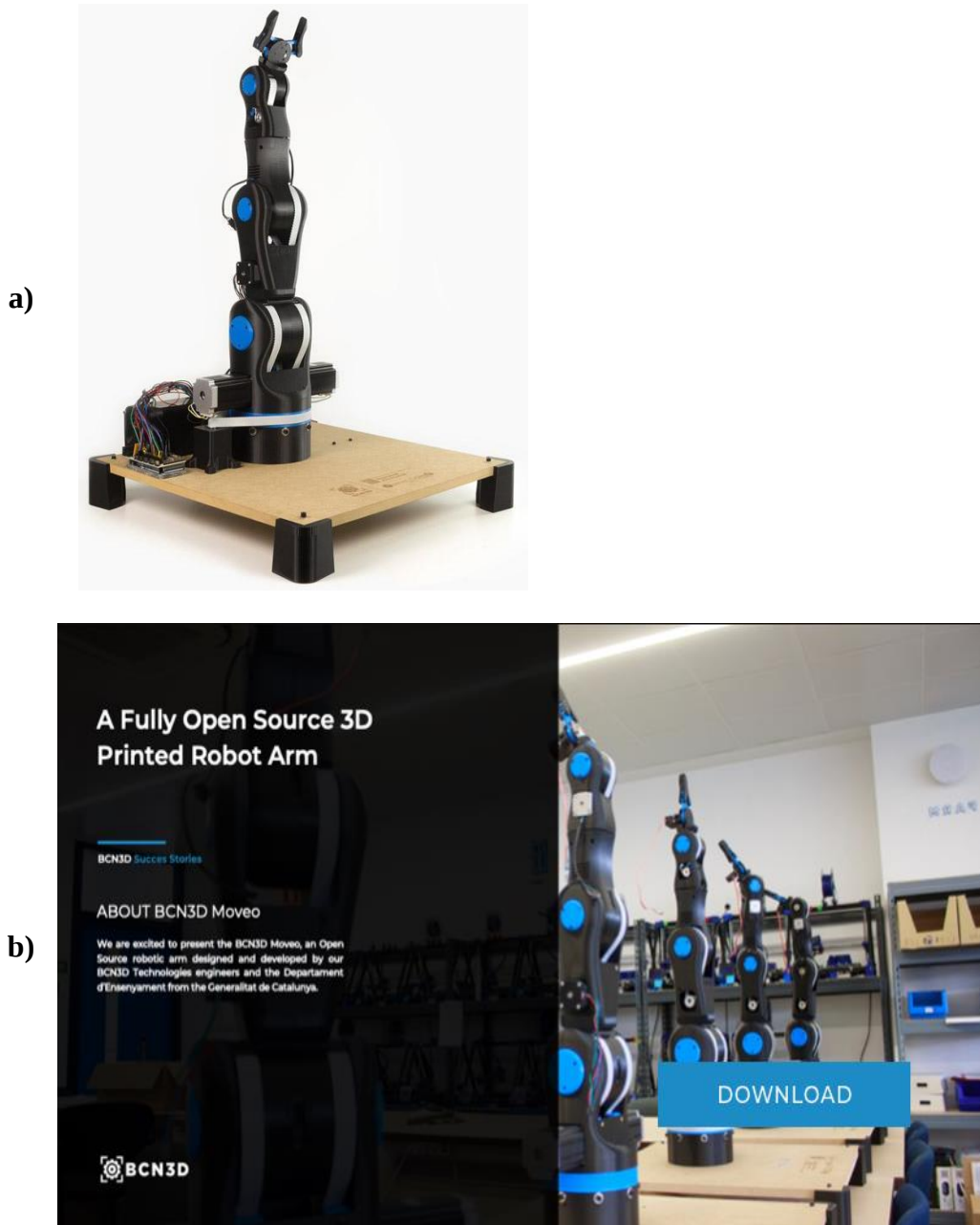


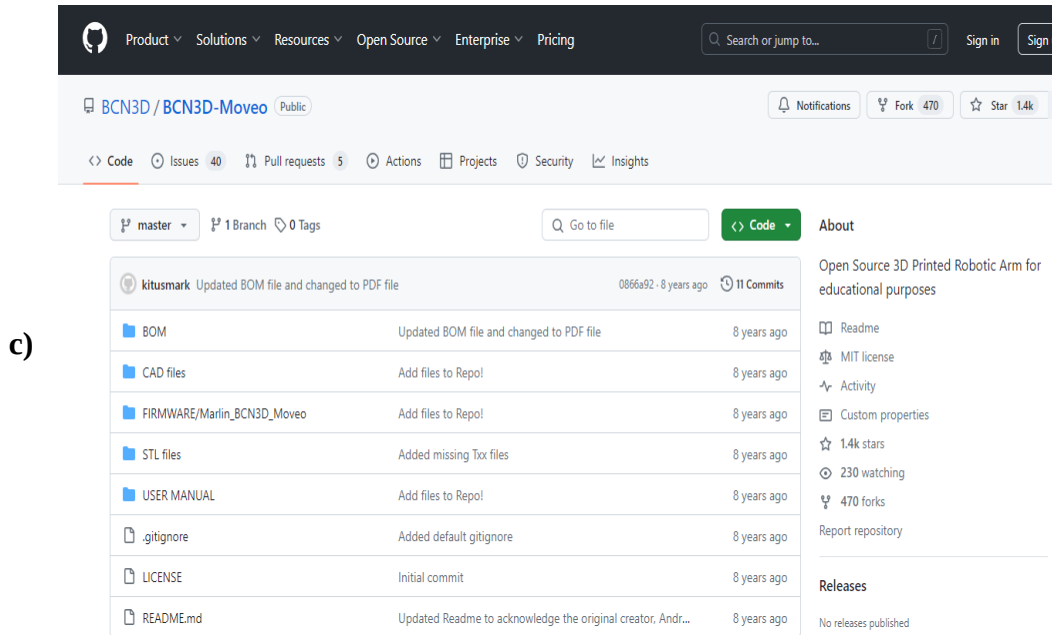
Diseño 3D

La tesis se basa en un modelo de brazo robótico de uso libre, este se lo descargo de las plataformas BCN3D y GitHub, posee un parecido con el robot que cuenta con un manipulador tipo gripper con 6 GDL, que tiene las adecuaciones para que este pueda

mover un peso, el tipo de pinza se caracteriza por poseer mayor sujeción para mover los objetos de un lado a otro. Es por lo que se seleccionó el siguiente modelo:

Figura 11. Modelo de brazo robótico





Nota. * Figura 11.a) Modelo BCN3D MOVEO. Figura 11.b) Plataforma BCN3D. Figura 11.c) Plataforma GitHub.

*a) y b) Jorge. (2022, 6 septiembre). BNC3D MOVEO – Un brazo robótico de código abierto impreso en 3D. BCN3D Technologies. <https://www.bcn3d.com/es/bcn3d-moveo-un-brazo-robotico-de-codigo-abierto-impreso-en-3d/>.

*c) BCN3D. (2016). GitHub – BCN3D/BCN3D-Moveo: Open Source 3D Printed Robotic Arm for educational purposes. GitHub. <https://github.com/BCN3D/BCN3D-Moveo>.

El modelo de uso libre que se selecciona es BCN3D MOVEO, tiene características que apoyaran a cumplir con el objetivo de este proyecto, las cuales son:

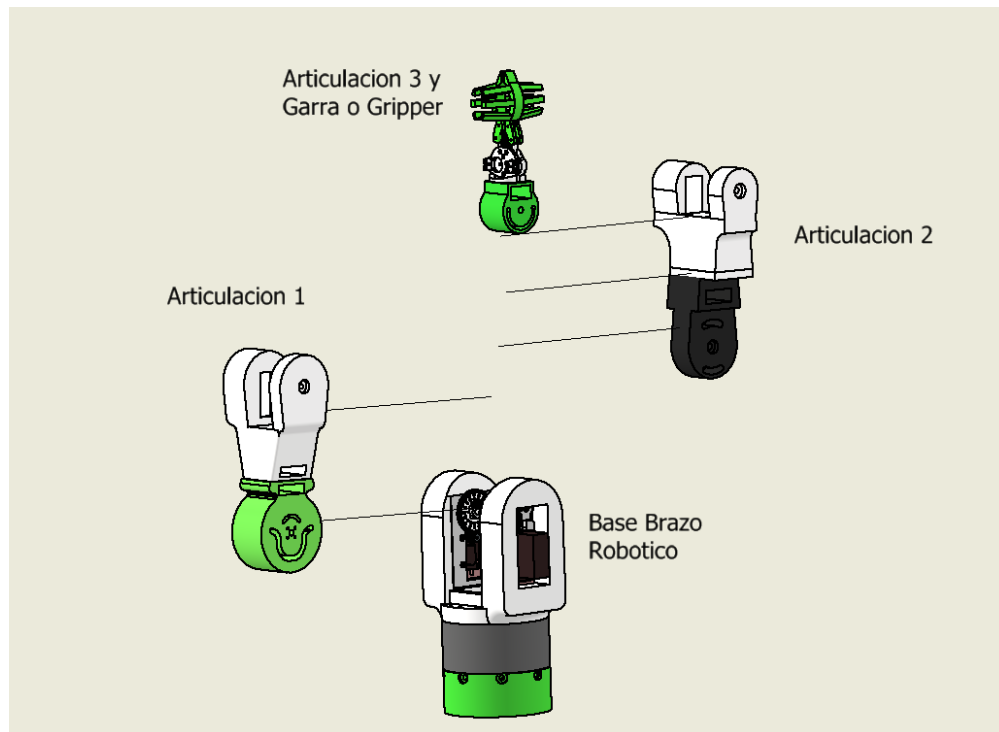
- El modelo es fácil adaptarlo al proyecto, ya que al ser estándar no existe dificultad al modificarlo.

- El modelo permite realizar los movimientos que se quiere ejecutar.
- Tiene la altura requerida de 80cm.
- Es un modelo que se puede automatizar con Arduino.

Ensamblaje del brazo robótico

Se realiza las piezas del brazo robótico en 3D y el ensamble, esto se lo hace considerando la forma, dimensiones y como se va a armar el mismo, el proceso fue realizado con la ayuda del programa CAD Inventor, en donde se realizó cada pieza y se organizó según el despiece de mismo, las que se las clasifico en partes que unidas serían las siguientes: Base de Brazo Robótico, Articulación 1, Articulación 2, Articulación 3 y Garra o Gripper.

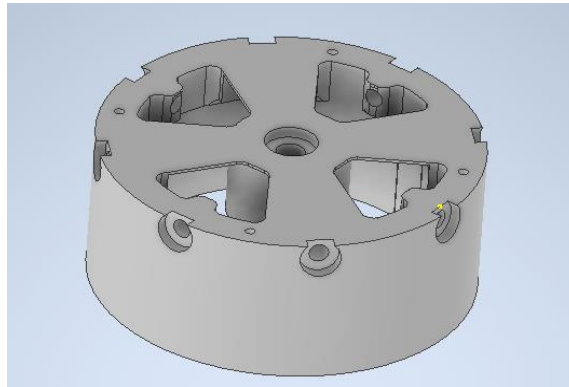
Figura 12. Partes del brazo robótico



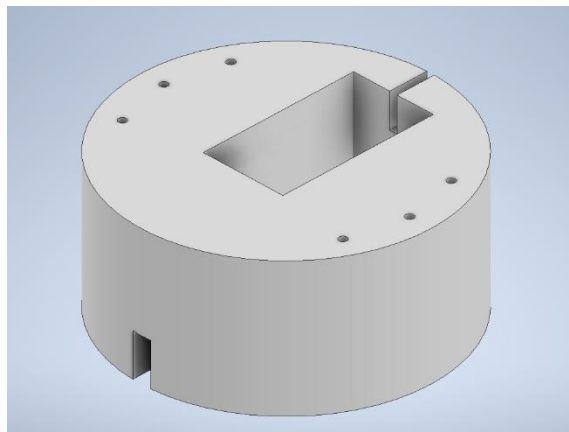
Base de Brazo Robótico. - Constituida por tres partes fundamentales como: la base fija que es la que va anclada al soporte principal del brazo, la base giratoria es la pieza que da el giro 180° y el soporte que es la unión con la articulación 1. Presentadas en la figura 13.

Figura 13. Base de Brazo Robótico

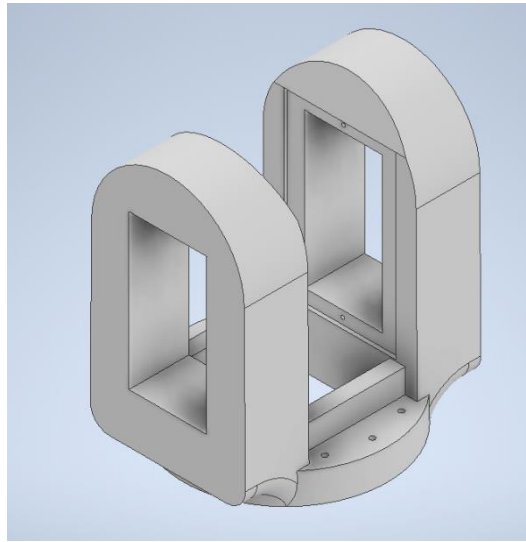
a)



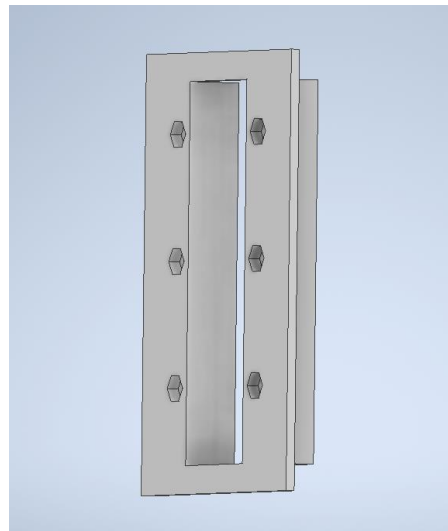
b)



c)



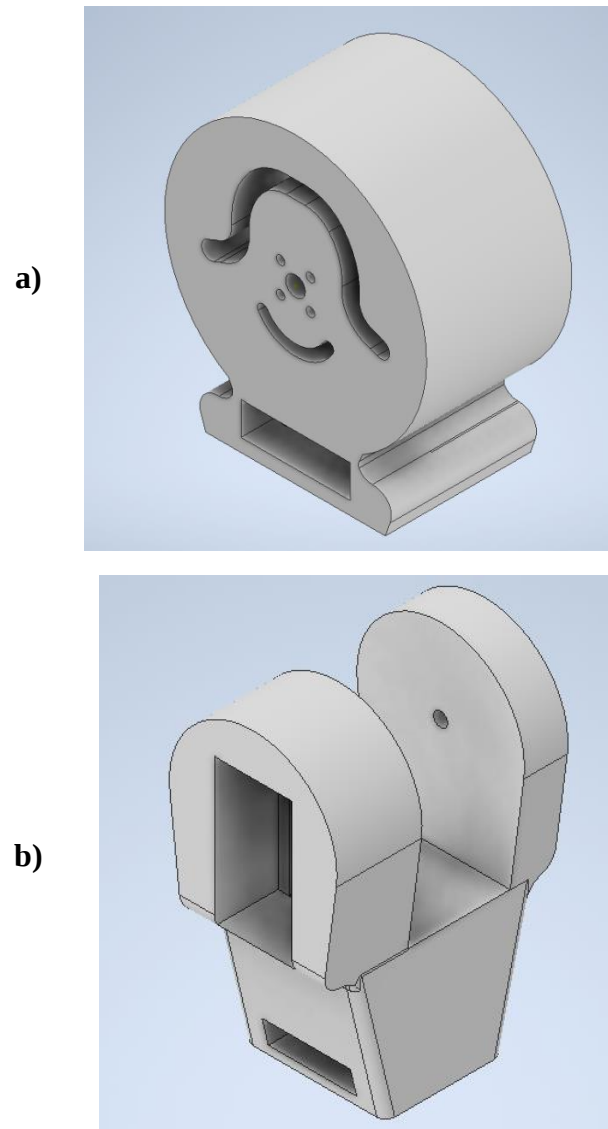
d)



Nota. Figura 13.a) Base fija. Figura 13.b) Base giratoria. Figura 13.c) Soporte Articulación 1. Figura 13.d) Placa soporte motores.

Articulación 1.- Conformada por: parte 1 es la que se une con la pieza de la base del brazo robótico la cual gira 180° , parte 2 que unidas se conectan con la articulación 2. Visualizadas en la figura.

Figura 14. Articulación 1

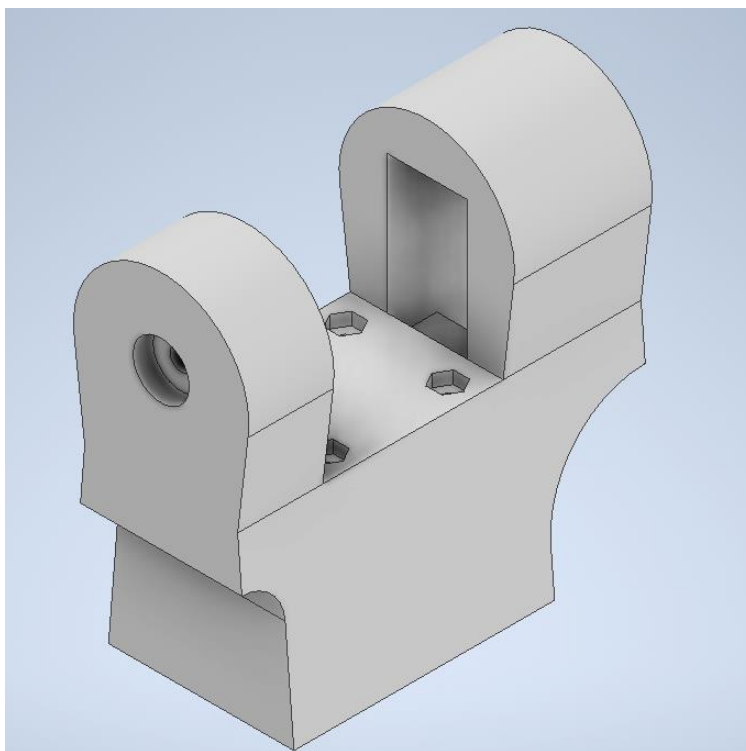


Nota. Figura 14.a) Articulación 1 Parte 1. Figura 14.b) Articulación 1 Parte 2.

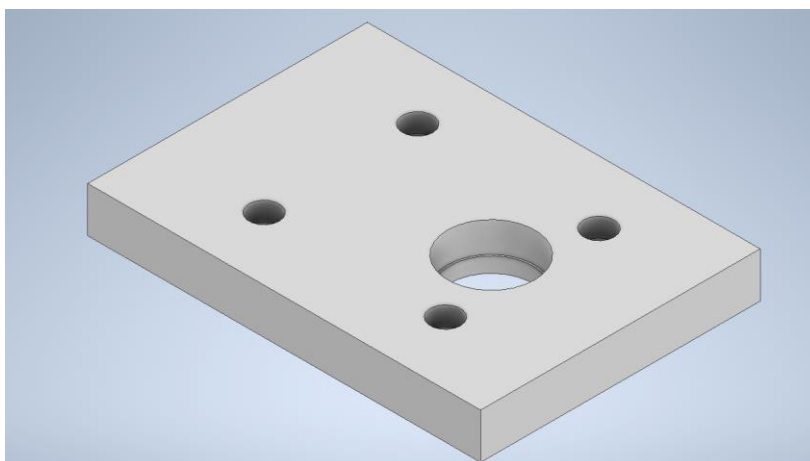
Articulación 2.- Se basa que se conecta a articulación anterior (articulación 1), Una tapa de motor que, para la anterior pieza, y la base giratoria la cual se une a la articulación 3. Las piezas de esta articulación se muestran en la figura:

Figura 15. Articulación 2

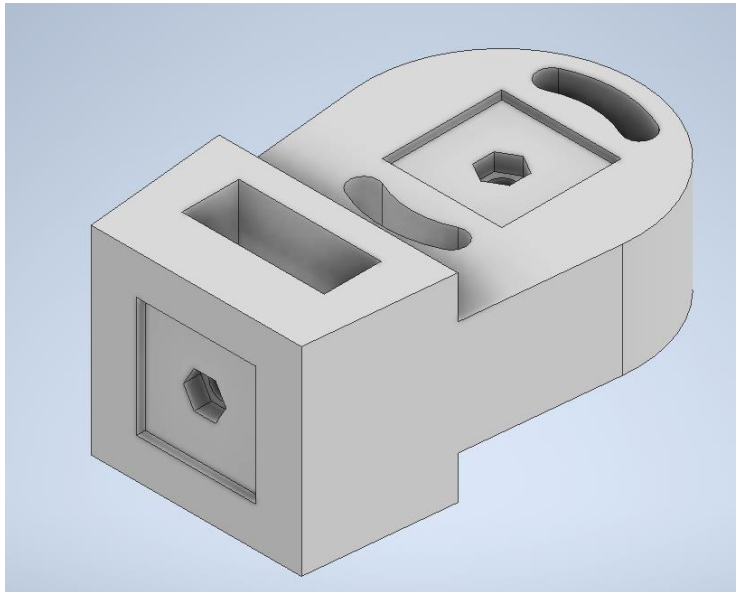
a)



b)



c)



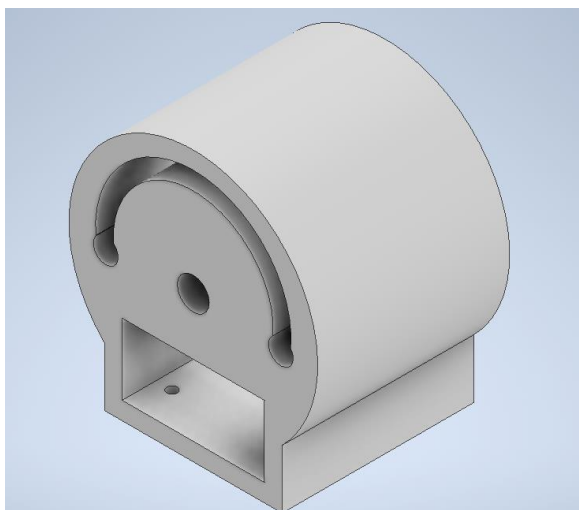
Nota. Figura 15.a) Articulación 2 (base giratoria). Figura 15.b) Tapa de motor. Figura 15.c) Conexión con Articulación 1.

Articulación 3.- Es la unión con la otra articulación (articulación 2), además abarca dos partes en cada lado que al unirse con las bases de la garra o gripper dan el movimiento de apertura y cierre con la ayuda del motor, que se pueden mirar en la figura 16, la Garra o Gripper posee dos bases, una donde se ancla las piezas que da el movimiento a la garra o gripper y la otra donde va anclado el motor y parte 2 que se unen entre sí para conectar la garra o gripper, que son dos pinzas que van a cada lado.

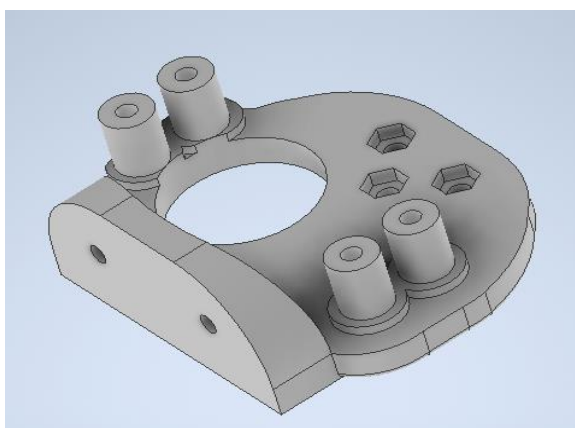
Detalladas a continuación:

Figura 16. Articulación 3

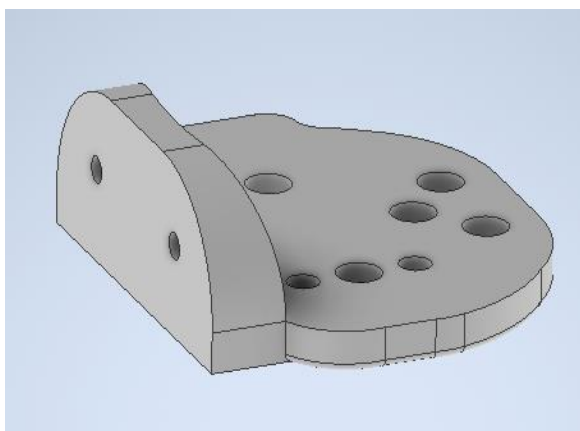
a)



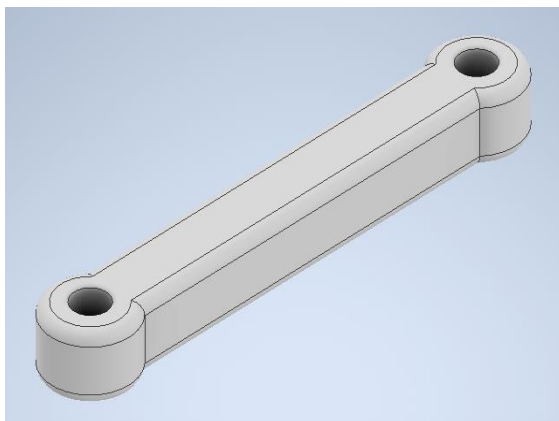
b)



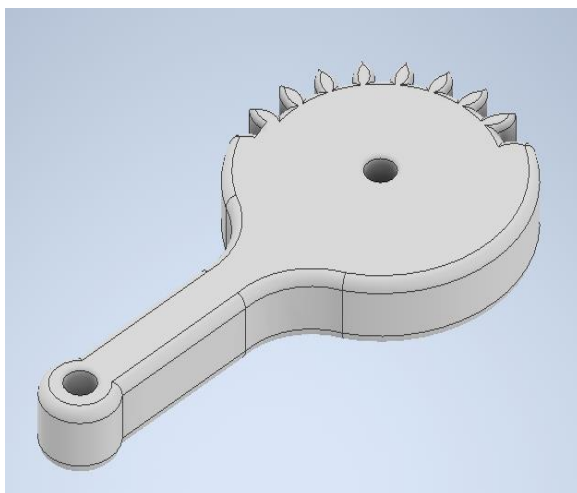
c)



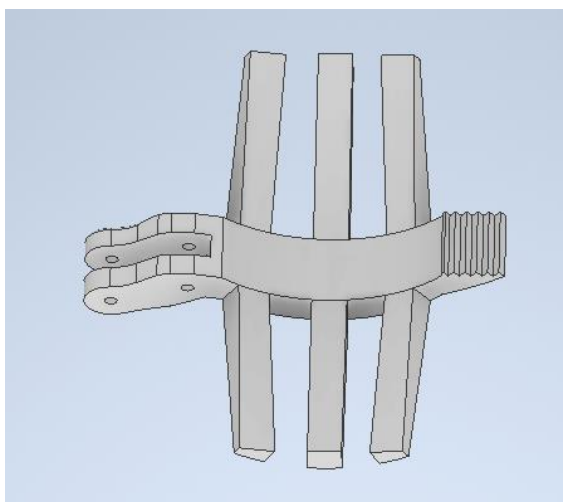
d)



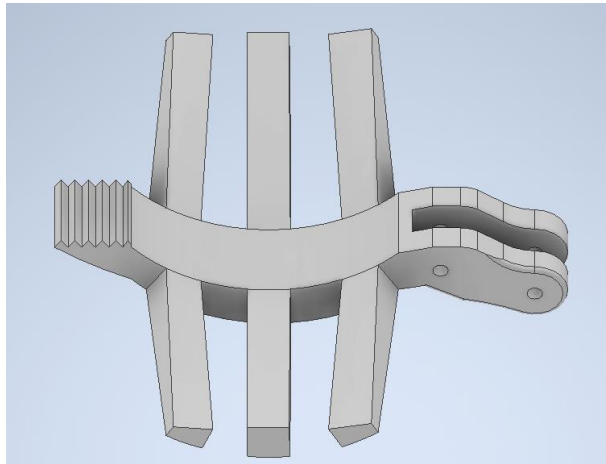
e)



f)



g)



Nota. Figura 16.a) Conexión con Articulación 2. Figura 16.b) Base garra o gripper soporte motor. Figura 16.c) Base garra o gripper. Figura 16.d) Conexión pinza movimiento. Figura 16.e) Conexión pinza movimiento motor. Figura 16.f) Pinza. Figura 16.g) Pinza.

Teniendo las piezas fabricadas digitalmente se ensambla para verificar la forma final y las dimensiones del brazo robótico como se observa en la figura 17

Figura 17. Ensamble total de brazo robótico



Análisis Matemáticos del Brazo Robótico

Calculando los factores para asegurar que el modelo elegido y modificado, cumpla con los grados de libertad y sea capaz de levantar el peso adquirido de los análisis, con la elección de los motores adecuados para esto. Los puntos que se van a calcular son:

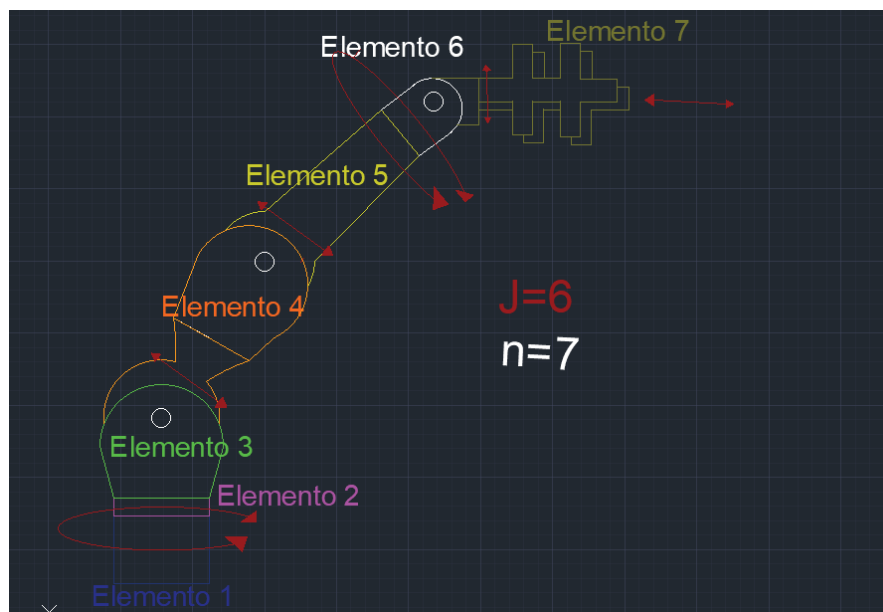
- Análisis de grados de libertad.
- Análisis de agarre de garra o gripper.
- Análisis de Carga máxima de los motores.

- Análisis estructural (Momentos máximos, Esfuerzos máximos y Esfuerzos cortante)

Análisis de grados de libertad (GDL)

Para confirmar si el modelo cumple con los 6 GDL, que se considera como prioridad, los movimientos que realiza cada articulación del brazo se observan en el diagrama 1.

Diagrama 1. Grados de libertad



Como se visualiza en el diagrama los movimientos son:

- Elemento 1 y 2 da el giro en su propio eje.
- Elemento 3, 4 y 5 arriba y abajo.
- Elemento 6 giro en su propio eje de un lado a otro y se mueve de arriba a abajo.
- Elemento 7 apertura y cierre de garra o gripper.

Se analizará con la ecuación 1 (Ecuación de Gruebler), en donde el número de juntas y eslabones son: $n=7$ y $J=6$.

$$\begin{aligned} M &= 3(n - 1) - 2J \\ M &= 3(7 - 1) - 2(6) \\ M &= 6 \text{ GLD} \end{aligned}$$

Nos da como resultado que el brazo robótico tiene 6 GLD.

Análisis de agarre de la pinza

Con el conocimiento de los motores y la dimensión del diseño de la garra se instala un servomotor MG995, que posee un torque de 1.078Nm, con el que se realizó una relación de transmisión en los engranajes de la pinza de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} i &= \frac{n_2}{n_1} = \frac{Z_1}{Z_2} \\ i &= \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{8 \text{ dientes}}{8 \text{ dientes}} = 1 \\ T_{motor} &= F \times d \\ 0.98Nm &= F \times 0.04m \\ F &= \frac{0.98m}{0.04m} \\ F &= 24.5N = P \\ P &= m \times g \\ 24.5N &= m \times 9.81 \frac{m}{s^2} \\ m &= \frac{24.5N}{9.81 \frac{m}{s^2}} = 2.5Kg \end{aligned}$$

El peso 2.5kg es el soporte total que puede soportar el agarre de la garra o gripper.

Análisis de Carga máxima

Los motores tienen torque de salida, con las fórmulas básicas se toma en cuenta el torque y la masa teórica que podría levantar los motores, considerando el peso total del brazo y la cantidad máxima de carga que puede soportar el brazo tanto 80%, 90% y 100% de su eficiencia. Los análisis se los realizo de la siguiente manera:

Servomotor HS-805 MG (Base de motor se colocó dos servomotores)

El análisis que se realizo es la relación de engranes para tener cuanto aumenta el torque de este de la siguiente forma:

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

$$i = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{80 \text{ dientes}}{16 \text{ dientes}} = 5$$

Según la relación de engranes se multiplica por cinco, tomando ese de referencia procedemos hacer el análisis de carga máxima. Teniendo como datos el torque del motor es de 24.7Kg .cm según el Datasheet, otro dato es la masa que tiene el brazo de 1.65kg y la distancia hasta el peso que soporta la garra que es de 57cm. El análisis que se realizo es el siguiente:

$$T_{Teorico} = P \times d$$

$$T_{Teorico} = m \times g \times d$$

$$T_{Teorico} = T_{motor} \times g$$

$$T_{Teorico} = (24.7Kg .m \times 5) \times 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$T_{Teorico} = 12.115 N.m = 1211.53 N.cm$$

$$T_{Teorico} = m_{Teorica} \times g \times d$$

$$m_{Teorica} = \frac{T_{Teorico}}{g \times d}$$

$$m_{Teorica} = \frac{12.115 \text{ N.m}}{9.81 \frac{m}{s^2} \times 0.57m}$$

$$m_{Teorica} = 2.16 \text{ Kg}$$

Para la base de motor se colocó dos servomotores por lo que la masa teórica se multiplica por dos en lo que la masa teórica es de 4.32Kg. Se realizó 3 análisis con 80%, 90% y 100%.

$$m_{carga\ maxima} = (m_{Teorica} - m_{Brazo}) n$$

$$m_{carga\ maxima} = (4.32 \text{ Kg} - 1.65 \text{ Kg}) 0.8$$

$$m_{carga\ maxima} = 2.136 \text{ Kg}$$

$$m_{carga\ maxima} = (4.32 \text{ Kg} - 1.65 \text{ Kg}) 0.9$$

$$m_{carga\ maxima} = 2.4 \text{ kg}$$

$$m_{carga\ maxima} = (4.32 \text{ Kg} - 1.65 \text{ Kg}) 1$$

$$m_{carga\ maxima} = 2.67 \text{ Kg}$$

La carga máxima que se asegura teóricamente es de máximo 2.67 Kg que sería el tope de carga que movería la base.

Servomotor DS 5160SSG (Articulación 1)

Según el análisis de carga máxima teniendo como datos el torque del motor es de 65.Kg.m según el Datasheet, otro dato es la masa que tiene el brazo de 1.2kg y la distancia hasta el peso que soporta la garra que es de 37cm. El análisis que se realizó es el siguiente:

$$T_{Teorico} = P \times d$$

$$T_{Teorico} = m \times g \times d$$

$$T_{Teorico} = T_{motor} \times g$$

$$T_{Teorico} = (0.65Kg \cdot m \times 9.81 \frac{m}{s^2})$$

$$T_{Teorico} = 6.37 N.m = 637.65 N.cm$$

$$T_{Teorico} = m_{Teorica} \times g \times d$$

$$m_{Teorica} = \frac{T_{Teorico}}{g \times d}$$

$$m_{Teorica} = \frac{6.37 N.m}{9.81 \frac{m}{s^2} \times 0.37m}$$

$$m_{Teorica} = 1.75 Kg$$

Para la base de motor se colocó dos servomotores, por lo que la masa teórica se multiplica por dos, por lo que la masa teórica es de 1.75Kg. Se realizó tres análisis con 80%, 90% y 100%.

$$m_{carga\ maxima} = (m_{Teorica} - m_{Brazo}) n$$

$$m_{carga\ maxima} = (1.75 Kg - 1.2 Kg) 0.8$$

$$m_{carga\ maxima} = 0.44Kg = 440g$$

$$m_{carga\ maxima} = (1.75 Kg - 1.2 Kg) 0.9$$

$$m_{carga\ maxima} = 0.495Kg = 495g$$

$$m_{carga\ maxima} = (1.75 Kg - 1.2 Kg) 1$$

$$m_{carga\ maxima} = 0.55Kg = 550g$$

La carga máxima que se asegura teóricamente es de máximo 0.55 Kg que sería el tope de carga que movería la base.

Servomotor DS 5160SSG (Articulación 2)

Según el análisis de carga máxima Teniendo como datos el torque del motor es de 65Kg.cm según el Datasheet, otro dato es la masa que tiene el brazo de 0.5kg y la

distancia hasta el peso que soporta la garra que es de 16cm. El análisis que se realizó es el siguiente:

$$\begin{aligned}
 T_{Teorico} &= P \times d \\
 T_{Teorico} &= m \times g \times d \\
 T_{Teorico} &= T_{motor} \times g \\
 T_{Teorico} &= (0.65Kg \cdot m \times 9.81) \frac{m}{s^2} \\
 T_{Teorico} &= 6.37N \cdot m = 637.6 N \cdot cm
 \end{aligned}$$

$$T_{Teorico} = m_{Teorica} \times g \times d$$

$$\begin{aligned}
 m_{Teorica} &= \frac{T_{Teorico}}{g \times d} \\
 m_{Teorica} &= \frac{6.37 N \cdot m}{9.81 \frac{m}{s^2} \times 0.16m}
 \end{aligned}$$

$$m_{Teorica} = 4.05Kg$$

Para la base de motor se colocó dos servomotores, por lo que la masa teórica se multiplica por dos, la masa teórica es de 4.05Kg. Se realizó 3 análisis con 80%, 90% y 100%.

$$m_{carga\ maxima} = (m_{Teorica} - m_{Brazo}) n$$

$$\begin{aligned}
 m_{carga\ maxima} &= (4.05Kg - 0.5 Kg) 0.8 \\
 m_{carga\ maxima} &= 2.84Kg
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{carga\ maxima} &= (4.05 Kg - 0.5 Kg) 0.9 \\
 m_{carga\ maxima} &= 3.195Kg
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{carga\ maxima} &= (4.05Kg - 0.5 Kg) 1 \\
 m_{carga\ maxima} &= 3.55Kg
 \end{aligned}$$

La carga máxima que se asegura teóricamente es máxima 3.55 Kg, que sería el tope de carga que movería la base.

Terminado los análisis se puede evidenciar que el brazo puede soportar una masa máxima 2.5Kg para seguridad de los motores.

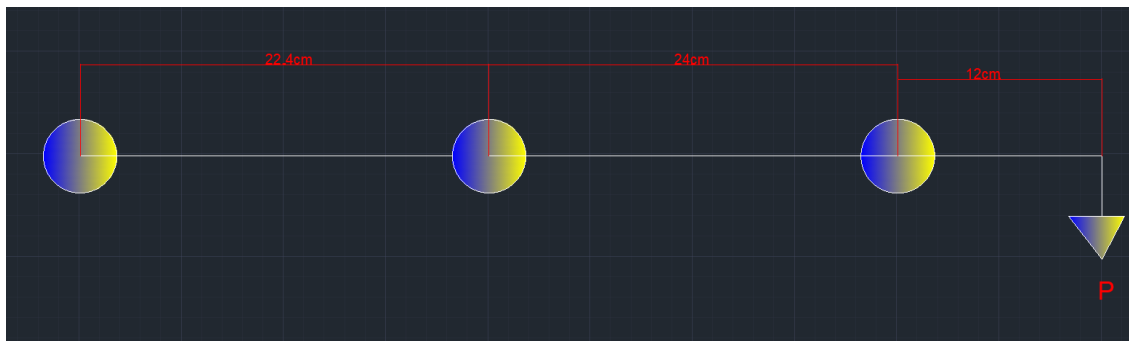
Análisis Estructural

Se realizó con el análisis de dos puntos críticos con el movimiento del brazo, considerando que el peso máximo que puede soportar de $m = 2.5\text{Kg}$ en los que se tiene el esfuerzo máximo, se analizó de la siguiente manera:

Punto crítico 1

Este punto se analiza cuando el brazo robótico está con las articulaciones extendidas, las fuerzas que están aplicadas son los pesos de las articulaciones $PA1=1.962\text{N}$, $PA2=9.81\text{N}$ y $P=24.52\text{N}$, en el resultado de P está incluida la masa de la garra o gripper y los 2,5 Kg que es el peso que soporta. En el diagrama 2, se muestra el diagrama de cuerpo libre con las medidas de las articulaciones del brazo robótico.

Diagrama 2. Diagrama de cuerpo libre punto crítico 1



$$\sum M_A = 0$$

$$\begin{aligned}(P_{A1} \times 0.112m) + M_B + (P_{A2} \times 0.304m) + M_C + (P \times 0.584m) &= 0 \\ M_B + M_C &= -(P_{A1} \times 0.11m) - (P_{A2} \times 0.33m) - (P \times 0.545m) \\ M_B + M_C &= -0.219N - 2.98N - 13.36N \\ M_B + M_C &= -16.56N \quad (1)\end{aligned}$$

$$\sum M_B = 0$$

$$\begin{aligned}M_A - (P_{A1} \times 0.112m) + (P_{A2} \times 0.12m) - M_C + (P \times 0.36m) &= 0 \\ M_A - M_C &= (P_{A1} \times 0.112m) - (P_{A2} \times 0.12m) - (P \times 0.36m) \\ M_A - M_C &= 0.219N - 1.177N - 8.82N \\ M_A - M_C &= -10.216N \\ M_C &= 10.216N + M_A \quad (2) \\ M_C &= 10.216N - 12.496N = 4.077N\end{aligned}$$

$$\sum M_C = 0$$

$$\begin{aligned}M_A - (P_{A1} \times 0.352m) - M_B - (P_{A2} \times 0.12m) + (P \times 0.12m) &= 0 \\ M_A - M_B &= (P_{A1} \times 0.352m) + (P_{A2} \times 0.12m) - (P \times 0.12m) \\ M_A - M_B &= 0.69N + 1.1772N - 2.94N \\ M_A - M_B &= -1.07N \\ M_B &= 1.07N + M_A \quad (3) \\ M_B &= 1.07N - 12.496N = 7.259N \\ (3)y(2) \text{ en } (1) \\ M_B + M_C &= -16.56N \\ 1.07N + M_A + 10.216N + M_A &= -16.56N \\ 2M_A &= -16.56N - 10.216N + 1.07N \\ &= -25.706N \\ M_A &= \frac{-25.706N}{2} = -12.853N\end{aligned}$$

Siendo el punto A que es la unión entre la Articulación 2 y 3, este se considera como el punto más crítico es de 12.853N por lo cual el esfuerzo máximo que se encuentra es de:

$$\begin{aligned}C &= \frac{\phi^2}{2} = \frac{(8.2 \times 10^{-3})^2}{2} = 1.681 \times 10^{-5} m^2 \\ I &= \frac{\pi r^4}{4} = \frac{\pi \times (4.1 \times 10^{-3} m)^4}{4} = 2.219 \times 10^{-10} m^4\end{aligned}$$

$$\sigma = \frac{M_{maximo} \times C}{I}$$

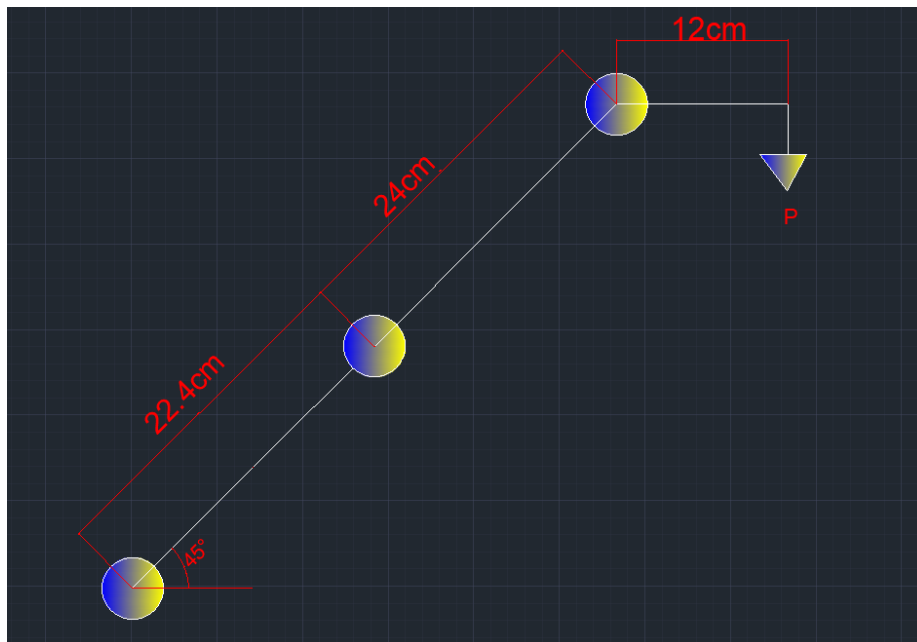
$$\sigma = 1445.06 Pa = 1.445 KPa$$

De lo que se obtuvo que el esfuerzo máximo que se genera en el Punto A es de 1.445KPa.

Punto crítico 2

Se analiza cuando el brazo robótico tiene una elevación de 45° , las fuerzas son las mismas que el punto crítico anterior que son $PA1=1.962N$, $PA2=9.81N$ y $P=24.52N$. En el diagrama 3, se muestra el diagrama de cuerpo libre con las medidas de cada articulación, se considera la distancia de las fuerzas aplicadas con el ángulo de 45° .

Diagrama 3. Diagrama de cuerpo libre punto crítico 2



$$\sum M_A = 0$$

$$(P_{A1} \times 0.079m) + M_B + (P_{A2} \times 0.24m) + M_C + (P \times 0.448m) = 0$$

$$\begin{aligned}
M_B + M_C &= -(P_{A1} \times 0.079m) - (P_{A2} \times 0.24m) - (P \times 0.448m) \\
M_B + M_C &= -0.155N - 2.35N - 11N \\
M_B + M_C &= -13.505N \quad (1)
\end{aligned}$$

$$\sum M_B = 0$$

$$\begin{aligned}
-M_A - (P_{A1} \times 0.0793m) + (P_{A2} \times 0.2433m) + M_C - (P \times 0.29m) &= 0 \\
-M_A + M_C &= (P_{A1} \times 0.0793m) - (P_{A2} \times 0.2433m) - (P \times 0.29m) \\
-M_A + M_C &= 0.152N - 2.38N + 7.11N \\
M_A + M_C &= 4.57N \\
M_C &= 4.57N - M_A \quad (2) \\
M_C &= 7.325N - 12.863N = 5.538N
\end{aligned}$$

$$\sum M_C = 0$$

$$\begin{aligned}
-M_A - (P_{A1} \times 0.328m) + M_B - (P_{A2} \times 0.084m) + (P \times 0.12m) &= 0 \\
-M_A + M_B &= (P_{A1} \times 0.328m) + (P_{A2} \times 0.084m) - (P \times 0.12m) \\
-M_A + M_B &= 0.6317N + 0.824N - 2.94N \\
-M_A + M_B &= 3.13N \\
M_B &= 3.13N - M_A \quad (3) \\
M_B &= 2.091N - 12.863N = -10.773N \\
(3)y(2) \text{ en } (1) \\
M_B + M_C &= -13.505N \\
3.13N - M_A + 4.57N - M_A &= -13.505N \\
-2M_A &= -13.505N - 3.13N - 4.57N \\
-M_A &= \frac{-21.205N}{2} = 10.602N
\end{aligned}$$

Entonces el momento máximo de este punto crítico es de 10.602N en el Punto A

por lo cual el esfuerzo máximo que se encuentra es de:

$$\begin{aligned}
C &= \frac{\emptyset^2}{2} = \frac{(8.2 \times 10^{-3})^2}{2} = 1.681 \times 10^{-5} m^2 \\
I &= \frac{\pi r^4}{4} = \frac{\pi (4.1 \times 10^{-3} m)^4}{4} = 2.219 \times 10^{-10} m^4
\end{aligned}$$

$$\sigma = \frac{M_{maximo} \times C}{I}$$

$$\sigma = 1191.98Pa = 1.191KPa$$

Según lo obtenido el esfuerzo máximo que se produce en el Punto A es de 1.191KPa.

Esfuerzo cortante

Cada articulación del brazo robótico se une por medio de un pasador, por lo que existen esfuerzos cortantes dobles en cada una de estas. El área que se analiza el esfuerzo cortante es denominada A, se va a considerar para todos los análisis de esfuerzo cortante como se indica en la siguiente ecuación.

$$A = \frac{\pi}{4}(\phi)^2$$

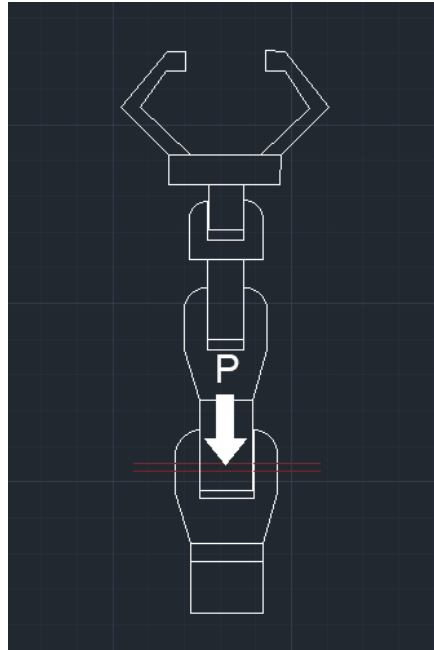
$$A = \frac{\pi}{4}(8.2 \times 10^{-3})^2 = 5.281 \times 10^{-5} m^2$$

El esfuerzo cortante en cada pasador se considera la fuerza (P), que resulta de la masa que está en cada punto de análisis con el peso que soporta de 2,5 Kg.

Articulación 1

$$V=P=40.71N$$

Diagrama 4. Esfuerzo cortante Articulación 1



$$\tau = \frac{V}{2A}$$

$$\tau = \frac{40.71N}{2 \times 5.281 \times 10^{-5} m^2}$$

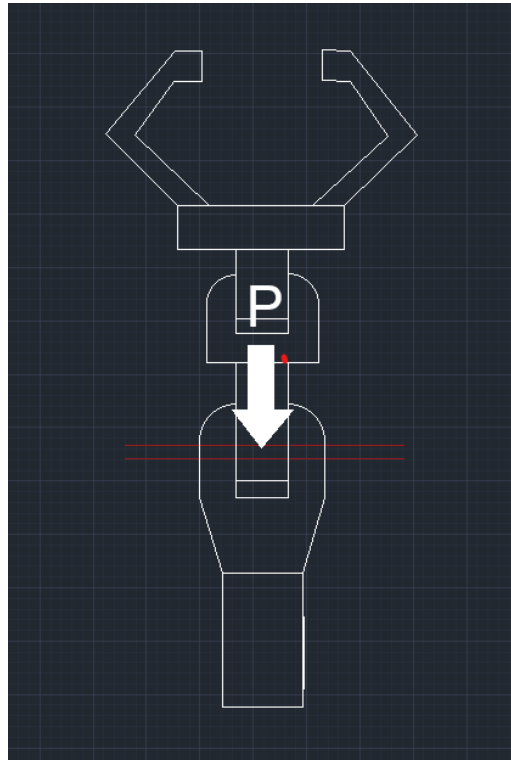
$$\tau = 572.04 Pa$$

Una vez aplicada la formula el resultado dio que, en el pasador de la Articulación 1 con el peso que se aplica en esta, tiene un esfuerzo cortante de 572.04Pa,

Articulación 2

$$V=P=38.75N$$

Diagrama 5. Esfuerzo cortante Articulación 2



$$\tau = \frac{V}{2A}$$

$$\tau = \frac{38.75N}{2 \times 5.281 \times 10^{-5} m^2}$$

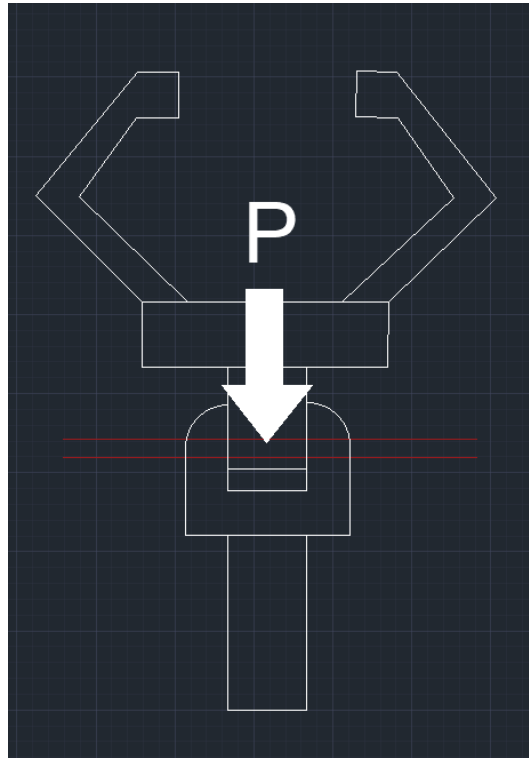
$$\tau = 544.5 Pa$$

En el pasador de la Articulación 2 tomando el peso que se aplica solo en la parte vista, tiene un esfuerzo cortante de 544.5Pa.

Articulación 3

$$V=P=28.45N$$

Diagrama 6. Esfuerzo cortante Articulación 3



$$\tau = \frac{V}{2A}$$

$$\tau = \frac{28.45N}{2 \times 5.281 \times 10^{-5} m^2}$$

$$\tau = 399.76 Pa$$

La Articulación 3 en el pasador de la Articulación 2 con el peso aplicado, tiene un esfuerzo cortante de 399.76 KPa.

Parametrización en Impresión 3D

Para la impresión en 3D de las piezas del brazo robótico, las máquinas utilizadas son CREALITY ENDER -3 V3 KE – FCF2 y BAMBU LAB X1- CARBON.

CREALITY ENDER-3 V3 KE

Esta es una de las impresoras más avanzadas con un modelo nuevo comparándola con otros modelos, se lo puede comprobar por las características con las que cuenta como la conformación de entradas, la nivelación automática de la cama de impresión dando, así como resultados de precisión en la impresión y su fácil uso. Adicional de que tiene un soporte de filamentos de alta temperatura que permite el uso de una gama de materiales con el fin de obtener diferentes impresiones.

Figura 18. CREALITY ENDER-3 V3 KE



BAMBU LAB X1- CARBON

Formada por una estructura de carbón hace que esta sea más fuerte y resistente, sus componentes son una cama de impresión calentada, sistema de nivelación automática y una pantalla táctil de alta resolución que le permite una navegación sencilla.

Figura 19. BAMBU LAB X1- CARBON



Los procesos de estas dos impresoras en 3D son de fabricación de filamentos fundidos (FFF), el material que se utilizó es PLA el cual es un material muy utilizado para este tipo de impresiones en 3D.

Los parámetros de impresión de las piezas del brazo robótico, se realizó utilizando el programa Ultimaker Cura 5.8.1, los parámetros que se tomaron en cuenta se encuentran detallados en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de impresión 3D

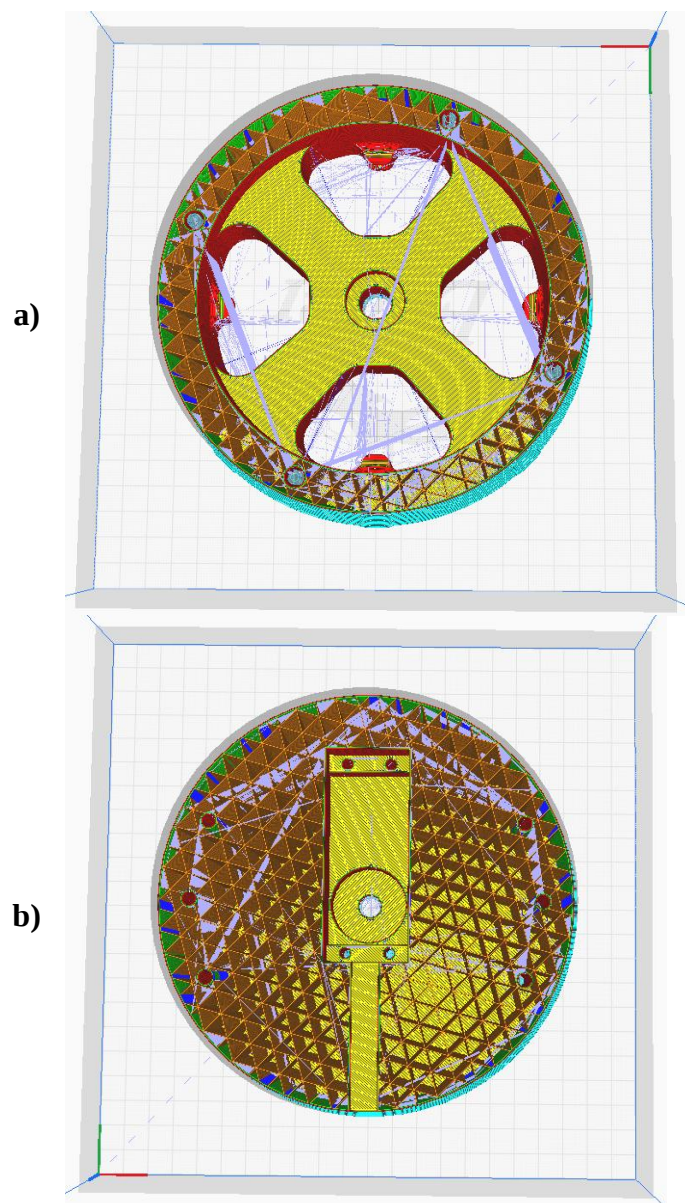
Calidad	
Altura de capa	0.26 mm
Altura de capa inicial	0.2 mm
Ancho de línea	0.4 mm
Paredes	
Grosor de la pared	1.0 mm
Recuento de líneas de pared	2
Expansión horizontal	0.0 mm
Alineación de costuras en Z	Esquina más pronunciada
Preferencia de esquina de costura	Costura inteligente
Superior o inferior	
Capas superiores	5
Capas inferiores	4
Porcentaje de superposición del forro	30.0
Parámetros de Impresión 3D	
Densidad del relleno	15%
Patrón de Relleno	 Triángulos
Porcentaje de superposición del relleno	30%
Pasos de relleno necesarios	0
Material	
Temperatura de impresión	200 °C
Temperatura de la placa de impresión	60 °C
Flujo	90%
Velocidad	
Velocidad de impresión	150 mm/s
Velocidad de relleno	150 mm/s
Velocidad de pared	75 mm/s
Velocidad de pared exterior	75 mm/s
Velocidad de pared interior	90 mm/s
Velocidad de desplazamiento	150 mm/s

Velocidad de capa inicial	20 mm/s
Velocidad de falda/borde	20 mm/s
Desplazamiento	
Habilitar la retracción	✓
Distancia de retracción	1.5 mm
Velocidad de retracción	100 mm/s
Modo peinada	Sobre el relleno
Refrigeración	
Activar refrigeración de impresión	✓
Velocidad del ventilador	75%
Soporte	
Generar soporte	✓
Estructura de soporte	Normal
Ángulo de voladizo del soporte	60°
Patrón del soporte	Zigzag
Densidad del soporte	20%
Habilitar borde de soporte	✓
Ancho del borde de soporte	4 mm
Distancia en Z del soporte	0.2 mm
Distancia X/Y del soporte	0.8 mm
Prioridad de las distancias del soporte	Z sobre X/Y
Distancia X/Y mínima del soporte	0.4 mm
Área del soporte mínima	2.0 mm ²
Habilitar interfaz del soporte	✓
Adherencia de la placa de impresión	
Tipo de adherencia de la placa de impresión	Borde
Ancho del borde	5 mm

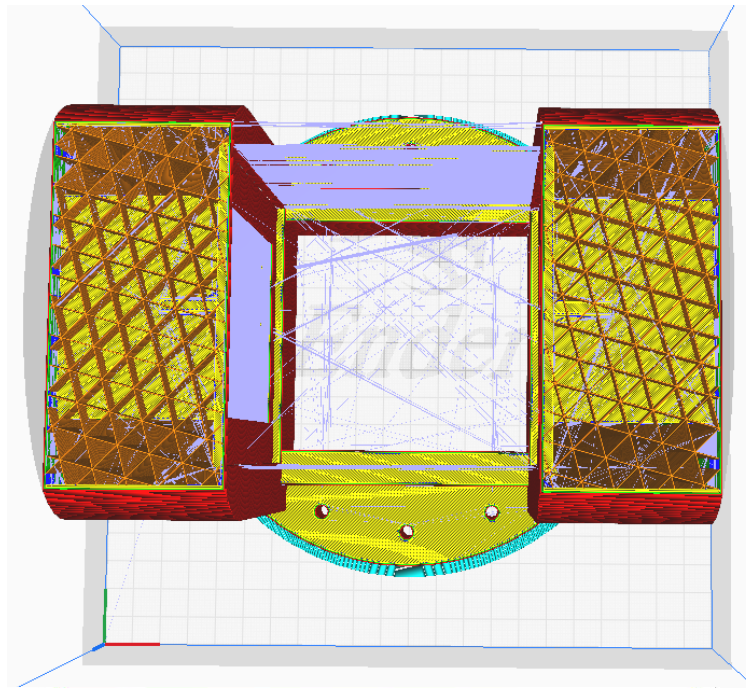
Con el programa Ultimaker cura los parámetros de impresión que se eligieron para realizar las piezas del brazo robótico son 15% de densidad relleno y mallado en

forma de triángulo, se configuro con este y los demás criterios ya que al ser piezas que van a estar sometidas a esfuerzos, además de disminuir el peso de las piezas para no forzar los motores, y tengan mayor rigidez para que no presenten deformaciones con el peso que se aplique, según estos parámetros las piezas se imprimieron de la siguiente manera:

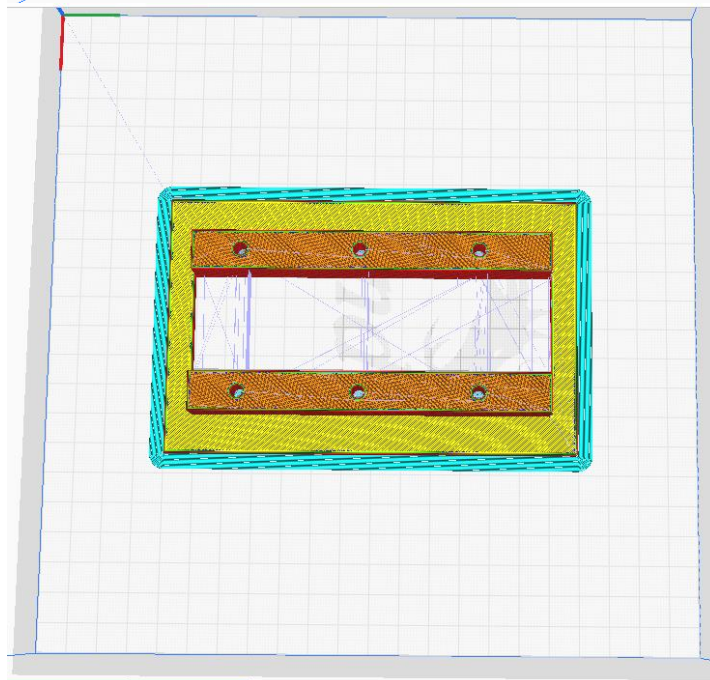
Figura 20. Laminado de piezas en Ultimaker Cura



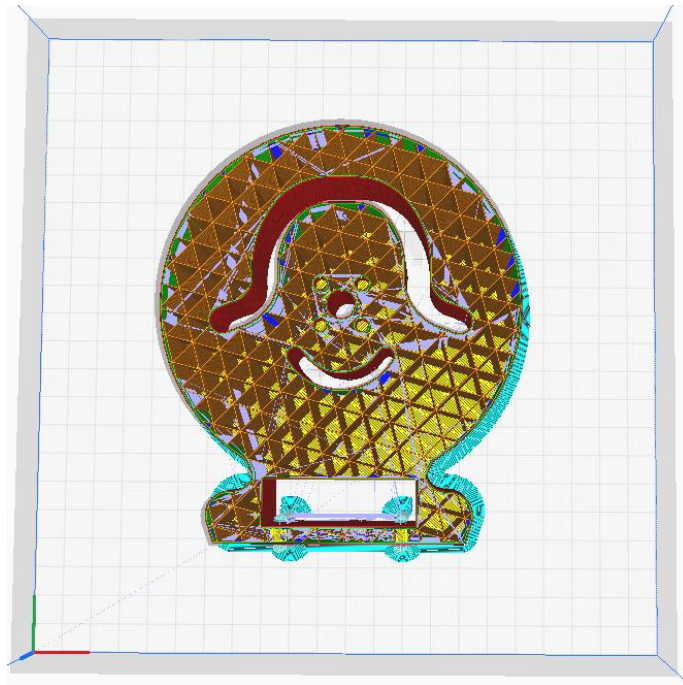
c)



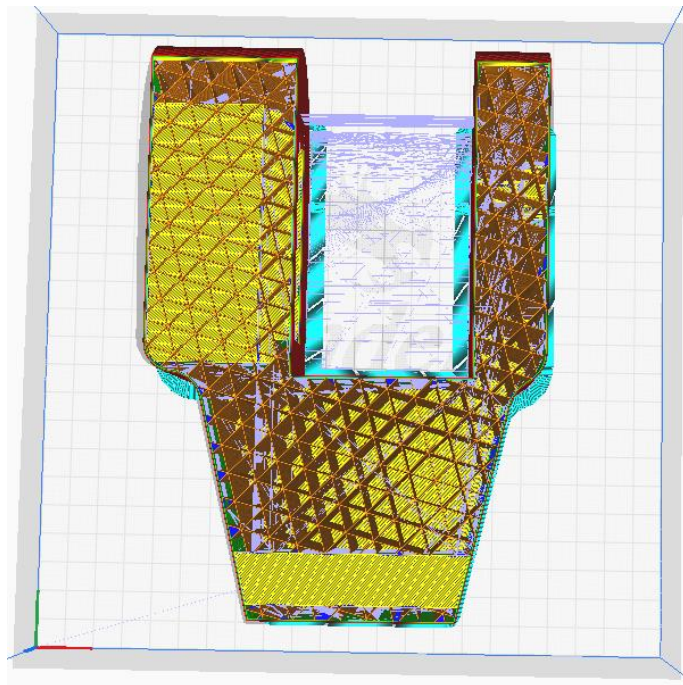
d)



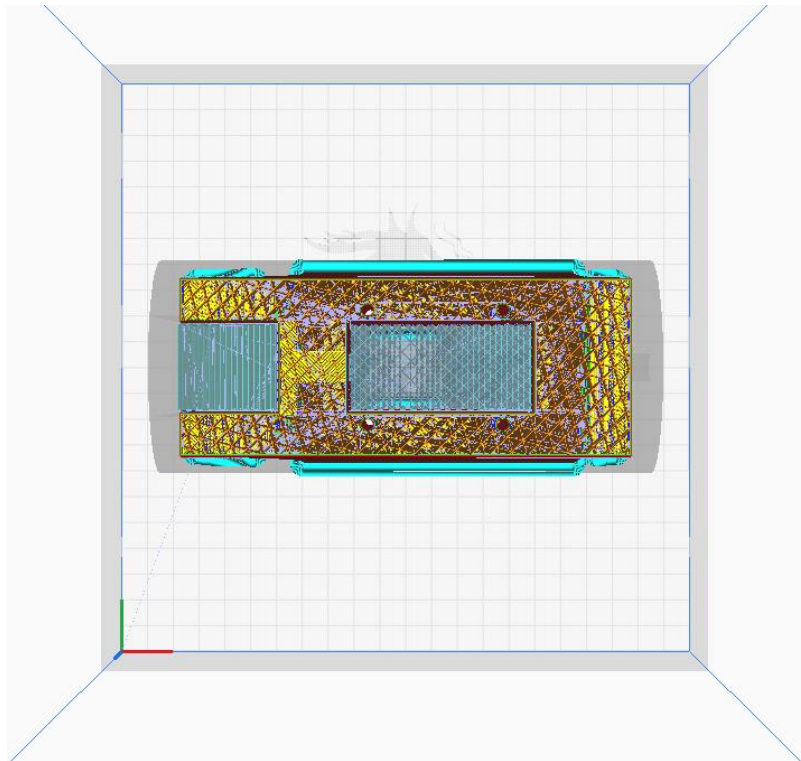
e)



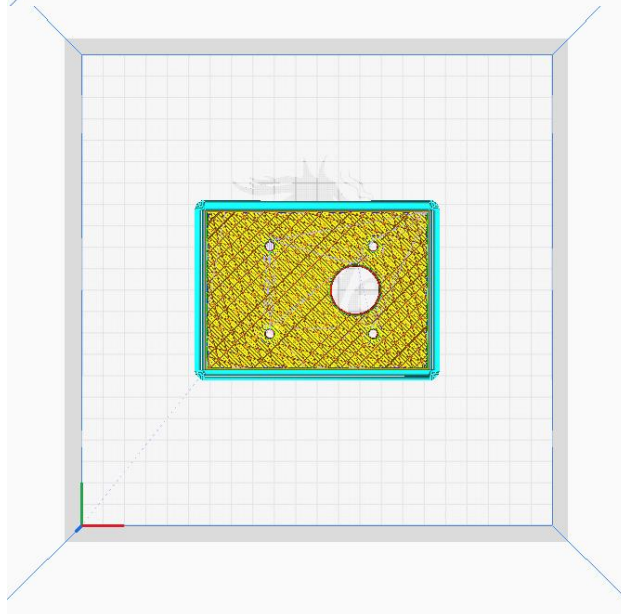
f)



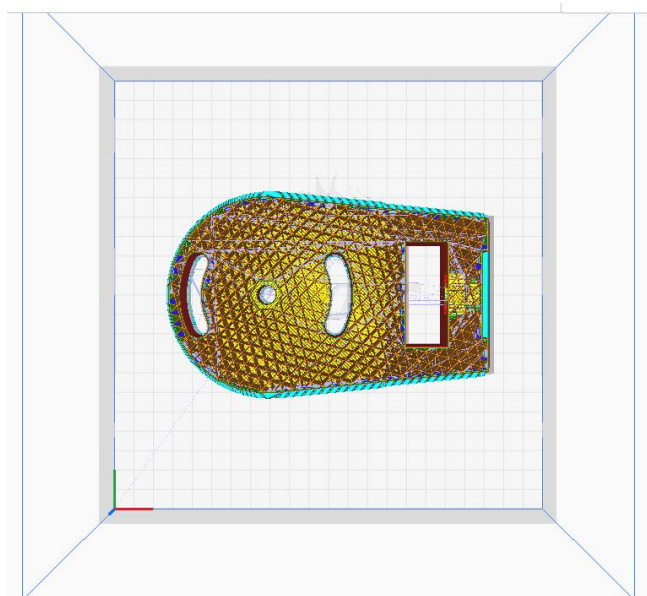
g)



h)



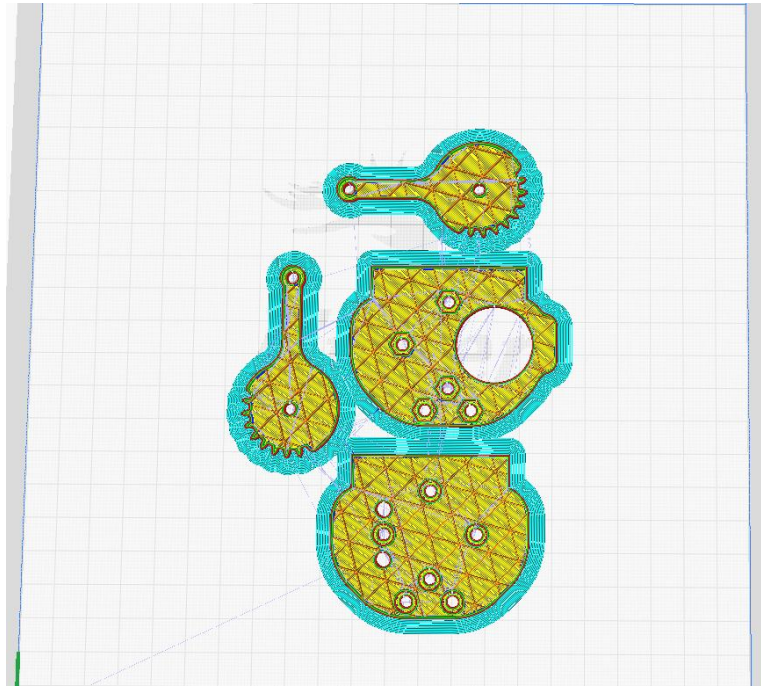
i)



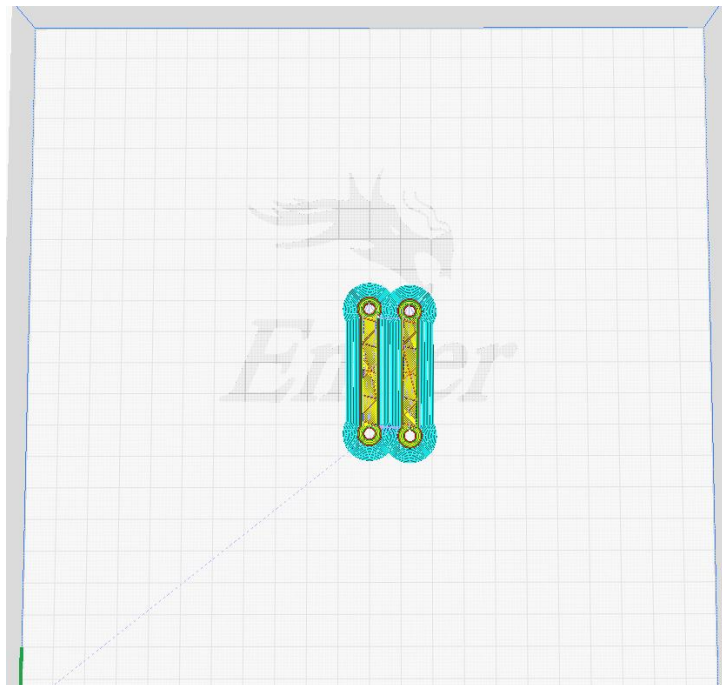
j)



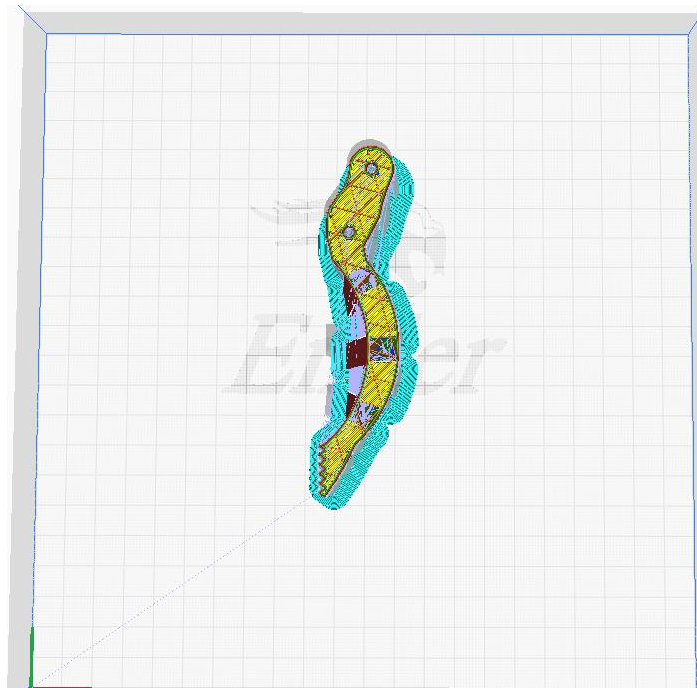
k)



l)



m)



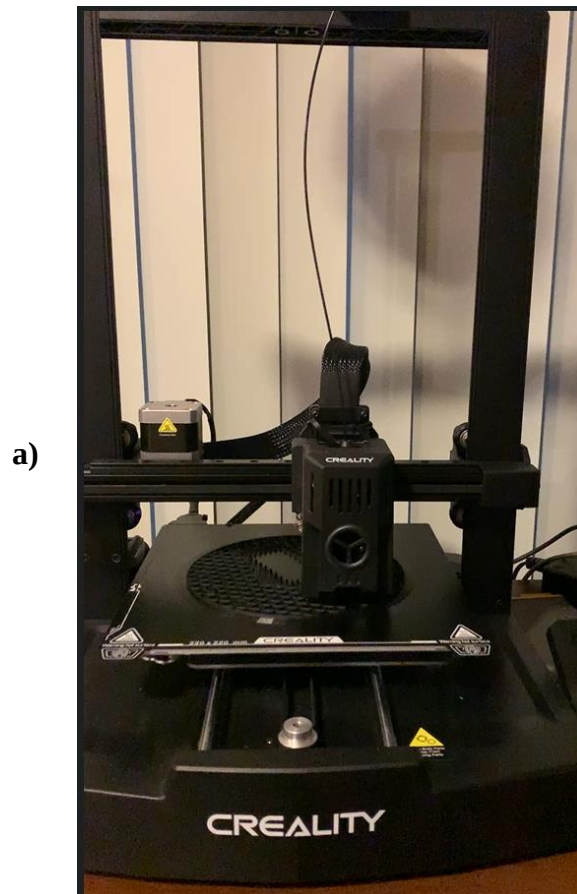
Nota. Figura 20.a) Pieza base fija. Figura 20.b) Pieza giratoria. Figura 20.c) Soporte Articulación 1. Figura 20.d) Placas de soporte para motores. Figura 20.e) Articulación 1 Parte 1. Figura 20.f) Articulación 1 Parte 2. Figura 20.g) Articulación 2. Figura 20.h) Tapa de motor. Figura 20.i) Parte de Articulación 2. Figura 20.j) Articulación 3. Figura 20.k) Piezas de unión de garras. Figura 20.l) Piezas de unión de garras. Figura 20.m) Garras o grippers.

Cabe aclarar piezas como las placas y garras se las imprimió con los mismos parámetros de impresión exceptuando el relleno ya que estas se las hizo con un relleno del 100%, esto se debe a que son piezas que van a soportar mayor presión al ser objetos para mecanismos.

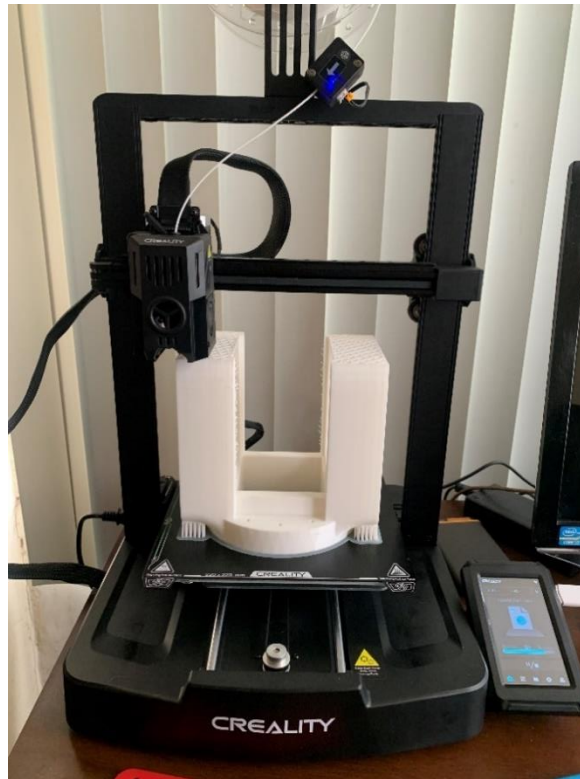
Impresión 3D de piezas

Las respectivas impresiones de cada pieza se las hizo contemplando los respectivos parámetros de impresión, en la figura 21 se muestra las impresiones que se desarrolló en la impresora 3D Creality Ender-3 V3 KE.

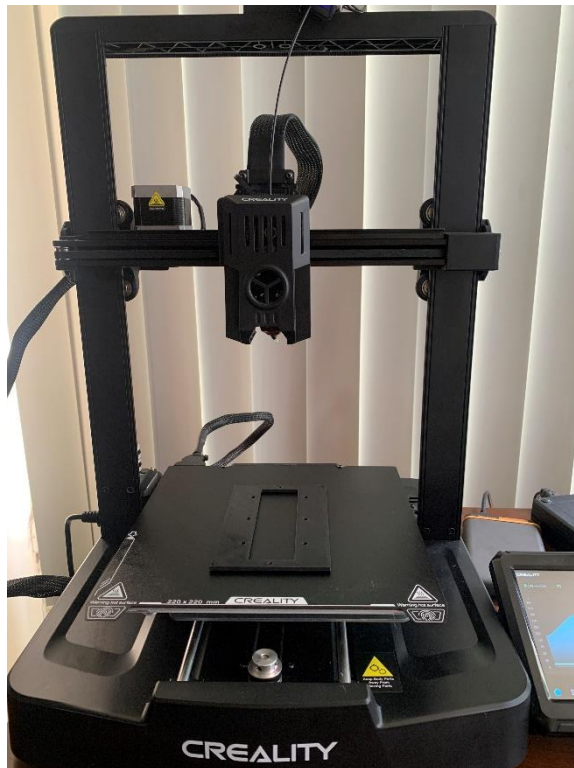
Figura 21. Impresión 3D de piezas



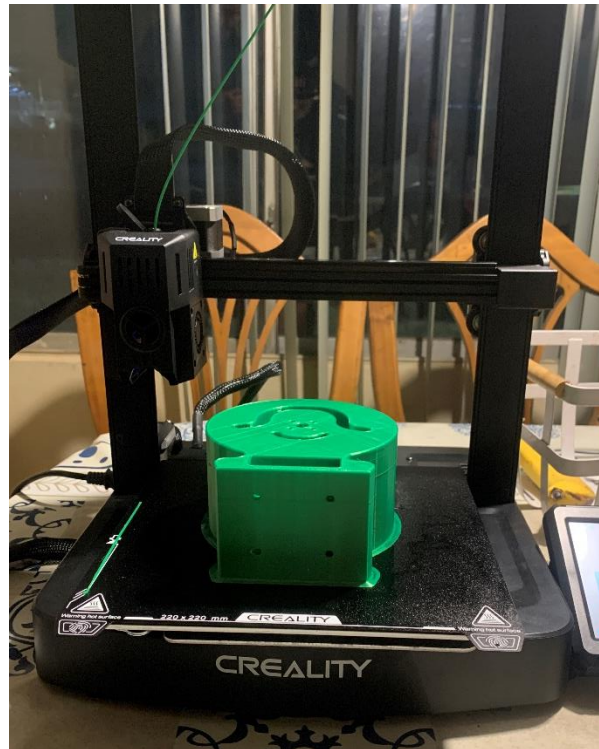
b)



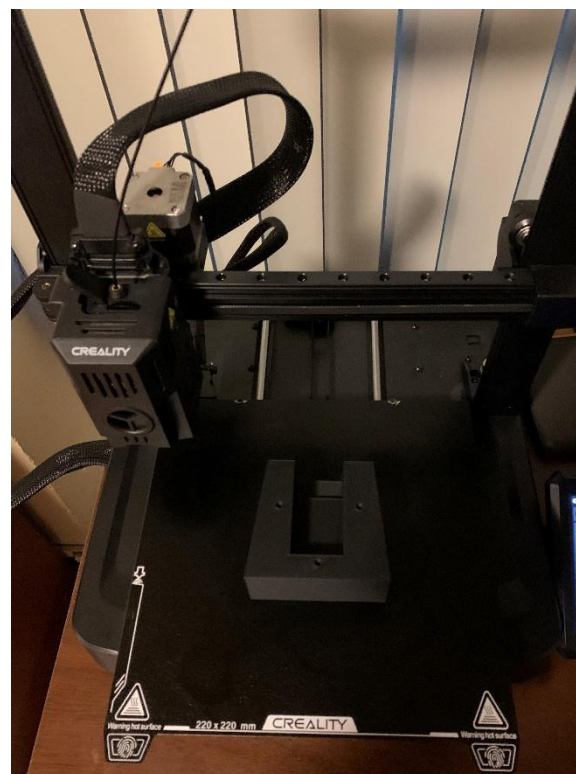
c)



d)



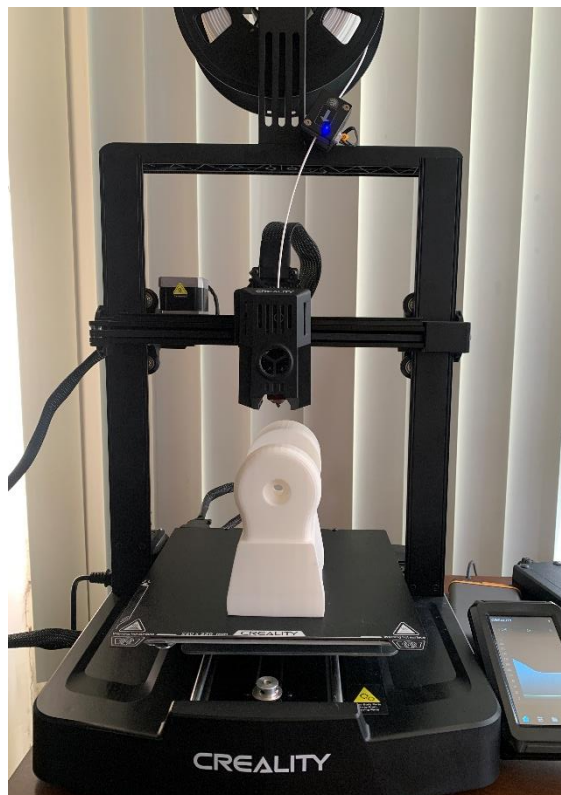
e)



f)



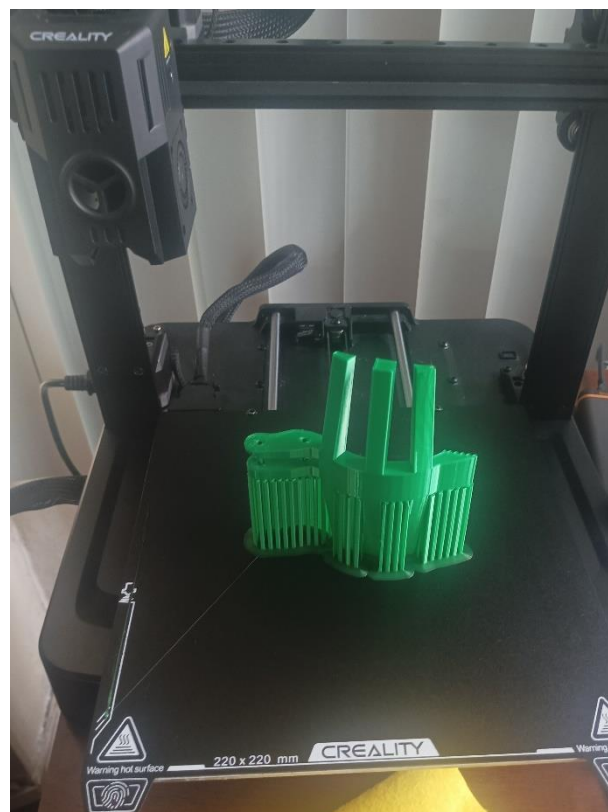
g)



h)



i)



Nota. Figura 21.a) Base giratoria. Figura 21.b) Soporte Articulación 1. Figura 21.c) Placas de soporte para motores. Figura 21.d) Articulación 1 Parte 1. Figura 21.e) Articulación 2 Parte A. Figura 21.f) Articulación 2 Parte B. Figura 21.g) Articulación 2. Figura 21.h) Articulación 3. Figura 22.i) Pinza.

A continuación, se muestra el proceso de impresión que se realizó en la impresora 3D Bambu Lab X1-Carbo en la figura 22.

Figura 22. Proceso de impresión con impresora Bambu Lab X1-Carbon



Con los resultados obtenidos de las impresiones se comprueba la forma y dimensiones que se editó para que se acople al modelo, como se observa en la figura a continuación.

Figura 23. Armado de piezas

a)



b)



Nota. Figura 23.a) Comprobación la forma de las articulaciones. Figura 23.b) verificando como coinciden las uniones de la articulaciones.

Con las piezas ya impresas se procede a armar el brazo robótico con los componentes eléctricos.

Armado de Brazo Robótico con los componentes electrónicos.

En las piezas impresas se procede a colocar los motores paso a paso, tensores de las poleas que van a dar el movimiento de las articulaciones y un servo motor para el movimiento de la garra o gripper. Los motores y tensores van se ubican de la siguiente forma:

Base de Brazo Robótico. – Se coloca los componentes que nos sirve para dar la rotación de las piezas para luego terminarlo de armar con el motor y su eje.

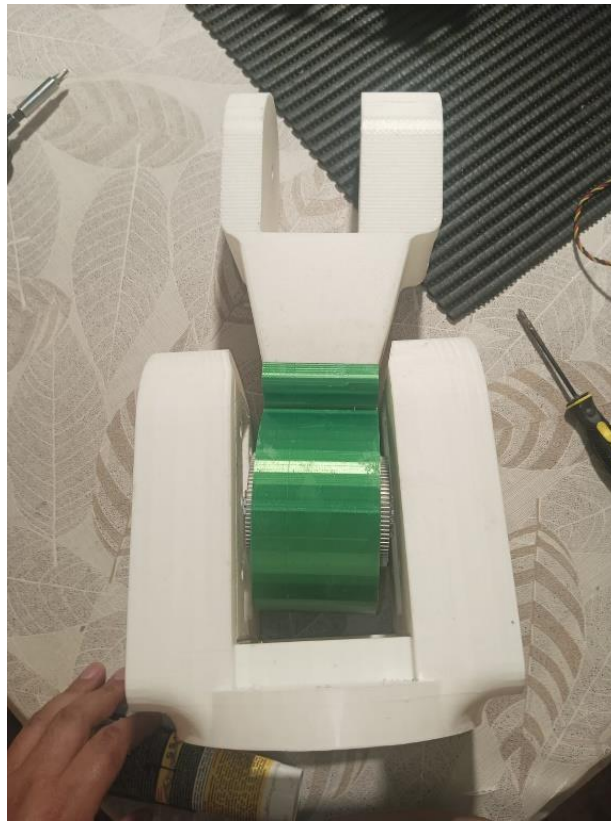
Figura 24. Colocación de componentes electrónicos Articulación 1



Articulación 1.- Se ubican la rueda de engranes en la pieza de la articulación 1 para poder conectar al mecanismo del motor para aumentar la fuerza y luego colocar los motores en la base del brazo robótico con el placa para que soporte el motor y estén alineados y así colocar la parte de la articulación como se muestra en la siguiente figuras.

Figura 25. Colocación de componentes electrónicos Articulación 1

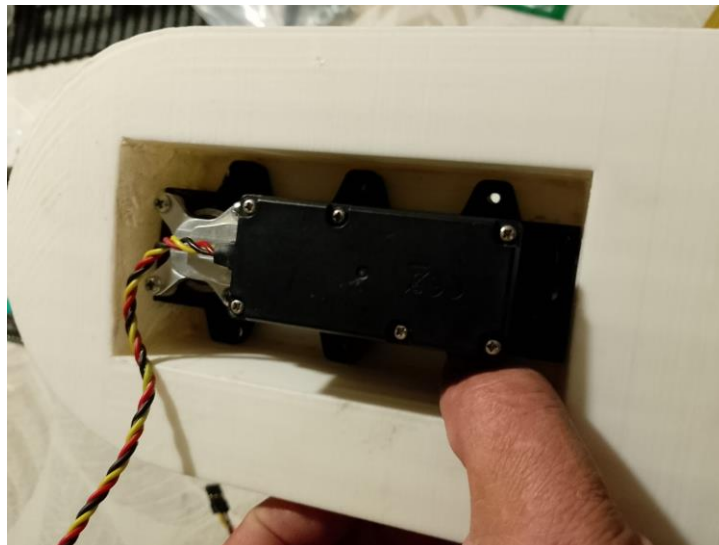
a)



b)



c)



Nota. Figura 25.a) Articulación1 con Base de Brazo Robótico. Figura 25.b) Ajustado la rueda engrandas en la base. Figura25 c) Colocación de motores.

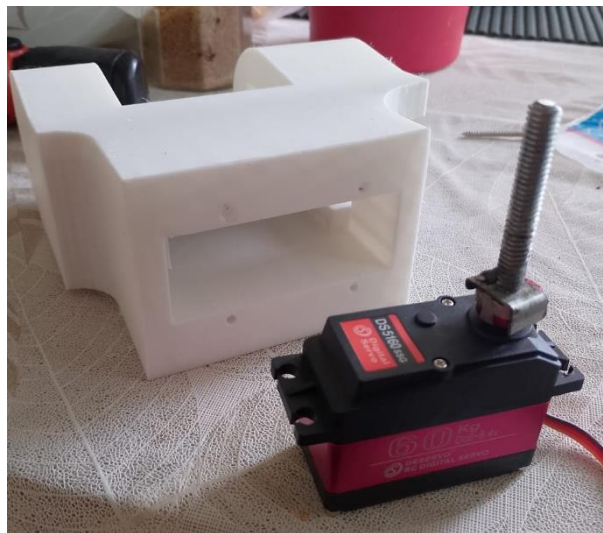
Articulación 2.- Se coloca los motores y componentes en la parte que se va conectar con la articulación 3, se coloca la tapa para luego unir a la otra parte con la ayuda del eje que va al motor para dar el giro de esta pieza.

Figura 26. Colocación de componentes electrónicos Articulación 2

a)



b)





Nota. Figura 26.a) Ensamble Articulación 1 con la parte de Articulación 2. Figura 26.b) Ensamble completo de motores. Figura 26.c) Ensamble de tapa de motor. Figura 26.d) Ensamble completo de Articulación 2.

Garra o Gripper. - Se coloca un servo motor MG995 en la base de la Garra o Gripper para su movimiento. Figura respectiva.

Figura 27. Garra o Gripper

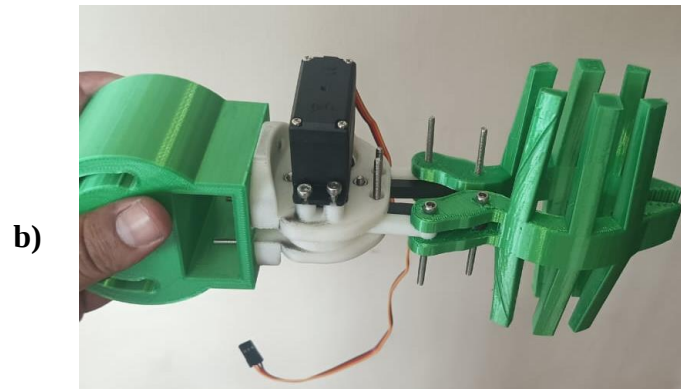


Articulación 3.- Se une la garra con la parte que se conecta con la parte que se une a la articulación 2 como se muestra en la figura siguiente:

Figura 27. Colocación de componentes electrónicos Articulación 3

a)

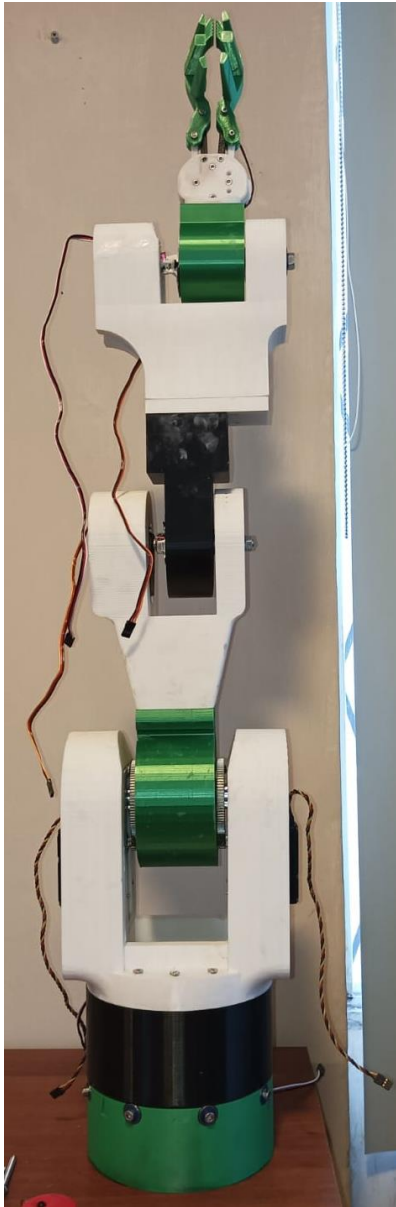




Nota. Figura 27.a) Articulación 3 con motor en su sitio. Figura 27.b) Articulación 3 unión piezas similares con motor.

Terminado de armar las articulaciones con los componentes que van en cada articulación, se une las articulaciones con un eje acerado de 8mm de diámetro varilla lisa, figura 28.

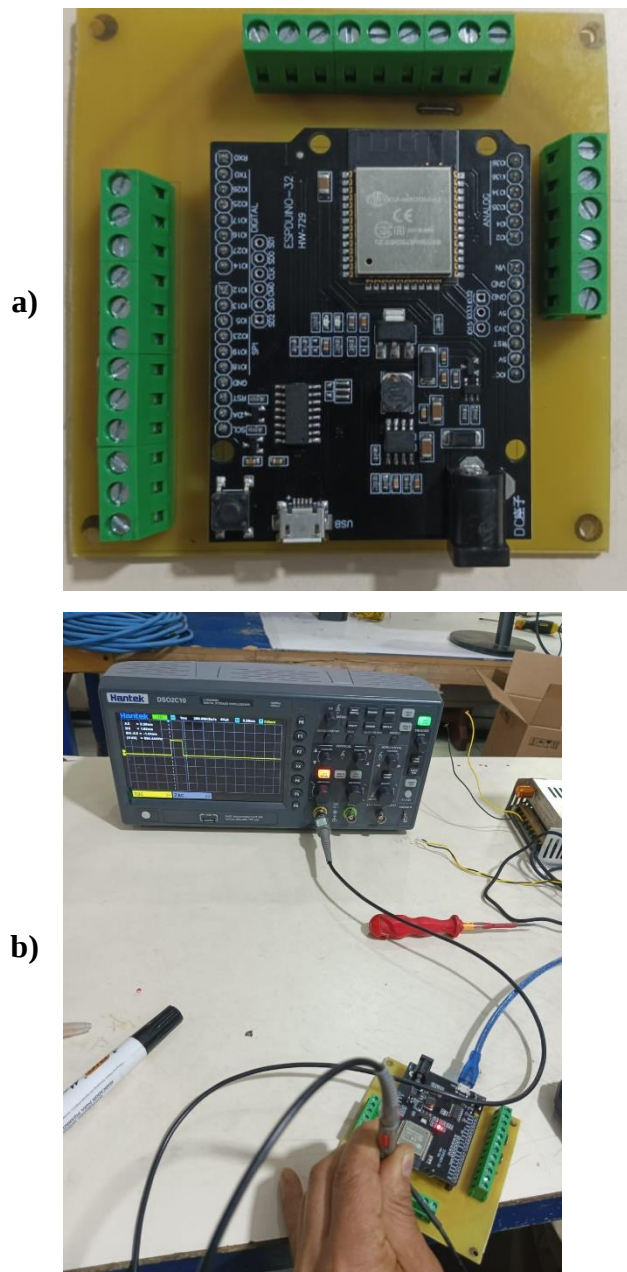
Figura 28. Ensamble final del brazo



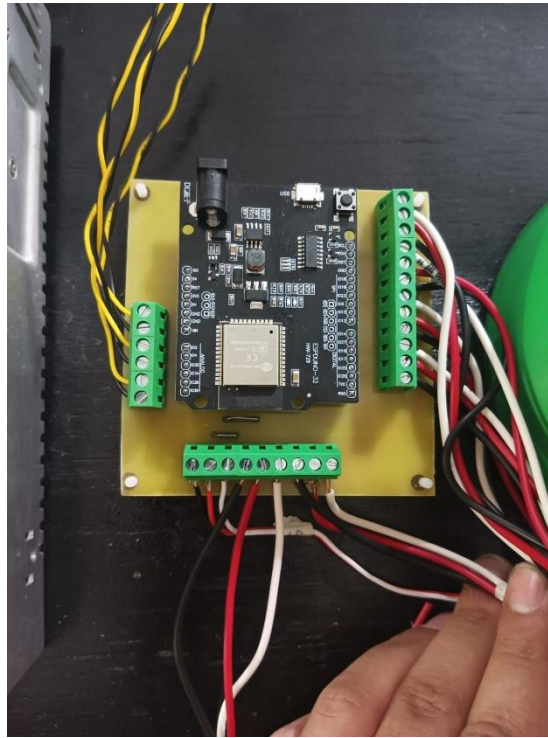
Se sujeta el brazo robótico en la base fija, de cada motor se extienden los cables tan largos como se necesite para conectar a la placa eléctrica que contiene EPS32 que es la que sirve para manipular el brazo robótico bluetooth y todo los componentes eléctricos necesarios para el funcionamientos del mismo.

Con la placa eléctrica se comprueba los movimientos de cada motor para conocer el punto inicial de 90°, conociendo el punto inicial podemos saber que grados se puede mover de un lado al otro. Comprobando el funcionamiento de la placa eléctrica y el funcionamiento de la placa eléctrica y la calibración de los motores.

Figura 29. Conexión y programación de motores



c)



Nota. Figura 29.a) Placa Eléctrica (ESP32, capacitores y borneras de conexión). Figura 29.b) Calibrando la onda de corriente en microsegundos para los motores. Figura 29.c) Conexión de los motores a la placa.

La programación se realizó en el programa Arduino IDE el cual tiene el funcionamiento de los motores y la comunicación del bluetooth con el microcontrolador ESP32 como se muestra en la figura 30.

Figura 30. Programación en Arduino Ideal.



```

1  #include "BluetoothSerial.h"
2
3  #if !defined(CONFIG_BT_ENABLED) || !defined(CONFIG_BLUEDROID_ENABLED)
4  #error Bluetooth is not enabled! Please run 'make menuconfig' to and enable it
5  #endif
6
7  BluetoothSerial SerialBT;
8  #define servo1 0
9  #define servo2 1
10 #define servo3 2
11 #define servo4 3
12 #define servo5 4
13 #define servo6 5
14 #define servo7 6
15 int s=0;
16 int s1=0;
17 int s2=0;
18 int s3=0;
19 int s4=0;
20 int s5=0;
21 int s6=0;
22 void setup()
23 {
24   Serial.begin(115200);
25   SerialBT.begin("brazo_mn"); //Bluetooth device name
26   Serial.println("The device started, now you can pair it with bluetooth!");
27 }
28
29
30 void loop()
31 {
32   s= SerialBT.read();
33   if(s=='A') s1++;

```

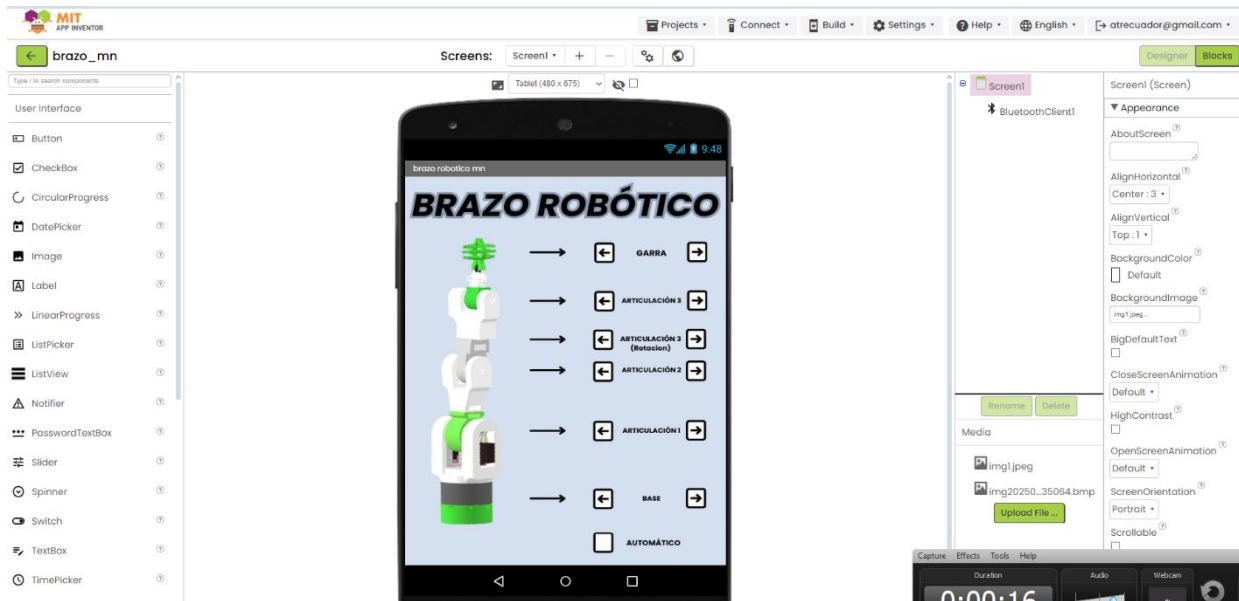
Output

Indexing: 32/39

In 51, Col 1 ESP32 Dev Module [not connected]

La aplicación del brazo robótico se realizó en la plataforma App Inventor la que controla los movimientos de los siete motores para dar el movimiento que necesita realizar el brazo robótico, estos movimientos son realizados manualmente por los botones para cambiar los grados, aparte de eso tiene un botón automático que realiza un movimiento especial que mueva el brazo hasta una cierta posición.

Figura 31. Aplicación para brazo robótico



La aplicación ejecutada en App Inventor hace que el control automático del brazo robótico se maneje desde cualquier dispositivo por lo que con la placa EPS32 puede ser wifi o bluetooth. Estos márgenes de movimiento se pueden dominar respecto a los grados que se tiene que mover cada motor para que no afecte a las piezas del brazo robótico no choque entre ellas. Con la aplicación que manipula el brazo robótico se puede mover manualmente o un movimiento automático que mueve el brazo hasta una posición establecida.

Se realizan algunas pruebas para comprobar el funcionamiento del brazo robótico y determinar si es capaz de mover el peso calculado, verificando que cumpla con el objetivo de herramienta didáctica para las carreras STEAM.

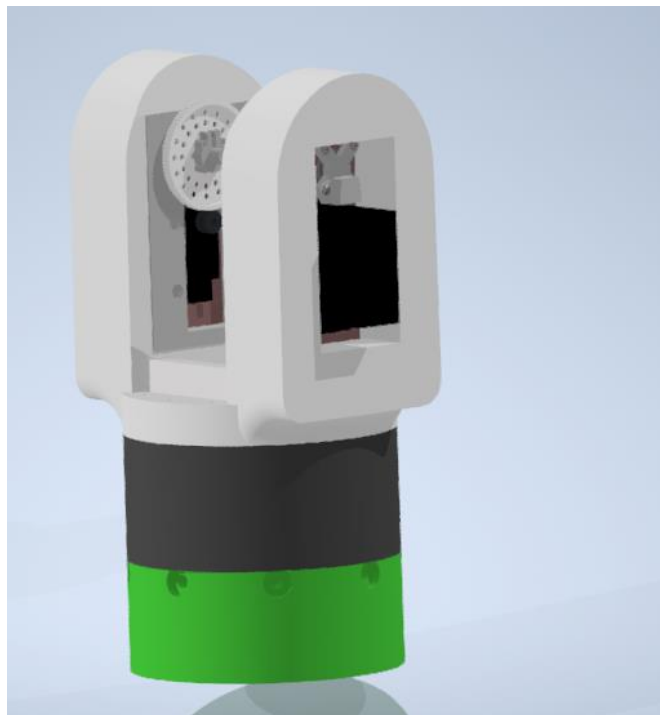
Se debe tomar en cuenta que esta metodología es solo una guía y la cual puede ser ajustada a las necesidades que requiera cumplir el brazo robótico, siempre asegurando la supervisión y asesoramiento de un experto en el área.

Resultados

El ensamble en 3D se realizó en inventor, tomando en cuenta las dimensiones modificadas tanto como la altura de algunas piezas y las dimensiones para la colocación de los motores que dan el movimiento a las articulaciones, los motores que se seleccionó son los que se encuentran en el mercado con el torque necesario que para que se muevan y pueda soportar el peso máximo. Con toda las modificaciones de las dimensiones el brazo robótico llego a medir 96cm.

Figura 32. Ensamblaje 3D Articulaciones

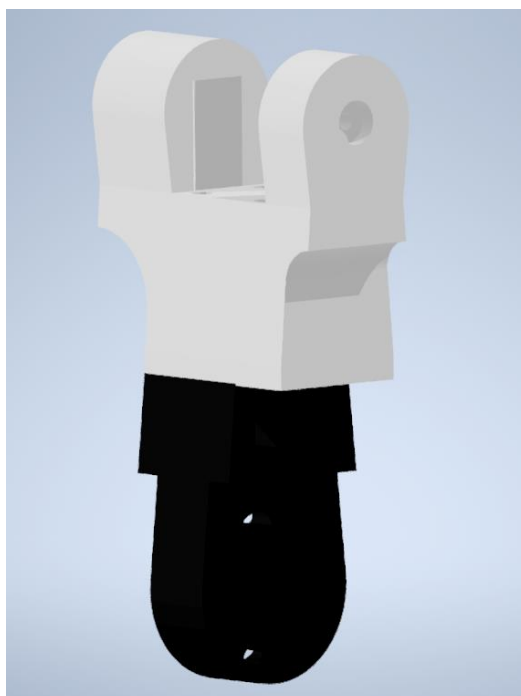
a)



b)



c)



d)

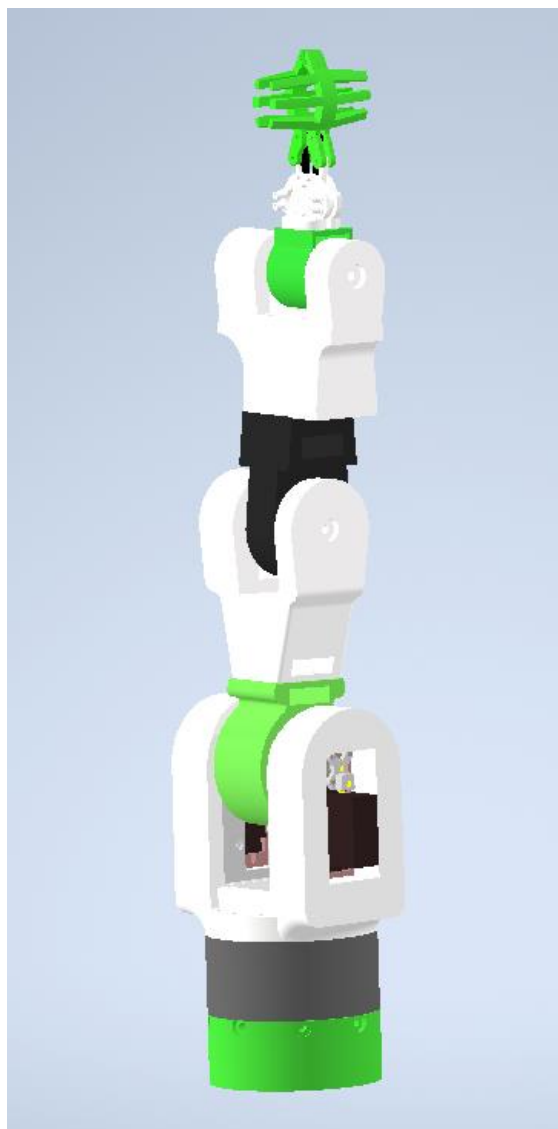


Nota. Figura 32.a) Base del Brazo Robótico. Figura 32.b) Articulación 1. Figura 32.c) Articulación 2. Figura 32.d) Articulación 3 y Garra o Gripper.

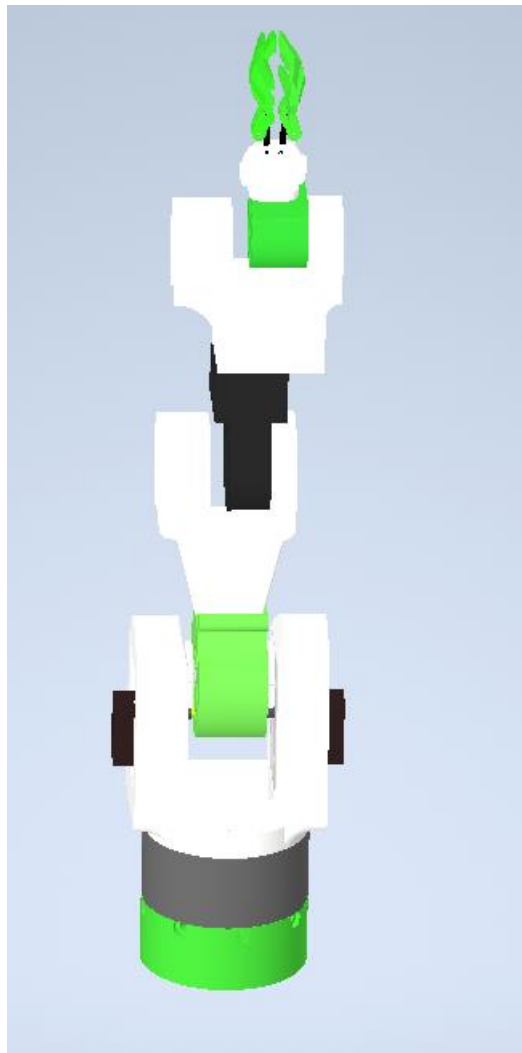
El resultado del ensamble del brazo robótico utilizando los sub ensambles, se obtiene el ensamble final.

Figura 33. Ensamblaje 3D final del brazo robótico

a)



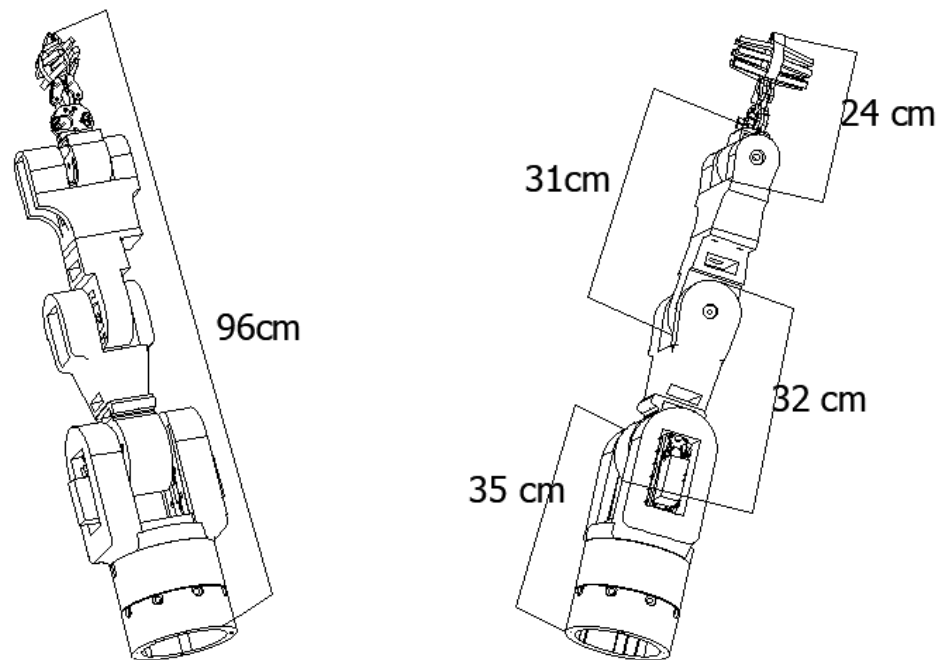
b)



Nota. Figura 33.a) Ensamblaje final vista 1. Figura 33.b) Ensamblaje final vista 2.

Observando los resultados de ensamblaje del brazo robótico se podrá considerar las ediciones de las piezas que se realizó nos da como resultado las siguientes medidas, la total de brazo robótico y de las articulaciones como se muestra en la figura siguiente.

Figura 34. Dimensiones Brazo



En esta figura se muestra en el lado izquierdo las medidas totales del brazo más la garra o gripper que en total nos da una medida de 96 cm, en el lado derecho se encuentra especificado las medidas de cada articulación. Todo esto nos da como resultado físico del brazo robótico.

Los resultados obtenidos en los cálculos realizados se pueden asegurar que el brazo robótico es de 6 GDL y el agarre que soporta la garra o gripper es de 2.5 Kg. Utilizando el torque de los motores, los cuales tienen las dimensiones adecuadas para colocar en los agujeros de las articulaciones, consiguiendo que la transmisión de movimiento por poleas mueva las articulaciones con el peso calculado.

Se realizó el análisis en dos puntos críticos para saber cuál es el momento y esfuerzo máximo en el punto más crítico que tiene la estructura del brazo robótico, que nos da como resultado lo siguiente:

Tabla 2. Análisis puntos críticos

Punto Crítico 1		Punto Crítico 2	
Punto critico	A	Punto critico	A
Momento Máximo	12.853N	Momento Máximo	10.602N
Esfuerzo Máximo	1445.06Pa	Esfuerzo Máximo	1191.98Pa

El análisis realizado en los dos puntos críticos, se observa que el esfuerzo máximo que tiene el brazo robótico es en el punto A (Unión Articulación 2 y 3), por esta razón hace el mayor esfuerzo para levantar el peso.

Los esfuerzos cortantes que se analizaron en el brazo se lo hicieron tomando en cuenta el peso máximo, se los considera como esfuerzos cortantes dobles los cuales se analizó en cada articulación y dio como resultados lo siguiente:

Los análisis realizados demuestran que la estructura en conjunto con los motores es capaz de levantar 2,5 Kg.

Tabla 3. Esfuerzos cortantes

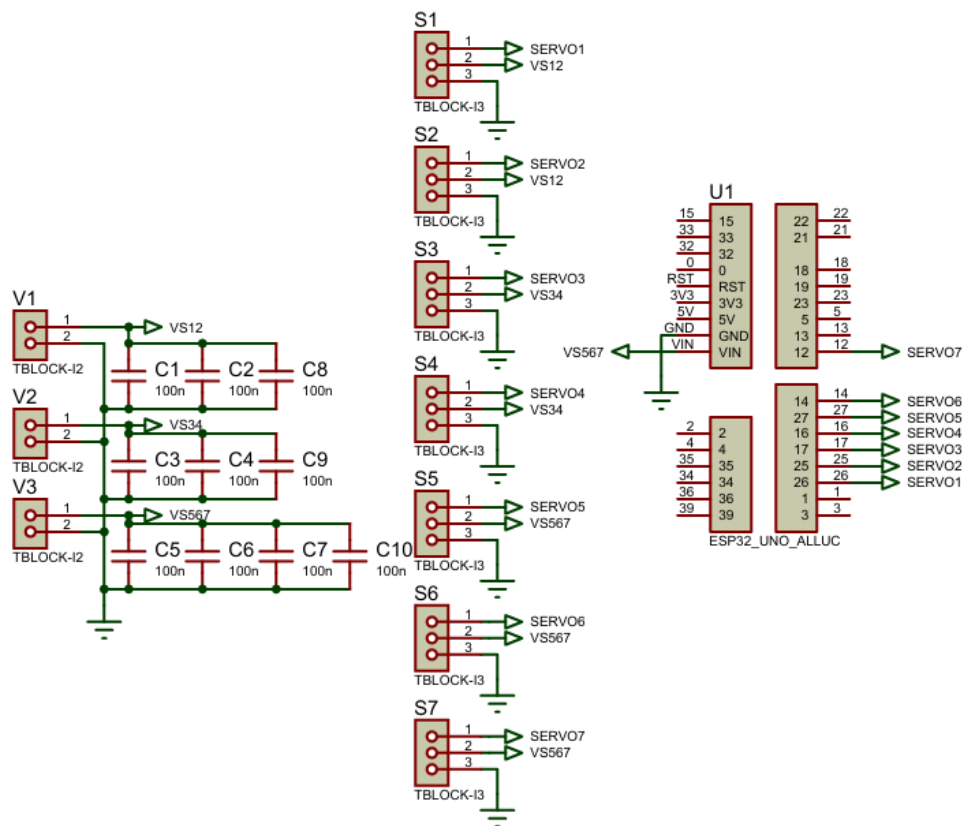
Esfuerzos cortantes	
Articulación 1	572.02Pa
Articulación 2	544.5Pa
Articulación 3	399.76Pa

Con los análisis realizados y las piezas impresas se colocan los componentes electrónicos y realizar las conexiones necesarias para la programación de los movimientos, lo cual se tendría el ensamble total del brazo.

Figura 35. Ensamble Final

Las placa eléctrica que controla el brazo robótico tiene los componentes que necesita el brazo, pero el principales el ESP32 que es el controlador tal y como se muestra en el diagrama.

Diagrama 7. Diagrama Eléctrico.



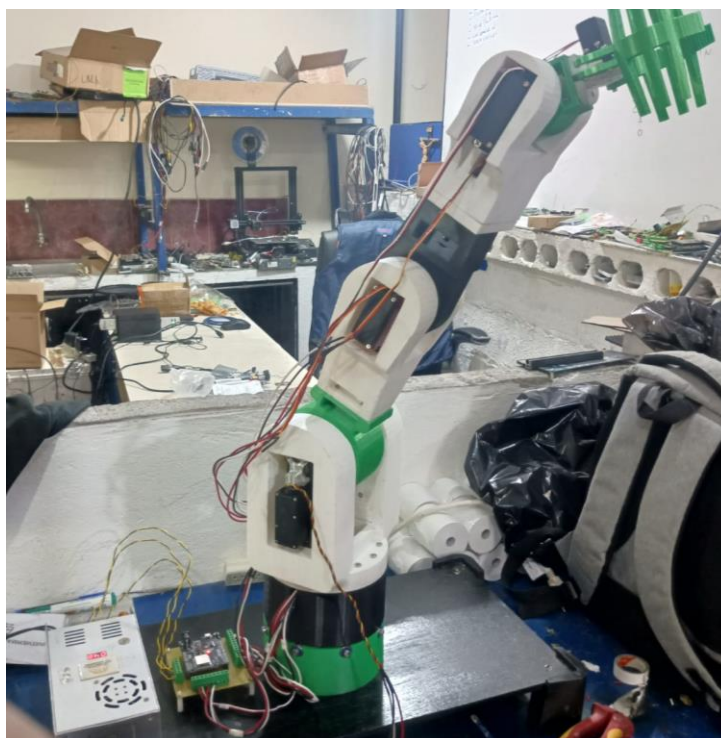
El brazo robótico después de las conexiones eléctricas se comprobó el fruncimiento de aplicación realizando los movimiento de cada articulación para comprobar el funcionamiento adecuado del brazo robotice.

Figura 36. Ensayos de movimientos

a)



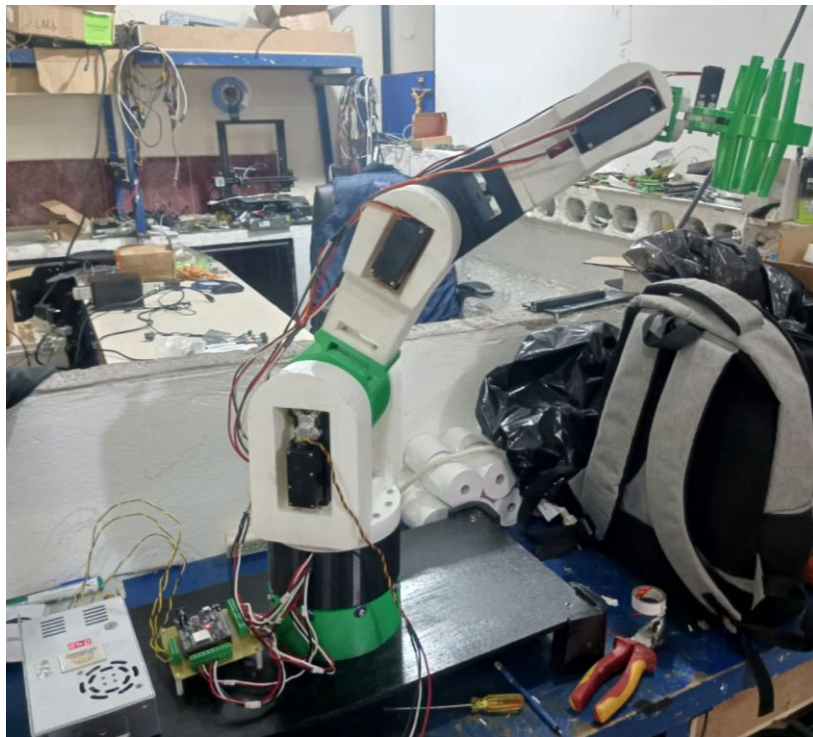
b)



c)



d)



e)



f)



g)



Nota. Figura 36.a) Ensayo #1. Figura 36.b) Ensayo #2. Figura 36.c) Ensayo #3. Figura 36.d) Ensayo #4. Figura 36.e) Ensayo #5. Figura 36.f) Ensayo #6. Figura 36.g) Ensayo #7.

El peso está definido en los cálculos que es de 2,5 kg, este se lo denomina como peso teórico, pero con las pruebas que se realizó para qué los motores tengan una vida más útil y no exista un daño en los componentes, se va a trabajar al 50% de su capacidad, siendo capaz de levantar 1Kg que sería el peso óptimo para el funcionamiento.

Discusión de Resultados

En este proyecto, el brazo robótico se basa en un modelo de uso libre el cual se realizó modificaciones en las dimensiones que se necesitaba para colocar los motores para así luego imprimir las piezas en 3D mediante el proceso de fabricación de fundición de filamentos con el material PLA. El movimiento de cada articulación se logra mediante servomotores y un mecanismo que se colocó en las articulaciones que requieren mayor esfuerzo para que aumente 5 veces su torque.

Aunque el diseño del brazo permite manipular el peso de hasta 2,5 kg según los cálculos realizados, con las pruebas realizadas constantemente demostraron que lo recomendable para un funcionamiento óptimo debe manipular un peso máximo de 1kg. Esto es debido a que se sugiere que cada uno de los componentes electrónicos operen al 50% de su capacidad, ya que si se manipula un peso 2.5kg con el 100% de su funcionamiento, puede generar sobreesfuerzo y posibles daños.

Este brazo robótico funciona con una aplicación en MIT App inventor para poder mover: el gripper o garra, Articulacion3, Articulación 3 (rotativa o rotación), Articulación 2, Articulacion1, Base y Automático.

Dado que el objetivo del brazo robótico es servir como herramienta didáctica para el aprendizaje de materias STEAM, se puede comparar con un proyecto similar realizado por Martínez, Vásquez y Chávez; el cual consiste en la fabricación de un robot manipulador

de 6 grados de libertad con el mismo objetivo. Analizando ambos proyectos, se puede concluir que en las materias STEAM las herramientas didácticas son ayuda adicional en el aprendizaje de estas.

El proyecto de ellos al estar elaborado de aluminio tiene la capacidad de carga de 500g, evitando con esto que el robot pueda voltearse, ladearse o cambiar de posición. (Martínez et al., 2022) En comparación del brazo robótico de este proyecto que fue realizado con material PLA, tiene como limitación el manipular el peso de 1 kg que sería la carga máxima, esta limitación no se debe a el material si no por evitar sobrecargar los motores y que podrían dañarse si se operan superando el límite de la capacidad de estos.

Una diferencia significativa en el diseño es las medidas las cuales el brazo robótico en es más grande en tamaño por lo que tiene un espacio de trabajo superior de 70 cm a comparación de 35cm que tiene el robot del otro proyecto con el que estamos comparando, de lo cual tener un espacio mucho más amplio permite tener más alcance.

Los materiales utilizados en ambos proyectos tanto el aluminio como el material PLA con el mallado empleado en la impresión 3D, tienen una dureza y resistencia que no limitan que se realicen los movimientos debido al peso que tiene cada material.

En ambos proyectos, el remplazo de las piezas que fallen o se desgasten es fáciles de remplazar. En el caso de este proyecto los estudiantes tienen la libertad de modificar el mallado de las piezas tomando en cuenta que la capacidad del motor o cambiar las medidas

para que entren otros motores. Adicional que esto va permite que los estudiantes puedan adaptar y personalizar el brazo robótico según sus necesidades y proyectos específicos.

Una limitación significativa identificada es el rango de movimiento de cada articulación que tiene el brazo en el programa, ya que este problema se debe a que a pesar de que los estudiantes lo pueden modificar siempre deben de restringirse a que no se golpeen las articulaciones y que no afecte a las partes electrónicas. Así como también tiene la limitación con respecto a el peso máximo que puede manipular sin sobre esforzar los motores.

Para futuras investigaciones, se sugiere explorar materiales que sean más ligeros y resistentes para la estructura del brazo, los cuales podrían generar una mejora en la capacidad de carga útil y durabilidad del diseño añadiendo el cambio de motores de mayor capacidad.

Conclusiones

- Se usó la manufactura aditiva mediante el proceso de fabricación de fundición de filamentos con material PLA, el cual permitió la creación de cada una de las piezas del brazo robótico, teniendo la forma y dimensiones adecuadas para ensamblarse.

- Utilizando la aplicación realizada en MIT App inventor para el brazo robótico mostró una buena precisión en los movimientos programados, validando su utilidad para prácticas educativas.
- La facilidad de programación y reprogramación del brazo robótico, debido a que permite controlar los grados que se desea mover, para ver hasta dónde se quiere llegar cada articulación, facilitando así su uso en entornos educativos y de entrenamiento.
- Se modificó el modelo del brazo robótico de uso libre, adaptando a los parámetros de este proyecto, como la altura y dimensiones de los espacios donde se introdujeron los motores en cada una de las articulaciones para el movimiento de este.
- Integrando servomotores se mejoró el control y monitoreo del brazo, generando mayor precisión y capacidad de respuesta con exactitud.
- Empleando la plataforma digital MIT App inventor para realizar una aplicación de control avanzada, esta permite una programación más intuitiva, con mayores capacidades de automatización.

Recomendaciones

- De ser el caso que se requiera manipular pesos más elevados es necesario investigar modelos más avanzados en su manufactura y que utilicen materiales más resistentes.
- Al ser una herramienta didáctica se debe de crear programas y manuales detallados para capacitar a los usuarios, para que tengan una mejor comprensión con respecto al uso y fabricación del brazo.
- Para aplicar este proyecto a nivel industrial se tiene que modificar el brazo tanto en su forma física como en sus componentes electrónicos.
- Para futuras mejoras se sugiere que se establezca colaboraciones con empresas industriales para probar y validar el brazo en entornos reales, obteniendo retroalimentación por parte de estos.
- Para mantener el proyecto a la vanguardia del desarrollo tecnológico, es necesario que se continúe fomentando la investigación proactiva acerca de nuevas tecnologías y avances en manufactura aditiva y robótica.

- Realizar evaluaciones a los estudiantes con respecto al impacto teniendo el brazo como herramienta didáctica, para lograr tener información y mejorar el diseño.
- Verificar la comprensión de conceptos complejos de robótica y manufactura, durante el uso del brazo robótico en prácticas de programación y simulación industrial, por estudiantes y profesores.

Lista de referencias

- Arcon, K. M., Coronado, J., Maestre, D. F., & Romero, D. A. (2022). *Diseño y construcción de un brazo robótico de 4 grados de libertad orientado a la educación universitaria.*
- Atehortúa, J. D., & Saldarriaga, J. D. (2023). *DISEÑO 3D DEL SISTEMA MECÁNICO PARA EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN A CARGO DEL SEMILLERO SIR DENOMINADO "PROTOTIPO DE GENERADOR ELÉCTRICO DE MOVIMIENTO PERPETUO CON USO DE IMANES DE NEODIMIO."*
- Balseca, J. J., & Chusin, B. N. (2023). *IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT ANTROPOMÓRFICO PARA LA CLASIFICACIÓN DE OBJETOS MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL.*
- Bernal, S. O. (2021). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESCALERA PLEGABLE PARA BUS TIPO ESCALERA QUE PERMITA EL ASCENSO Y DESCENSO DE USUARIOS DE HASTA 150 KG PARA LA EMPRESA "CHIVAS PACHANGUERAS."*
- Casado, R., & Checa, M. (2020). Robótica y Proyectos STEAM: Desarrollo de la creatividad en las aulas de Educación Primaria. *Pixel-Bit, Revista de Medios y Educacion*, 58, 51–69. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.73672>
- Chavez, J. S., & Yugsi, E. A. (2020). *DESARROLLO DE UNA SILLA AUTOMÁTICA PARA TERAPIA DE EXTREMIDADES SUPERIORES PARA PACIENTES DE LA FUNDACIÓN "AYUDEMOS A VIVIR".*
- Chonillo, P. A., & Endara, M. A. (2019). *Diseño de robot de seguridad usando como plataforma de desarrollo una aspiradora robótica.*
- Cruz, M. R., Tapia, R., Aguilar, A., Meda, J. A., Torres, S. G., Cortés, J., & Reyes, A. (2023). *MANUFACTURA DE UN ROBOT METAMÓRFICO TIPO HEXÁPODO MEDIANTE TECNOLOGÍA ADITIVA. Humanidades, Tecnología y Ciencia.* <https://orcid.org/0000-0002-4023-3429>
- Erazo-Arteaga, V. A. (2022). El diseño, la manufactura y análisis asistido por computadora (CAD/CAM/CAE) y otras técnicas de fabricación digital en el desarrollo de productos en América Latina. *Información Tecnológica*, 33(2), 297–308. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642022000200297>
- Espressif Systems. (2020). *ESP32-D0WD Datasheet (PDF) - ESPRESSIF SYSTEMS (SHANGHAI) CO., LTD.* <https://www.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/1242998/ESPRESSIF/ESP32-D0WD.html>
- Franco, A. (2023). *Diseño de metodología de laminado de sólidos 3D para generación de trayectorias no planas en fabricación aditiva robótica.*
- Fuentes, J. M. (2022). *Estudio y diseño de materiales de impresión 3d que soporten los sistemas de esterilización médicos.*
- González, M. O., Flores, Y. A., & Muñoz, C. (2021). Panorama de la robótica educativa a favor del aprendizaje STEAM. In *Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* (Vol. 18, Issue 2, pp. 230101–230123). Universidad de Cádiz y Asociación de Profesores Amigos de la Ciencia. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i2.2301

- Guillen, J. M., & Merchan, W. A. (2022). *Implementación de brazo robótico 6DOF para la organización de productos mediante lectura de código de barras.*
- Heredia, A. O. (2024). *Desarrollo de un panel demostrativo para la enseñanza de programación de sensores y actuadores orientados a la robótica educativa.*
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2020). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.*
- León, A. A. (2022). *Modelado y simulación de la cinemática de un robot manipulador de cinco grados de libertad mediante MATLAB.*
- Martínez, M. R., Padrón, R., Vázquez, J. H., Zárate, Á. R., Chávez, R., & Zamudio, Z. (2022). *Desarrollo de un brazo robótico de bajo costo como herramienta de apoyo en educación STEM.*
- Melo, D. S. (2020). *Integración de las ciencias básicas en educación media con enfoque STEM en robótica comparada con una metodología tradicional de enseñanza.*
- Molina, D. P., & Gutiérrez, J. (2019). *Diseño y análisis del funcionamiento estructural de un brazo robótico de nivel industrial de cuatro grados de libertad.*
- Pacheco, G. I. (2019). *Análisis de tracción de probetas impresas en 3D mediante deposición de hilo fundido de PLA, ABS y PLA/MLO.*
- Peñaloza, G. R., García, M. Á., Carreón, L. M., & Campos, A. (2022). Herramienta didáctica de enseñanza de la programación de sistemas robóticos. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 10(4), 208–213. <https://doi.org/10.29057/icbi.v10iespecial4.9347>
- Rivera, J. D., Sánchez, C. W., & Ordoñez, J. E. (2019). Diseño de un brazo robótico con propósitos educativos: Una experiencia formativa. *Investigación Formativa En Ingeniería*, 266–277. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3387691>
- Rivera, W. (2020). El papel de la didáctica en los procesos de enseñanza y aprendizaje universitarios. *Comunicación*, 29, 38–51.
- Romero, J. M., & Pucha, R. I. (2020). *Diseño y construcción de prótesis transhumeral biomecatrónica.*
- Tham, A. Y. (2020). *DISEÑO, CONTROL E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA DE 4 RUEDAS OMNIDIRECCIONALES CON BRAZO ROBÓTICO DE 6 GRADOS DE LIBERTAD.*
- Urcuango, M. V. (2023). *Evaluación del proceso de manufactura aditiva por medio de impresión 3D de las partes mecánicas de un prototipo de corazón artificial humano en filamento TPU y PLA para fabricación de moldes: impresión 3D de polímeros.*
- Wu Zhan, J. (2023). *CONTROL DE BRAZO ROBÓTICO MEDIANTE DISPOSITIVOS MÓVILES.*

Anexos

Anexo 1. Servo motor DS5160SSG



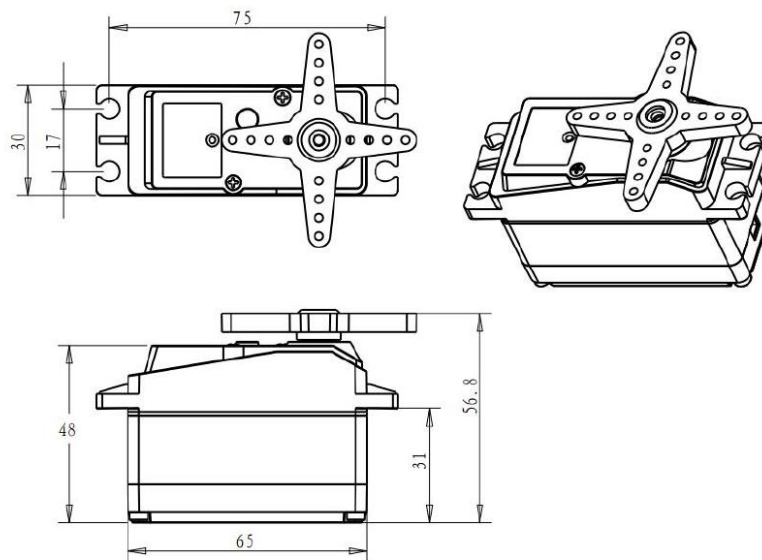
ANNIMOS Dsservo Technology Co.Ltd
(Product datasheet)

page 1/2

Product Name: DS5160

Product Description: 7.4V 60kg RC Digital Servo

Drawing:



1. Apply Environmental Condition

No.	Item	Specification
1-1	Storage Temperature Range	-30℃ ~ 80℃
1-2	Operating Temperature Range	-15℃ ~ 70℃
1-3	Operating Voltage Range	6-8.4V

2. Mechanical Specification

No.	Item	Specification
2-1	Size	65*30*48mm
2-2	Weight	158g
2-3	Gear ratio	279
2-4	Bearing	Double bearing
2-5	Connector wire	300±5mm
2-6	Motor	3-pole(s)
2-7	Waterproof performance	IP67

More information please contact with us: servomaker@hotmail.com



ANNIMOS Dsservo Technology Co.Ltd

(Product datasheet)

page 2/2

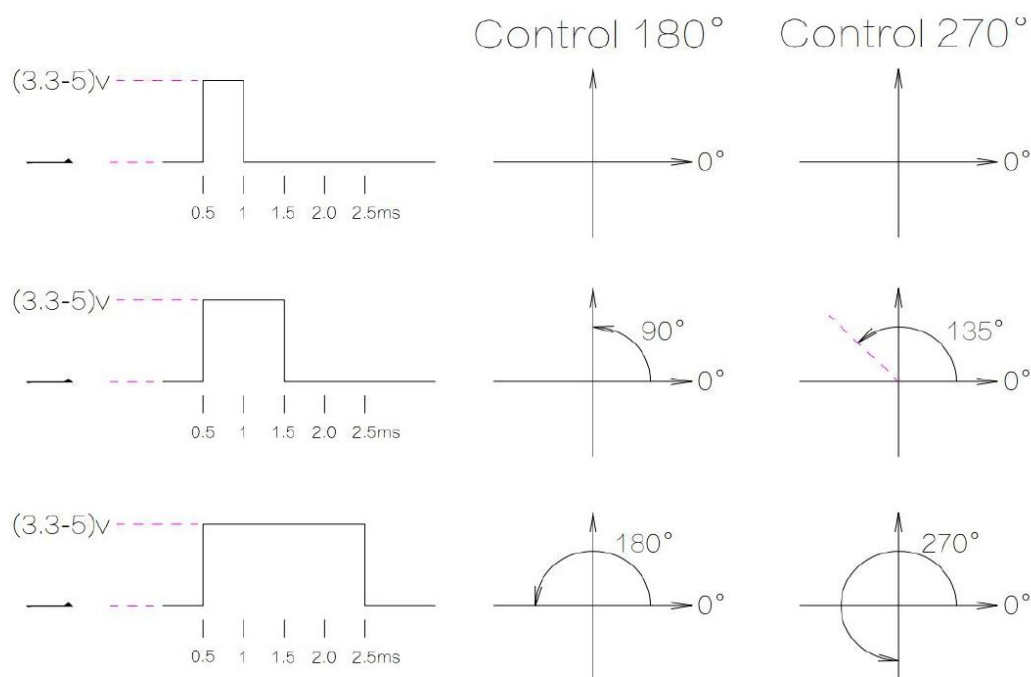
3. Electrical Specification

No.	Operating Voltage	6V	7.4V	8.4V
3-1	Idle current(at stopped)	4mA	5mA	6mA
3-2	Operating speed (at no load)	0.17 sec/60°	0.15sec/60°	0.13sec/60°
3-3	Stall torque (at locked)	58 kg-cm	65 kg-cm	70 kg-cm
3-4	Stall current (at locked)	3.5A	5A	6.2A

4. Control Specification

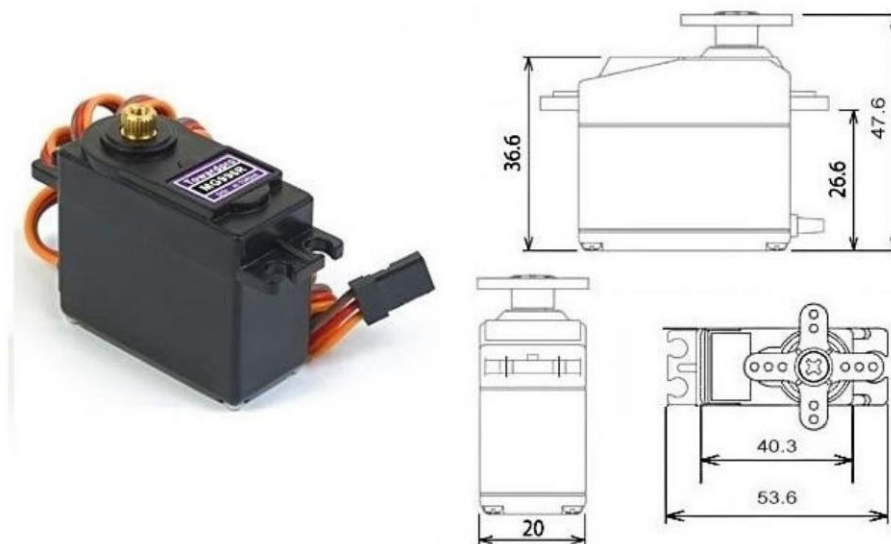
No.	Item	Specification
4-1	Control System	PWM(Pulse width modification)
4-2	Pulse width range	500~2500μsec
4-3	Neutral position	1500μsec
4-4	Running degree	180° or 270° (when 500~2500 μ sec)
4-5	Dead band width	3 μsec
4-6	Operating frequency	50-330Hz
4-7	Rotating direction	Counterclockwise (when 500~2500 μsec)

5. About PWM Control

More information please contact with us: servomaker@hotmail.com

Anexo 2. Servo motor MG996R

MG996R High Torque Metal Gear Dual Ball Bearing Servo



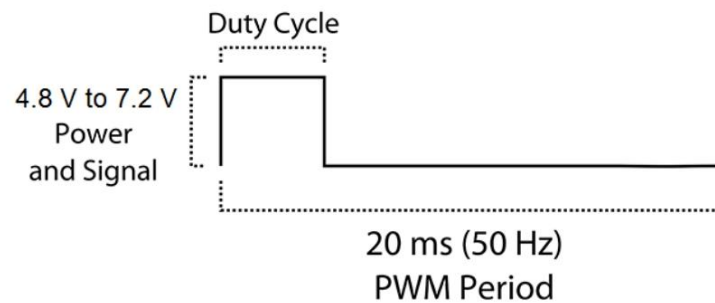
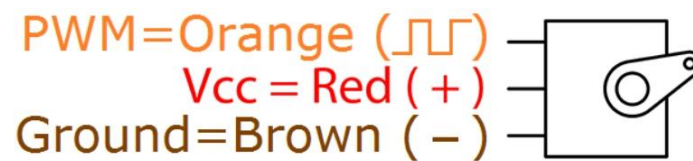
This High-Torque MG996R Digital Servo features metal gearing resulting in extra high 10kg stalling torque in a tiny package. The MG996R is essentially an upgraded version of the famous MG995 servo, and features upgraded shock-proofing and a redesigned PCB and IC control system that make it much more accurate than its predecessor. The gearing and motor have also been upgraded to improve dead bandwidth and centering. The unit comes complete with 30cm wire and 3 pin 'S' type female header connector that fits most receivers, including Futaba, JR, GWS, Cirrus, Blue Bird, Blue Arrow, Corona, Berg, Spektrum and Hitec.

This high-torque standard servo can rotate approximately 120 degrees (60 in each direction). You can use any servo code, hardware or library to control these servos, so it's great for beginners who want to make stuff move without building a motor controller with feedback & gear box, especially since it will fit in small places. The MG996R Metal Gear Servo also comes with a selection of arms and hardware to get you set up nice and fast!

Specifications

- Weight: 55 g
- Dimension: 40.7 x 19.7 x 42.9 mm approx.
- Stall torque: 9.4 kgf·cm (4.8 V), 11 kgf·cm (6 V)
- Operating speed: 0.17 s/60° (4.8 V), 0.14 s/60° (6 V)

- Operating voltage: 4.8 V a 7.2 V
- Running Current 500 mA – 900 mA (6V)
- Stall Current 2.5 A (6V)
- Dead band width: 5 μ s
- Stable and shock proof double ball bearing design
- Temperature range: 0 °C – 55 °C

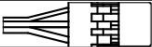


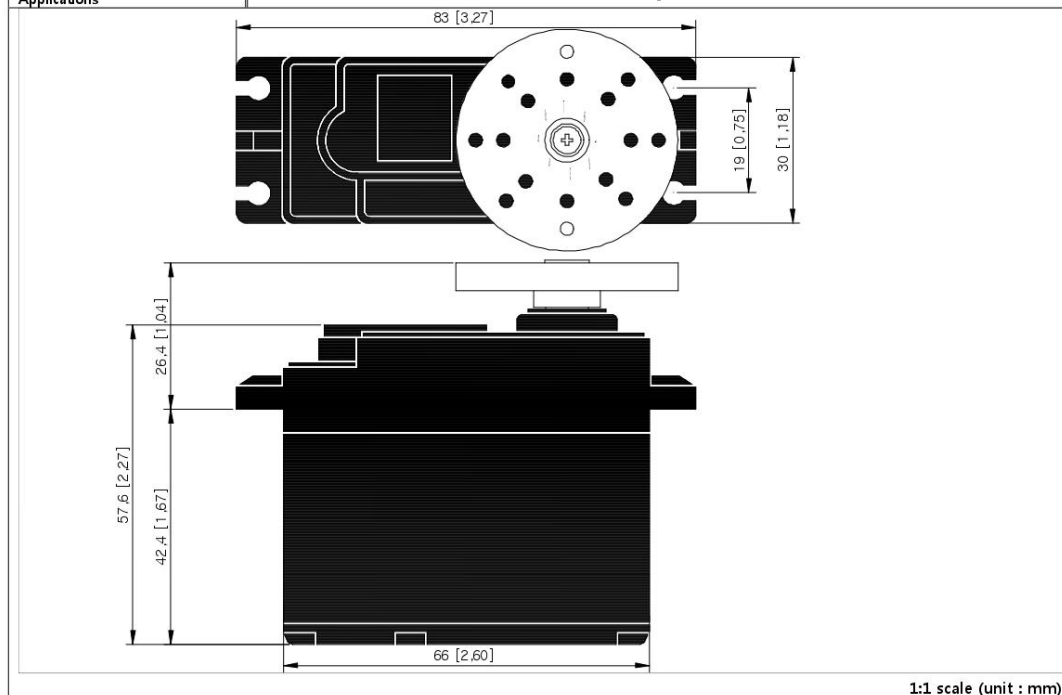
Anexo 3. Servo motor HS-805MG

HS-805MG General Specification.



METAL GEAR MEGA SCALE SERVO

Control system	PWM			-
Position sensor type	Contact Analog Potentiometer			-
Operating voltage range	4.8 ~ 6.0 V			-
Motor type	Cored Carbon brush			-
Voltage	4.8V	6.0V	-	At 25°C, 45% (±10%) <u>measurement environment</u>
No load speed	0.19sec/60°	0.14sec/60°	-	
Stall torque	19.8 kgf-cm(274.97oz-in)	24.7 kgf-cm(343.02oz-in)	-	
Standing current	8.0mA	10.0mA	-	
No load running current	400mA	520mA	-	
Stall current	4,800mA	6,000mA	-	
Dead band width	5usec	5usec	-	-
Operating travel	40° ±5°/One side pulse traveling 400usec			-
Operating temperature range	-20°C ~ +60°C (-4°F ~+140°F)			-
Vibrations at no load	-			-
Storage temperature range	-30°C ~ +80°C (-31°F ~+176°F)			-
Connector wire length	300mm(11.81inch)			
Connector wire gauge	22AWG			
Dimensions	66.0 mm x 30.0 mm x 57.6 mm (2.6 Inch x 1.18inch x 2.27inch)			-
Weight	197.0 g(6.95oz)			-
Ball bearing	Dual Ball Bearing			-
Case material	Engineering Plastic			-
Gear material	1 Resin & 4 Metal			-
Gear train backlash	Max 0.5°			-
Horn gear spline	15T(Ø8)			-
IP rate	IP54			-
Servo Amplifier type	Analog Contorlter			-
Features	-			-
Applications	-			-



<https://hitecnaology.com>

Anexo 4. Placa eléctrica

