



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**ENSAMBLE DE UN ROBOT ZOOMÓRFICO CON FINES PEDAGÓGICOS**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO:**

**INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**PRESENTADO POR:**

**21541078**

**JOSÉ CARLOS ANDRÉS CHINCHILLA**

**ASESOR: ALICIA MARÍA REYES DUKE**

**CAMPUS: SAN PEDRO SULA; ENERO, 2021**

## **DEDICATORIA**

Esta tesis está dedicada a:

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la oportunidad de poder culminar los estudios universitarios, dándome la sabiduría y la fortaleza para poder terminarlos sin problemas y superar cada reto que se cruzó en el camino como estudiante.

Agradezco a mi padre José Javier Alvarado Díaz y a mi madre Elsa Jackeline Chinchilla Chinchilla, por el apoyo y la oportunidad de darme de estudiar en una Universidad con bastante prestigio. Ya que sin el apoyo incondicional de ellos no hubiese podido seguir adelante en cada uno de los tropiezos y problemas que tuve durante el periodo que estuve en la universidad.

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, le agradezco a Dios, ya que sin él no hubiese logrado todas mis metas hasta el día de hoy, ya que él me dio la sabiduría y la agilidad para poder superar cada una de las metas durante mi periodo de estudiante y me apoyó en todas las áreas que yo podría fracasar, levantándome y haciéndome más fuerte todos los días.

También les doy gracias a mis padres ya que ellos me ayudaron a culminar mi carrera, y estuvieron en cada etapa de mi vida y sin el apoyo de ellos no hubiese logrado cumplir mis logros, estoy muy agradecido con ellos que siempre estuvieron para mí en etapa y me apoyaron incondicionalmente mostrándome lo maravilloso que es la vida y más aún cuando estamos rodeadas de las personas indicadas.

Por último, doy las gracias a todos los Ingenieros que me apoyaron y me hicieron hacer todo lo posible por llegar hasta el final de mi carrera, ya que siempre se esforzaron por dar lo mejor de ellos y poder compartir mucha de sus sabidurías.

## ΕΠΙΓΡΑΦΕ

## RESUMEN EJECUTIVO

A lo largo de los últimos años, los avances tecnológicos han incrementado considerablemente. En consecuencia, existe un aumento del interés tanto público como científico por el área de la robótica. Por esta razón la fabricación de robots, independientemente para la aplicación destinada, ha incrementado desde su aparición. Unos de los tipos de robots más fabricados son los robots zoomórficos. Estos robots tienen diversas tipos de aplicaciones. Comúnmente, estos tipos de robots son muy utilizados para movilizarse a través de terrenos muy irregulares, o inclusive hasta escalar hasta en un ángulo de 90 grados. De igual manera, son aplicados en el área del aprendizaje o pedagogía. Por ello, en la presente investigación se busca fabricar un robot zoomórfico que sea capaz de movilizarse con la finalidad de que pueda ser utilizado de manera pedagógica. Esto fue desarrollado a través de una metodología evolutiva, en donde se parte de un diseño hasta el desarrollo y fabricación del prototipo. Finalmente, se logró desarrollar y fabricar una estructura para el robot móvil zoomórfico con un esqueleto basado en una araña con 4 extremidades. Fue diseñado de tal manera que se pudiera ensamblar, por esta razón las piezas fueron diseñadas de tal manera que se puedan utilizar pines para poder acoplarse y desacoplarse en cualquier momento. Una vez armado el robot tiene un peso aproximado de 110 libras. El material utilizado para la fabricación del robot fue el aluminio aleación 1060. Los métodos de manufactura utilizados fueron la fundición de aluminio para muchas piezas y técnicas de soldadura para la fabricación del chasis.

Palabras Clave: ensamblaje, fundición, manufactura, robot zoomórfico, soldadura

## **ABSTRACT**

Over the last few years, technological advances have increased considerably. Consequently, there is an increase in both public and scientific interest in the area of robotics. For this reason the manufacture of robots, regardless of the intended application, has increased since its appearance. One of the most widely manufactured types of robots are zoomorphic robots. These robots have various types of applications. Commonly, these types of robots are widely used to move through very uneven terrain, or even climb up to a 90 degree angle. In the same way, they are applied in the area of learning or pedagogy. For this reason, the present research seeks to manufacture a zoomorphic robot that is capable of being mobilized so that it can be used in a pedagogical way. This was developed through an evolutionary methodology, where it starts from a design until the development and manufacture of the prototype and better of it from the research project. Finally, a structure for the zoomorphic mobile robot was developed and manufactured with a skeleton based on a spider with 4 limbs. It was designed in such a way that it could be assembled, for this reason the parts were designed in such a way that pins can be used to be able to be coupled and uncoupled at any time. Once assembled, the robot weighs approximately 110 pounds. The material used to manufacture the robot was 1060 aluminum alloy. The manufacturing methods used were the casting of aluminum for many parts and welding techniques for the manufacture of the chassis.

Keywords: manufacturing, assembly, zoomorphic robot, welding, casting

# ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA .....	2
2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	3
2.3 JUSTIFICACIÓN .....	3
2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN .....	3
2.5 OBJETIVOS .....	4
2.5.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO .....	5
3.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	5
3.1.1 ROBOT ZOOMÓRFICO.....	8
3.1.2 TRABAJOS RELACIONADOS .....	10
3.1.3 ROBÓTICA EDUCATIVA.....	17
3.2 TEORÍA DE SUSTENTO .....	19
3.2.1 MECANISMOS .....	19
3.2.1.1 GRADOS DE LIBERTAD.....	21
3.2.1.2 ANÁLISIS DE MECANISMOS.....	22
3.2.2 MODELADO CAD .....	24
3.2.2.1 SOLIDWORKS.....	25
3.2.3 MANUFACTURA .....	27
3.2.3.1 MANUFACTURA ADITIVA.....	27

3.2.3.2 MANUFACTURA SUSTRACTIVA.....	32
3.2.3.4 ALUMINIO.....	34
CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA.....	37
4.1 ENFOQUE.....	37
4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN.....	37
4.2.1 VARIABLE DEPENDIENTE.....	38
4.2.2 VARIABLES INDEPENDIENTES.....	38
4.2.2.1 PESO.....	39
4.2.2.2 MATERIAL.....	39
4.2.2.3 MÉTODO DE MANUFACTURA.....	39
4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS.....	39
4.4 MATERIALES.....	39
4.5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO.....	40
4.6 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN.....	42
4.7 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	43
CAPÍTULO V. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	45
5.1 DISEÑO DEL ROBOT ZOOMÓRFICO.....	45
5.1.1 CHASIS.....	46
5.1.2 EXTREMIDADES DEL ROBOT.....	48
5.2 ANÁLISIS DE ESFUERZOS.....	52
5.2.1 TIBIA.....	53
5.2.2 PIN COXIS.....	55
5.2.3 PIN FÉMUR.....	57



5.2.4 SUJETADOR DEL ACTUADOR .....	59
5.2.5 RESUMEN.....	60
5.3 ANÁLISIS DE MOVIMIENTO .....	61
5.3.1 USO DE RESORTES.....	65
5.3.2 DESPLAZAMIENTO LINEAL DEL ACTUADOR.....	66
5.4 ENSAMBLADO .....	67
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES .....	74
6.1 CONCLUSIÓN GENERAL.....	74
6.2 CONCLUSIONES ESPECÍFICAS .....	74
CAPÍTULO VII. RECOMENDACIONES.....	75
BIBLIOGRAFÍA.....	76
ANEXOS.....	82

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-Instalaciones anuales de robots industriales a nivel global.....	6
Ilustración 2-Estructura del robot zoomórfico.....	11
Ilustración 3-Patrón de marcha del robot zoomórfico.....	12
Ilustración 4-Robot caminante hexápodo.....	13
Ilustración 5-Robot móvil ambulante.....	14
Ilustración 6-AntBot.....	15
Ilustración 7-Cassino Hexapod III.....	16
Ilustración 8-Proceso de FDM.....	31
Ilustración 9-Variables de Investigación.....	38
Ilustración 10-Metodología de estudio.....	40
Ilustración 11-Cronograma de actividades parte 1.....	43
Ilustración 12-Cronograma de actividades parte 2.....	44
Ilustración 13-Cronograma de actividades parte 3.....	44
Ilustración 14-Diseño de la estructura final del robot zoomórfico.....	45
Ilustración 15-Diseño del chasis.....	46
Ilustración 16-Diseño de soporte del coxis.....	47
Ilustración 17-Diseño del coxis.....	48
Ilustración 18-Diseño del pin del coxis.....	49
Ilustración 19-Diseño del fémur.....	50
Ilustración 20-Diseño del pin para el fémur.....	51
Ilustración 21-Diseño de la tibia.....	52
Ilustración 22-Tensión de von mises de la tibia.....	53

Ilustración 23-Desplazamiento de la tibia .....	54
Ilustración 24-Tensión de von mises del pin coxis.....	55
Ilustración 25-Desplazamiento del pin coxis.....	56
Ilustración 26-Tensión de von mises del pin fémur.....	57
Ilustración 27-Desplazamiento del pin fémur.....	58
Ilustración 28-Tensión de von mises en el sujetador del actuador .....	59
Ilustración 29-Desplazamiento del sujetador del actuador.....	60
Ilustración 30-Desplazamiento angular en el soporte del fémur.....	61
Ilustración 31-Fuerza de reacción en el soporte del fémur .....	62
Ilustración 32-Velocidad lineal en el soporte del fémur.....	62
Ilustración 33-Velocidad lineal entre el fémur y la tibia.....	63
Ilustración 34-Desplazamiento angular entre el fémur y la tibia.....	63
Ilustración 35-Aceleración lineal entre el fémur y la tibia .....	64
Ilustración 36-Fuerza de reacción entre el fémur y la tibia.....	65
Ilustración 37-Uso de resortes en el robot.....	65
Ilustración 38-Fuerza de reacción con resorte.....	66
Ilustración 39-Desplazamiento lineal del actuador.....	67
Ilustración 40-Diseño del ensamblado .....	68
Ilustración 41-Fabricación del chasis.....	68
Ilustración 42-Fabricación de la tibia.....	69
Ilustración 43-Fabricación del fémur .....	70
Ilustración 44-Fabricación del coxis .....	71
Ilustración 45-Pin del fémur y del coxis.....	72

Ilustración 46-Piezas de soldadura.....	72
Ilustración 47-Robot ensamblado .....	73

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-Métodos de manufactura aditiva .....	29
Tabla 2-Pruebas de esfuerzo .....	60

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1-Plano del chasis .....	82
Anexo 2-Plano del soporte del coxis .....	83
Anexo 3-Plano del coxis .....	84
Anexo 4-Plano del pin del coxis .....	85
Anexo 5-Plano del fémur .....	86
Anexo 6-Plano del pin para el fémur.....	87
Anexo 7-Plano de la tibia.....	88

## LISTA DE SIGLAS

- 3DP *Three-Dimensional Printing* (Impresión Tridimensional)
- CAD *Computer-Aided Design* (Diseño Asistido por Computadora)
- CNC *Computerized Numerical Controlled* (Control Numérico por Computadora)
- DMD *Direct Metal Deposition* (Deposición Directa De Metales)
- EBM *Electron Beam Manufacturing* (Fabricación de Haces de Electrones)
- FDM *Fused Deposition Modelling* (Modelado De Deposición Fundida)
- LOM *Laminated Object Manufacturing* (Fabricación De Objetos Laminados)
- LPD *Laser Powder Deposition* (Deposición De Polvo Láser)
- SLA *Stereolithography* (Estereolitografía)
- SLC *Selective Laser Cladding* (Revestimiento Láser Selectivo)
- SLM *Selective Laser Melting* (Fusión Selectiva Por Láser)
- SLS *Selective Laser Sintering* (Sinterización Selectiva Por Láser)

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

A lo largo de los últimos años se ha dado un incremento en el interés sobre el área de la robótica. Por esta razón, las investigaciones sobre la temática han aumentado, inclusive la fabricación de estos equipo. En la actualidad se fabrican un gran número de tipos de robots destinados para diversas aplicaciones, entre ellos sobresalen los robots industriales utilizados en las fábricas mayormente y los robots zoomórficos utilizados comúnmente como robots de servicio. De igual manera, los robots zoomórficos son aplicados en el área del aprendizaje o pedagogía. Específicamente, se encuentra un área de investigación conocida como robótica educativa o educacional. Por esta razón en la presente investigación se busca fabricar un robot zoomórfico que sea capaz de movilizarse con la finalidad de que pueda ser utilizado de manera pedagógica. Para ello se partió de un diseño del robot zoomórfico ya realizado en una investigación pasada. Por ello, este proyecto busca fabricar dicho diseño del robot zoomórfico. Donde se van a utilizar diversos materiales y procesos de manufactura para la fabricación de cada pieza que compone al robot zoomórfico. En el presente documento se encuentra detallado todo el desarrollo de la investigación, seccionado en 7 capítulos. Inicialmente, se da una breve introducción sobre la investigación en sí. Seguidamente, se plantea el problema de la investigación, en donde se establecen los objetivos a lograr y las preguntas de investigación que se buscan responder. Posteriormente, en el capítulo 3, se documenta el marco teórico, en el cual se presenta un análisis de la situación actual, así como las teorías y conceptos que dan sustento a la presente investigación. La metodología se describe en el capítulo 4, detallando el enfoque, las variables de investigación, las técnicas e instrumentos y la metodología de estudio, la cual permitió el desarrollo de la investigación. Los resultados y análisis obtenidos de lo desarrollado en la investigación se muestran en el capítulo 5. Las conclusiones que dan respuesta a las preguntas de investigación y las recomendaciones para futuros autores se detallan en el capítulo 6 y 7, respectivamente.



## CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El planteamiento del problema de investigación es afinar y estructurar adecuadamente la idea de investigación, en el presente capítulo se ordenan los elementos esenciales que dan base a la investigación realizada (Hernández *et al.*, 2010). Se presenta el enfoque general de la investigación, que incluye una introducción, presentación de antecedentes, el planteamiento del problema, los objetivos y la justificación sobre la investigación relacionada a la fabricación de robots, en especial robots zoomórficos.

### 2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

Unos de los robots más fabricados son los robots zoomórficos. Estos robots tienen diversos tipos de aplicaciones. Sameoto *et al.* (2008) diseñaron y fabricaron pies para el uso con un robot trepador inspirado en una araña. Los robots trepadores son de uso potencial para vigilancia, inspección y exploración en diferentes entornos. En particular, el uso de robots trepadores para la exploración espacial permite a los científicos explorar entornos demasiado desafiantes para los diseños tradicionales de ruedas. Para adherir a las superficies propusieron adhesivos secos biomiméticos basados en patas de *gecko*. Estos adhesivos secos biomiméticos funcionan mediante el uso de mecanismos compatibles con múltiples escalas para hacer un contacto íntimo con diferentes superficies y adherirse utilizando las fuerzas de Van der Waals. Utilizaron una silicona de bajo módulo y alta resistencia, TC-5005, para formar la base del pie y las fibras a microescala en una sola pieza utilizando un molde de dos partes. Produjeron un diseño de pie a macroescala utilizando una impresora 3D para producir un molde base, mientras que la definición litográfica de fibras a microescala en un fotorresistente grueso forma los "pelos" del pie de polímero. Los resultados demostraron la integración exitosa de pies compatibles con micro y macro para su uso en la escalada en una variedad de superficies.

De igual forma, muchos investigadores solamente llegan a la fase de diseño de un robot o pruebas de materiales, no realizan la parte de fabricación. Como ser la investigación reciente de Flores (2020) en la cual se investigó sobre la manufactura aditiva en fundición de metales para la fabricación de un robot zoomórfico. Dicha investigación fue la base para el desarrollo del presente proyecto de investigación y el cual se le busca dar la continuidad requerida.

## **2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Los robots zoomórficos son unos de los tipos de robots más desarrollados en los últimos años, suelen asociarse con los androides, ya que son robots que poseen "extremidades" o patas al igual que ciertos androides. Los robots zoomórficos constituyen una clase de robots caracterizada principalmente por sus sistemas de locomoción que imitan a los seres vivos. Los robots zoomórficos caminadores múltipedos son muy numerosos y están siendo experimentados en diversos laboratorios con vistas al desarrollo posterior de verdaderos vehículos terrenos, piloteando o autónomos, capaces de evolucionar en superficies muy accidentadas.

Sin embargo, dentro del país existe un déficit en el uso de este tipo de tecnología. En especial, no se cuenta con equipos autónomos móviles que pueden llegar a ser aplicados a diversas áreas, como ser la movilización a través de terrenos muy variados, o inclusive, puede utilizar con fines pedagógicos, para que el alumno tenga contacto directo con esta área de la investigación, la cual es una de las más grandes en la actualidad. Por lo tanto, a partir de la presente investigación se busca apoyar el desarrollo de este tipo de tecnología en el país.

## **2.3 JUSTIFICACIÓN**

Los robots zoomórficos pueden ser un equipo de gran utilidad y apoyo para diversas aplicaciones. Esto se debe a la naturaleza del robot, gracias a su estructura, le otorga, aunque no se muy rápida, facilidad de movilización. Convirtiendo a este equipo en ideal para desplazarse a través de terrenos muy irregulares. Además, dentro del área de educación/pedagogía e investigación es de gran utilidad para el país. Ya que brinda a los educandos una nueva perspectiva sobre la tecnología que rige el mundo en la actualidad. Incluyendo que esto brinda a investigadores y doctorados un vasto y variado campo de trabajo, lleno de objetivos y en estado inicial de desarrollo. Todo esto fomenta el desarrollo de este tipo de tecnología en otros institutos, universidades, o centros de investigación establecidos en el país.

## **2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

- 1) ¿Cuál es el material que presenta las mejores propiedades para la fabricación del robot?
- 2) ¿Qué piezas son necesarias para la fabricación del robot zoomórfico.

3) ¿Qué comportamiento presentará el robot una vez fabricado?

## **2.5 OBJETIVOS**

### 2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Fabricar un robot zoomórfico que sea capaz de movilizarse con la finalidad de que pueda ser utilizado de manera pedagógica.

### 2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Establecer el material más óptimo para la fabricación del robot, tomando en cuenta todas sus propiedades físicas y mecánicas.
- 2) Determinar las piezas necesarias para la fabricación del robot zoomórfico.
- 3) Evaluar el comportamiento del robot una vez que este sea fabricado.

## **CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO**

En la actual investigación se analizarán varios temas, que son muy importantes para el ensamblaje de un robot, se definirán fundamentos necesarios para sostener el trabajo realizado en toda la investigación requerida, dando una validación correcta de los resultados esperados. Se analizará las piezas del robot, con el fin de poder apreciar los movimientos que podrá hacer el robot, además un análisis de un manual para el montaje y desmontaje del robot zoomórfico, para fines educativos. Asimismo, se investigarán temas importantes que sean relevantes para el robot y educativo para las personas puedan estar informados.

### **3.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

En la última década la robótica ha aumentado en diversos campos, tanto como para las industrias o para estudio a universidades. Como es un campo grande y fuerte se pueden encontrar todo tipo de instrumentos o máquinas para realizar tareas asignadas por personas que llevan muchos años adquiriendo sus conocimientos. Muchas universidades que implementan la robótica en sus campos llegan a tener un gran éxito a las personas que desean aprender y tener ese interés de los robots. Esto podría llegar a ser un gran éxito para los futuros ingenieros ya que el 35% de los trabajos hoy en día llevan bastante robótica. En varios países se está promoviendo el uso de la robótica como instrumento educativo en universidades o instituciones de educación para fortalecer la capacidad de los estudiantes y puedan tener la creatividad de ser más dinámicos e innovadores.

Muchas tecnologías de vanguardia están conectadas con el campo de la robótica, como el aprendizaje automático y la IA, IIOT, colaboración hombre-máquina o sistemas móviles autónomos. Los robots inteligentes son la parte crucial de la digitalización de la industria manufacturera. Sin embargo, la industria manufacturera global se enfrenta a grandes desafíos, como las tendencias de consumo que cambian rápidamente, la escasez de recursos, la escasez de trabajadores calificados, el envejecimiento de la sociedad y la demanda de producciones locales. La automatización flexible basada en robots industriales ofrece la solución a todos estos desafíos. A lo largo de los últimos años, la cantidad de robots utilizados a incrementado, tal como se

muestra en la ilustración 1. En donde solamente, se toman en cuenta robots relacionados al área industrial, en miles de unidades.

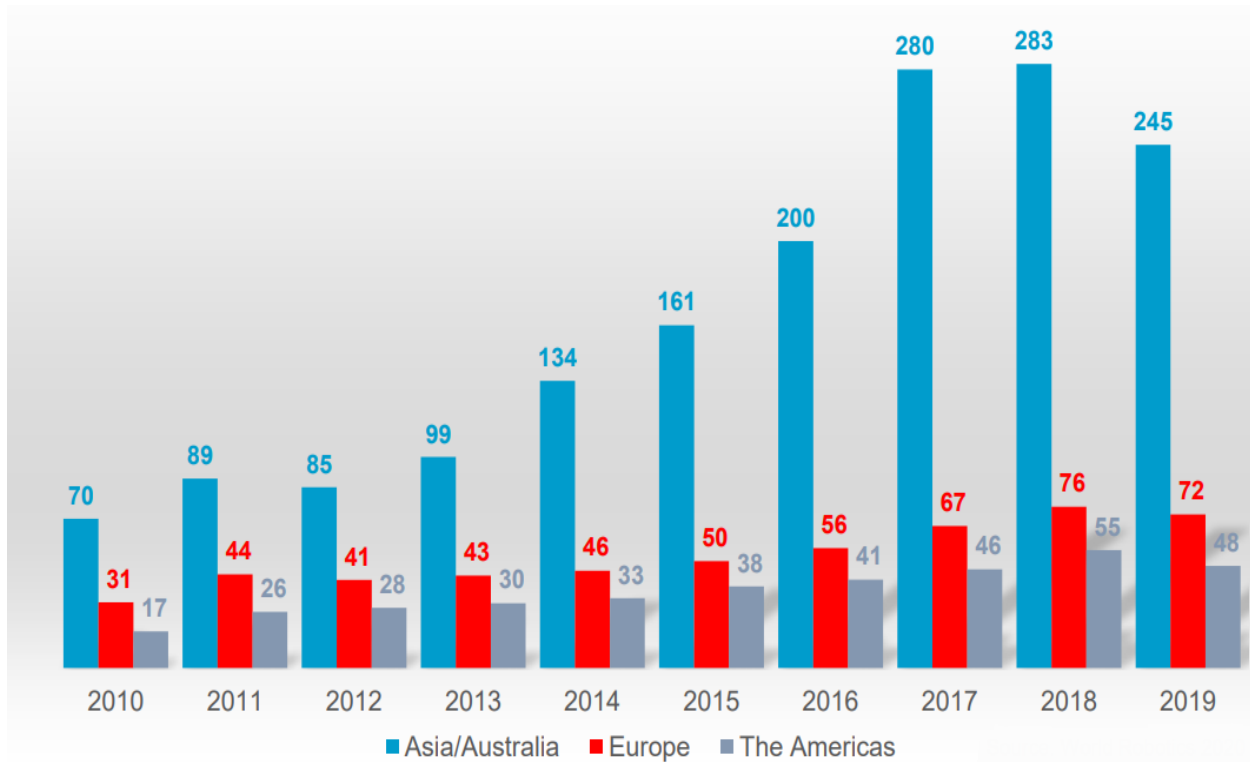


Ilustración 1-Instalaciones anuales de robots industriales a nivel global

Fuente: (IFR, 2020a)

En 2019, las instalaciones globales de robots cayeron un 12% a 373,240 unidades, por un valor de USD 13,8 mil millones (sin software ni periféricos). Esto sigue a seis años de crecimiento y valores máximos. Refleja los tiempos difíciles que habían experimentado las dos principales industrias de clientes, la automotriz y la eléctrica / electrónica. También refleja el conflicto comercial entre dos de los principales destinos, China y Estados Unidos, que ha ido generando incertidumbre en la economía mundial desde 2018. Sin embargo, la industria automotriz sigue siendo la industria cliente más grande con el 28% del total de instalaciones, por delante de electricidad / electrónica (24%), metal y maquinaria (12%), plásticos y productos químicos (5%) y alimentos y bebidas (3%). Tomando en cuenta que para el 20% de los robots no hay información sobre la industria del cliente. (IFR, 2020a)

El stock operativo de robots se calculó en 2.722.077 unidades (+ 12%). Desde 2010, la demanda de robots industriales ha aumentado considerablemente debido a la tendencia actual hacia la automatización y las continuas innovaciones técnicas en los robots industriales. De 2014 a 2019, las instalaciones anuales aumentaron un 11% en promedio cada año (CAGR). Entre 2005 y 2008, el número medio anual de robots vendidos fue de unas 115.000 unidades, antes de que la crisis económica y financiera mundial hiciera que las instalaciones de robots cayeran a solo 60.000 unidades en 2009 y se pospusieran muchas inversiones. En 2010, las inversiones se abrieron paso e impulsaron las instalaciones de robots hasta 120.000 unidades. Para 2015, las instalaciones anuales se habían más que duplicado a casi 254,000 unidades. En 2016, se superó la marca de 300.000 instalaciones por año y en 2017, las instalaciones aumentaron a casi 400.000 unidades. La marca de las 400.000 unidades se superó en 2018 por primera vez. (IFR, 2020a)

La industria del automóvil es el cliente más importante de robots industriales. Casi el 28% de todas las instalaciones de robots industriales tienen lugar en esta industria. Después de dos años muy fuertes y un nuevo nivel máximo de 125.581 unidades en 2018, la demanda de la industria automotriz se redujo en un 16% a 105.379 unidades en 2019. La producción mundial de automóviles y vehículos comerciales disminuyó dos años seguidos en un 5.2% en 2019 y 1.1% en 2018.<sup>2</sup> Si bien la industria automotriz necesita invertir en la transición de motores de combustión a accionamientos eléctricos, la disminución de la demanda limita la necesidad de expansión de capacidad. (IFR, 2020a)

Las instalaciones de robots en la industria eléctrica / electrónica (incluidas computadoras y equipos, dispositivos de radio, TV y comunicación, equipos médicos, instrumentos ópticos y de precisión) aumentaron en promedio un 24% cada año desde 2013 hasta 2018. En 2019, la densidad promedio de robots en la industria manufacturera fue de 113 robots por cada 10,000 empleados. Impulsada por el alto volumen de instalaciones de robots en los últimos años, la densidad de robots promedio de Asia había crecido en un 18% CAGR desde 2014 a 118 unidades por cada 10,000 empleados en 2019. La densidad de robots europeos había estado creciendo solo en un 6% CAGR desde 2014 y ascendía a 114 unidades por 10,000 empleados en 2019. En las Américas, fue de 103 robots por 10,000 empleados (+ 9% CAGR desde 2014). (IFR, 2020a)

Sin embargo, aparte de los robots industriales que se adquieren mayormente en el Mercado, también son muy adquiridos los robots de servicio. La robótica de servicios abarca un amplio campo de aplicaciones, la mayoría de las cuales tienen diseños únicos y diferentes grados de automatización, desde la teleoperación completa hasta la operación totalmente autónoma. Por lo tanto, la industria es más diversa que la industria de los robots industriales. El mercado de robots de servicios profesionales creció fuertemente en 2019 en un 32% de USD 8.5 mil millones a USD 11.2 mil millones. Los mercados para la mayoría de los tipos de robots de servicio apenas parecen afectados por la pandemia de Covid-19. En realidad, la pandemia ha impulsado el mercado de soluciones desinfectantes robóticas y ha creado una demanda adicional de soluciones logísticas robóticas en almacenes, fábricas y para la entrega a domicilio. Por lo tanto, no es difícil de entender por qué la industria de la robótica de servicios dejará este desafío global en el carril de la victoria. Las soluciones robóticas apoyan el distanciamiento social, no se envían a cuarentena y no se ven afectadas por prohibiciones de viaje, (IFR, 2020b)

La facturación con robótica médica ha aumentado un 28% en 2019, lo que representa el 47% de la facturación total de robots de servicios profesionales. Esto fue impulsado principalmente por los sistemas de cirugía robótica, que son el tipo de robot de servicio más caro. Las soluciones robóticas ya están establecidas en logística, pero todavía hay mucho potencial. En términos de unidades vendidas, los robots logísticos representan el 43% del total de unidades de robots de servicios profesionales. (IFR, 2020b)

### 3.1.1 ROBOT ZOOMÓRFICO

Los robots zoomórficos los conocemos como juguetes infantiles de los que su forma es similar a un animal. Estos tipos de diseños fueron creados por el ser humano que tiene una característica similar a los animales, por ende, es válido describir que la robótica zoomórfica es una gran parte de la robótica por su inspiración y características de un animal. Estos tipos de robot pueden ser muy útiles para el aprendizaje de los estudiantes de ingeniería, ya que al momento de tener un robot zoomórfico que les puede favorecer a agilizar y a adquirir conocimientos de como un robot puede ser armado y sus componentes que lleva. También podemos definir esto como una rama

de la robótica por el desempeño de la creación de robots con un número de partes para poder ser creado el robot en general. (Cuellar et al., 2016)

Similarmente, los robots antropomórficos son lo que tiene muchas características humanas hacia los objetos y cuerpo. También son aquellos llamados que se fabrican y sus diseños tienen muchos rasgos de un ser humano y por este caso es porque el robot antropomórfico es llamado de esa manera. (J. Zhang, 2019)

Estos robots podrían llegar a ser las mismas tareas que los seres humanos pueden llegar a hacer, con la única diferencia que estos tipos de robots no llegan a perder resistencia o a sentirse exhaustos, lo cual con los humanos es muy probable que un operador llegue a cansarse rápido y con el transcurso de los años no tendrá la misma resistencia que antes. Por eso hoy en día estamos conscientes que los robots podrían llegar a reemplazar a muchas personas por el mayor trabajo que podrían llegar a tener sin problemas, es más esto podría adelantar una producción en una empresa hasta por el doble de lo que un humano podría llegar a hacer. Tanto como los robots zoomórficos y los robots antropomórficos podrían reemplazar a muchas personas para que la producción de una fábrica llegue a ser mejor y a tener un mayor volumen de producto.

En este caso los robots antropomórficos también podrían ser muy útiles en las universidades, para aprendizaje a los pasantes de las carreras de ingeniería, ya que con uno de estos tipos de robots con características humanas podrían llevar a conocer muy bien las partes y el mecanismo en que se implementa el robot. Por ejemplo, podríamos saber que tan resistente sería, que fuerza podría llegar a levantar, el montaje y el desmontaje del robot sería una de las áreas en que un pasante de ingeniería le sería muy informativo y muy llamativo para él y así pueda tener un más interés en la clase.

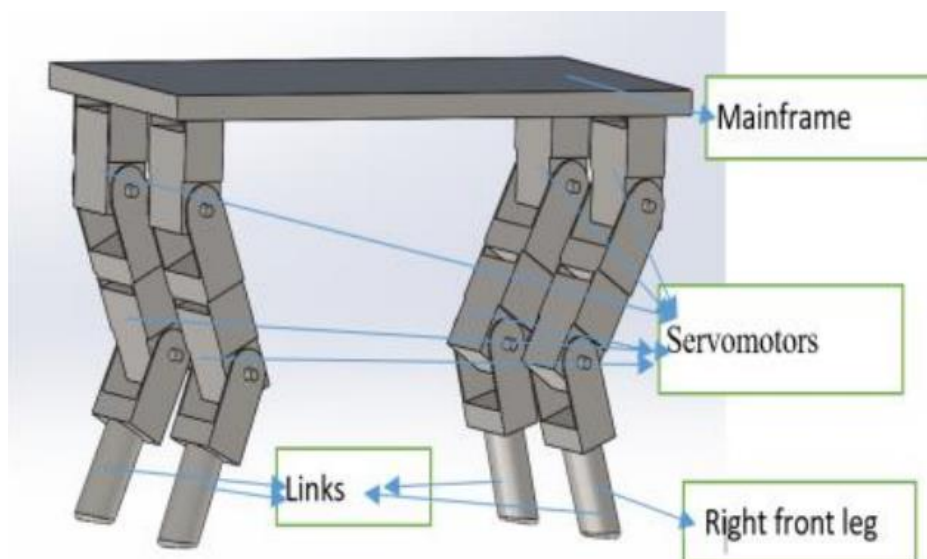
Los robots zoomórficos y antropomórficos como los que se asemejan a animales y los que se equiparan con los humanos, respectivamente. Son entonces los robots funcionales aquellos que su apariencia se basa solamente en la función para lo que fueron fabricados (Trovato et al., 2018). La utilidad que puede llegar a tener los robots diseñados zoomórficamente es muy alta, pues pueden ser diseñados con el propósito de movilizarse o realizar labores que un robot diseñado por funcionalidad no podría realizar con facilidad.



### 3.1.2 TRABAJOS RELACIONADOS

Como se ha mencionado con anterioridad, la robótica es una amplia área de investigación científica. En donde se desarrollan constantemente investigaciones de todo tipo. Entre estas investigaciones destacan los diseños y/o fabricación de robots zoomórficos, donde la aplicación de dicho robot varía según los intereses del investigador. Sin embargo, estos estudios permiten un gran avance sobre los métodos de diseño y fabricación de robots, en especial los robots zoomórficos.

De igual manera, en los últimos años se han utilizado muchos robots zoomorfos y estos robots tienen una estructura basada en animales y son conocidos como robots sociales. Los materiales a utilizar varían según el diseño de cada investigador. Por ejemplo, la base de patas mecánicas le da al robot una increíble maniobrabilidad, por lo que la flexibilidad que decide los comandos se pueden ejecutar. Naturalmente, donde estos componentes flexibles en los ligamentos se suman en gran medida a las asombrosas habilidades de avance, el robot zoomorfo se ensambla. Durga Prasad & Vasanth Kumar (2020) en su investigación desarrollaron un diseño estructural de un robot, Este novedoso trabajo trata sobre el diseño y desarrollo de una estructura de robot zoomorfo. Determinaron las soluciones cinemáticas para la estructura creada utilizando un robot de impresión 3D especialmente diseñado. Utilizaron una aplicación Arduino, para controlar el robot por su locomoción y posicionamiento de las piernas. En la ilustración 2 se muestra el diseño y el modelo final de la estructura diseñada en su investigación.



## Ilustración 2-Estructura del robot zoomórfico

Fuente: (Durga Prasad & Vasanth Kumar, 2020)

El patrón de marcha es lo principal en el robot zoomorfo para moverse en la dirección de avance. Para moverse en esta dirección primero se levanta una pierna y se balancea en la dirección requerida y para conectar el suelo y el centro de gravedad siempre para verificar la posición central y luego las otras piernas muevan este tipo de marcha llamada marcha lenta. El patrón de puerta también pueden ser el trote, paso y salto. En estos otros andares, los patrones son las piernas del robot que son dos únicos conectados a tierra. El patrón de marcha lenta tres patas estaban conectadas al suelo. Puede caminar más estable que otro patrón para aplicar la solución cinemática inversa aquí para lograr una mejor caminata estable. Aplicar las articulaciones de la cadera y la rodilla sobre las soluciones particulares de las mismas para mover las piernas en el movimiento particular a lograr. El robot zoomorfo que se mueve en el resultado de la simulación en la ilustración 3 muestra el robot de diseño a, b, c y d que mueve el patrón de marcha lenta moviendo las piernas. Estas son las piernas que equilibran los movimientos generales del cuerpo. (Durga Prasad & Vasanth Kumar, 2020)

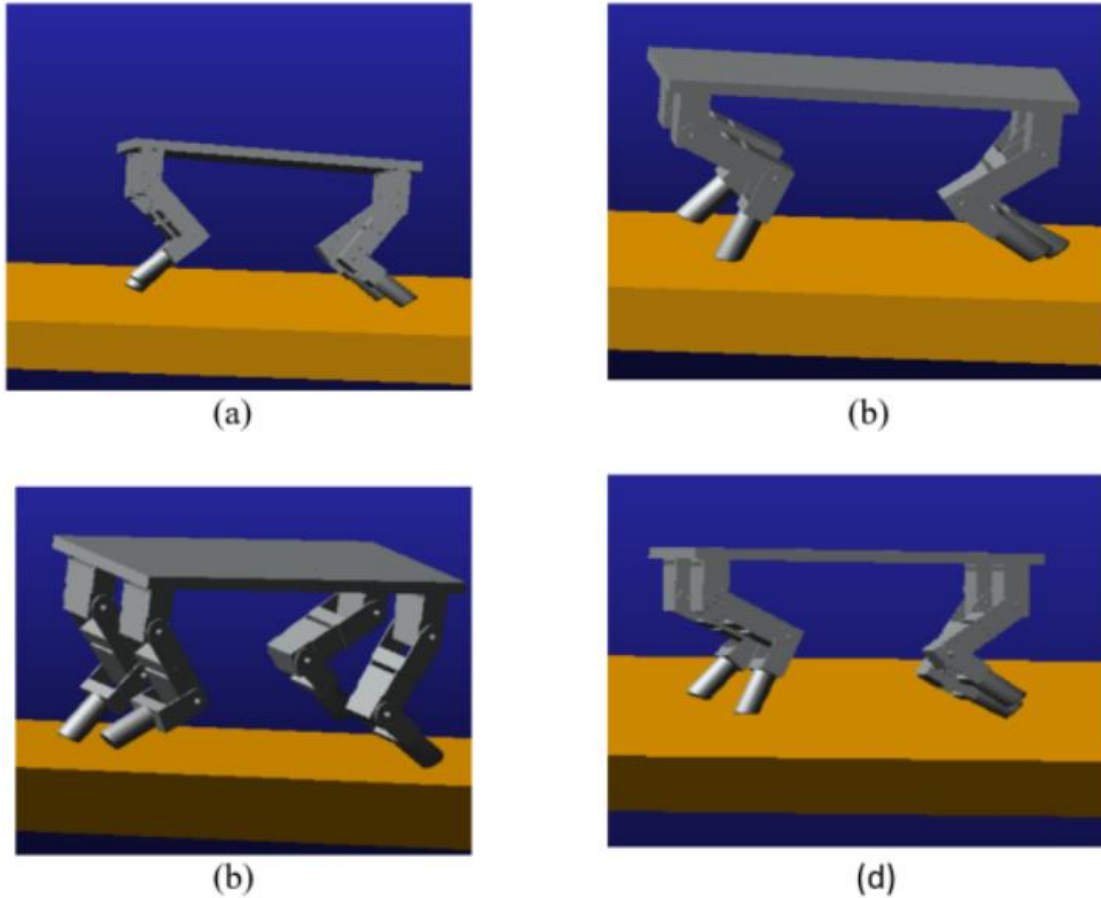


Ilustración 3-Patrón de marcha del robot zoomórfico

Fuente: (Durga Prasad & Vasanth Kumar, 2020)

Atravesar terrenos accidentados es uno de los dominios en los que los robots andantes de múltiples patas se benefician de su cinemática relativamente más compleja en comparación con los robots con ruedas. Por esta razón, los investigadores Faigl & Čížek (2019) desarrollaron un control de locomoción adaptativo del robot andante hexápodo para atravesar terrenos accidentados con solo retroalimentación de posición. La complejidad de los robots andantes suele estar relacionada no solo con las piezas mecánicas, sino también con los servomotores y la electrónica necesaria para controlar de forma eficiente tal sistema robótico. Por lo tanto, los robots andantes grandes, medianos, pero incluso pequeños, capaces de atravesar terrenos accidentados pueden resultar muy costosos debido a todo el equipo necesario. Por otro lado, utilizando servomotores inteligentes con control de posición y retroalimentación, los robots andadores hexápodos asequibles están cada vez más disponibles.



Ilustración 4-Robot caminante hexápodo

Fuente: (Faigl & Čížek, 2019)

El robot caminante hexápodo asequible utilizado capaz de atravesar terrenos accidentados mediante el método de control propuesto utilizando solo la retroalimentación de los servomotores. El robot en sí consta solo del maletero, patas formadas por 18 servomotores Dynamixel AX-12A y un tablero de control simple de la "clase Arduino", tal como se muestra en la ilustración 4. En este trabajo, se presentó un enfoque minimalista para el control de locomoción adaptativo utilizando solo la retroalimentación de posición de los servomotores. Los modelos permiten la detección oportuna del punto de contacto de la pierna con el suelo y reducen la tensión desarrollada y los pares aplicados a la construcción del robot y a los servomotores sin ninguna retroalimentación adicional del sensor. Los resultados presentados respaldan que el enfoque propuesto detecta de manera confiable el punto de contacto con el suelo y, por lo tanto, permite atravesar terrenos accidentados con un robot caminante hexápodo pequeño y asequible. (Faigl & Čížek, 2019)

Similarmente, los investigadores Polishchuk et al. (2018) desarrollaron un robot móvil ambulante de orientación arbitraria. Donde desarrollaron el dispositivo y el modelo matemático de un robot móvil ambulante de una construcción fundamentalmente nueva. La diferencia entre esta solución técnica es la capacidad de mover el robot sobre superficies de orientación arbitraria en diferentes sistemas de coordenadas: rectangular cartesiano, cilíndrico y esférico. En el diseño propuesto, el

mecanismo del robot andante se realiza en forma de pedipuladores flexibles y permite que el móvil realice transiciones en superficies que tienen una orientación arbitraria en diferentes ángulos del horizonte. Este robot andante está diseñado para realizar operaciones tecnológicas en condiciones extremas. El modelo que diseñaron se muestra en detalle en la ilustración 5.

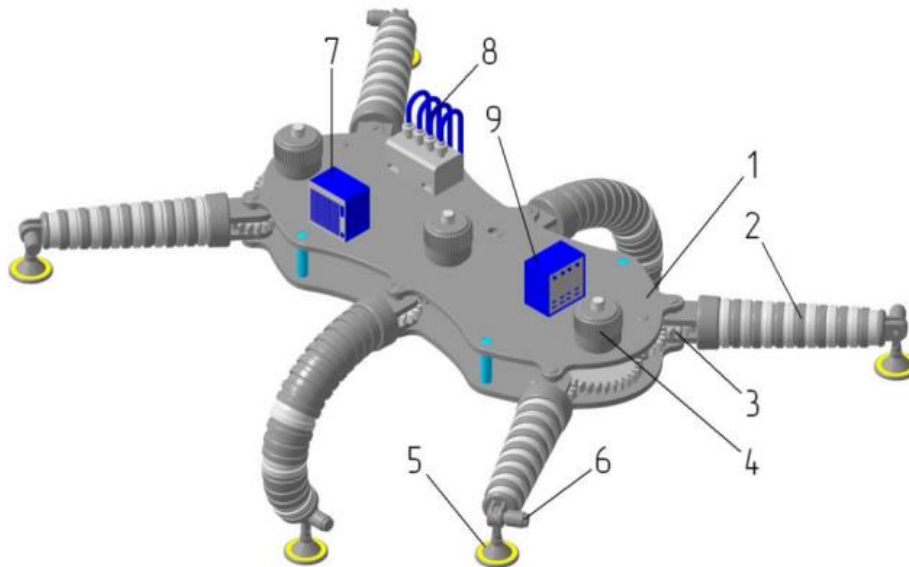


Ilustración 5-Robot móvil ambulante

Fuente: (Polishchuk et al., 2018)

La primera tarea es constructiva. Los autores llevaron a cabo la solución de este problema de la siguiente manera. El robot ambulatorio móvil está equipado con un cuerpo (1) presentado en la ilustración 5 que consta de las plataformas superior e inferior, en los ejes de estas plataformas se instalan pedipuladores (2). Cada par de pedipuladores a través de las transmisiones (3) tiene accionamientos eléctricos (4). Los pedipuladores están equipados con pinzas (5) para acoplarse con la superficie de desplazamiento y accionadores giratorios (6) para hacer coincidir la posición de las pinzas con respecto a la superficie de desplazamiento. El tipo de agarres puede ser diferente, por ejemplo, al vacío, mecánicos, electromagnéticos o utilizar las propiedades de adherencia en función del material y la topología de la superficie sobre la que se mueve el robot. En la plataforma superior de la carcasa, se encuentra un módulo (7) de suministro de energía para el robot móvil, un bloque (8) de válvulas hidráulicas o neumáticas y un generador de presión de gas o líquido, y un controlador (9) para controlar el robot.

Dupeyroux *et al.* (2019) desarrollaron un robot zoomórfico basado en una hormiga, por esta razón le nombraron *AntBot*. Este es un robot ambulante de seis patas capaces de vivir como hormigas del desierto en entornos al aire libre. Se basaron en las hormigas para proveer varias soluciones para los problemas de navegación al aire libre en un robot con patas utilizando dos sensores ópticos equipados con solo 14 píxeles, dos de los cuales estaban dedicados a una brújula inspirada en insectos sensible a la luz ultravioleta. Cuando se combinaba con dos filtros polarizados rotativos, esta brújula equivalía a dos costosas matrices compuestas por 374 fotosensores, cada uno de los cuales estaba sintonizado a un ángulo de polarización específico. Los otros 12 píxeles se dedicaron a mediciones de flujo óptico. Los resultados muestran que nuestros métodos de navegación inspirados en las hormigas ofrecen actuaciones precisas.

*AntBot* es un robot hexápodo equipado con sensores ópticos inspirados en insectos e impulsado por modelos de navegación inspirados en las hormigas para ser probado en condiciones de la vida real. Tiene tres grados de libertad por pierna y está completamente impreso en tres dimensiones (3D). El andar obedece a un patrón fijo preprogramado. Sin embargo, el comportamiento al caminar de los insectos reales es ligeramente diferente al implementado en *AntBot*.

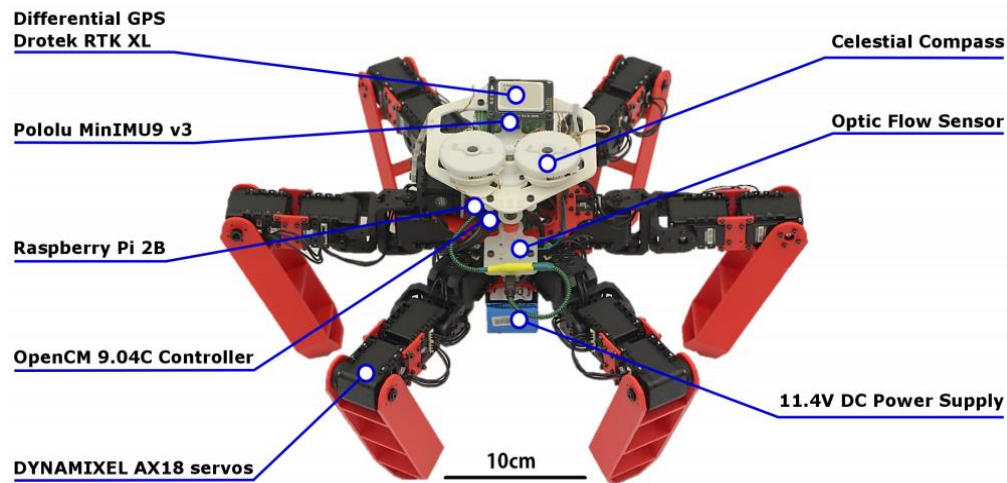


Ilustración 6-AntBot

Fuente: (Dupeyroux et al., 2019)



El error medio de orientación registrado durante la trayectoria general de AntBot fue tan pequeño como 0,67% en condiciones de iluminación similares a las encontradas por las hormigas. Estos hallazgos muestran que las estrategias de PI inspiradas en hormigas se pueden utilizar para complementar las técnicas clásicas con un alto nivel de robustez y eficiencia.

Otros investigadores buscan la integración de diversos equipos para obtener un mejor funcionamiento del robot. Tedeschi & Carbone (2017) desarrollaron un diseño de un novedoso robot andante hexápodo con la integración de rueda-pierna. La finalidad del robot consiste en el desarrollo de tareas de aplicación la exploración, el levantamiento arquitectónico y el mantenimiento de bienes del patrimonio cultural. El robot propuesto está compuesto por patas híbridas de una arquitectura antropomórfica modular con omni-ruedas como pies en su extremo. En la ilustración 7, se muestra el robot que fue diseñado, el cual fue nombrado como Casino Hexapod III.

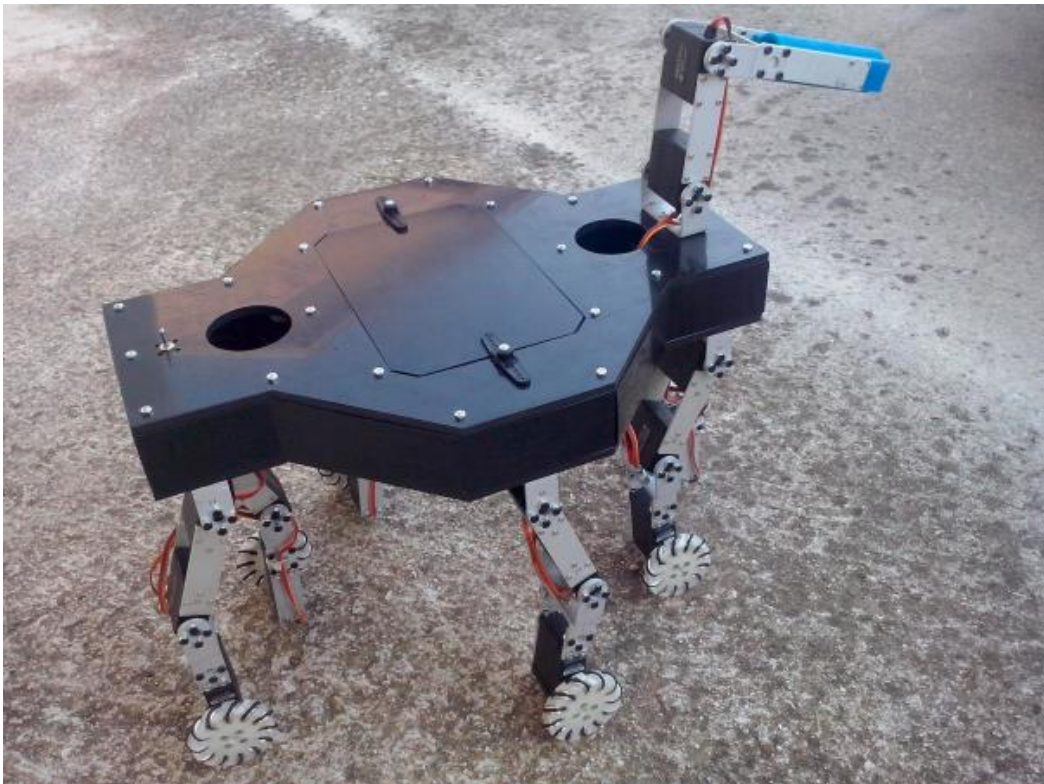


Ilustración 7-Casino Hexapod III

Fuente: (Tedeschi & Carbone, 2017)

Como se observa en la ilustración 7, el robot Cassino Hexapod III cuenta con ruedas en cada una de sus patas, siendo estas ruedas mecánicas. Las ruedas mecánicas son ruedas con pequeños discos alrededor de la circunferencia que están inclinados 45 grados en la dirección de rodadura. El efecto es que la rueda puede rodar, pero también puede deslizarse lateralmente. La solución propuesta ha sido adoptada para permitir el cambio de estrategia de dirección en la operación sobre ruedas. (Tedeschi & Carbone, 2017)

Todos los autores mencionados desarrollaron diversos diseños de robot zoomórficos, que se basan en la morfología de ciertos animales, como la hormiga. La cantidad de patas del robot varía según el diseño. Estas investigaciones pasadas permitieron una mejor perspectiva para la fabricación del robot que fue desarrollado en la presente investigación. De igual manera, permitió observar las últimas investigaciones realizadas en esta área de investigación.

### 3.1.3 ROBÓTICA EDUCATIVA

La robótica tiene muchas tareas y técnicas en área como electrónica, informática, mecánica y transversal como trabajo en grupo, soluciones de problemas y pensamiento crítico. Esto podría ser un gran apoyo para los futuros técnicos que desean adquirir el conocimiento de la mecánica y poder tener el suficiente conocimiento de la robótica. En algunas escuelas y universidades no cuentan con el robot en físico para poder aprender lo necesario para ellos, y al poder aplicar un robot que pueda ser utilizado para fines educativos sería un extra y un peso más para los estudiantes que puedan implementar sus conocimientos.

En muchas escuelas y universidades que usan esto como fines educativos en instituciones de educaciones básicas primarios y secundarios, con el propósito de poder incrementar el conocimiento. Por ejemplo, en la Universidad Pedagógica Nacional en Colombia, lidero un proyecto para la formación de docentes en robótica educativa, lo cual tuvo un éxito extraordinario para las personas que tiene el interés por aprender cosas de la robótica. Han llegado a implementar talleres de robótica y llegaron a construir un robot didáctico para que los jóvenes que llegaran tener un interés en la robótica.

La educación de la robótica a niños podría ser muy factible para mucha gente, por ejemplo en México se hizo un experimento donde se llevaron alrededor de 290 niños al museo Universum en



la ciudad de México, México, donde la edad de los niños rondaba de 5 a 13 años de edad donde tuvieron unos resultados muy increíbles, donde los niños tuvieron un interés muy grande hacia los robots y que podrían familiarizarse con los robots y llegaron a ser personas que les interesó mucho el contacto y tener robots en sus manos y poder conocer más sobre ellos. Ahora si esto se implementa en Honduras, muchos jóvenes y futuros ingenieros estarían más que encantados con tener ciertos robots para poder aprender de ellos.

Esto podría abrir la mente de muchos jóvenes hondureños que estarían muy interesados en el tema de la robótica y orientarlos a saber más de ellas sería una excelente idea para que ellos en un futuro vayan pensando en cómo podrían llegar a innovar y a llegar a ser unos grandes ingenieros. (Jones et al., 2008)

La robótica educativa tiene un gran potencial como herramienta de aprendizaje en todos los niveles, desde el jardín de infancia hasta la universidad. Proporciona grandes oportunidades para la construcción colaborativa de conocimientos y la adquisición de habilidades mediante la manipulación e interacción con robots. A pesar del notable progreso en este campo, el alcance y el impacto de las actividades basadas en robots se han centrado principalmente en la enseñanza de asignaturas escolares técnicas (es decir, informática, matemáticas y física). Sin embargo, diferentes autores buscan la integración de esta forma de enseñanza en áreas no técnicas. Bravo *et al.* (2017) propusieron apoyar el aprendizaje y la enseñanza de asignaturas escolares no técnicas a través de actividades dramáticas con múltiples robots. Este enfoque proporciona un entorno de aprendizaje multisensorial donde los estudiantes pueden aprender a través de representaciones o simulaciones de ideas, eventos, historias, fenómenos o procesos utilizando múltiples actores robóticos. A partir del proceso dramático utilizado por los docentes, propusieron pasos para crear y representar obras de teatro con actores robot en un contexto educativo y discutir diferentes alternativas para su implementación.

Además, de áreas no técnicas como ser un área social, los investigadores buscan la aplicación de la robótica en otras áreas de enseñanza, como ser la matemática. Kim & Lee (2016) investigaron los efectos de la implementación del robot en una clase de matemáticas coreana de nivel elemental, examinando los dominios cognitivos y afectivos de los estudiantes antes, inmediatamente después y tres meses después del tratamiento. Los participantes en este estudio

fueron 121 estudiantes de cuarto grado (de 11 a 12 años) de una escuela primaria pública en un distrito urbano de Corea. Los participantes fueron seleccionados al azar de cuatro clases y luego asignados al azar al grupo "Robot" (58 niños) o al grupo "Regla y transportador" (63 niños). Los autores encontraron lo siguiente: con respecto al rendimiento de los estudiantes en el dominio cognitivo, no se encontró ningún resultado estadísticamente significativo. En cuanto al dominio afectivo, después del tratamiento, los niveles de interés y curiosidad del grupo Robot hacia las matemáticas y la participación en su clase de matemáticas fueron estadísticamente más altos que los del grupo Ruler & Transportador. Concluyeron que los robots tienen el potencial de reemplazar el uso tradicional de reglas y transportadores en la educación geométrica desde la perspectiva de sus efectos en los dominios cognitivos y afectivos.

Similarmente, los investigadores Daniela & Lytras (2019) desarrollaron un estudio sobre la robótica educacional para la educación inclusiva. Con educación inclusiva se refiere como educación en la que se brinda apoyo a estudiantes con diferentes necesidades especiales, entendiendo las necesidades especiales como discapacidades. También se puede entender que la educación inclusiva ocurre cuando se brinda apoyo tanto a estudiantes con necesidades especiales como a estudiantes con diferentes antecedentes culturales, diferentes estados socioeconómicos, diferencias de género, entre otros. El enfoque de la educación inclusiva es brindar oportunidades para todos y no crear nuevas marginaciones. La robótica educativa presenta resultados importantes como el conocimiento, las actitudes y el bienestar, sin centrarse en una sola dimensión de los posibles resultados en el dominio del conocimiento. Además, puede usarse para cambiar las actitudes de los estudiantes hacia el aprendizaje (cultura de la clase) permitiendo que todos sean aceptados e involucrados.

## **3.2 TEORÍA DE SUSTENTO**

En la presente sección se muestran las diversas teorías y conceptos que sirven de sustento o cimientos para la presente investigación. Dichos temas están relacionados al área de investigación, incluyendo mecanismos, solidworks, propiedades de materiales, entre otros.

### **3.2.1 MECANISMOS**

En un robot autónomo o zoomórfico es muy importantes sus extremidades que hacer que el robot pueda moverse libremente en el espacio deseado, siempre hay que tener en cuenta que la

extremidad es un robot siempre será necesario para que pueda hacer sus tareas adecuadamente sin tener ningún problema de movimientos. Es necesario que los parques de trabajos siempre sean más resistentes para que no sufra muchos daños el robot. (Tomishiro et al., 2019) El proyecto consiste en hacer un robot zoomórfico que pueda de apoyo para los universitarios y puedan llegar a tener un prototipo en físico y que pueda ser útil para las necesidades de aprendizaje de ellos. El robo cuenta con 4 extremidades que se divide en 3 partes de la pierna en total serian 12 partes para poder hacer el ensamblaje de las 4 piernas, se podría añadir dos extremidades más para que sea un robot zoomórfico con 6 piernas.

Como habíamos mencionado el robot es sumamente para consumo de aprendizaje, será un prototipo que pueda ser armable y desarmable para los estudiantes de las universidades y así ellos puedan comprender y observar cómo es el armado de un robot zoomórfico con la ayuda de un manual que sea un gran ejemplo para ellos guiarse. Esto es un gran ayuda para los estudiantes. Podemos decir también que el mecanismo es un conjunto de piezas que se agrupan juntamente elaborando una energía mecánica para hacer una función. Esto se ve en muchas áreas en las industrias como por ejemplo una máquina de coser, su mecanismo tiene un eje excéntrico que hace rotar a una velocidad constante al momento de que la palanca es usada, haciendo que la biela que se conecta entre el eje excéntrico y la palanca haga un movimiento giratorio. Por lo tanto un robot zoomórfico y antropológico son diferentes, su mecanismo depende de cómo es creado el robot y para que tipos de trabajos se implementara, por ejemplo, el robot zoomórfico que crearemos consiste de 4 extremidades que contara con un movimiento horizontal y vertical tipo como una pierna de una araña, con la ayuda de actuadores que le ayuden a poder mover sus piernas.

Como se había mencionado el mecanismo del robot consistirá en el movimiento que generara la pierna, como la de un ser humano, que podrá contar con dos movimientos que son los horizontales y los verticales, siendo la factible para que el robot pueda moverse libre mente en las áreas deseadas, con el motivo de poder hacer expediciones o pruebas de obstáculos que el robot pueda hacer sin ningún problema. Teniendo en cuenta que también serán para fines de estudios para los universitarios, probando los movimientos y poder simularlos en la universidad.

Otra de las cosas que también tenemos que fijarnos mucho del mecanismo es saber exactamente los movimientos de libertad que tendrá el robot, porque sin saber qué tipos de movimiento tendría el robot podríamos llegar a tener muchos problemas de movimiento, para que las piezas puedan moverse adecuadamente.

### *3.2.1.1 Grados de Libertad*

Los grados de libertad en un robot es muy importante ya que con eso depende mucho los movimientos que tendrá un robot en general, por ejemplo, un brazo robótico puede contar con más de 16 grados de libertad para poder moverse como el operador desee que el robot se exprese. En un robot zoomórfico, en una de sus piernas los grados de libertad serán muy pocos por el tipo de robot ya que consiste de una pierna. En este caso estamos diciendo que tendrá por lo máximo 3 grados de libertad, que consiste en el fémur conectado al chasis del robot y la pierna que iría conectada en el fémur, lo cual solo tendría movimientos verticales y horizontales haciendo posible el movimiento hacia los lados, hacia atrás y hacia adelante.

Como por ejemplo las arañas, el concepto tendría algo al movimiento de las arañas cuando están en una superficie plana, este podría ser un gran ejemplo de cómo el robot zoomórfico que se creara tendrá los movimientos similares a la de una araña.

Contamos con 4 patas del robot zoomórfico y cada una tendrá 3 grados de libertad, lo cual tendríamos un total de 12 grados de libertad por todo, esto podría ser una gran ventaja para las superficies con obstáculos o con muchas irregularidades en el suelo.

En todas las extremidades el robot zoomórfico, tenemos que tener en cuenta la ecuación de Grubler, ya que con ella sabremos exactamente los grados de libertad que tendrá el robot zoomórfico, en cada extremidad el robot cuenta con dos eslabones o pines que juntan las piezas importantes del robot, que son el coxis, fémur y tibia. Al reemplazar esta ecuación ayudaría a obtener con exactitud los grados de libertad que tendrá el robot zoomórfico.

Como se mencionó los grados de libertad depende mucho del mecanismo que tendrá el robot. Por ejemplo, el robot zoomórfico donde  $n$  es el número de eslabones y  $F$  es el número de tipos de juntas, obteniendo los resultados de los grados de libertad que aplicaría el robot.

$$GDL : 3(n - 1) - 2F$$

*Ecuación #1. Ecuación de Gruebler*

Configuración cartesiana, este tipo de configuración consiste de tres movimientos lineales, que en otras palabras serían los 3 grados de libertad, lo cuales son los movimientos que se utilizan en los ejes X, Y y Z. Estos movimientos son solamente en trayectoria lineal, ósea solo se pueden mover de un punto a otro punto siguiendo por una línea recta sin hacer movimiento rotatorio. (Urrea et al., 2016)

Otro tipo de configuración es la cilíndrica, lo cual contiene dos movimientos lineales y uno giratorio, también son 3 grados de libertad los que tiene este tipo de configuración solo que en vez de que los 3 sean lineales uno de ellos es rotatorio para poder hacer movimientos de interpolación lineal y articulación. La configuración polar es otra que contiene 4 grados de libertad los cuales los movimientos que realizan son, angular, rotacional y lineal, pueda hacer estos movimientos sin perjudicar el movimiento de cualquiera de los otros dos, esta configuración usa la interpolación por articulaciones que también hace la tarea de mover las otras dos primeras articulaciones.

### *3.2.1.2 Análisis de Mecanismos*

Para el análisis de un mecanismo usualmente son necesarios conceptos como el de centro de gravedad, momento de inercia, velocidad angular, entre otros. La mayoría de veces un mecanismo puede ser analizado utilizando un enfoque bidimensional, lo que reduce el mecanismo a un plano. En mecanismos más complejos y, por lo tanto, más realistas, es necesario utilizar un análisis espacial.

El análisis de los esfuerzos internos de un mecanismo, usualmente se realiza una vez determinada su cinemática y dinámica, y en este período se hace necesario modelizar alguno de sus elementos como sólidos deformables, y así mediante los métodos de la resistencia de materiales y la teoría de la elasticidad se pueden determinar sus deformaciones, así como sus tensiones, y decidir si los

esfuerzos a los que están sometidos los elementos del mecanismos pueden ser adecuadamente resistidos sin rotura o pérdida de la funcionalidad del mecanismo. (Torres-Barahona et al., 2017)

### 1) Centro de Gravedad

El centro de gravedad es el punto imaginario de aplicación de la resultante de todas las fuerzas de gravedad que actúan sobre las distintas porciones materiales de un cuerpo, de tal forma que el momento respecto a cualquier punto de esta resultante aplicada en el centro de gravedad es el mismo que el producido por los pesos de todas las masas materiales que constituyen dicho cuerpo. En otras palabras, el centro de gravedad de un cuerpo es el punto respecto al cual las fuerzas que la gravedad ejerce sobre los diferentes puntos materiales que constituyen el cuerpo producen un momento resultante nulo. (Avello, 2014)

### 2) Momento de Inercia

La inercia es la propiedad de la materia de resistir a cualquier cambio en su movimiento, ya sea en dirección o velocidad. Esta propiedad se describe claramente en la Primera Ley del Movimiento de Newton lo cual dice: "Un objeto en reposo tiende a permanecer en reposo, y un objeto en movimiento tiende a continuar moviéndose en línea recta, a no ser que actúe sobre ellos una fuerza externa". Un momento es la resultante de una fuerza por una distancia, este efecto hace girar elementos en torno a un eje o punto El momento es constante, se puede tomar en cualquier punto del plano y siempre dará el mismo resultado, siendo la distancia la perpendicular, entre el punto y la dirección de la fuerza. (Aoi et al., 2017)

El momento de inercia es una medida de la inercia rotacional de un cuerpo. Cuando un cuerpo gira en torno a uno de los ejes principales de inercia, la inercia rotacional puede ser representada como una magnitud vectorial llamada momento de inercia. El momento de inercia refleja la distribución de masa de un cuerpo o de un sistema de partículas en rotación, respecto a un eje de giro. El momento de inercia solo depende de la geometría del cuerpo y de la posición del eje de giro; pero no depende de las fuerzas que intervienen en el movimiento. (Zinoviev, 1969)

### 3) Velocidad Angular

La velocidad angular es una medida de la velocidad de rotación. Se define como el ángulo girado por una unidad de tiempo y se designa mediante la letra griega  $\omega$ . Su unidad en el Sistema Internacional es el radián por segundo (rad/s). Aunque se la define para el movimiento de rotación del sólido rígido, también se la emplea en la cinemática de la partícula o punto material, especialmente cuando esta se mueve sobre una trayectoria cerrada (circular, elíptica, etc). (Avello, 2014)

#### 4) Aceleración Relativa

La aceleración relativa hace referencia a la que presenta una partícula con respecto a un sistema de referencia ( $xyz$ ), llamado referencial relativo o móvil por estar en movimiento con respecto a otro sistema de referencia ( $XYZ$ ) considerado como referencial absoluto o fijo. El movimiento de un referencial respecto al otro puede ser una traslación, una rotación o una combinación de ambas (movimiento rotatorio). La aceleración relativa es la aceleración de un objeto observado desde otro objeto de referencia que también se está moviendo. El análisis de aceleración generalmente se emplea para determinar la aceleración de varios puntos sobre un mecanismo en una configuración específica. Debe entenderse que los resultados de este análisis son las características del movimiento instantáneo. (Romanov, 2019)

### 3.2.2 MODELADO CAD

El CAD es una técnica de análisis, una manera de crear un modelo del comportamiento de un producto aun antes de que se haya construido. Los dibujos en papel pueden no ser necesarios en la fase del diseño. La aplicación del software CAD en la ingeniería abarca la elaboración de cuadros sinópticos, diagramas de diversos tipos, gráficos estadísticos, representación normalizada de piezas para su diseño y fabricación, representación tridimensional de modelos dinámicos en multimedia, análisis con elementos finitos, aplicaciones en realidad virtual, robótica, etc. (Mikolajczyk et al., 2019)

De acuerdo con B. Zhang *et al.* (2019) son varias las disciplinas que sirven de sustento al diseño asistido por ordenador, entre ellas destacamos las siguientes:

#### 1) Modelado geométrico

Se ocupa del estudio de los métodos de representación de entes con contenido geométrico. Para sistemas 2D en los que la representación gráfica sean esquemas se suele utilizar modelos basados en instanciación de símbolos.

## 2) Técnicas de visualización

Son esenciales para la generación de imágenes del modelo. Los algoritmos usados dependerán del tipo de modelo, pudiendo variar desde simples técnicas de dibujo 2D, para el esquema de un circuito, hasta la visualización realista usando trazado de rayos o radiosidad, para el estudio de la iluminación de un edificio o una calzada. Además, se suelen usar técnicas específicas para la generación de la documentación (generación de curvas de nivel, secciones, representación de funciones sobre sólidos o superficies).

## 3) Técnicas de interacción gráfica

Son el soporte de la entrada de información geométrica del sistema de Diseño. Entre estas, las técnicas de posicionamiento y selección poseen una especial relevancia. Las técnicas de posicionamiento se utilizan para la introducción de posiciones 2D o 3D. Las técnicas de selección permiten la identificación interactiva de un componente del modelo, son por tanto esenciales para la edición.

## 4) Métodos numéricos

Son la base de los métodos de cálculo y simulación.

### *3.2.2.1 SolidWorks*

SolidWorks es un software CAD (diseño asistido por computadora) para modelado mecánico en 2D y 3D. El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en traspasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto. Posteriormente todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automatizada. (Chang et al., 2016)



El software permite el análisis de piezas y sistemas mecánicos, así con un análisis de movimiento, con la herramienta Motion. El software de simulación Motion se puede usar para estudiar el desplazamiento, la velocidad y la aceleración que actúan sobre los componentes móviles. Además, el software de simulación Motion también ofrece las fuerzas de reacción/ momentos que actúan sobre cada relación de posición. La reacción y las presiones de endurecimiento que actúan sobre cada componente se pueden exportar al análisis de tensión de SolidWorks Simulation para estudiar sus efectos (deformación y tensión) sobre el componente. El software de simulación Motion puede contribuir al diseño de resortes, amortiguadores y levas necesario para el funcionamiento de su mecanismo. También puede ayudar a definir el tamaño de motores y actuadores necesarios para accionar el movimiento de los mecanismos. (B. Zhang et al., 2019)

SolidWorks al ser un programa CAD permite a los usuarios simular las condiciones de trabajo reales de un modelo, donde establecen restricción como ser de translación y rotación y los estados de carga. Además permite realizar análisis estáticos y dinámicos, inclusive calcula las distribuciones de esfuerzos, las deformaciones y los modos en que estas vibran. Esto se realiza con el módulo SolidWorks Simulation. (Thomas et al., 2018)

Macko *et al.* (2018) menciona que para poder crear un estudio en SolidWorks se requiere diferentes procedimientos que realizar todos los análisis necesarios, los procedimientos son los siguientes:

### 1) Selección de Material

El primer paso del procedimiento se debe seleccionar el material de la pieza con la que se va a trabajar, el software SolidWorks cuenta una lista extensa de materiales para seleccionar, desde metálicos hasta no metálicos.

### 2) Selección de Restricciones

Luego, el software permite la selección de restricciones sobre las piezas, por lo general, se utilizan apoyos fijos o empotramientos.

### 3) Aplicar Cargas

Seguidamente, se seleccionan las cargas a aplicar que se utilizarán, comúnmente son tipo de torque o fuerzas.

#### 4) Mallado

Por último, se realiza el proceso de mallado, el cual divide la geometría en elementos más pequeños, esto hace posible que el software resuelva el análisis por medio del Método de elementos finitos. El software SolidWorks selecciona automáticamente el tamaño de elementos adecuado para el estudio a realizar.

### 3.2.3 MANUFACTURA

La manufactura es un proceso vital en el desarrollo y fabricación de un robot. A causa de los diversos materiales que se pueden utilizar para la fabricación del robot, se pueden llegar a utilizar diversos métodos de procesos de manufactura de dichos materiales. Sin embargo, los diferentes procesos de manufactura se clasifican en grandes tipos: manufactura aditiva y manufactura sustractiva. La manufactura aditiva se caracteriza porque sus procesos van añadiendo o "adicionando" material a la pieza con la finalidad de fabricarla. Por otro lado, la manufactura sustractiva se caracteriza porque los métodos de fabricación se caracterizan porque sustraen material de una pieza determinada para fabricar la pieza deseada. En las subsecciones posteriores se ve más a fondo cada una de estas formas de fabricación de piezas o manufactura utilizada en la robótica.

#### *3.2.3.1 Manufactura Aditiva*

La fabricación aditiva es una tecnología que se está expandiendo rápidamente en varios sectores industriales. Proporciona libertad de diseño y ventajas medioambientales / ecológicas. Básicamente, transforma archivos de diseño en productos completamente funcionales. Sin embargo, todavía se ve obstaculizado por la baja productividad, la mala calidad y la incertidumbre de las propiedades mecánicas de la pieza final. La causa fundamental de los efectos no deseados radica en los aspectos de control del proceso. La optimización es difícil debido a los enfoques de modelado limitados. Los fenómenos físicos asociados con los procesos de fabricación aditiva son

complejos, incluida la fusión / solidificación y vaporización, la transferencia de calor y masa, etc. (Frazier, 2014)

Los procesos de fabricación aditiva toman la información de un archivo de diseño asistido por computadora (CAD) que luego se convierte en un archivo de estereolitografía (STL). En este proceso, el dibujo realizado en el software CAD es aproximado por triángulos y cortado que contiene la información de cada capa que se va a imprimir. Hay una discusión sobre los procesos de fabricación aditiva relevantes y sus aplicaciones. En el área de la robótica estos métodos son empleados por la posibilidad de fabricar estructuras más ligeras para reducir el peso. (Frazier, 2014)

La fabricación aditiva involucra cualquier proceso en el que las piezas se produzcan depositando material para crear las formas deseadas. La impresión 3D, es el proceso de fabricación aditiva más común y conocido en el mercado, pero otros ejemplos pueden incluir el modelado de soldadura o escultura (mediante la adición de arcilla o materiales similares). Por lo general, el término fabricación aditiva, se aplica sólo cuando el proceso involucra tecnología, es decir, cuando es automatizado o controlado por computadora, lo que garantiza que las piezas se realicen con mayor precisión y eficacia (dentro de ciertas tolerancias). Por lo tanto, en el sentido más estricto, la soldadura por un humano normalmente no se consideraría fabricación aditiva. (Singh et al., 2017)

Una impresora 3D puede producir diversas estructuras, como secciones interiores muy complejas o huecas, que son imposibles de producir utilizando procesos que no sean aditivos. De hecho, la mayoría de las impresiones 3D están hechas a propósito con secciones huecas para reducir el costo, el material y el tiempo de impresión. Con la impresora adecuada, cualquier proyecto que pueda diseñarse en un sistema CAD puede imprimirse con tecnología 3D. En muchos casos, las piezas móviles, como las bisagras, pueden ser creadas directamente mediante la impresión 3D. Incluso es posible producir piezas utilizando múltiples materiales diferentes. La fabricación aditiva también genera menos desperdicio que los procesos sustractivos, ya que el material no necesita ser cortado y/o desechado. Una gran desventaja de la fabricación aditiva es que las piezas a menudo carecen de resistencia al calor o el acabado de la superficie requerido para las piezas finales. Los procesos aditivos generalmente producen pequeños poros en las superficies. Estos

poros debilitan las piezas y pueden provocar contaminación o infección cuando se utilizan en alimentos o aplicaciones médicas. En la tabla 1, se muestran los métodos de manufactura aditiva más utilizados.

Tabla 1-Métodos de manufactura aditiva

<b>Método</b>	<b>Proceso</b>
<b>Laser (Polimerización)</b>	Estereolitografía (SLA)
<b>Laser (Fundición)</b>	Sinterización Selectiva Por Láser (SLS)
	Fusión Selectiva Por Láser (SLM)
	Deposición Directa De Metales (DMD)
	Deposición De Polvo Láser (LPD)
	Revestimiento Láser Selectivo (SLC)
<b>Extrusión (Térmica)</b>	Modelado de Deposición Fundida (FDM)
<b>Inyección de Material</b>	Impresión Tridimensional (3DP)
<b>Adhesivo</b>	Fabricación de Objetos Laminados (LOM)
<b>Rayo de Electrones</b>	Fabricación de Haces de Electrones (EBM)

Fuente: (Bikas *et al.*, 2016)

Los procesos de fabricación aditiva basados en láser utilizan una fuente láser de potencia media a baja para fundir, solidificar o curar el material. Los procesos basados en láser se pueden distinguir en dos subcategorías, según el mecanismo de cambio de fase, a saber, fusión por láser y polimerización por láser. En los procesos de fusión por láser, el material se suministra, en forma de polvo, a un lecho de polvo o mediante boquillas directamente al cabezal de procesamiento. Se utiliza un rayo láser para fundir el material, que luego se enfría y solidifica para que se produzca la pieza. En la polimerización con láser, el material suele ser una resina fotosensible, que se cura tras su exposición a la radiación UV, proporcionada por una fuente de láser de baja potencia. Los procesos de extrusión de material son térmicos y utilizan una boquilla de extrusión calentada para ablandar o fundir material, generalmente plástico, proporcionado en forma de alambre. Después de fundirse, el material pasa por una boquilla de extrusión que deposita el material, que luego se enfría para solidificar y formar la geometría de la pieza final. (Wong & Hernández, 2012)

Los procesos de inyección de material utilizan boquillas delgadas para "pulverizar", de forma controlada, material fundido o más habitualmente un aglutinante (adhesivo) para unir el polvo en un objeto sólido. El principio de funcionamiento del proceso es muy parecido a todos los procesos de fusión por láser, aunque no se produce ningún cambio de fase; en cambio, el aglutinante

mantiene unidas las partículas de polvo. Los procesos basados en adhesivos son de uso limitado en la actualidad. El principio de funcionamiento implica (generalmente un láser) un cortador, que corta una película delgada de papel o plástico en los contornos deseados. A continuación, la película se presiona sobre la anterior mediante un compactador calentado, activando así un adhesivo de curado térmico presente en la cara inferior de la película, para que se adhiera al sustrato. (Wong & Hernández, 2012)

Los procesos de haz de electrones son idénticos a los procesos de fusión por láser, pero en lugar de un haz de láser, se utiliza un haz de electrones como fuente de energía para fundir o sinterizar el material. La EBM es un proceso relativamente nuevo pero de rápido crecimiento similar al SLS, aunque solo es adecuada para la construcción de piezas metálicas. El polvo se funde mediante un haz de electrones alimentado por un alto voltaje, típicamente 30-60 KV. El proceso se lleva a cabo en una cámara de alto vacío para evitar problemas de oxidación. EBM también puede procesar una gran variedad de metales prealeados. En comparación con SLS, EBM puede ofrecer un rendimiento mucho mayor y una distribución del campo térmico más uniforme; sin embargo, la precisión y la calidad de la superficie son menores. (Popescu et al., 2018)

Una de los métodos de manufactura más utilizados es el FDM o también conocido como comúnmente, se expresa "impresión 3D". La técnica FDM utiliza un cabezal móvil, que deposita un hilo de material termoplástico fundido sobre un sustrato. El material se calienta hasta  $1^{\circ}\text{C}$  por encima de su punto de fusión, de modo que se solidifica justo después de la extrusión y posteriormente se suelda a las capas anteriores. El cabezal del sistema FDM generalmente incluye dos boquillas, una para el material de la pieza y otra para el material de soporte. La ventaja del sistema es que puede verse como una instalación de creación de prototipos de escritorio, ya que utiliza materiales baratos, no tóxicos e inodoros, en una variedad de colores y tipos, como acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), ABS médico, PLA, inversión cera de fundición y elastómeros. La simplicidad del proceso FDM, el equipo relativamente barato y las materias primas hacen que su uso sea ideal para los aficionados, así como la producción de piezas de plástico de bajo costo. Sin embargo, la precisión y la calidad de la superficie son relativamente malas en comparación con las de los procesos de AM de plástico en polvo. En la ilustración 8, se muestra el proceso esquematizado de FDM. (Bikas et al., 2016)

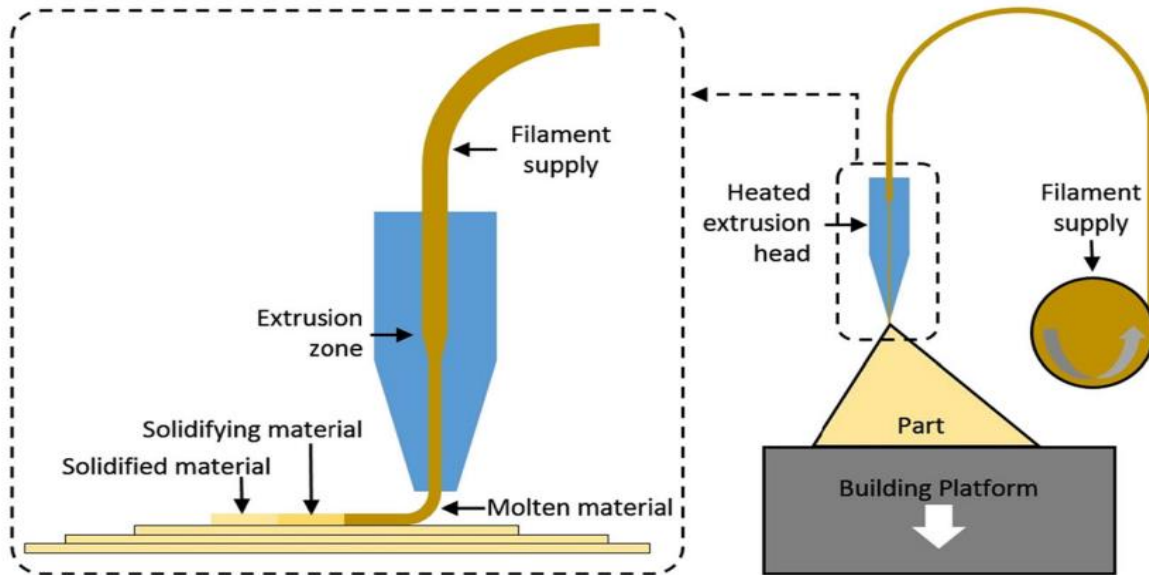


Ilustración 8-Proceso de FDM

Fuente: (Bikas *et al.*, 2016)

Los parámetros utilizados en el proceso FDM influyen sobre la pieza final fabricada, en especial afecta sus propiedades. Los parámetros clave que influyen en las propiedades mecánicas de las piezas FDM son: espacio de aire de trama a trama, ángulo de trama, grosor de capa, densidad de relleno y orientación de construcción. Dada la compleja influencia de estos parámetros en las propiedades mecánicas de la pieza final, es importante centrarse en evaluar su efecto conjunto, ya que corresponde a las condiciones y aplicaciones reales de fabricación. (Popescu *et al.*, 2018)

El comportamiento mecánico de las piezas FDM está determinado por la unión del filamento, todos los parámetros del proceso que afectan, directa o indirectamente, este proceso impulsado térmicamente. Sin embargo, las propiedades mecánicas se ven fuertemente afectadas por algunos parámetros del proceso, mientras que otros tienen un impacto menor. Entre las propiedades mecánicas, la resistencia a la tracción es la que más se evalúa. Se informa que valores más pequeños de espesor de capa y ancho de trama mejoran la resistencia a la tracción. Además, las propiedades mecánicas se mejoran estableciendo un ráster negativo en un espacio de aire de ráster. (Gordelier *et al.*, 2019)

### *3.2.3.2 Manufactura Sustractiva*

La fabricación sustractiva es cualquier proceso en el que las piezas se producen al eliminar el material de un bloque sólido para producir la forma deseada. Esto se realiza principalmente utilizando máquinas de control numérico por computadora (CNC), que utilizan una serie de herramientas que pueden moverse y cortar en tres dimensiones. Los cortadores láser también se utilizan comúnmente para la fabricación de sustracción. El mecanizado de descarga eléctrica (EDM) es otro proceso de fabricación sustractivo. De manera similar al término fabricación aditiva, un proceso como este generalmente se etiqueta como fabricación sustractiva cuando se encuentra automatizado o controlado por computadora. Es decir, el tallado a mano o la operación de un torno, una taladradora o una sierra generalmente no se denominarán fabricación sustractiva. (Okokpujie et al., 2019)

El mecanizado CNC puede producir piezas mucho más fuertes, con mejores tolerancias y acabados más suaves que las técnicas de fabricación aditiva. Esto es especialmente cierto en características como las de los agujeros roscados. Además, se pueden producir piezas metálicas extremadamente duraderas utilizando una máquina CNC. El mecanizado CNC puede requerir un tiempo de configuración considerable. Por esta razón, la fabricación sustractiva puede ser costosa para cualquier cosa que no sean grandes cantidades de piezas. (Sousa et al., 2020)

Con el desarrollo de la informática y la tecnología de la información, las máquinas herramienta de control numérico por ordenador (CNC) han realizado tareas de mecanizado más complicadas. Debido a su capacidad de mecanizado altamente automatizado y su alto rendimiento, las máquinas herramienta CNC se han convertido gradualmente en la opción principal para procesar productos mecánicos que otras máquinas herramientas comunes. Entre el ciclo de vida de los productos mecánicos, la planificación del proceso es importante ya que conecta la etapa de diseño y la etapa de mecanizado. La planificación del proceso proporciona la instrucción sobre el mecanizado de un producto según el diseño del producto y los recursos de mecanizado disponibles. Se podría decir que una buena planificación de procesos puede garantizar la calidad de los productos, el tiempo de procesamiento y la rentabilidad. (Newman et al., 2015)

Los procesos de mecanizado siguen siendo una técnica ineludible en la producción de piezas de alta precisión. El comportamiento de la herramienta es de suma importancia en la productividad y los costes del mecanizado. El rendimiento de la herramienta se puede evaluar por la rugosidad que queda en las superficies mecanizadas, así como por las fuerzas desarrolladas durante el proceso. Existen varias técnicas para determinar estas fuerzas de corte, como la predicción o medición de la fuerza de corte, utilizando dinamómetros y otros sistemas de sensores. Esta técnica ha sido utilizada a menudo por numerosos investigadores en esta área. (Okokpujie et al., 2019)

La evaluación de la fuerza de corte es un tema de investigación crucial porque es muy importante para la comprensión del proceso de mecanizado, proporcionando muchas ventajas en términos de optimización del proceso. Estas fuerzas se pueden obtener principalmente por dos métodos, ya sea empleando un método predictivo o calculando / midiendo estas fuerzas de corte. Aunque existen estudios recientes que muestran que los métodos de predicción proporcionan altos índices de confianza, hay otros que aún requieren una validación adecuada y deben tener un sensor de fuerza de corte para confirmar los valores obtenidos. Sin embargo, estos métodos parecen muy prometedores. (Sousa et al., 2020)

En los protocolos CNC actuales, la producción de piezas a través de software preprogramado está mayoritariamente automatizada. Las dimensiones de una pieza determinada se establecen en su lugar con el software de diseño asistido por computadora (CAD) y luego se convierten en un producto terminado real con el software de fabricación asistida por computadora (CAM). Cualquier pieza de trabajo dada podría necesitar una variedad de máquinas herramienta, como taladros y cortadores. Para satisfacer estas necesidades, muchas de las máquinas actuales combinan varias funciones diferentes en una sola celda. Alternativamente, una instalación puede constar de varias máquinas y un juego de manos robóticas que transfieren partes de una aplicación a otra, pero con todo controlado por el mismo programa. Independientemente de la configuración, el proceso CNC permite la consistencia en la producción de piezas que sería difícil, si no imposible, de replicar manualmente. (Okokpujie et al., 2019)

Existen diferentes tipos de CNC. Las fresadoras CNC pueden funcionar con programas compuestos por indicaciones basadas en números y letras, que guían las piezas a través de varias distancias. La programación empleada para una máquina de molino podría basarse en el código



G o en algún lenguaje único desarrollado por un equipo de fabricación. Los molinos básicos consisten en un sistema de tres ejes (X, Y y Z), aunque la mayoría de los molinos más nuevos pueden acomodar tres ejes adicionales. En las máquinas de torno, las piezas se cortan en una dirección circular con herramientas indexables. Con tecnología CNC, los cortes empleados por los tornos se realizan con precisión y alta velocidad. Los tornos CNC se utilizan para producir diseños complejos que no serían posibles en versiones de la máquina ejecutadas manualmente. En general, las funciones de control de los tornos y fresadoras CNC son similares. Al igual que con el primero, los tornos pueden ser dirigidos por código G o código propietario único. Sin embargo, la mayoría de los tornos CNC constan de dos ejes: X y Z. (Newman et al., 2015)

En un cortador de plasma, el material se corta con un soplete de plasma. El proceso se aplica principalmente a materiales metálicos, pero también se puede emplear en otras superficies. Para producir la velocidad y el calor necesarios para cortar metal, el plasma se genera mediante una combinación de gas de aire comprimido y arcos eléctricos. El mecanizado por descarga eléctrica (EDM), también conocido como mecanizado por hundimiento y chispa, es un proceso que moldea piezas de trabajo en formas particulares con chispas eléctricas. Con EDM, las descargas de corriente se producen entre dos electrodos y esto elimina secciones de una pieza de trabajo determinada. (Newman et al., 2015)

#### *3.2.3.4 Aluminio*

El aluminio es uno de los materiales más utilizados para la fabricación de robots, esto se debe a muchas razones. Física, química y mecánicamente, el aluminio es un metal similar al acero, latón, cobre, zinc, plomo o titanio. Puede fundirse, formarse y mecanizarse de forma similar a estos metales y conduce corrientes eléctricas. De hecho, a menudo se utilizan los mismos equipos y métodos de fabricación que para el acero. El aluminio es un metal muy ligero con un peso específico de  $2,7 \text{ g/cm}^3$ , aproximadamente un tercio del acero. Esto reduce los costes de fabricación con aluminio. Una vez más, su uso en vehículos reduce el peso muerto y el consumo de energía al tiempo que aumenta la capacidad de carga. Esto también reduce el ruido y mejora los niveles de comodidad. (Callister & Rethwisch, 2016)

Su resistencia se puede adaptar a la aplicación requerida modificando la composición de sus aleaciones. Las aleaciones de aluminio-magnesio-manganeso son una combinación óptima de confortabilidad con resistencia, mientras que las aleaciones de aluminio-magnesio-silicio son ideales para las láminas de carrocería de automóviles, que muestran un buen endurecimiento por envejecimiento cuando se someten al proceso de pintura con horneado. (Kalpakjian & Schmid, 2014)

El aluminio genera de forma natural una fina capa protectora de óxido que evita que el metal entre en contacto con el medio ambiente. Es particularmente útil para aplicaciones en las que está expuesto a agentes corrosivos, como en armarios de cocina y en vehículos. En general, las aleaciones de aluminio son menos resistentes a la corrosión que el aluminio puro, excepto las aleaciones marinas de magnesio y aluminio. Diferentes tipos de tratamientos superficiales como anodizado, pintura o lacado pueden mejorar aún más esta propiedad. El aluminio es un excelente conductor de calor y electricidad y, en relación con su peso, es casi el doble de buen conductor que el cobre. Esto ha hecho del aluminio la primera opción para las principales líneas de transmisión de energía. También es un excelente disipador de calor para muchas aplicaciones que requieren que el calor se drene rápidamente, como en placas base de computadoras y luces LED. (Callister & Rethwisch, 2016)

El aluminio es un buen reflector tanto de la luz visible como del calor, y eso unido a su bajo peso, lo convierte en un material ideal para reflectores en, por ejemplo, luminarias o mantas de rescate. Los techos frescos hechos de aluminio revestido son invaluable para reducir el calor solar interno dentro de una casa, al reflejar hasta el 95% de la luz solar. El aluminio es dúctil y tiene un punto de fusión y una densidad bajos. Puede procesarse de varias formas en estado fundido. Su ductilidad permite que los productos de aluminio se formen cerca del final del diseño del producto. Ya sean láminas, láminas, configuraciones geométricas, tubos, varillas o alambres, el aluminio depende de todos ellos. A diferencia del acero, que rápidamente se vuelve quebradizo a bajas temperaturas, el aluminio muestra una mayor resistencia a la tracción a medida que bajan las temperaturas. El papel de aluminio tiene solo 0,007 mm de grosor, pero sigue siendo duradero y completamente impermeable, y mantiene los alimentos envueltos libres de sabores u olores externos. También evita la entrada de rayos ultravioleta. Además, el metal en sí no es tóxico e

inodoro, lo que lo hace ideal para envasar productos sensibles como alimentos o productos farmacéuticos. El hecho de que se pueda utilizar aluminio reciclado también reduce la huella de carbono para esta etapa de los fabricantes de alimentos y bebidas. (Kalpakjian & Schmid, 2014)

## **CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA**

Como menciona el autor Garro (2009) "la metodología de la investigación es el estudio formal de los procedimientos utilizados en la adquisición o exposición del conocimiento, una metodología de investigación se requiere la formulación de los problemas científicos y la aplicación de métodos científicos". Una vez detallado el problema, así como los conceptos que fundamentan la presente investigación. Se prosigue con la metodología usada para obtener los objetivos y alcances establecidos en el planteamiento del problema, capítulo II. En el cuál se detallará los métodos, instrumentos, técnicas y procedimientos que permitieron determinar las mediciones de las variables a investigar.

### **4.1 ENFOQUE**

El enfoque cuantitativo fue el enfoque establecido para la presente investigación. Esto se debe a que las variables a investigar son cuantificables, permitiendo hacer procedimientos basados en la medición de los valores de estas variables, además, de que permite un mayor nivel de control e inferencia. Se describieron, estudiaron y analizaron variables de datos numéricos que afectaron de manera proporcional las bolas de soldadura en la producción de placas electrónicas.

Partiendo del enfoque establecido, se puede afirmar que la presente investigación es de tipo experimental, permitiendo la manipulación de variables en condiciones controladas, replicando un fenómeno concreto y observando en qué grado las variables manipuladas producen algún efecto en la fabricación del robot zoomórfico. Además, se estableció como una investigación longitudinal ya que se caracteriza por realizar un seguimiento a los procesos a lo largo de un período concreto, permitiendo observar la evolución de las características y variables en observación.

### **4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN**

Las variables de investigación son de mucha importancia ya que estos son los objetos de estudio. En la presente investigación, se definieron las variables de investigación mostradas en la ilustración 9.

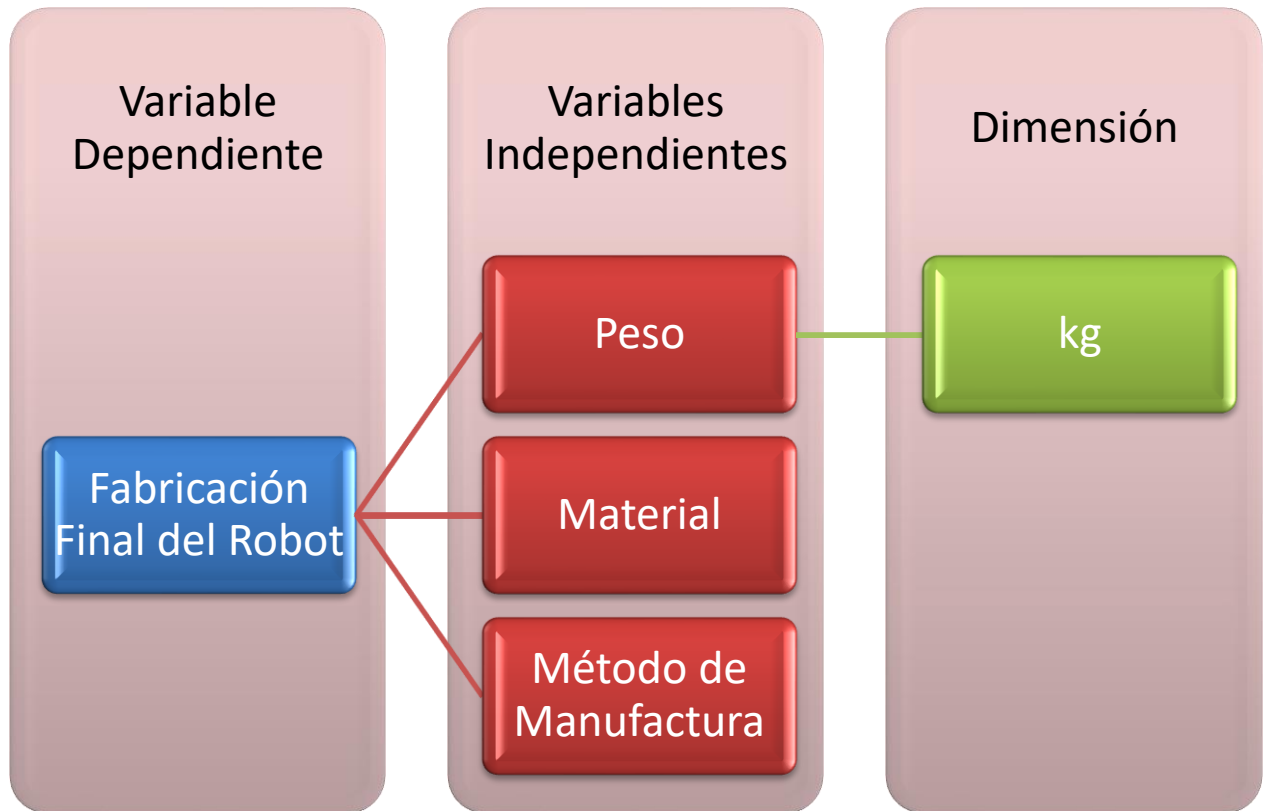


Ilustración 9-Variables de Investigación

Fuente: Fuente Elaboración Propia

#### 4.2.1 VARIABLE DEPENDIENTE

Fue establecida como variable dependiente la fabricación final del robot zoomórfico. Por lo tanto, las demás variables independientes influyen sobre el resultado final de la variable dependiente.

#### 4.2.2 VARIABLES INDEPENDIENTES

Para la presente investigación, se determinaron un total de 3 variables independientes, las cuales se observó que tenían un efecto sobre la variable dependiente de la investigación al momento de que estas fueran manipuladas a través de los experimentos realizados para el cumplimiento de los objetivos y alcance de la investigación.

#### *4.2.2.1 Peso*

El peso es una variable de gran importancia que afecta directamente la fabricación del robot final. Esto se debe a que según el peso del robot se establece la fuerza electromotriz necesaria para lograr movilizar el robot. De igual manera, permite determinar su facilidad de transporte de un lugar a otros. Este valor posee una dimensión de kilogramo (kg).

#### *4.2.2.2 Material*

El material es la segunda variable de importancia que influye sobre la fabricación final del robot. La razón de ello es que de acuerdo el material influye en primera instancia sobre el peso del robot, sobre la resistencia final del robot y de igual manera sobre el método de manufactura a utiliza.

#### *4.2.2.3 Método de Manufactura*

Como última variable de investigación independiente se consideró el método de manufactura a utilizar para cada una de las piezas fabricadas. Esto varía según el material a utilizar que afecta sobre el peso final del robot fabricado.

### **4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS**

La investigación se encuentra sustentada en diferentes fuentes confiables, que proporcionan los cimientos a la investigación y enriquecen los conceptos pertinentes, permitiendo transmitir y comunicar la información en el desarrollo de la investigación. Las fuentes confiables hacen referencia a diversos artículos de revistas académicas y libros que se centren en el tema de la investigación. Antes de fabricar el robot zoomórfico fue necesario el diseño de diversas piezas para la posterior fabricación. Se utilizaron técnicas de fundición para la fabricación de ciertas piezas. De igual manera, fue utilizado procesos de modelado por deposición fundida como ser la impresión 3D para la fabricación final de ciertas piezas que componen el robot zoomórfico.

### **4.4 MATERIALES**

Para la fabricación del robot zoomórfico fue necesario el uso de diversos materiales. Inicialmente para la fabricación fue necesario el uso de diversas maquinarias de manufactura aditiva como ser

impresora 3D y de manufactura sustractiva como el fresado. Y como materiales de fabricación fueron utilizados el aluminio y el plástico.

#### 4.5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

Con el fin de realizar la fabricación del robot zoomórfico, además de responder a los objetivos y el alcance de la investigación planteados con anterioridad. Se siguió una metodología de estudio la cual es evolutiva. En la ilustración 10, se muestra la metodología utilizada, la cual está compuesta por diversos pasos diferentes que permitieron el desarrollo correcto del prototipo.

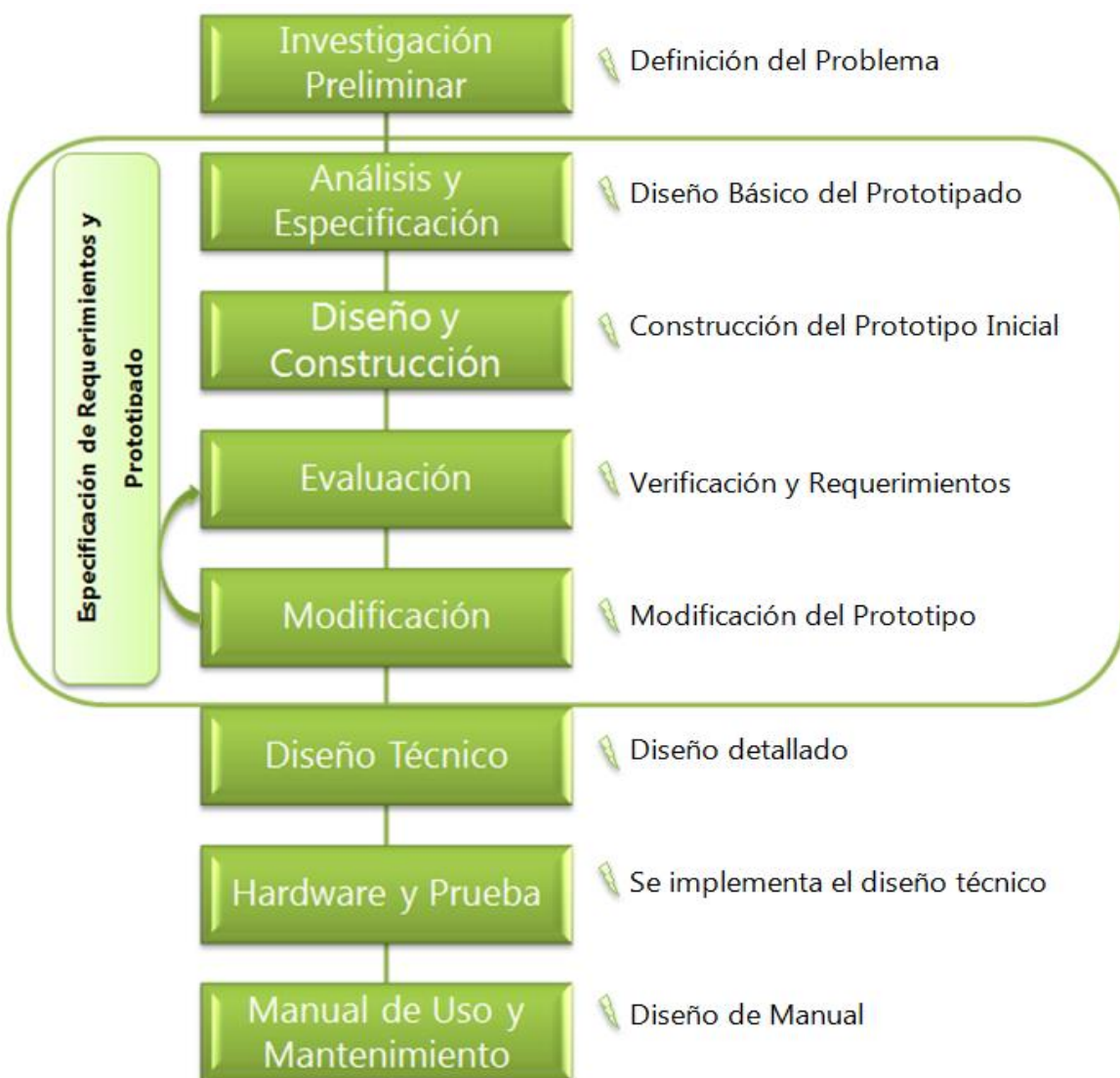


Ilustración 10-Metodología de estudio

Fuente: Fuente Elaboración Propia

### 1) Investigación Preliminar

Se inició con la investigación preliminar, donde se logró definir el problema de la investigación, mostrando diferentes precedentes sobre el problema, de tal forma, establecer los objetivos y el alcance que posee el presente proyecto de investigación. A su vez, se determinó, la manera de dar una solución factible al problema planteado, esto se detalla en el capítulo 2.

### 2) Análisis y Especiación

Luego de establecer la solución, se realizó la etapa de análisis y especificación, en donde se diseñaron las piezas faltantes para la fabricación del robot con el apoyo del software de diseño asistido por computador Solidworks CAD. Se definieron los componentes o materiales, así como sus características, medidas y como todos estos componentes fueron integrados para la fabricación final.

### 3) Diseño y Construcción

Posteriormente, en la siguiente etapa, denominada diseño y construcción. Se realizó la construcción del prototipo inicial del robot zoomórfico, siguiendo los lineamientos del prototipo diseñado en la etapa desarrollada con anterioridad.

### 4) Evaluación

Una vez construido el prototipo, se le realizó una evaluación de su funcionamiento, teniendo en cuenta las modificaciones hechas en las variables de la investigación, siguiendo una continua observación y análisis de su comportamiento.

### 5) Modificación

Ya registrado los resultados obtenidos a partir de la evaluación al prototipo construido, se analiza el comportamiento de las variables de investigación y si se obtuvo el alcance y objetivos establecidos de la investigación. En el caso de presentarse resultados negativos, se realizan las respectivas modificaciones los parámetros de los materiales utilizados y/o las variables de la investigación con el fin de tener mejores resultados, posteriormente. Se evalúa el prototipo modificado nuevamente y así cíclicamente, hasta conseguir los mejores resultados posibles.



Cuando se obtienen los resultados esperados concluye la parte de especificación de requerimientos y construcción de prototipo.

#### 6) Diseño Técnico

Seguidamente, se genera un diseño técnico, el cual es básicamente, un diseño detallado, que es rediseñado el prototipo para obtener la mejor presentación final del prototipo construido.

#### 7) Hardware y Prueba

Luego, se presenta el hardware y prueba, que son las especificaciones del diseño técnico, para la presentación final del proyecto de investigación.

#### 8) Manual de Uso y Mantenimiento

Finalmente, se concluyó con la etapa de manual de mantenimiento y uso de la maquinaria final, en este manual se detalla cual es el uso apropiado que se le debe dar al diseño técnico final, además, del mantenimiento requerido.

### **4.6 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN**

Con la finalidad de obtener los mejores resultados para la fabricación del robot zoomórfico fue necesario utilizar una metodología de validación. Esta consistió en la realización de pruebas sobre el robot ya fabricado y ensamblado. Se probó su funcionalidad y comportamiento sobre el movimiento y marcha del robot zoomórfico. Para el diseño de las diversas piezas se apoyó en el software Solidworks CAD. Posteriormente, para la fabricación de las piezas, fue necesario apoyarse en diferentes técnicas de manufactura. Principalmente, fue aplicado el modelado de deposición fundida (FDM) parte de la manufactura aditiva para la fabricación de ciertas piezas. De igual manera, se aplicaron técnicas de manufactura sustractiva, referente al maquinado de piezas, principalmente, el fresado. También fueron utilizadas técnicas de soldadura para la fabricación final de robot zoomórfico.

## 4.7 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Para la realización de la presente investigación, fue necesario dividir toda la investigación en diferentes actividades accionadas de manera cronológica, como se presentan en la ilustración 11 a 13.

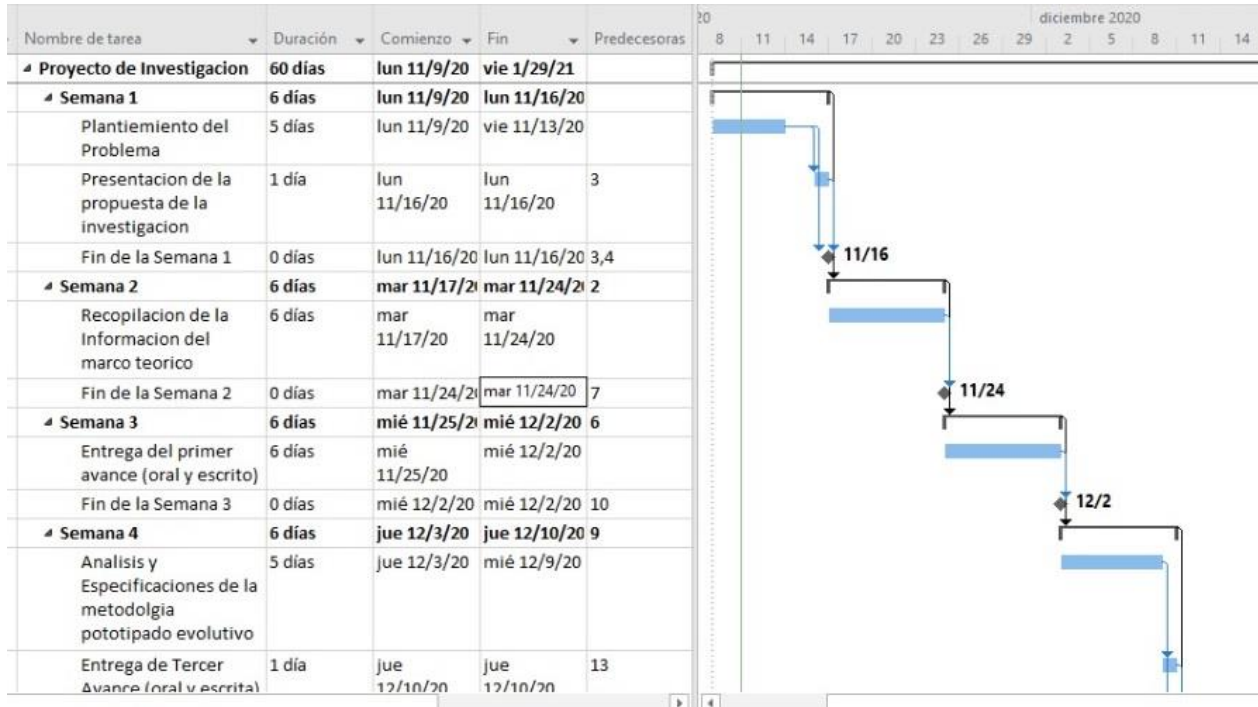


Ilustración 11-Cronograma de actividades parte 1

Fuente: Elaboración Propia

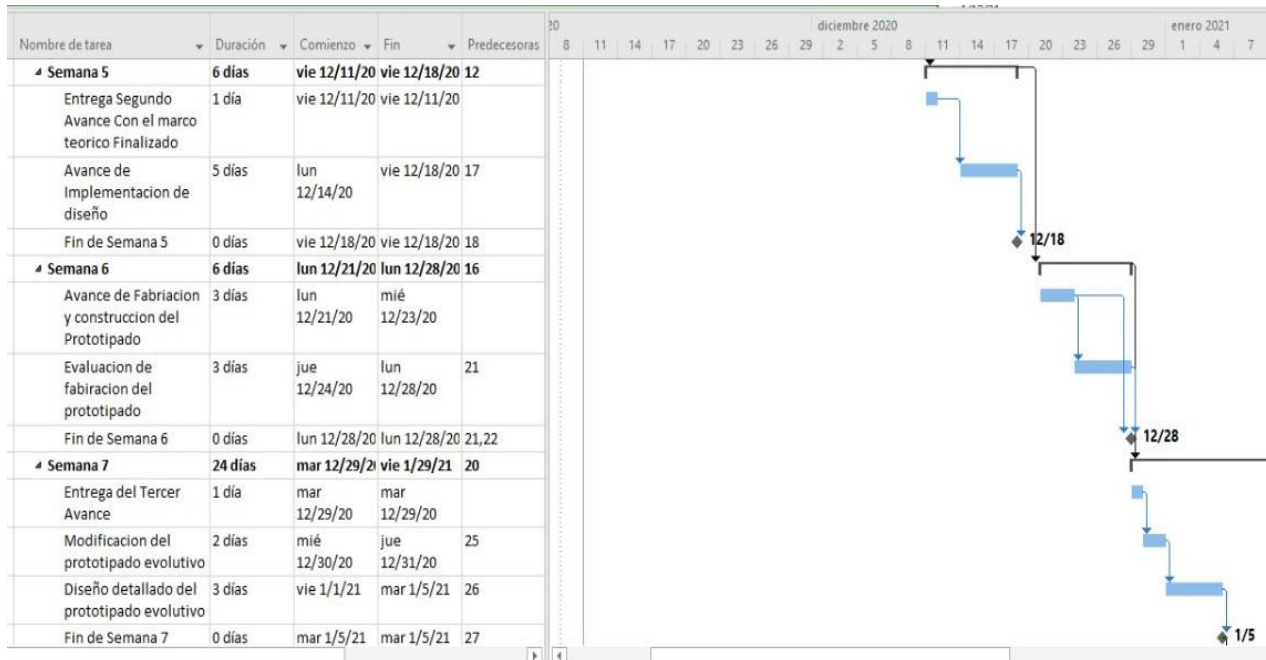


Ilustración 12-Cronograma de actividades parte 2

Fuente: Elaboración Propia

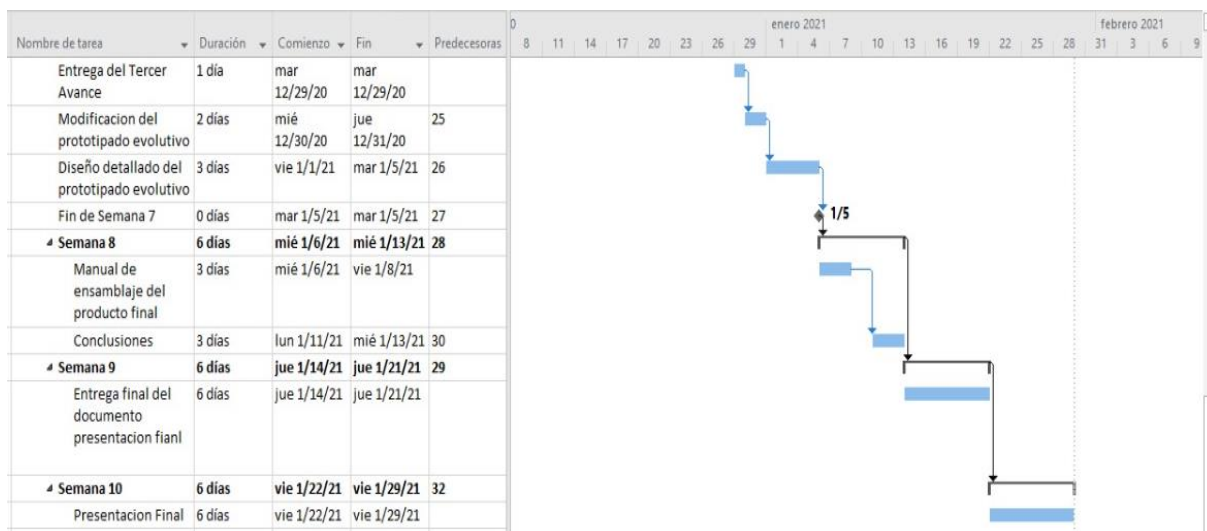


Ilustración 13-Cronograma de actividades parte 3

Fuente: Elaboración Propia

## CAPÍTULO V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el presente capítulo se busca detallar los resultados obtenidos en la fabricación y ensamblaje del robot zoomórfico. Además fueron realizadas diversas pruebas de movimiento para obtener el mejor resultado en el robot. Para la ejecución de estas pruebas se utilizó el software SolidWorks a través de su herramienta de SolidWorks Motion, herramienta especializada para estudios de movimientos para un diseño realizado.

### 5.1 DISEÑO DEL ROBOT ZOOMÓRFICO

El diseño tridimensional fue realizado con ayuda del software SolidWorks, el cual permitió asignar las medidas y parámetros deseados con el fin de obtener el mejor resultado. El diseño final fue toda la estructura del robot que permitiera su funcionalidad, se diseñó un ensamblaje en SolidWorks, uniendo todas las partes necesarias para la estructura final, la cual se muestra en la ilustración 14.

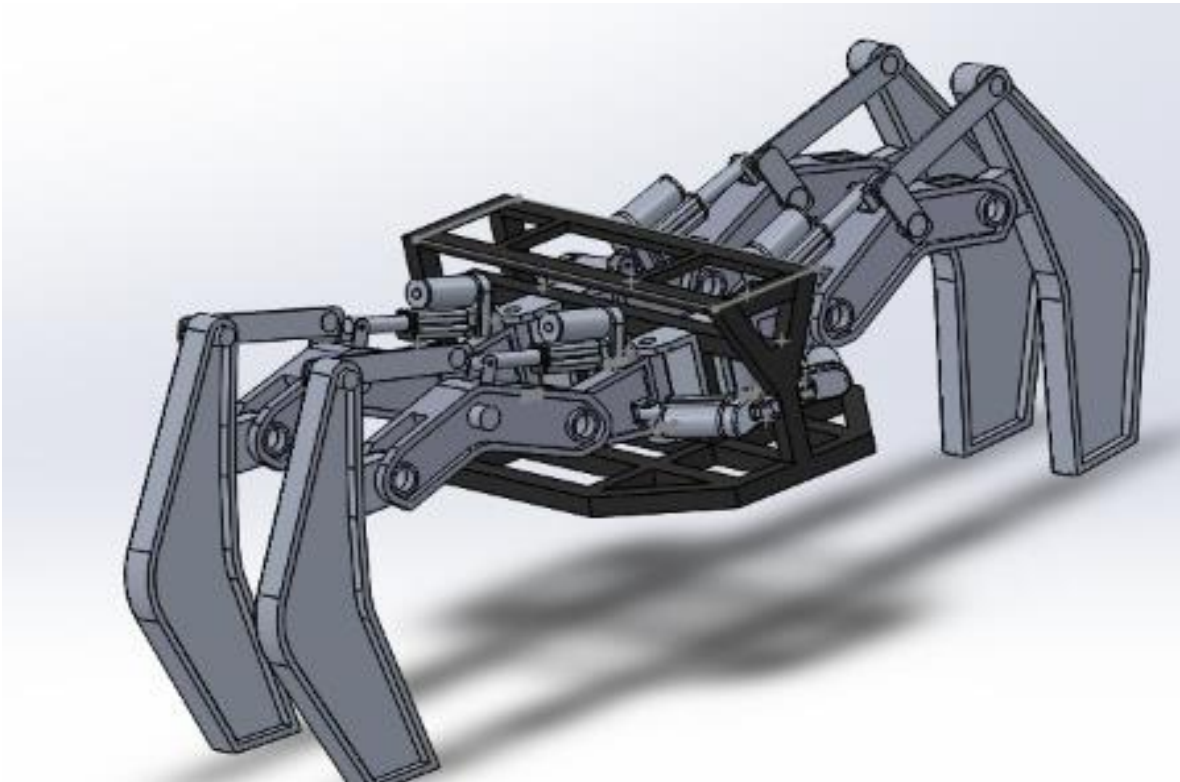


Ilustración 14-Diseño de la estructura final del robot zoomórfico

Fuente: Elaboración Propia

Se puede considerar que la estructura final esta compuestas por dos partes principales, las cuales son el chasis, que es donde todo se encuentra conectado, estructuralmente. Y el resto de la estructura que permite la característica de movilidad del robot, formando así cada una de las patas del robot zoomórfico. Es necesaria la revisión del diseño de cada una de las piezas para proceder a su respectiva fabricación.

### 5.1.1 CHASIS

El diseño del chasis es de vital importancia, ya que a través en este se conectan todas las "extremidades" o patas del robot zoomórfico. Por lo tanto, para el diseño de esta pieza se debió considerar diversos aspectos. En primera instancia, se debió considerar que aquí se encuentran ensambladas cada una de las patas. Así que debe ser lo suficientemente resistente para lograr soportar tanto el peso de las patas más el movimiento que estas realizan. En la ilustración 15, se muestra el diseño del chasis desarrollado en Solidworks.

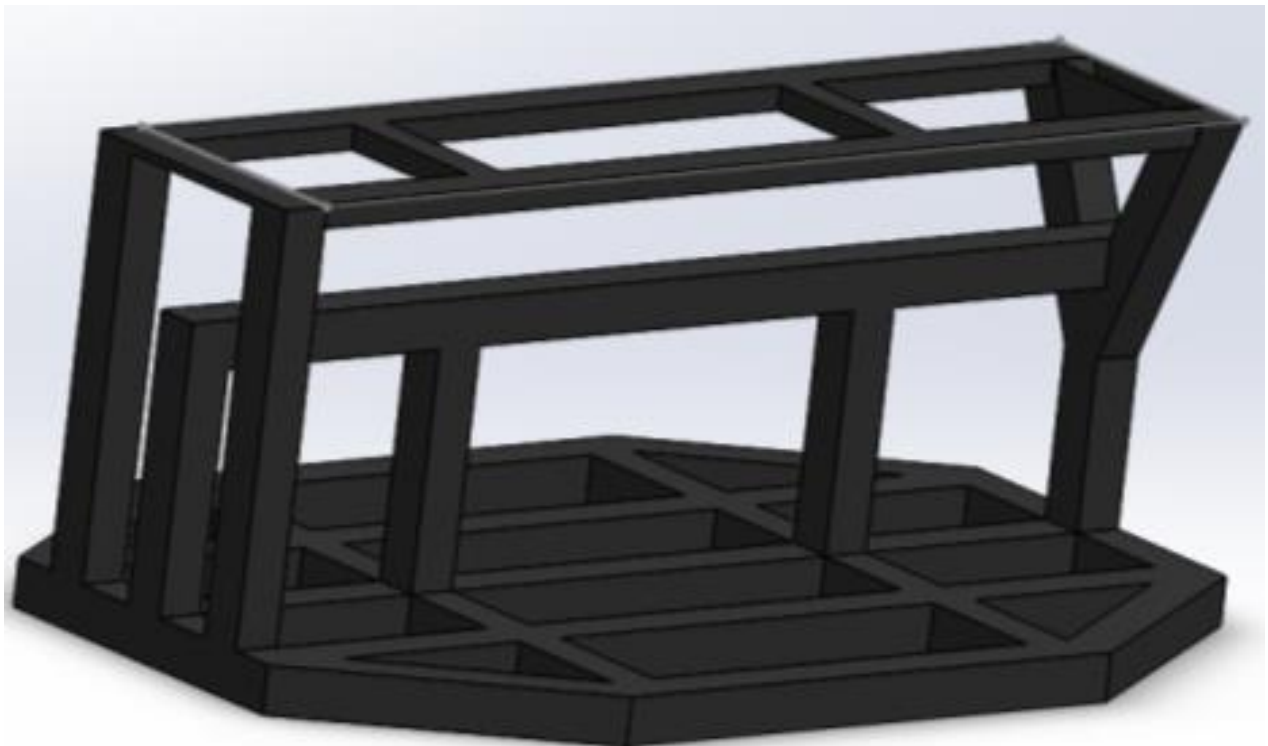


Ilustración 15-Diseño del chasis

Fuente: Elaboración Propia

Además, el chasis fue diseñado para que transportara el sistema de control del robot zoomórfico. En el anexo 1, se muestra el plano del chasis en donde se detallan todas las medidas de cada una de las partes que componen el chasis. En el chasis son colocadas todas las extremidades juntas formando un esqueleto tipo araña.

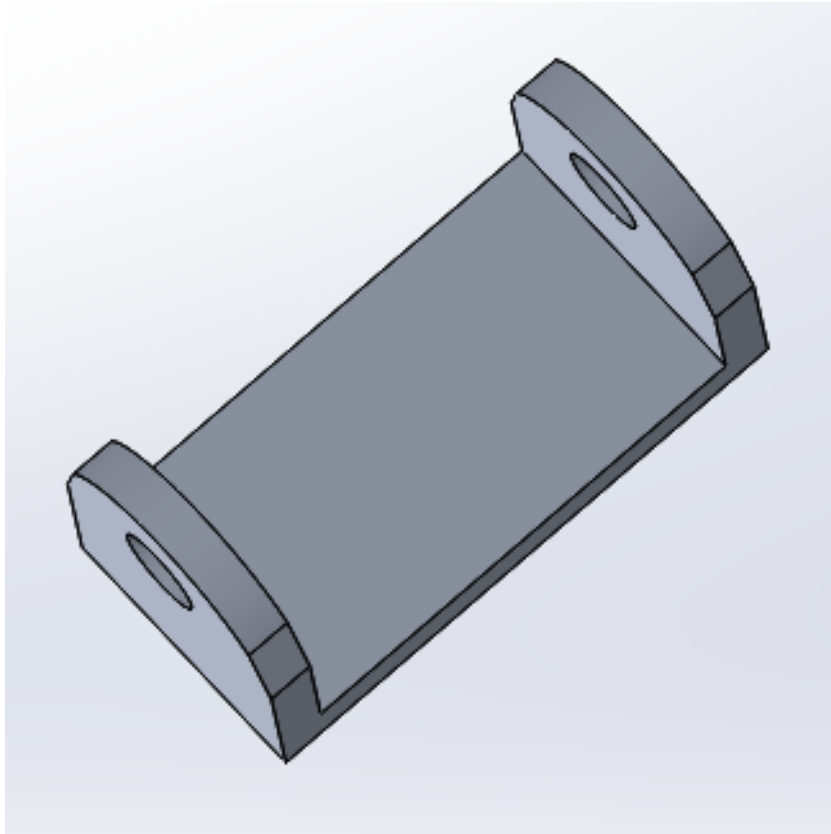


Ilustración 16-Diseño de soporte del coxis

Fuente: Elaboración Propia

Otra pieza diseñada que va en el chasis es el soporte del coxis, mostrado en la ilustración 16. Este soporte del coxis es donde se encuentra conectado el coxis y las siguientes partes como ser la tibia. Además, las siguientes partes, también fueron ensambladas en el chasis para que tenga una mejor sujeción. En el anexo 2, se presenta el plano del soporte del coxis, en donde se detallan todas las medidas de las piezas. Dicho plano sirvió de guía para la fabricación de esta pieza en un proceso posterior del proyecto de investigación.

### 5.1.2 EXTREMIDADES DEL ROBOT

Una vez detallado el diseño de la estructura base, la cual fue el chasis principalmente, Se procede a presentar el diseño de otras de la estructura del robot, las cuales son las extremidades. Dichas extremidades se componen por diversas piezas las cuales fueron diseñadas para dar movimiento al robot, incluyendo el esqueleto tipo araña que posee el robot zoomórfico.

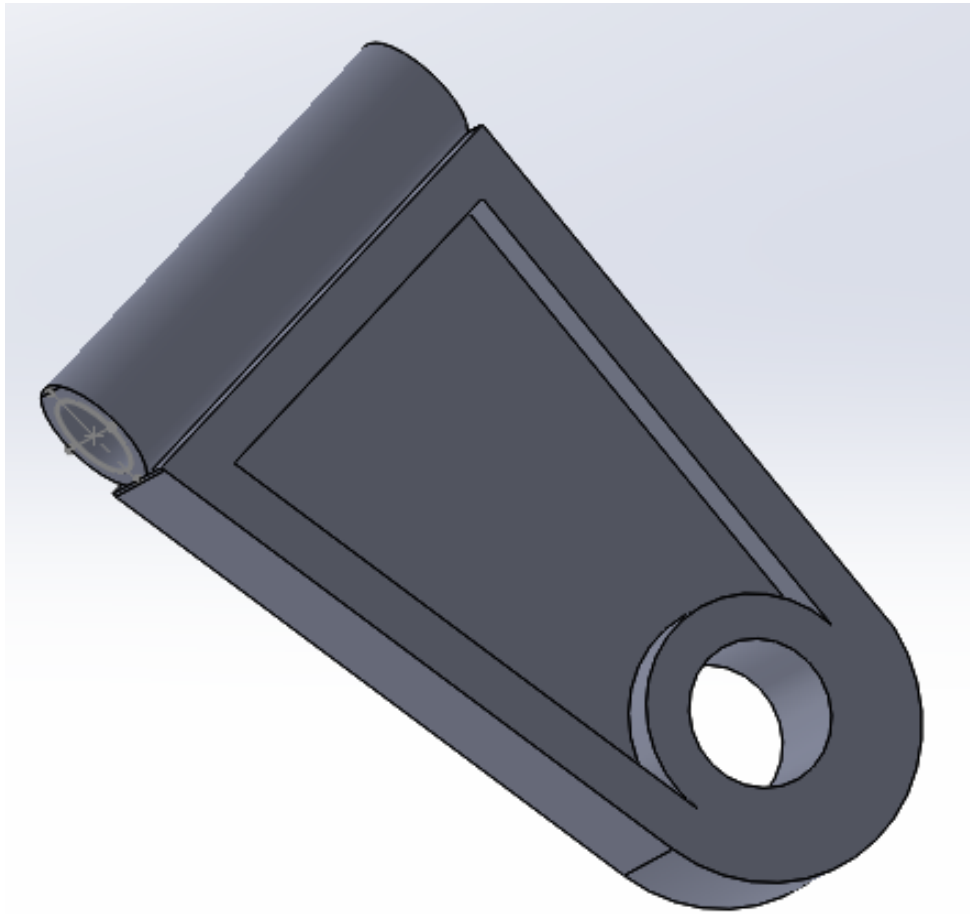


Ilustración 17-Diseño del coxis

Fuente: Elaboración Propia

Una de las piezas que conforma las extremidades del robot es el coxis. El coxis es la pieza que permite ejecutar los movimientos verticales a cada una de las extremidades o patas que se encuentran conectados a ella. En la ilustración 17, se muestra el diseño del coxis que se encontrará

en el robot zoomórfico. Las medidas y especificaciones de la pieza se presentan en el anexo 3, en un plano completamente detallado, el cual fue utilizado para la posterior fabricación de la pieza.

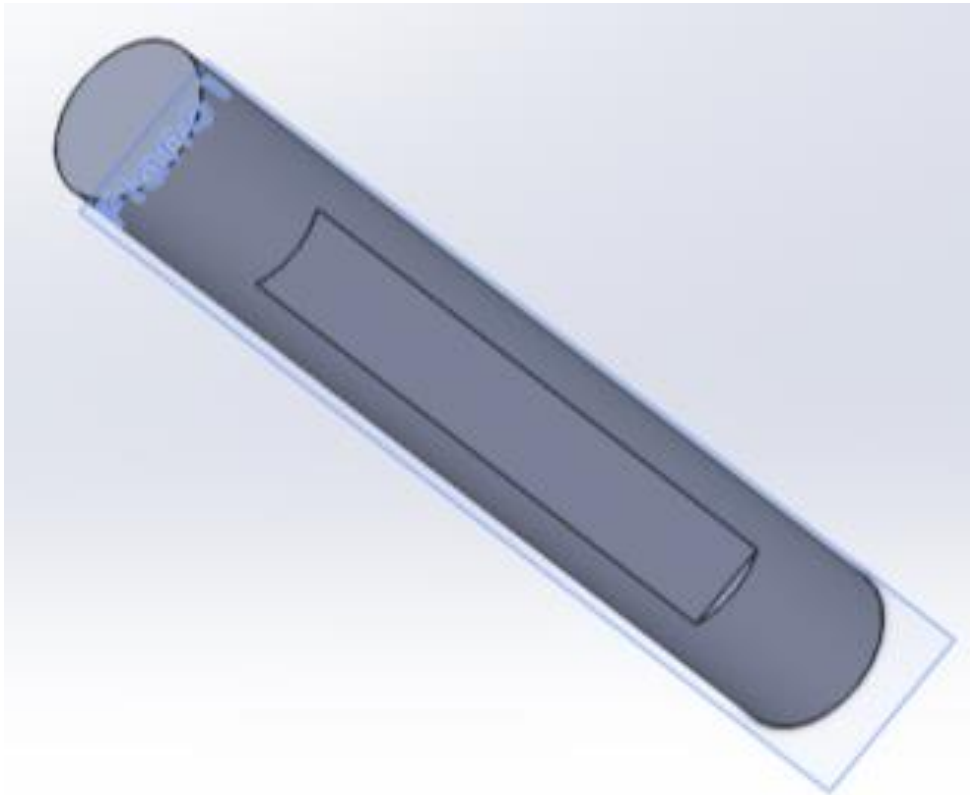


Ilustración 18-Diseño del pin del coxis

Fuente: Elaboración Propia

Con la finalidad de acoplar el coxis con el soporte fue necesario el diseño de un pin que los acoplara, dicho pin fue diseñado y se muestra en la ilustración 18. Esta pieza es una de las de mayor importancia ya que es una de las piezas que recibirá mayor esfuerzo o tensión al momento en que el robot zoomórfico es ensamblado y especialmente, cuando este esté en movimiento. En el anexo 4, se presenta el plano del pin del coxis, en donde se detallan todas las medidas y especificaciones de la pieza. Dicho plano fue necesario para la posterior fabricación de esta pieza.



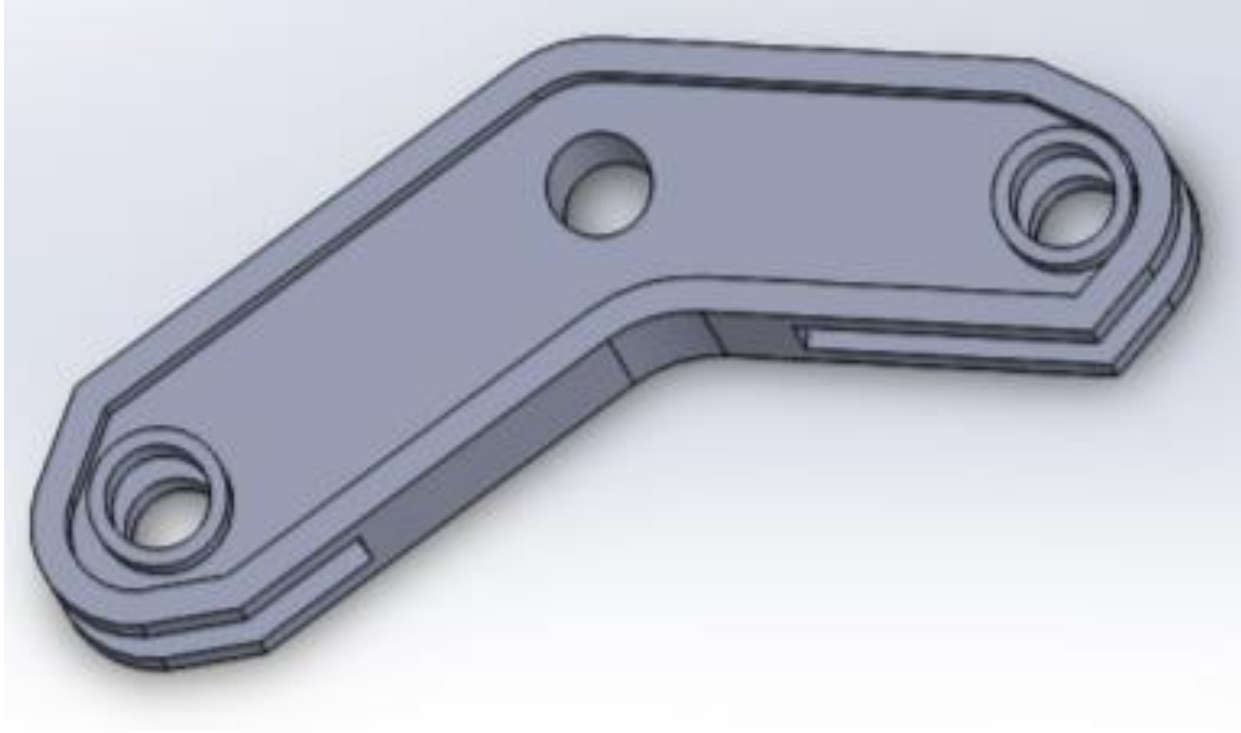


Ilustración 19-Diseño del fémur

Fuente: Elaboración Propia

Otro de las piezas de gran importancia en las extremidades del robot zoomórfico es el fémur, ver ilustración 19. La función de esta pieza consiste en que otorga el movimiento horizontal a cada una de las cuatro extremidades que posee el robot. El fémur se encuentra interconectado entre el coxis y la tibia. Estos tres componentes son las principales piezas que conforman cada una de las extremidades del robot. Como se mencionó, esta pieza permite el movimiento horizontal de las extremidades, es otorgo al robot con esqueleto tipo araña la facilidad de rotación en su movimiento o marcha. Las especificaciones y medidas de la pieza fémur se encuentran descritas en su respectivo plano mostrado en el anexo 5.

Con la finalidad de acoplar el fémur con las demás piezas para formar una extrimidad, fue necesario el diseño de una pieza que lo permitiera. Por esta razón, fue diseñado un pin para acoplar el fémur con el resto de los componentes del robot. El diseño de esta pieza se muestra en la ilustración 20.

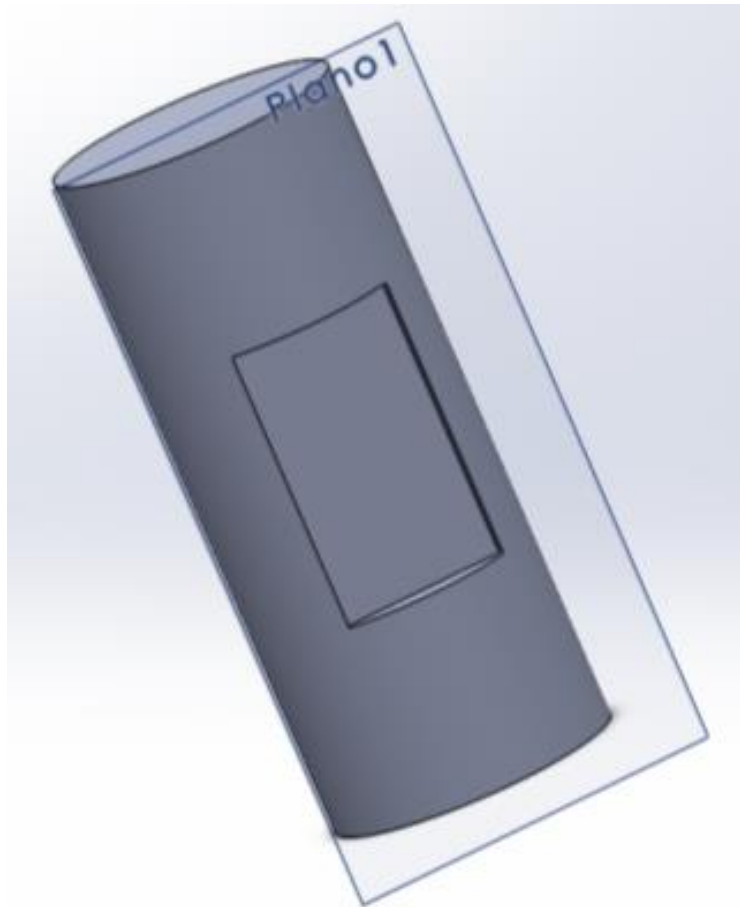


Ilustración 20-Diseño del pin para el fémur

Fuente: Elaboración Propia

El pin para acoplar el fémur es una de las más importantes al momento de su fabricación, ya que en donde se encuentra esta pieza es una de las ubicaciones donde recibe una mayor cantidad de esfuerzo o tensión en el robot zoomórfico. Las especificaciones y medidas de esta pieza se detallan en el plano del anexo 6.

Otra de las piezas principales que conforman las extremidades es la tibia. La función de esta pieza o componente es la que estar en contacto con la superficie por la cual se desplaza el robot directamente. El diseño de esta pieza se muestra en la ilustración 21.

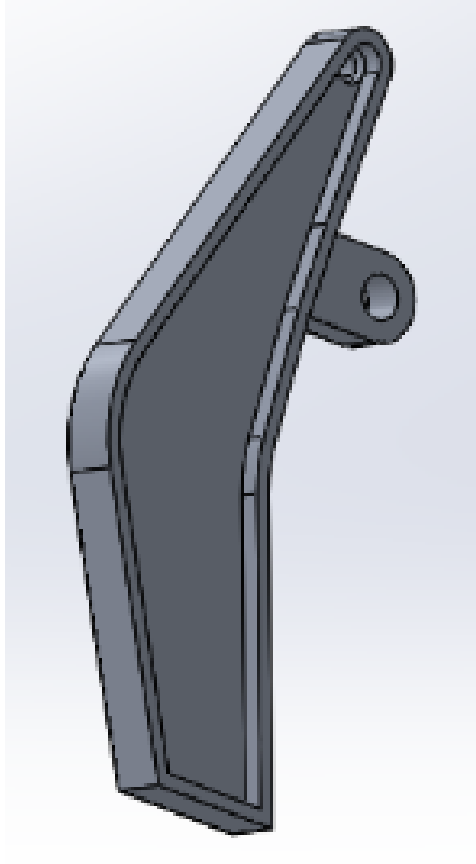


Ilustración 21-Diseño de la tibia

Fuente: Elaboración Propia

La pieza mostrada en la ilustración 21 es una de las más importantes de la extremidad del robot, ya que esta es la que se encuentra en contacto con la superficie, por lo tanto, es en donde se distribuye el peso total del robot, en la tibia de cada una de las 4 extremidades del robot zoomórfico. En el anexo 7, se muestra el plano de esta pieza en donde se detalla las medidas y especificaciones de la pieza utilizadas para la posterior fabricación de la pieza.

## 5.2 ANÁLISIS DE ESFUERZOS

Con la finalidad de determinar que el aluminio es el material adecuado para la fabricación del robot zoomórfico, referente a las propiedades mecánicas, fueron realizados diversos estudios de esfuerzos sobre las piezas entonces se concentran la mayor cantidad de esfuerzo o donde recae la mayor cantidad de peso del robot. Estos componentes son la tibia que se encuentra en contacto

directo con la superficie por donde se desplaza el robot, los pines tanto del coxis como del fémur ya que son los componentes que se encargan de acoplar las diversas piezas, por ende, aquí se concentra un mayor esfuerzo.

### 5.2.1 TIBIA

La tibia es una de las partes donde se concentra el peso del robot. Por esta razón se realizaron pruebas de esfuerzo sobre la misma. Específicamente, fueron realizadas tres pruebas, una de esfuerzo sobre la tensión de von mises y sobre el desplazamiento y deformación. En la ilustración 22, se muestran los resultados de la prueba de tensión de von mises de la pieza.

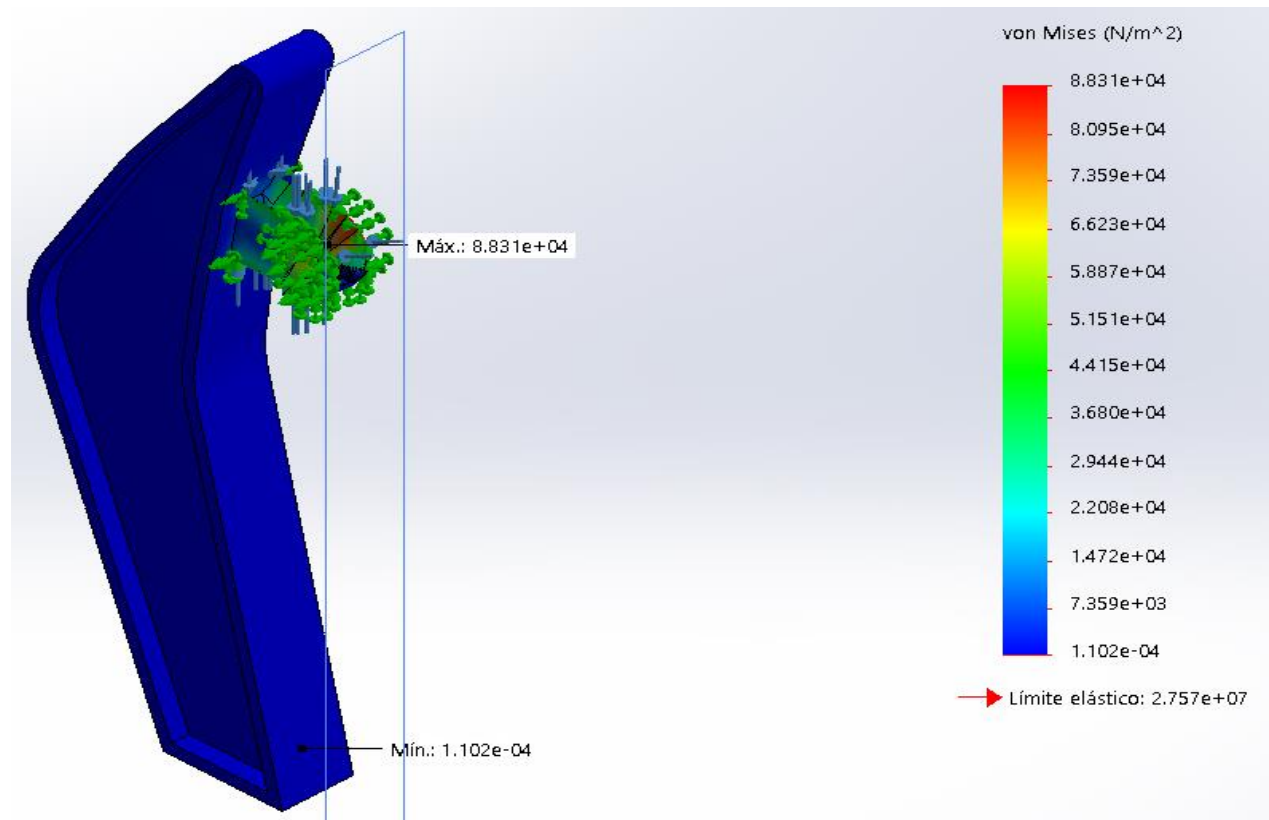


Ilustración 22-Tensión de von mises de la tibia

Fuente: Elaboración Propia

Para la prueba de tensión de von mises mostrada en la ilustración 22 fue aplicada una carga 150 libras. Se estima que el robot zoomórfico fabricado de aluminio llegará a pesar alrededor de 110 libras, por esta razón, se estableció una carga de 150 libras para las pruebas de tensión de von

mises. Los resultados de este estudio demostraron que la tensión máximo obtenido se encuentra en la sección utilizada para el acoplamiento de la pieza con el resto del robot. Específicamente, la tensión máxima obtenida fue de 88.31 kPa. El aluminio aleación 1060 cuenta con un límite elástico de 27.57 MPa. La máxima tensión obtenida es mucho menor que el límite elástico del material, por lo tanto, se puede afirmar que la pieza logrará soportar la carga del peso del robot e inclusive mucho más.

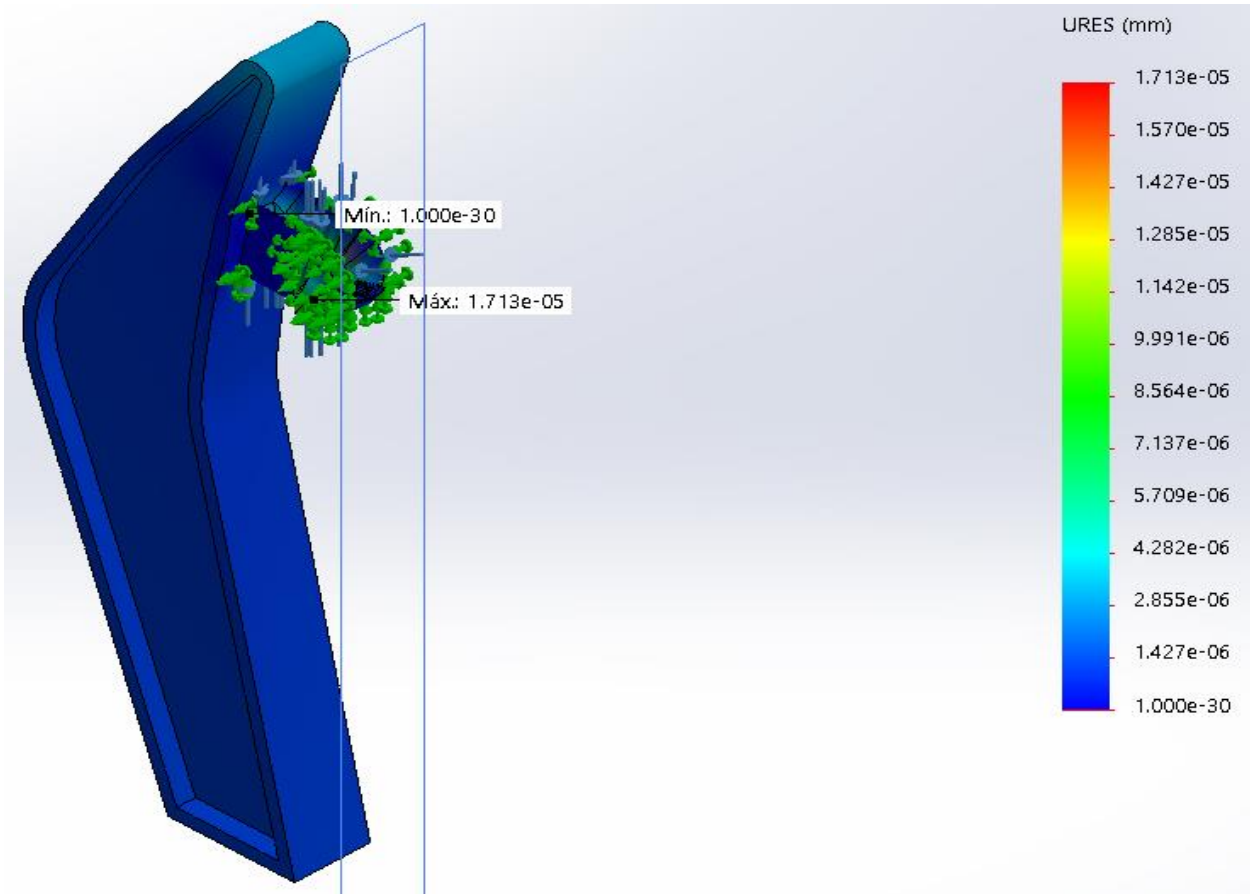


Ilustración 23-Desplazamiento de la tibia

Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente se realizó un estudio de desplazamiento de la tibia, los resultados obtenidos se muestran en la ilustración 23. Los resultados mostraron que en la pieza se presentó el máximo desplazamiento en la sección de la pieza en donde es acoplada con el resto del robot. El máximo

desplazamiento encontrado a causa de la fuerza aplicada fue de una magnitud total de 17.13  $\mu\text{m}$ . Siendo este un valor muy pequeño para causar una falla significativa a la pieza de aluminio.

### 5.2.2 PIN COXIS

Otra de las piezas en donde se concentra un mayor esfuerzo es el pin coxis, ya que este es utilizado para el acoplamiento de dos partes principales de las extremidades del robot zoomórfico. Al igual que la tibia, esta pieza fue sometida a pruebas de esfuerzo para determinar su comportamiento mecánico ante una carga determinada. Fueron realizados las mismas pruebas. En la ilustración 24, se presenta los resultados obtenidos de la prueba de tensión de von mises del pin coxis.

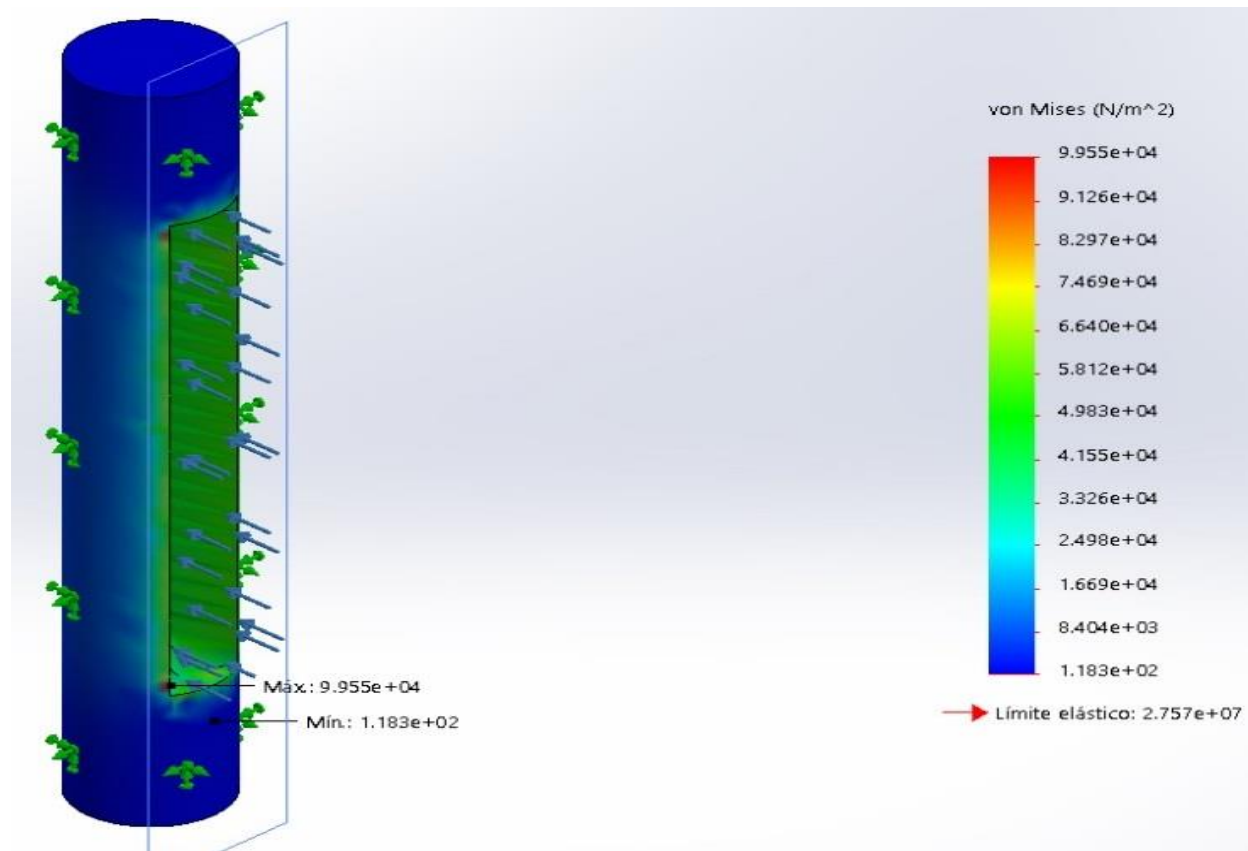


Ilustración 24-Tensión de von mises del pin coxis

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los resultados mostrados en la ilustración 24, la máxima tensión de von mises obtenidas en el pin coxis fue de 99.55 kPa en una de las esquinas de la sección central de la pieza.

El límite elástico del aluminio aleación 1060 es de 27.57 MPa, siendo este valor mucho mayor que la tensión de von mises máxima obtenida. Por lo tanto, hace falta una mayor carga o esfuerzo para que la pieza sufra un fallo crítico.

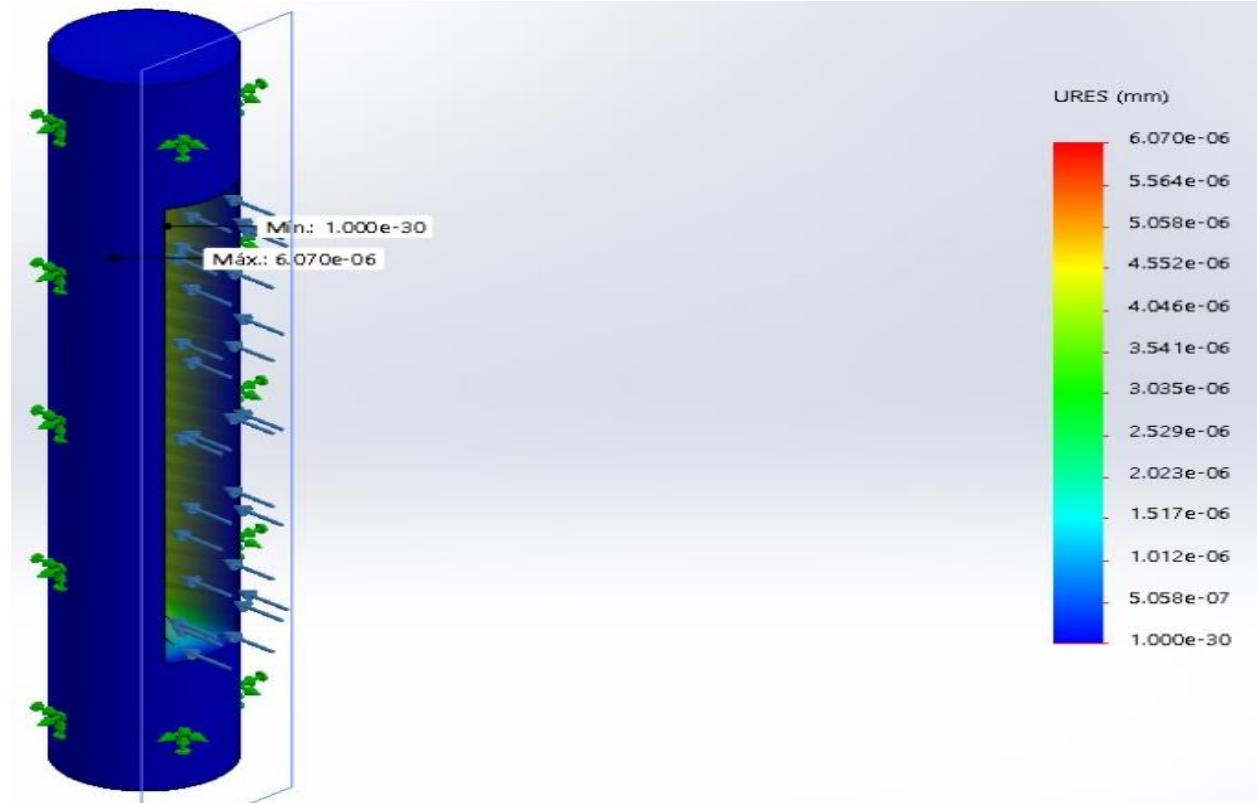


Ilustración 25-Desplazamiento del pin coxis

Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente, se procedió al desarrollo de la prueba de desplazamiento sobre la pieza de pin coxis causado por la tensión o carga aplicada en dicha prueba. Los resultados mostrados en la ilustración 25, muestran que se obtuvo un desplazamiento máximo en la pieza causado por la carga de 6.07  $\mu\text{m}$ . Siendo este desplazamiento un valor muy pequeño que no representa una falla significativa de la pieza en sí. Por lo tanto, se puede afirmar que de acuerdo a las dos pruebas realizadas la pieza de pin coxis puede llegar a soportar 150 libras de esfuerzo e inclusive mucho más sin tener alguna clase de falla significativa o que llegue a su punto de ruptura.

### 5.2.3 PIN FÉMUR

La otra pieza que recibe mayor esfuerzo en el robot zoomórfico es el pin fémur. Este cumple una función muy similar a la del pin coxis, ya que acopla dos piezas que forman cada una de las extremidades del robot zoomórfico. Para las pruebas de esfuerzo realizadas sobre esta pieza se siguieron los mismos lineamientos que las dos anteriores. Se observó el comportamiento de la tensión de von mises y el desplazamiento de la pieza causada por una carga de 150 libras. En la ilustración 26 se muestran los resultados obtenidos de la tensión de von mises del pin fémur causado por la fuerza aplicada.

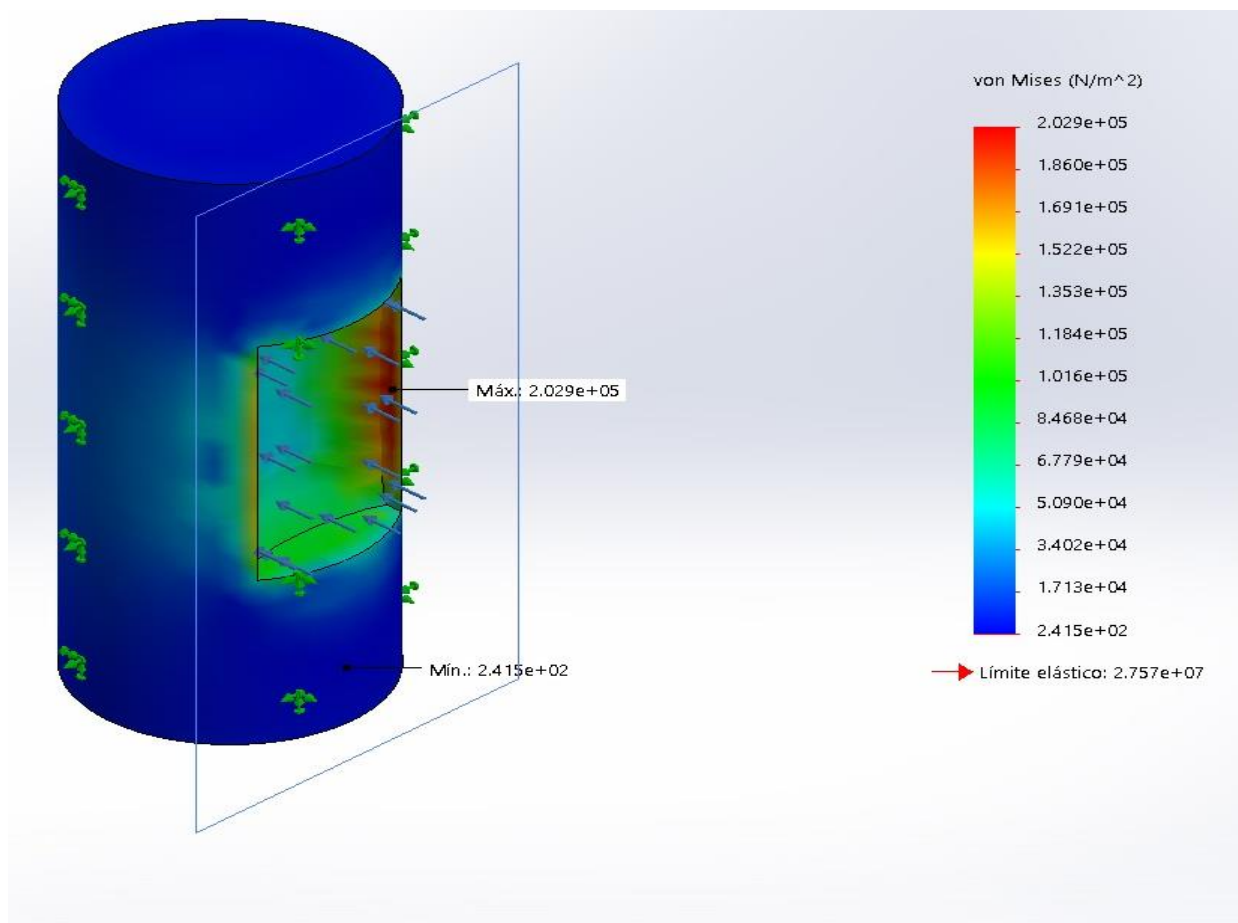


Ilustración 26-Tensión de von mises del pin fémur

Fuente: Elaboración Propia

Según los resultados mostrados en la ilustración 26 la tensión de von mises máxima obtenida fue de 202.9 kPa en una zona lateral de la sección central de la pieza. Esta tensión fue mucho menor



que el límite elástico del aluminio de 27.57 MPa. Por lo tanto, la pieza ante la carga aplicada no presentará ninguna falla mecánica causada por ella. De hecho, la pieza de aluminio 1060 permite una carga mucho mayor sin tener complicaciones.

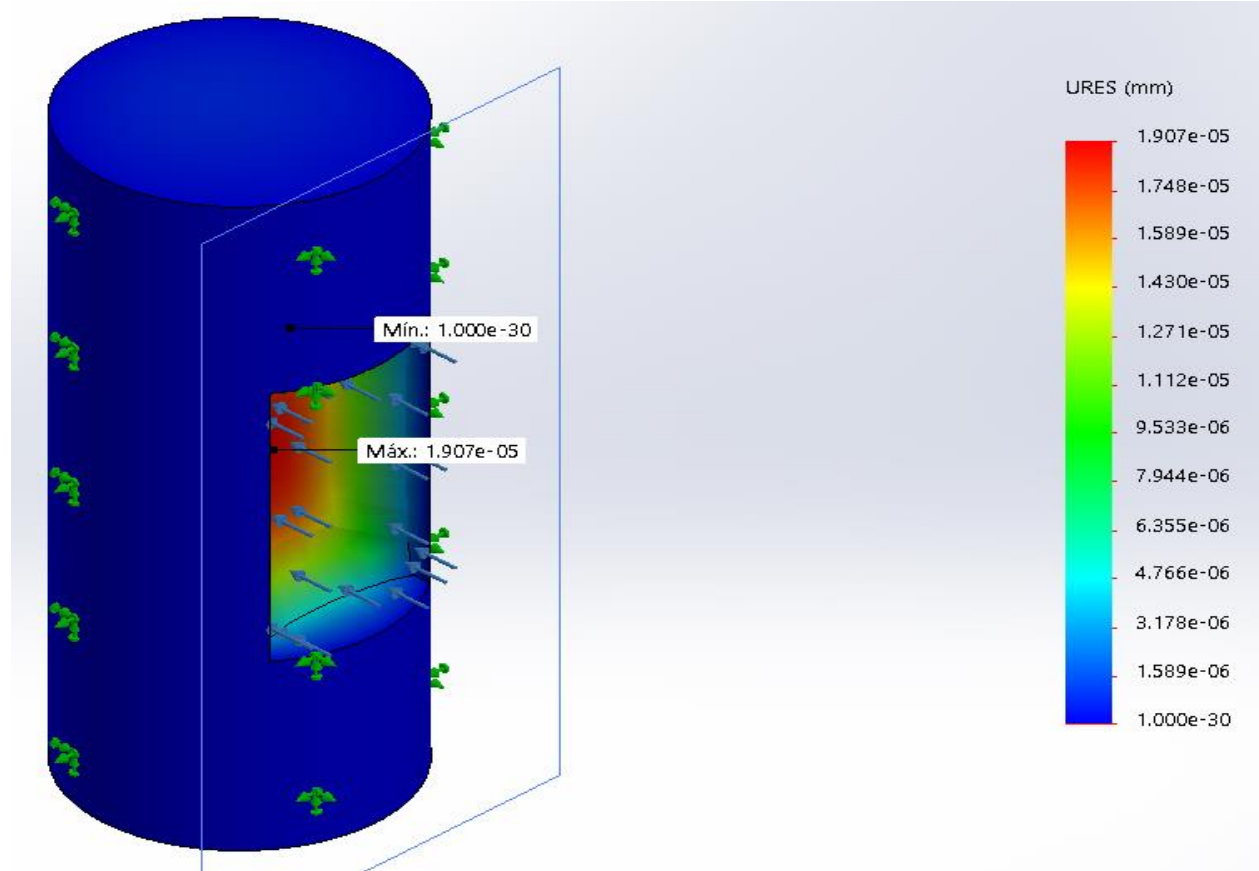


Ilustración 27-Desplazamiento del pin fémur

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 27, se presentan los resultados del comportamiento del desplazamiento de la pieza causados por la carga aplicada. Se obtuvo que el desplazamiento máximo obtenido fue de 19.07  $\mu\text{m}$ . Similar a las piezas anteriores, el desplazamiento causado por la carga aplicada no es lo suficientemente significativo para causar algún tipo de falla sobre la pieza.

## 5.2.4 SUJETADOR DEL ACTUADOR

Por último se realizó un estudio sobre el comportamiento mecánico del tornillo sujetador del actuador. Para esto se aplicó una fuerza de 150 libras. En la ilustración 28, se muestran los resultados obtenidos de la tensión de von mises.

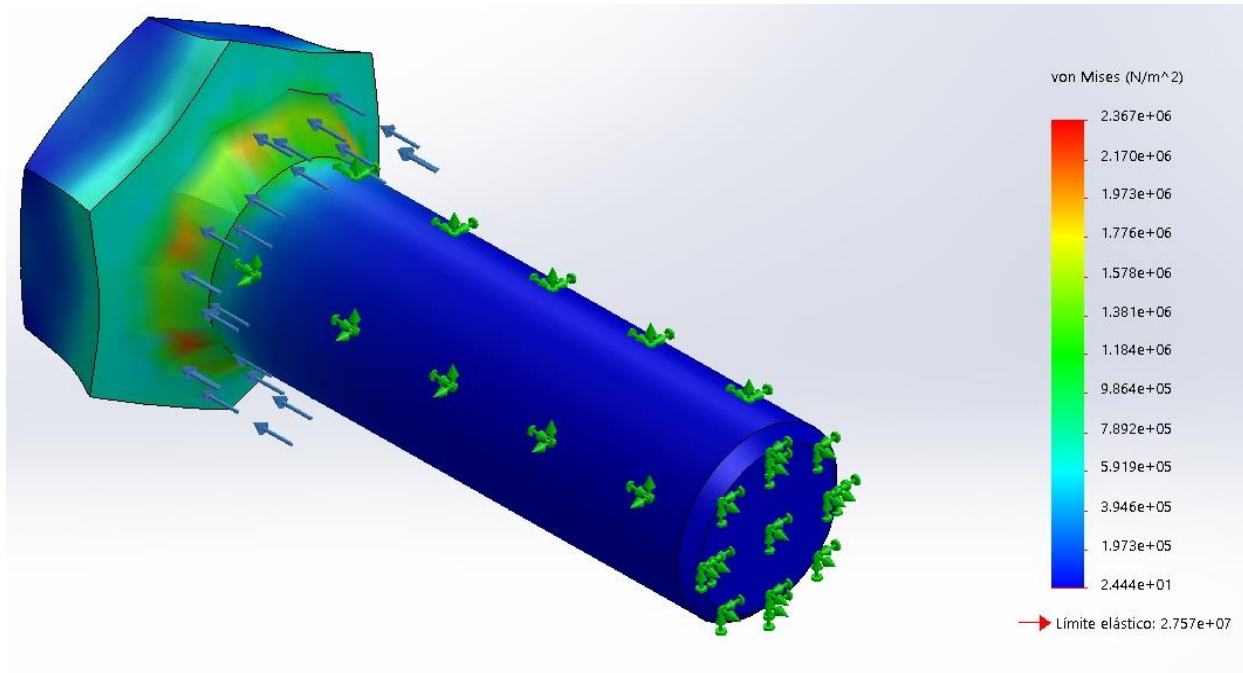


Ilustración 28-Tensión de von mises en el sujetador del actuador

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los resultados obtenidos de la tensión de von mises en el sujetador del actuador mostrado en la ilustración 28, la tensión de von mises máxima obtenida fue hasta de 2.367 MPa. Más de diez veces menos que el límite elástico de la pieza de aluminio. De igual manera, se obtuvo el desplazamiento de todos los puntos del sujetador del actuador, los resultados obtenidos se detallan en la ilustración 29. Se obtuvo un desplazamiento máximo de  $3.477 \times 10^{-4}$  milímetros.

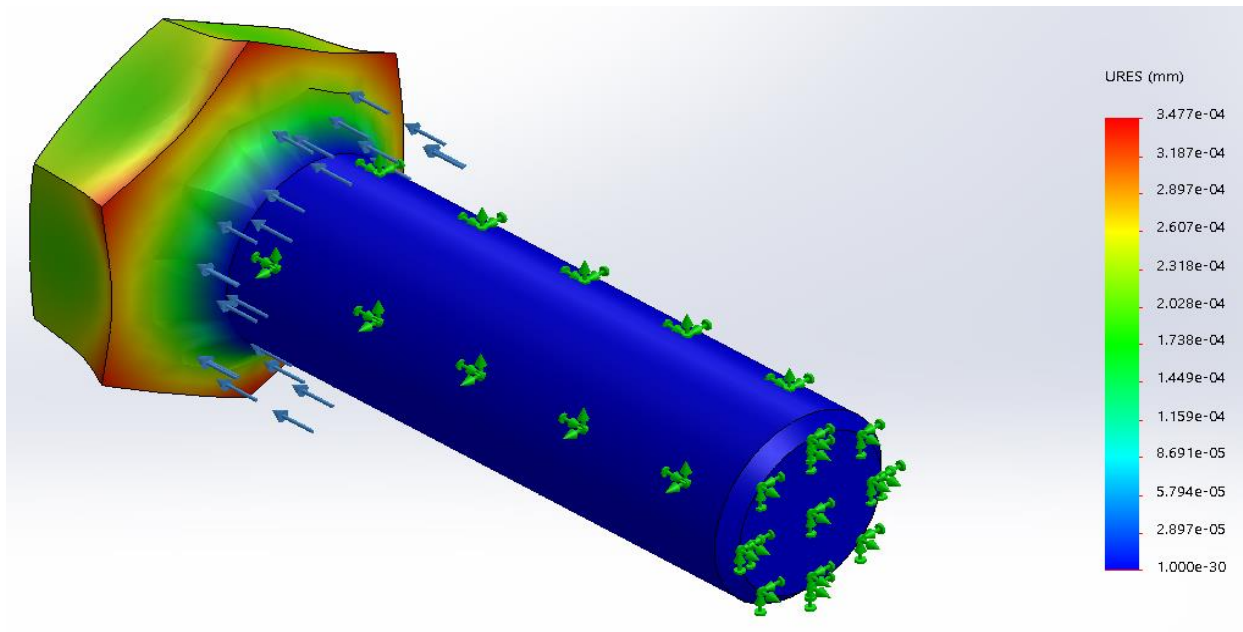


Ilustración 29-Desplazamiento del sujetador del actuador

Fuente: Elaboración Propia

### 5.2.5 RESUMEN

Las piezas que reciben una mayor tensión en el robot diseñado fueron sometidas a una prueba de tensión. Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 2.

Tabla 2-Pruebas de esfuerzo

Pieza	Límite Elástico	Tensión de von Mises Máxima	Desplazamiento Máximo (mm)
<b>Tibia</b>	27.57 MPa	88.31 kPa	$1.713 \times 10^{-5}$
<b>Pin Coxis</b>	27.57 Mpa	99.55 kPa	$6.07 \times 10^{-6}$
<b>Pin Femur</b>	27.57 Mpa	202.9 kPa	$1.907 \times 10^{-6}$
<b>Sujetador del Motor</b>	27.57 Mpa	2.367 MPa	$3.477 \times 10^{-4}$

Fuente: Elaboración Propia

El límite elástico de la pieza depende directamente del material a utilizar, como es en este caso fue utilizado el mismo tipo de material, por lo tanto, el límite elástico es el mismo. La tensión de von Mises máxima obtenida en las primeras tres piezas, tibia, pin coxis y pin, fueron mucho menores que el límite elástico del material. Por esta razón, se considera que la pieza es capaz de soportar la fuerza aplicada en la prueba e inclusive mucho más. Por otro lado, el tornillo del

sujetador del motor si obtuvo una tensión de von mises mucho mayor en comparación que las demás piezas. Sin embargo, siempre sigue siendo menor que el límite elástico del material, pero no posee el mismo nivel de seguridad con respecto a las otras piezas puestas a prueba. De igual manera, el desplazamiento máximo obtenido en cada una de las piezas presenta una magnitud no significativa para causar un daño estructural de la pieza.

### 5.3 ANÁLISIS DE MOVIMIENTO

Con la finalidad de observar el comportamiento del robot al utilizar un actuador o al moverse se realizaron pruebas de movimiento para observar diversas variables. Se observó el comportamiento en dos ubicaciones diferentes, cada una con su respectivo actuador. El primero se encontraba en el soporte del fémur y el segundo se encontraba entre el fémur y la tibia. Inicialmente se observó el desplazamiento angular con respecto al eje z del motor o actuador que da movimiento al soporte del fémur. En la ilustración 30, se presenta el comportamiento del desplazamiento angular.

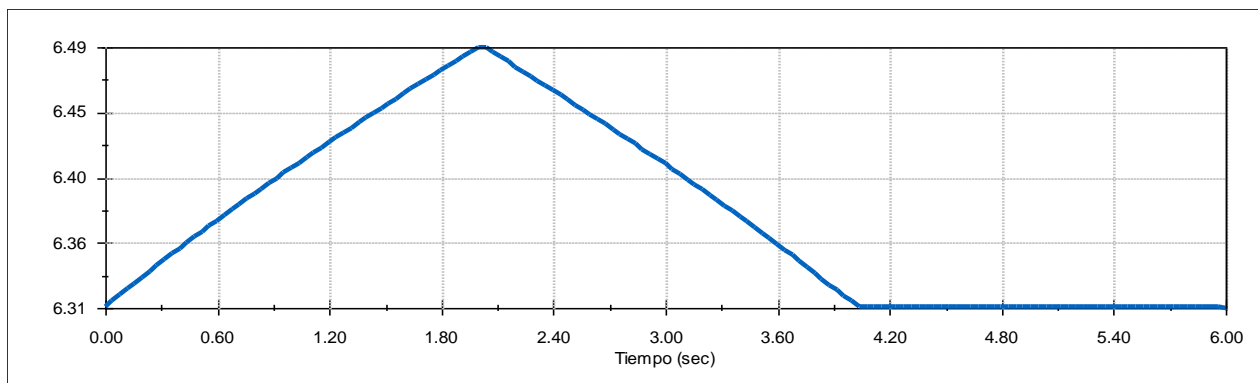


Ilustración 30-Desplazamiento angular en el soporte del fémur

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los resultados obtenidos en la ilustración 28, la magnitud del desplazamiento angular con respecto al eje z posee una pequeña oscilación entre 6.31 a 6.49 grados en los primeros 4 segundos de la simulación. Sin embargo, posteriormente, este se estabiliza a 6.31 grados.

En la ilustración 30, se muestra el comportamiento de la fuerza de reacción que es realizado al momento en que se realiza el primer movimiento, de igual manera es respecto al eje z. Los resultados demuestran que esta fuerza de reacción se mantuvo constante a lo largo de toda la simulación.

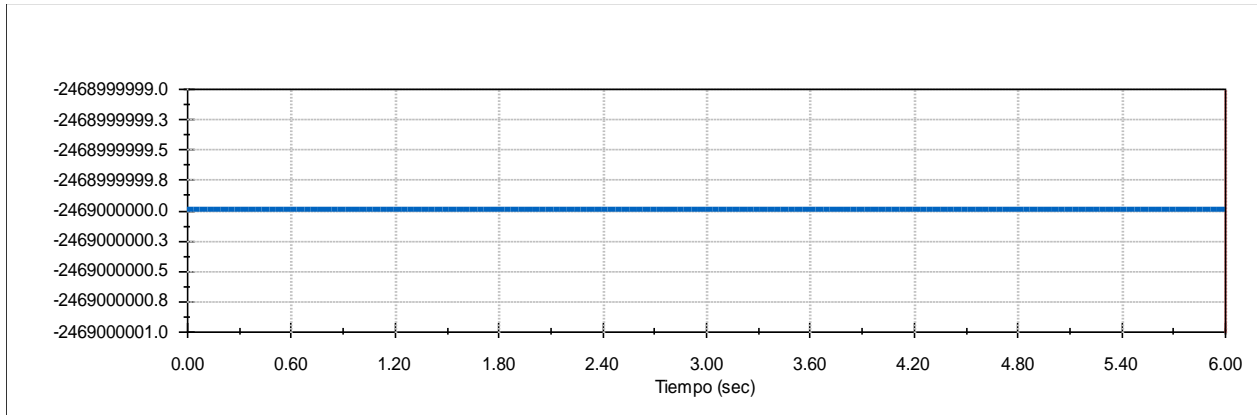


Ilustración 31-Fuerza de reacción en el soporte del fémur

Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente se determinó la velocidad lineal que se obtiene con el actuador ubicado en el soporte del fémur, esta velocidad lineal es medida respecto al eje z. En la ilustración 31, se muestran los resultados de dicha prueba.

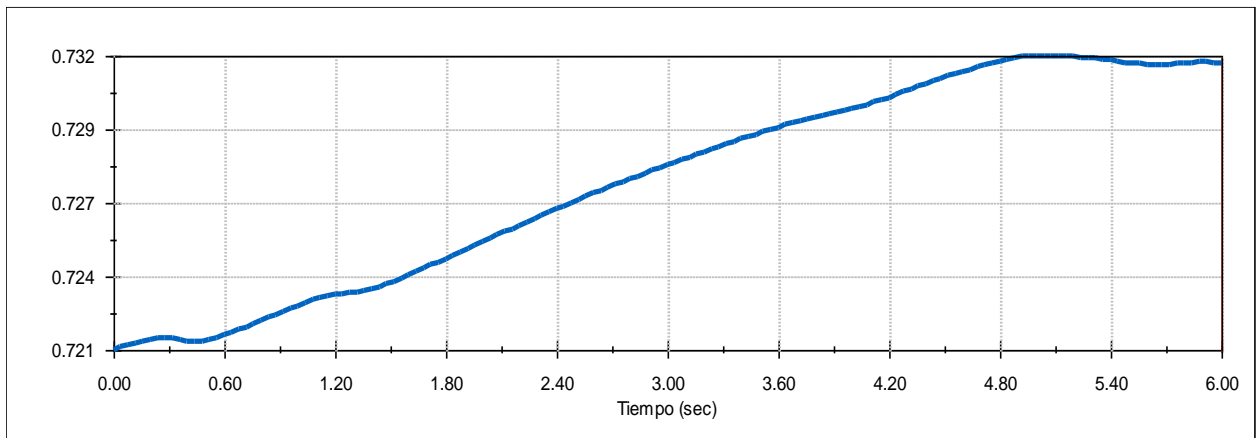


Ilustración 32-Velocidad lineal en el soporte del fémur

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los resultados de la prueba de movimiento mostrada en la ilustración 32, la velocidad lineal, inicialmente, comenzó con 0.721 centímetros por segundo y posteriormente continuó incrementando casi linealmente hasta incrementar un poco más y llegar a 0.732 centímetros por segundo.

Posteriormente se continuaron con las pruebas de movimiento en donde se ubica el otro actuador entre el fémur y la tibia. Inicialmente se determinó la velocidad lineal, mostrada en la ilustración 33.

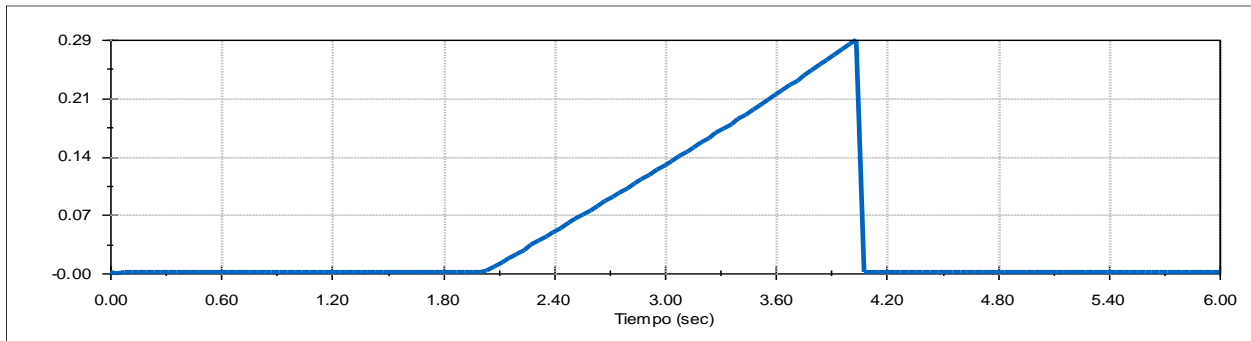


Ilustración 33-Velocidad lineal entre el fémur y la tibia

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los resultados obtenidos en la ilustración 33, la velocidad lineal llegó a alcanzar una magnitud máxima de 0.29 centímetros por segundo. Cabe recalcar que la velocidad lineal obtenida es respecto al eje y.

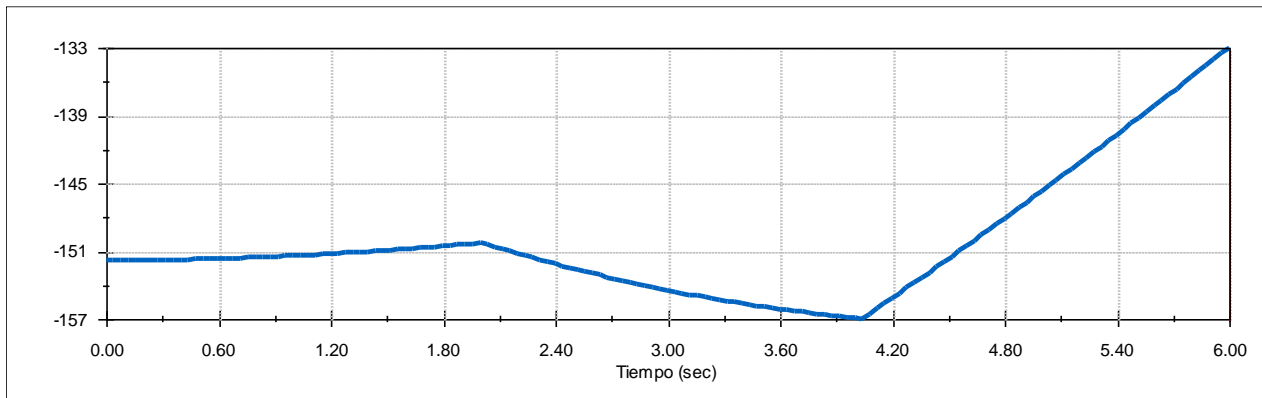


Ilustración 34-Desplazamiento angular entre el fémur y la tibia

Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente se observó el comportamiento del desplazamiento angular con respecto al eje y por el actuador ubicado entre el fémur y la tibia. En la ilustración 34, se muestra los resultados obtenidos sobre el desplazamiento angular. Los resultados indican que a lo largo de la simulación de una duración de 6 segundos, el desplazamiento angular se encontró oscilando entre -157 a -133 grados.

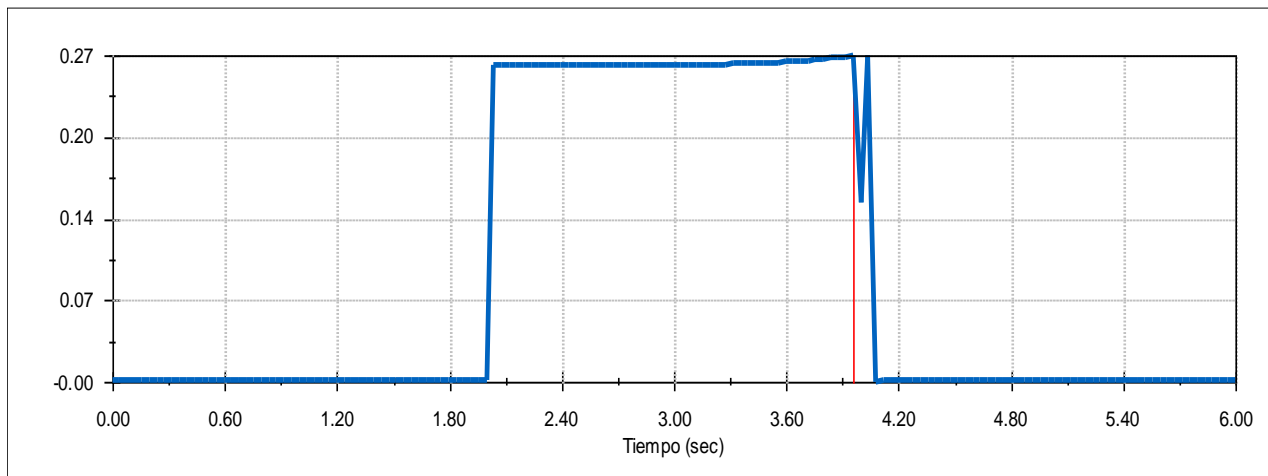


Ilustración 35-Aceleración lineal entre el fémur y la tibia

Fuente: Elaboración Propia

Seguidamente se determinó la aceleración lineal del movimiento generado por el actuador ubicado entre el fémur y la tibia. Los resultados se muestran en la ilustración 35. Estos indican que, inicialmente, no había aceleración lineal por parte del movimiento con respecto al eje y. Sin embargo, casi a los 2 segundos de simulación esta magnitud incrementó rápidamente hasta 0.27 centímetros por segundo al cuadrado por casi 2 segundos y finalmente, este se decrementó hasta cero.

Por otro lado, también fue evaluada la fuerza de reacción que ejerce el actuador ubicado entre el fémur y la tibia para lograr hacer el movimiento con respecto al eje y. Los resultados obtenidos de esta prueba se detallan en la ilustración 36. Se puede en los resultados obtenidos el umbral de fuerza necesario para lograr realizar el movimiento en la simulación de 6 segundos realizada en solidworks.

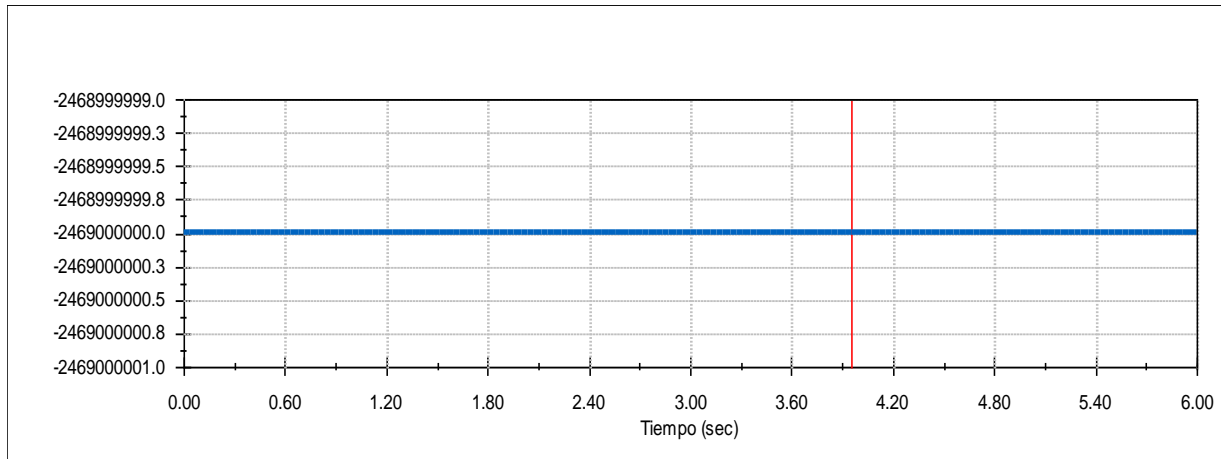


Ilustración 36-Fuerza de reacción entre el fémur y la tibia

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3.1 USO DE RESORTES

Con la finalidad de dar una mejor movilización y mayor facilidad al moverse al robot zoomórfico se buscó la incorporación de resortes sobre el sistema mecánico de movimiento del robot. Por esta razón se incorporó un resorte entre el chasis y el soporte del coxis como se muestra en la ilustración 37.

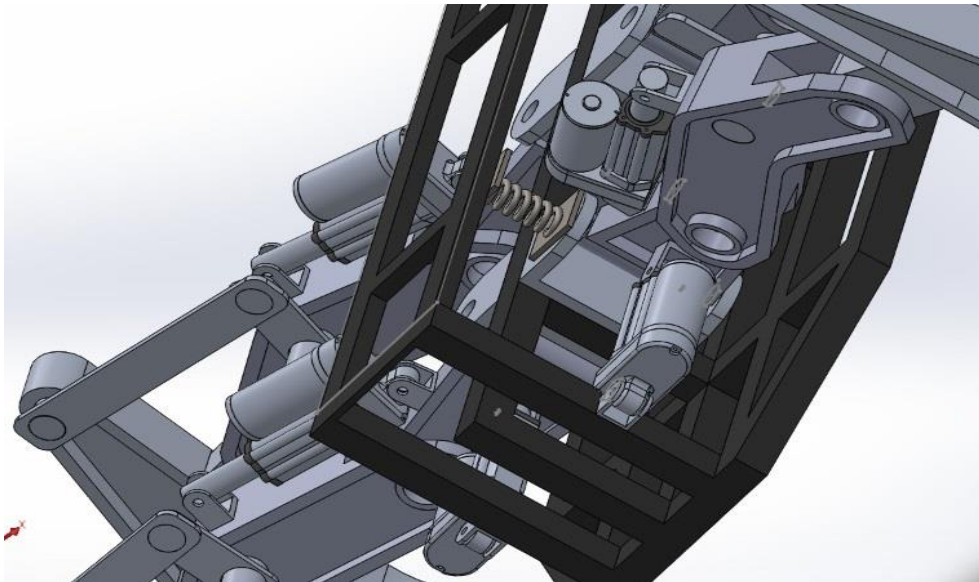


Ilustración 37-Uso de resortes en el robot

Fuente: Elaboración Propia



Para determinar el comportamiento del movimiento del robot con este elemento mecánico incorporado, se realiza una prueba para determinar la fuerza que puede llegar a resistir el actuador con respecto al soporte del coxis. Este resorte posee la función de amortiguar el movimiento del robot zoomórfico. En la ilustración 38, se muestran los resultados obtenidos de esta prueba.

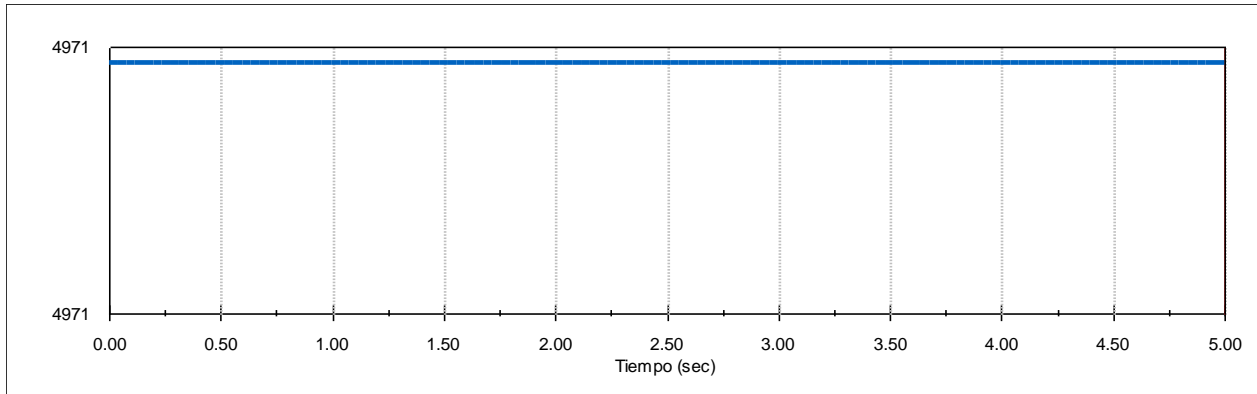


Ilustración 38-Fuerza de reacción con resorte

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los resultados obtenidos en la ilustración 36, la fuerza de reacción obtenido con la incorporación del resorte en el robot de 4971. Se considera que el resorte ayuda mucho para la reducción de las vibraciones de todo el robot. Sin embargo, no tanto para el amortiguamiento, ya que el soporte del coxis se encuentra totalmente fijo.

### 5.3.2 DESPLAZAMIENTO LINEAL DEL ACTUADOR

Finalmente, se evaluó el desplazamiento lineal del actuador, los resultados obtenidos se presentan en la ilustración 39.

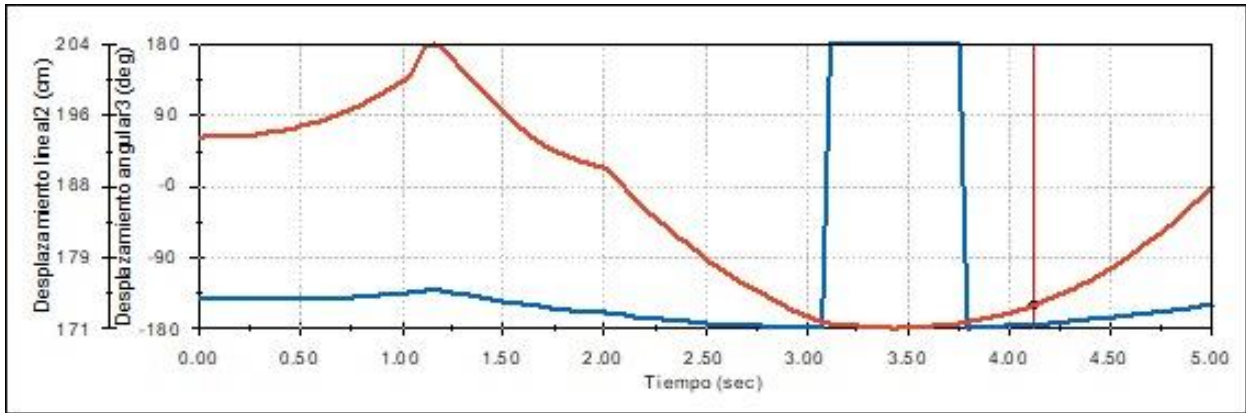


Ilustración 39-Desplazamiento lineal del actuador

Fuente: Elaboración Propia

En el desplazamiento lineal con el eje z, se observa que la pieza se comporta como debería, tomando en cuenta que la piezas no están en contacto con el suelo. Se obtuvo un desplazamiento lineal que varía entre 171 y 204 centímetros.

#### 5.4 ENSAMBLADO

Una vez establecido el diseño a utilizar del robot, con sus respectivos mecanismos y partes que lo conforman, así mismo, el material adecuado para cada parte, se procedió a la fabricación del robot. Se determinó, que todas las partes diseñadas del robot, serán construidas con el material de aluminio. En la ilustración 39, se muestra el diseño del ensamblado final. Se puede observar que el robot zoomórfico cuenta con diversas piezas que pueden ser acopladas en cualquier momento, sirviendo de material didáctico para los futuros estudiantes y poner en practica la teoría.

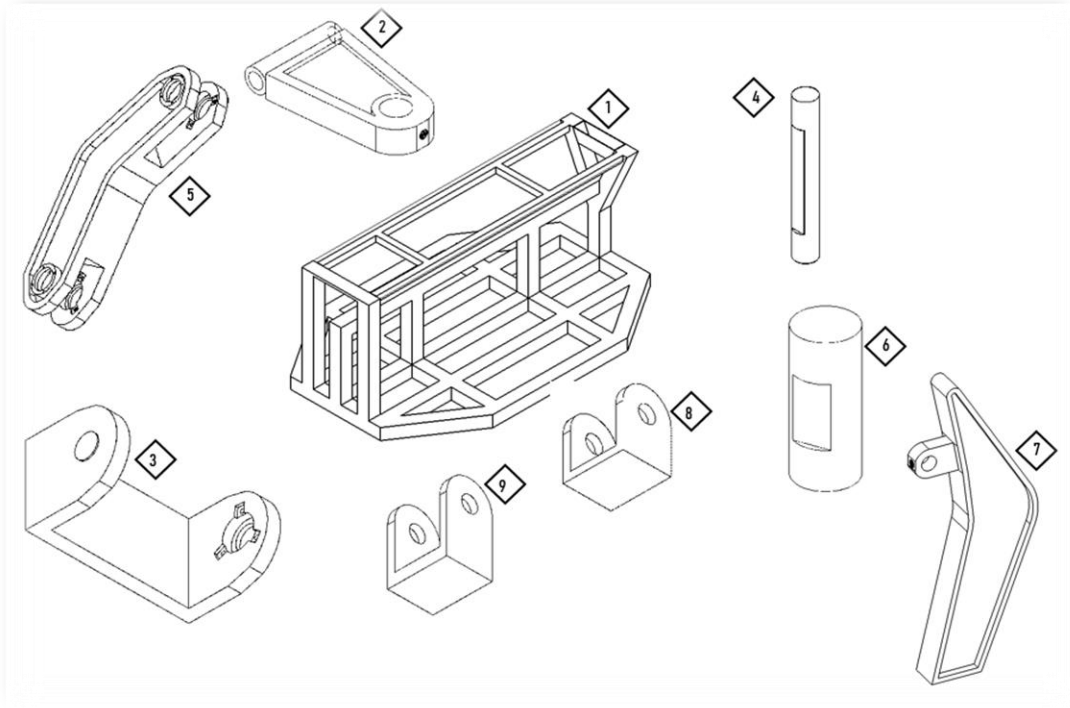


Ilustración 40-Diseño del ensamblado

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 39, se muestra el chasis ya fabricado en aluminio siguiendo el plano de la respectiva pieza.



Ilustración 41-Fabricación del chasis

Fuente: Elaboración Propia

Para la fabricación del chasis se utilizaron tubos de metal cuadrado. Se aplicaron técnicas de manufactura para su fabricación. Principalmente, fueron utilizadas técnicas de soldadura para unión de cada uno de los tubos. Posteriormente, fue fabricada la tibia, mostrada en la ilustración 40. Para la fabricación de esta bien se tomó como guía el plano de la respectiva pieza diseñada con anterioridad. De igual manera, para la fabricación de la tibia, se utilizaron diversas técnicas de manufactura. Sin embargo, principalmente, se utilizó la fundición para la pieza final. Por lo tanto, debido a la naturaleza del proceso de manufactura, esta pieza es una pieza sólida, esto le permite una mayor resistencia a mayores esfuerzos, en comparación que fuera hueca, como se observó con anterioridad en las pruebas de tensión. El material utilizado para la fabricación de fue aluminio aleación 1060.



Ilustración 42-Fabricación de la tibia

Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente fue fabricado el fémur, igualmente, se utilizó la técnica de fundición por molde para la fabricación de dicha pieza. Las medidas y especificaciones para la fabricación de dicha pieza fueron obtenidas del plano obtenido del diseño de la pieza realizado con anterioridad. En la ilustración 41, se muestra el fémur fabricado.



Ilustración 43-Fabricación del fémur

Fuente: Elaboración Propia

Seguidamente, se fabricó otra de las piezas principales del robot que conforma las extremidades, la coxis. Al igual que el fémur, esta fue fabricada a través de la fundición con molde utilizando las

medidas y especificaciones obtenidas del plano de la respectiva pieza. En la ilustración 42, la pieza final ya fabricada.



Ilustración 44-Fabricación del coxis

Fuente: Elaboración Propia

También fueron fabricados los pines del coxis y fémur para acoplar las diversas piezas. Estas piezas fueron fabricadas por fundición de aluminio. En la ilustración 43 se presenta las piezas fabricadas.



Ilustración 45-Pin del fémur y del coxis

Fuente: Elaboración Propia

Una vez fabricadas todas las piezas se procedió al ensamblado del robot zoomórfico. Para esto las piezas fueron unidas a través de la técnica de soldadura. En la ilustración 46, se presenta el proceso de la soldadura de piezas.



Ilustración 46-Piezas de soldadura

Fuente: Elaboración Propia



Finalmente, se acoplaron los actuadores y fueron ensambladas todas las piezas para el construcción del robot zoomórfico. En la ilustración 47, se presenta el robot final del proyecto de investigación.



Ilustración 47-Robot ensamblado

Fuente: Elaboración Propia



## **CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES**

En este capítulo se establece el cumplimiento de los objetivos y las respuestas a las preguntas de investigación establecidas en el capítulo dos.

### **6.1 CONCLUSIÓN GENERAL**

Se logró desarrollar y fabricar una estructura para el robot móvil zoomórfico con un esqueleto de araña con 4 extremidades o patas. Cada parte de la estructura, fue diseñada con el fin de dar mayor resistencia, robustez, y firmeza al robot para cualquier tipo de aplicación que se le dé al robot zoomórfico. Fue utilizada como técnica de manufactura de las piezas, la fundición y soldadura. Partiendo del diseño anterior del robot zoomórfico, se le otorgó la característica de ser desarmable, siendo ideal para fines pedagógicos. Se encontraron pequeños detalles de los paper anteriores que se llegar a resolver para la mejora de la construcción del robot zoomórfico.

### **6.2 CONCLUSIONES ESPECÍFICAS**

- 1) Por medio de los análisis de movimiento realizados con el apoyo del software CAD, SolidWorks, que incluían prueba de velocidad, aceleración, desplazamiento y el respectivo análisis de esfuerzo, tensiones y desplazamiento, se pudo determinar que con el diseño planteado, que el aluminio de aleación 1060 es el adecuado para la fabricación del robot. Ya que se determinó a través de pruebas de esfuerzo, la tensión de von mises y el desplazamiento, de las piezas en consecuencia de una fuerza de 150 libras aplicada sobre la pieza, que poseen la resistencia necesaria para soportar esta fuerza e inclusive mucho más.
- 2) El coxis, el fémur y la tibia son las piezas principales que conforman cada una de las cuatro extremidades del robot. Fueron fabricados de tal manera que se puedan utilizar pines para poder acoplarlos y desacoplarlos en cualquier momento. A causa de esto el robot zoomórfico fabricado cuenta con la facilidad de construcción y portabilidad a pesar de su tamaño.
- 3) El robot zoomórfico de cuatro extremidades ya armado cuenta un peso aproximado de 110 libras. Por lo tanto también se debería de quitar un poco de peso extra ya que todas las piezas son sólidas y una manera de poder revolver eso es haciendo agujero a la tibia.

## **CAPÍTULO VII. RECOMENDACIONES**

Una vez elaboradas las conclusiones y en base a estas se realizan las recomendaciones a la investigación.

- 1) En la actualidad se están dando pasos agigantados a nivel tecnológico, la comprensión y estudio de temas relacionados a los robots que permiten abrir las puertas a un campo laboral y de conocimiento lleno de oportunidades de distinta índole. Por lo tanto, se recomienda más investigaciones sobre el área que permita el desarrollo de robots para diversas aplicaciones, en especial los robots zoomórficos, que son muy útiles para el desplazamiento en terrenos irregulares.
- 2) Con la finalidad de una mayor facilidad de manejo del robot, se recomienda el diseño y fabricación de un robot zoomórfico con características similares, sin embargo, menores dimensiones para facilitar su uso y movilización.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aoi, S., Manoonpong, P., Ambe, Y., Matsuno, F., & Wörgötter, F. (2017). Adaptive Control Strategies for Interlimb Coordination in Legged Robots: A Review. *Frontiers in Neurorobotics*, 11, 39. <https://doi.org/10.3389/fnbot.2017.00039>
- Avello, A. (2014). *Teoría de Máquinas* (Segunda Edición). Tecnun.
- Bikas, H., Stavropoulos, P., & Chryssolouris, G. (2016). Additive manufacturing methods and modelling approaches: A critical review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 83(1), 389-405. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7576-2>
- Bravo Sánchez, F. Á., González Correal, A. M., & Guerrero, E. G. (2017). Interactive Drama with Robots for Teaching Non-Technical Subjects. *J. Hum.-Robot Interact.*, 6(2), 48–69. <https://doi.org/10.5898/JHRI.6.2.Bravo>
- Callister, W., & Rethwisch, D. (2016). *Ciencia e Ingeniería de Materiales* (2a ed.). Editorial Reverté S.A.
- Chang, Y.-S., Chien, Y.-H., Lin, H.-C., Chen, M. Y., & Hsieh, H.-H. (2016). Effects of 3D CAD applications on the design creativity of students with different representational abilities. *Computers in Human Behavior*, 65, 107-113. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.08.024>
- Cuellar, F., Penaloza, C., & Lopez, A. (2016). Educational robots as promoters of cultural development. *2016 11th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, 547-547. <https://doi.org/10.1109/HRI.2016.7451849>
- Daniela, L., & Lytras, M. D. (2019). Educational Robotics for Inclusive Education. *Technology, Knowledge and Learning*, 24(2), 219-225. <https://doi.org/10.1007/s10758-018-9397-5>

- Dupeyroux, J., Serres, J. R., & Viollet, S. (2019). AntBot: A six-legged walking robot able to home like desert ants in outdoor environments. *Science Robotics*, 4(27), eaau0307. <https://doi.org/10.1126/scirobotics.aau0307>
- Durga Prasad, D., & Vasanth Kumar, C. (2020). Structural design of zoomorphic robot. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 912, 032022. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/912/3/032022>
- Faigl, J., & Čížek, P. (2019). Adaptive locomotion control of hexapod walking robot for traversing rough terrains with position feedback only. *Robotics and Autonomous Systems*, 116, 136-147. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2019.03.008>
- Flores Trochez, L. D. (2020). *Manufactura Aditiva en Función de Metales para la Fabricación de un Robot Zoomórfico en Honduras* [Pregrado]. Universidad Tecnológica Centroamericana, San Pedro Sula.
- Frazier, W. E. (2014). Metal Additive Manufacturing: A Review. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 23(6), 1917-1928. <https://doi.org/10.1007/s11665-014-0958-z>
- Gordelier Tessa Jane, Thies Philipp Rudolf, Turner Louis, & Johanning Lars. (2019). Optimising the FDM additive manufacturing process to achieve maximum tensile strength: A state-of-the-art review. *Rapid Prototyping Journal*, 25(6), 953-971. <https://doi.org/10.1108/RPJ-07-2018-0183>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Batista Lucio, P. (2010). *Metodología de la Investigación* (5ta Edición). McGraw-Hill Interamericana.
- IFR. (2020a). *World Robotics 2020: Industrial Robots*. International Federation of Robotics.

IFR. (2020b). *World Robotics 2020: Service Robots*. International Federation of Robotics.

Jones, T., Lawson, S., & Mills, D. (2008). Interaction with a zoomorphic robot that exhibits canid mechanisms of behaviour. *2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2128-2133. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2008.4543521>

Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2014). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología* (5ta Ed). Pearson Educación, S. A.

Kim, S., & Lee, C. (2016). Effects of robot for teaching geometry to fourth graders. *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education (JISME)*, 24(2), 52-70.

Macko, M., Tyszczyk, K., Śmigielski, G., Flizikowski, J., & Mroziński, A. (2018). The use of CAD applications in the design of shredders for polymers. *MATEC Web Conf.*, 157. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815702027>

Mikolajczyk, T., Malinowski, T., Moldovan, L., Fuwen, H., Paczkowski, T., & Ciobanu, I. (2019). CAD CAM System for Manufacturing Innovative Hybrid Design Using 3D Printing. *12th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, INTER-ENG 2018, 4-5 October 2018, Tirgu Mures, Romania*, 32, 22-28. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.178>

Newman, S. T., Zhu, Z., Dhokia, V., & Shokrani, A. (2015). Process planning for additive and subtractive manufacturing technologies. *CIRP Annals*, 64(1), 467-470. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2015.04.109>

Okokpujie, I. P., Bolu, C. A., Ohunakin, O. S., Akinlabi, E. T., & Adelekan, D. S. (2019). A Review of Recent Application of Machining Techniques, based on the Phenomena of CNC Machining Operations. *The 2nd International Conference on Sustainable Materials Processing and*

*Manufacturing, SMPM 2019, 8-10 March 2019, Sun City, South Africa, 35, 1054-1060.*

<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.056>

Polishchuk, M., Opashnianskyi, M., & Suyazov, N. (2018). Walking Mobile Robot of Arbitrary Orientation. *International Journal of Engineering and Manufacturing (IJEM)*, 8(3), 1-11.

<https://doi.org/DOI: 10.5815/ijem.2018.03.01>

Popescu, D., Zapciu, A., Amza, C., Baci, F., & Marinescu, R. (2018). FDM process parameters influence over the mechanical properties of polymer specimens: A review. *Polymer Testing*,

69, 157-166. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2018.05.020>

Romanov, A. M. (2019). A review on control systems hardware and software for robots of various scale and purpose. Part 1. Industrial robotics. *Russian Technological Journal*, 7(5), 30-46.

Sameoto, D., Li, Y., & Menon, C. (2008). Multi-Scale Compliant Foot Designs and Fabrication for Use with a Spider-Inspired Climbing Robot. *Journal of Bionic Engineering*, 5(3), 189-196.

[https://doi.org/10.1016/S1672-6529\(08\)60024-4](https://doi.org/10.1016/S1672-6529(08)60024-4)

Singh, S., Ramakrishna, S., & Singh, R. (2017). Material issues in additive manufacturing: A review.

*Journal of Manufacturing Processes*, 25, 185-200.

<https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2016.11.006>

Sousa, V. F. C., Silva, F. J. G., Fecheira, J. S., Lopes, H. M., Martinho, R. P., Casais, R. B., & Ferreira, L. P. (2020). Cutting Forces Assessment in CNC Machining Processes: A Critical Review.

*Sensors*, 20(16), 4536. <https://doi.org/10.3390/s20164536>

Tedeschi, F., & Carbone, G. (2017). Design of a Novel Leg-Wheel Hexapod Walking Robot.

*Robotics*, 6(4), 40. <https://doi.org/10.3390/robotics6040040>

- Thomas, G., Chien, M., Tamar, A., Ojea, J. A., & Abbeel, P. (2018). Learning Robotic Assembly from CAD. *2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 3524-3531. <https://doi.org/10.1109/ICRA.2018.8460696>
- Tomishiro, K., Huang, Q., Sato, R., Harada, Y., Ming, A., Meng, F., Liu, H., Fan, X., Chen, X., & Yu, Z. (2019). Design of Robot Leg with Variable Reduction Ratio Crossed Four-bar Linkage Mechanism. *2019 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 4333-4338. <https://doi.org/10.1109/IROS40897.2019.8968034>
- Torres-Barahona, E. A., Leon-Medina, J. X., & Pinto-Salamanca, M. L. (2017, agosto). Metodología de análisis de mecanismos y uso de software para su implementación. *XI Congreso Colombiano de Métodos Numéricos*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01715664>
- Trovato, G., Lucho, C., Huerta-Mercado, A., & Cuellar, F. (2018). Design Strategies for Representing the Divine in Robots. *Companion of the 2018 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, 29-35. <https://doi.org/10.1145/3173386.3173388>
- Urrea, C., Cortés, J., & Pascal, J. (2016). Design, construction and control of a SCARA manipulator with 6 degrees of freedom. *Journal of Applied Research and Technology*, 14(6), 396-404. <https://doi.org/10.1016/j.jart.2016.09.005>
- Wong, K. V., & Hernández, A. (2012). A Review of Additive Manufacturing. *ISRN Mechanical Engineering*, 2012, 208760. <https://doi.org/10.5402/2012/208760>
- Zhang, B., Goel, A., Ghalsasi, O., & Anand, S. (2019). CAD-based design and pre-processing tools for additive manufacturing. *New Trends in Manufacturing Systems Research*, 52, 227-241. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.03.005>

Zhang, J. (2019). Structural design of anthropomorphic robot vision system. *Journal of Physics:*

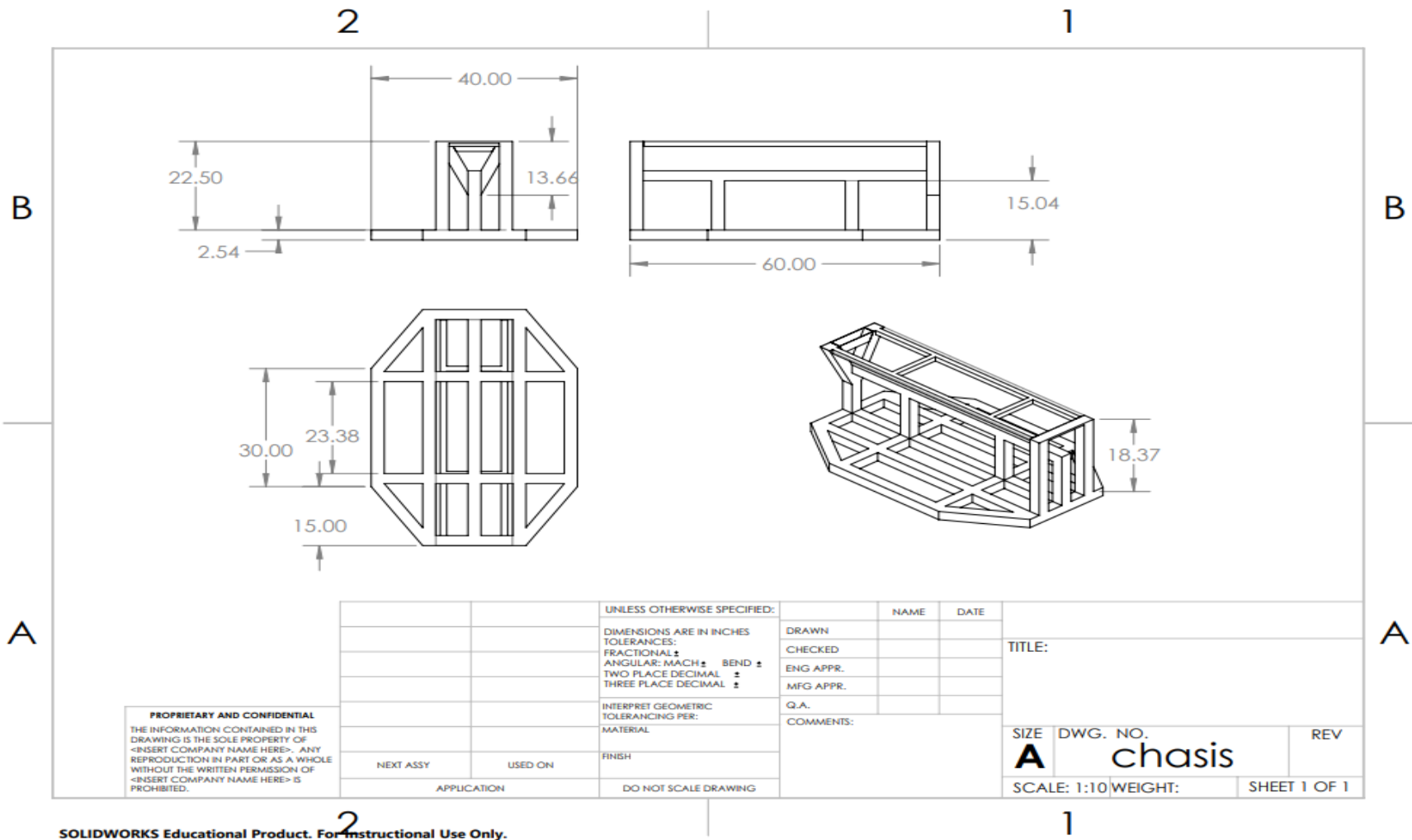
*Conference Series*, 1423, 012055. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1423/1/012055>

Zinoviev, V. (1969). *Teoría de los Mecanismos y Máquinas*. Editorial MIR.



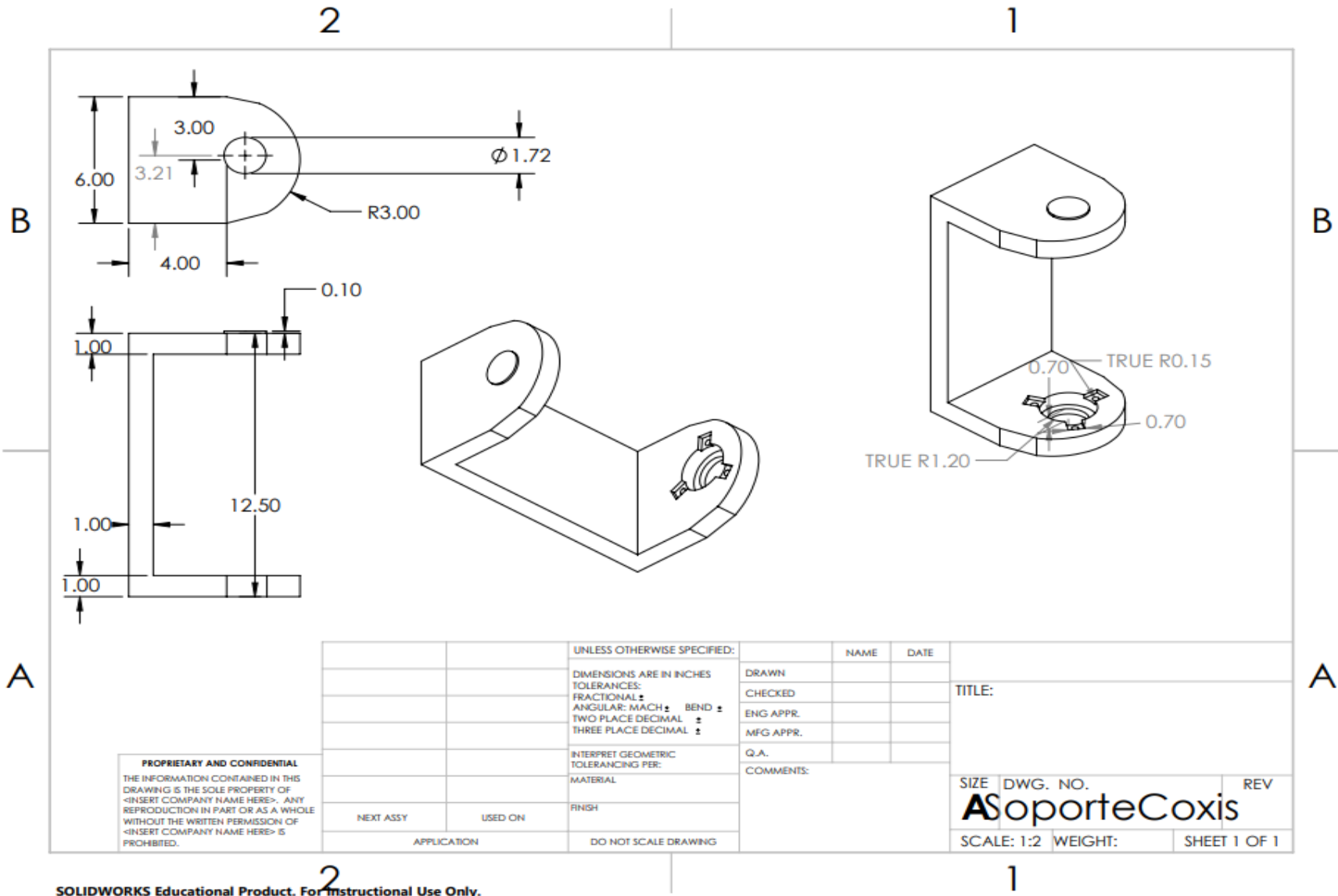
# ANEXOS

## Anexo 1-Plano del chasis

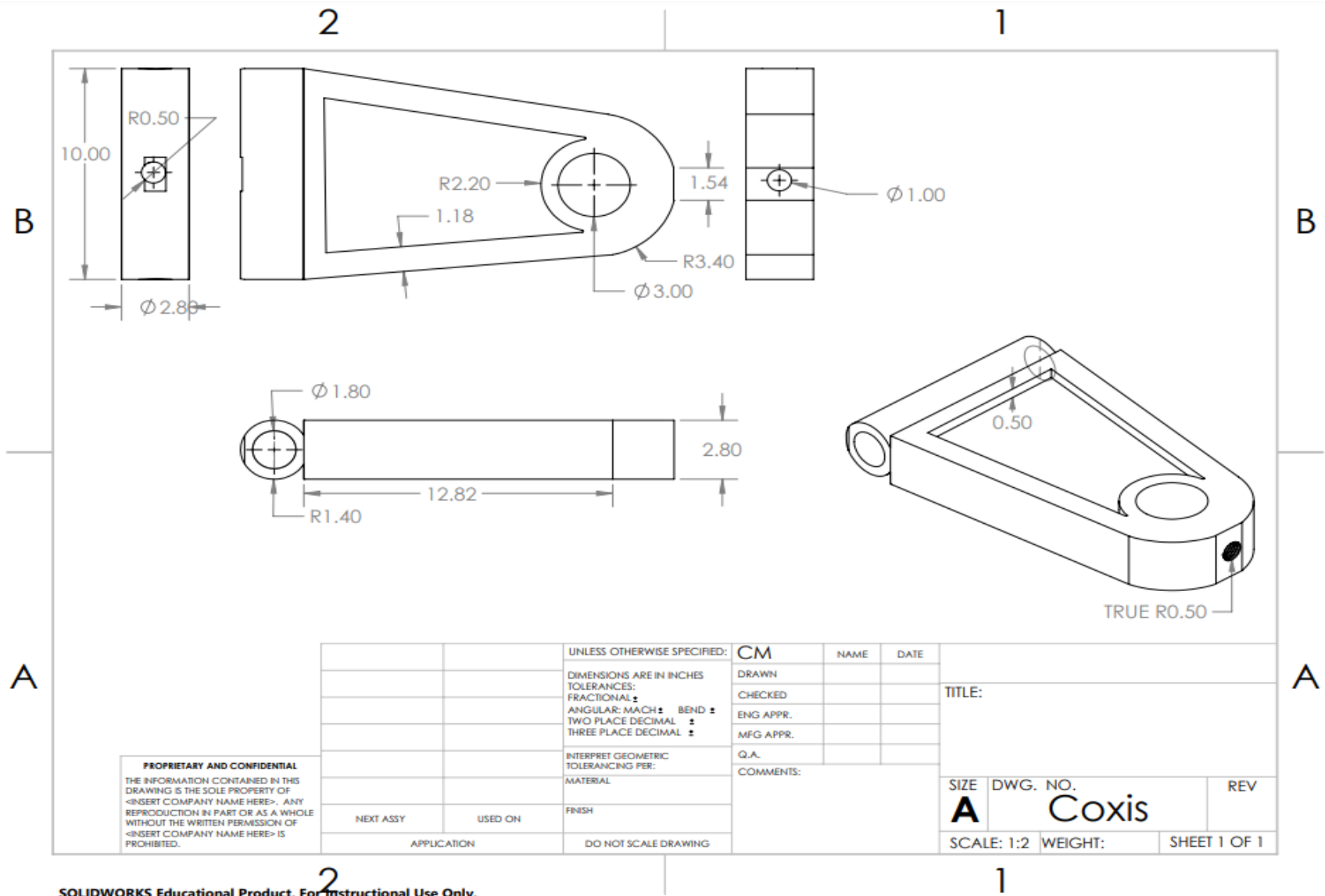


SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

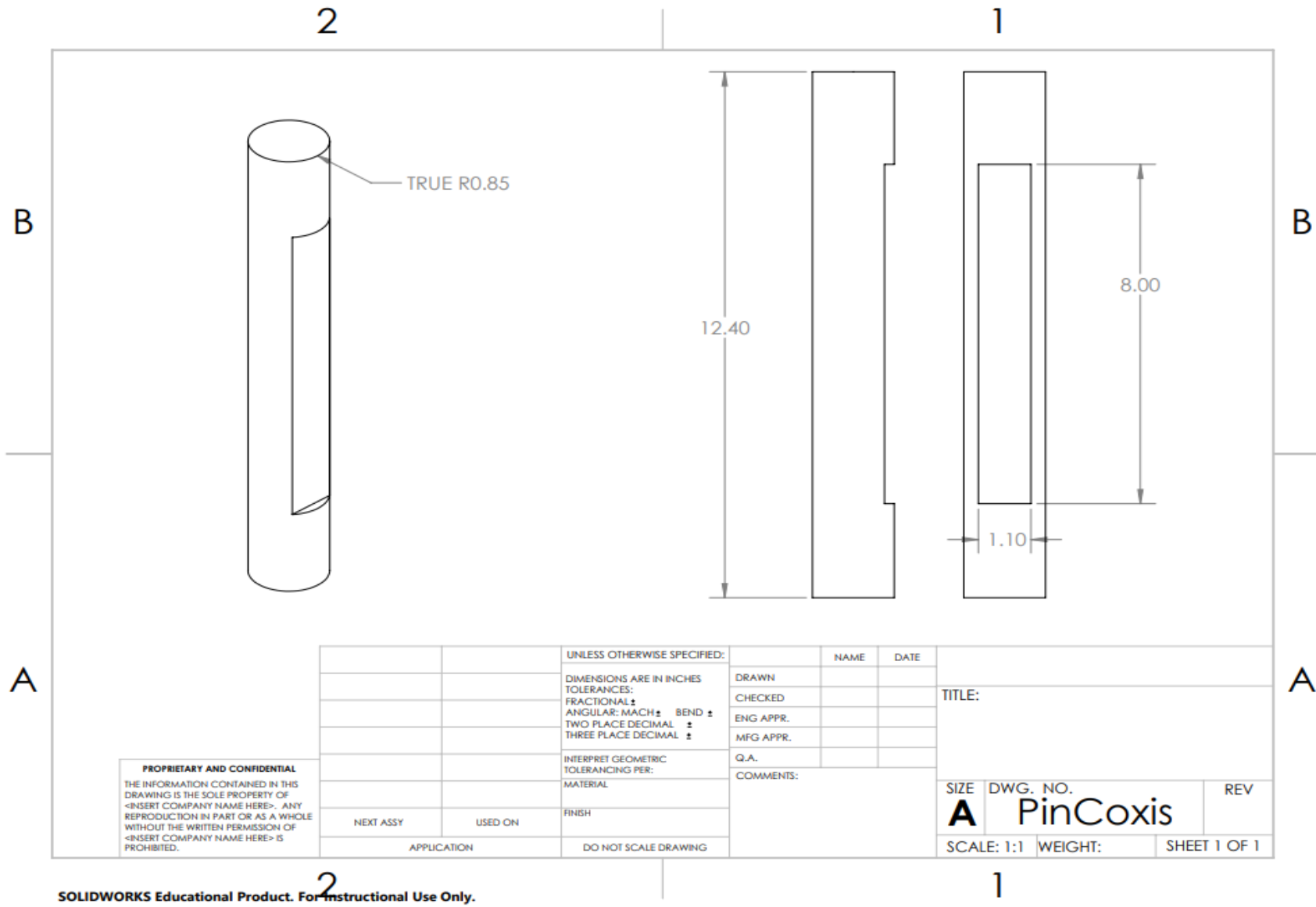
Anexo 2-Plano del soporte del coxis



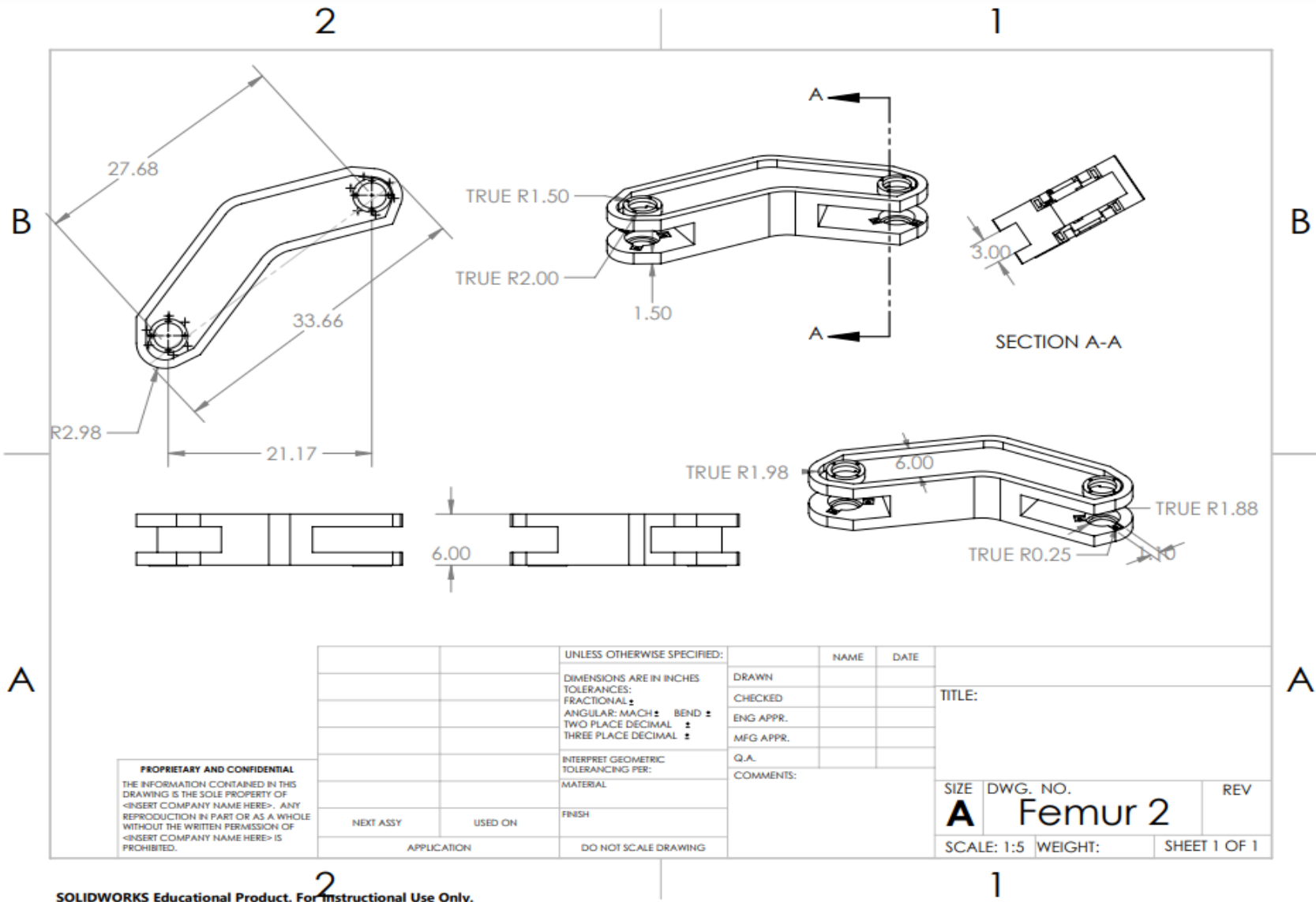
Anexo 3-Plano del coxis



Anexo 4-Plano del pin del coxis

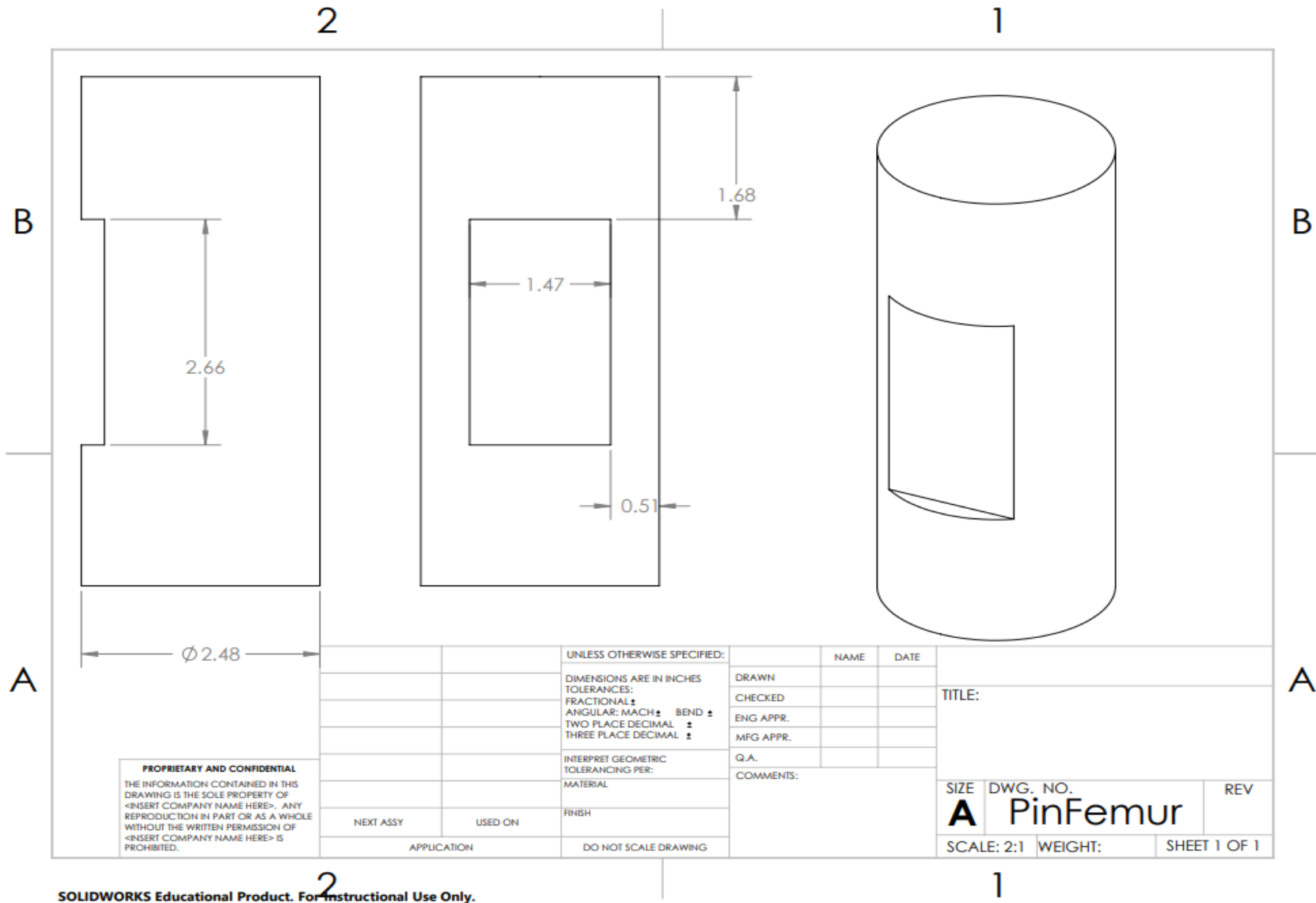


Anexo 5-Plano del fémur

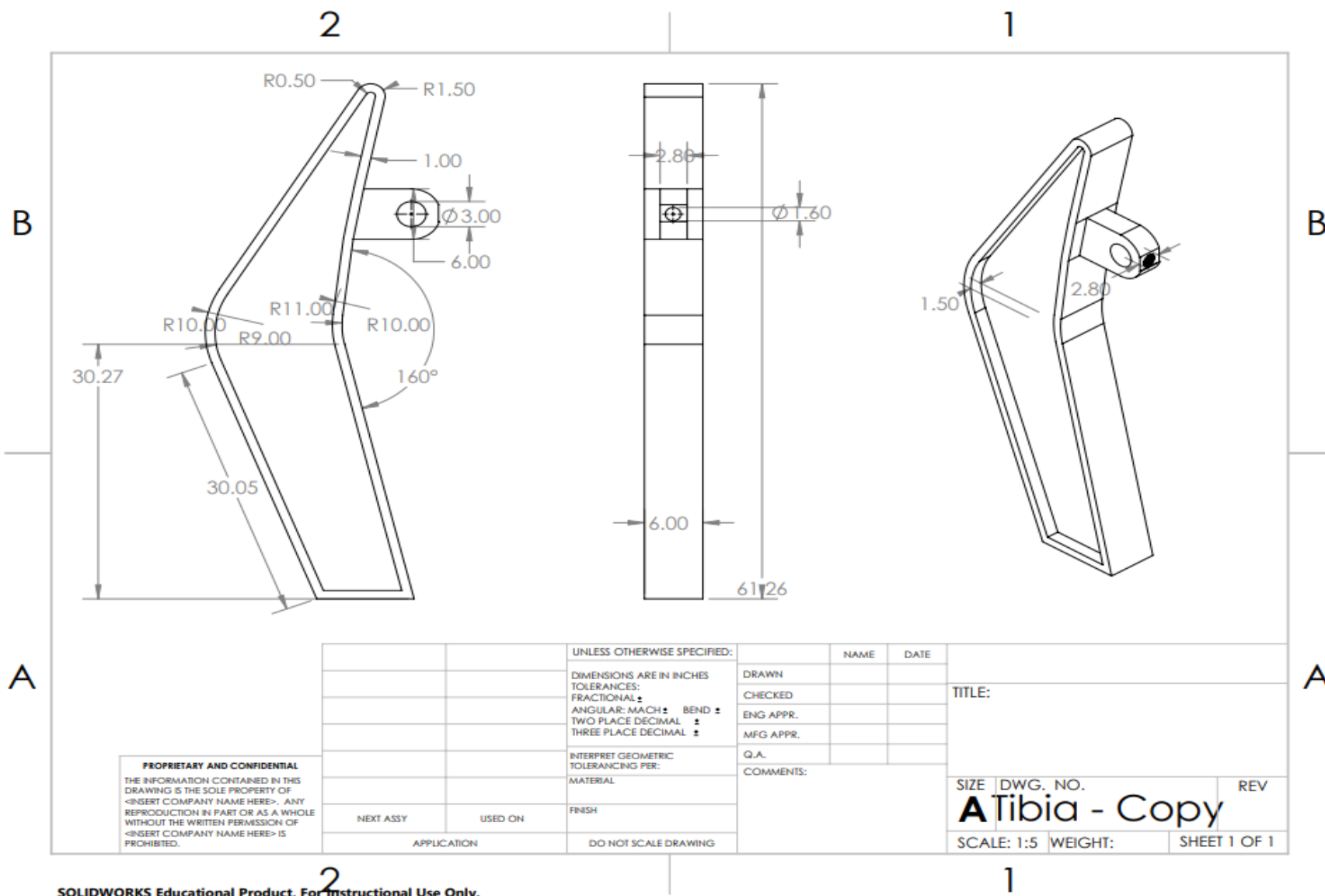


SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Anexo 6-Plano del pin para el fémur



Anexo 7-Plano de la tibia



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.