



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN  
DIMENSIONAMIENTO DE ACTUADORES PARA MECANISMOS DE ROBOT  
ZOOMÓRFICO**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
INGENIERO MECATRÓNICO**

**PRESENTADO POR:  
21751043 JACOBO ARIEL ARITA GUEVARA  
21611126 DIEGO ALEJANDRO SABILLON MEJIA**

**ASESOR:  
JOSE LUIS ORDOÑES**

**CAMPUS UNITEC SPS; Q3 JULIO**

## **DERECHOS DE AUTOR**

© Copyright 2021 Jacobo Ariel Arita Guevara

© Copyright 2021 Diego Alejandro Sabillon Mejia

**TODOS LOS DERECHOS SON RESERVADOS**

## **DEDICATORIA**

JACOBO ARITA

Dedico esta investigación primeramente a mis padres Jacobo Arita Ramírez y Vilma Esmeralda Guevara Madrid, quienes siempre han creído en mis capacidades, que a pesar de las dificultades me han apoyado para poder completar mis estudios universitarios, a mi Hermana Thania Julissa Arita Guevara y mi hermano Jose Francisco Arita Guevara que me apoyaron en cada un momento de necesidad en la Universidad. A mis Compañeros de Carrera se volvieron parte de mi vida y me enseñaron diferente método de aprendizaje.

DIEGO SABILLON

Dedico esta investigación a mis padres Teodoro sabillon Ortiz y Paula Eloisa Mejia Tinoco, ya que ellos me han estado apoyando desde el inicio y nunca han dejado de confiar en mí y en mis habilidades, también a Dios ya que él me ha ayudado mucho en que confiara en mí, también a mis hermanos ya que ellos me han aconsejado muy bien y me han dado aliento para seguir con mi carrera. también, a mis compañeros ya que de ellos he aprendido un poco de todo y se volvieron parte de amistad día a día, y por último a los catedráticos que me regalaron un poco de sus conocimientos como catedráticos y profesionales.

## RESUMEN EJECUTIVO

En las últimas décadas la evolución de la robótica en la tecnología ha aumentado considerablemente el interés del público científico, para estudios en el área de la robótica. La creación de robots ha aumentado cada vez más desde su aparición. En los últimos años ha incrementado la creación de robots zoomórficos por su útil y diversas aplicaciones que brinda, comúnmente son usados en áreas irregulares ya que su movilidad es la adecuada, para afrontar cualquier problema en terrenos irregulares, hasta poder escalar en ángulos de 90 grados. Su uso también es aplicado en áreas de estudio donde su finalidad es aprender más su movilidad y crear más de ellos en un futuro, en la investigación a presentar se estará realizando varios mecanismos que ayuden a un robot zoomórfico con su movilidad añadiendo actuadores eléctricos para realizar la movilidad con la ayuda de los mecanismos, finalizando un ensamblaje completo, para el desarrollo de esta investigación fue a través de una metodología de ingeniería de diseño, ayudando con análisis y resultados para la fabricación adecuando de los mecanismos y el análisis adecuado para la implementación de los actuadores, creando así un ensamblaje completa para que robot cumpla con su movilidad sin ningún problema, el material usado para la creación de los mecanismos fue de aluminio siguiendo el mismo material de fabricación del robot.

Palabras Claves: robot zoomórfico, Actuadores, Mecanismos, Ensamblaje, Movilidad

## **ABSTRACT**

In the last decades the evolution of robotics in technology has considerably increased the interest of the scientific public, for studies in the area of robotics. The creation of robots has increased more and more since their appearance. In recent years has increased the creation of zoomorphic robots for its useful and diverse applications that provides, they are commonly used in irregular areas as their mobility is adequate to face any problem in uneven terrain, even to climb at angles of 90 degrees. Its use is also applied in areas of study where its purpose is to learn more mobility and create more of them in the future, in the research to be presented will be making several mechanisms to help a zoomorphic robot with its mobility by adding electric actuators to perform mobility with the help of the mechanisms, finalizing a complete assembly, for the development of this research was through a design engineering methodology, helping with analysis and results for the proper manufacturing of the mechanisms and the proper analysis for the implementation of the actuators, thus creating a complete assembly for the robot to fulfill its mobility without any problem, the material used for the creation of the mechanisms was aluminum following the same material of manufacture of the robot.

Keywords: zoomorphic robot, Actuators, Mechanisms, Assembly, Mobility

# ÍNDICE DE CONTENIDO

i.	Introducción.....	1
li.	Planteamiento Del Problema.....	2
2.1	Precedentes Del Problema.....	2
2.2	Definición Del Problema .....	2
2.3	Justificación .....	3
2.3	Preguntas.....	3
2.5	Objetivos Del Proyecto.....	3
2.5.1	Objetivos Generales .....	4
2.5.2	Objetivos Específicos .....	4
lii.	Marco Teórico.....	5
3.1	Robótica Y Robots Zoomórficos.....	5
3.1.1	Diferencia Entre Robot Zoomórficos Y Humanoides.....	7
3.1.2	Clasificación De Los Robots Zoomórficos.....	8
3.1.3	Aplicaciones De Robots .....	11
3.1	Mecanismos.....	13
3.2.1	Tipo De Mecanismos Para Robot Zoomórficos.....	14
3.2.2	Grados De Libertad.....	16
3.2.3	Robot Cuadrúpedo Y Hexápodo.....	20
3.3	Actuadores.....	23
3.3.1	Tipo De Actuadores.....	23
3.3.2	Actuadores En La Industria.....	25
3.3.3	Beneficio De Los Actuadores .....	27
3.3.4	Consumo De Energía De Los Actuadores .....	28

3.4 Estructura De Movimiento.....	29
3.4.1 Centro De Gravedad.....	32
3.4.2 Punto De Equilibrio.....	32
3.4.3 Aceleración Relativa .....	33
3.4.4 Robots Móviles.....	33
iv. Metodología.....	37
4.1 Enfoque.....	37
4.2 Variables De Investigación.....	37
4.2.2 Variables Independientes.....	38
4.3 Técnicas E Instrumentos Aplicados .....	38
4.4 Materiales.....	39
4.5 Metodología De Estudio.....	39
4.5.1 Paso:1 Confrontación.....	40
4.5.2 Paso:2 Formulación Del Problema.....	41
4.5.3 Paso:3 Conceptos De Diseño.....	42
4.5.4.1 Árbol Del Producto .....	42
4.5.4 Paso:4 Síntesis .....	43
4.5.5 Paso:5 Modelo Analizable.....	43
4.5.6 Paso:6 Experimentación.....	44
4.5.7 Paso:7 Presentación.....	44
4.6 Cronogra.....	44
v. Análisis Y Resultados .....	46
5.1 Análisis Y Resultados.....	46
5.1 Metodología .....	46
5.2.1 Confrontación.....	47

5.2.2	Formulación Del Problema .....	48
5.2.3	Resolución De Problemas .....	51
5.2.4	Actuadores.....	56
5.2.5	Análisis De Modelo.....	61
5.2.7	Observaciones Sobre El Sistema.....	69
Vi.	Conclusiones .....	72
Vii.	Recomendaciones.....	73
Viii.	Bibliografía .....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 robot cuadrúpedo echo con Arduino fuente:(Wang, 2017).....	22
Figura 2: pasos de la metodología de ingeniera de diseño fuente: propia .....	40
Figura 3: árbol de producto Fuente: propia .....	43
Figura 4 Diagrama de Gantt Fuente: propia .....	44
figura 5 diseño propuesto fuente: José Carlos Andrés .....	48
Figura 6 diseño propuesto fuente: José Carlos Andrés.....	48
Figura 7 descripción de componente del proyecto.....	50
Figura 8 extensión añadida a la estructura fuente: propia .....	52
Figura 9 soporte de actuador vertical fuente: propia.....	53
Figura 10 eslabón de fijación fuente: propia.....	54
Figura 11 simulación de tención a mecanismo de eslabones Fuente: propia .....	55
Figura 12 calentamiento de motores en caso 1 y caso 2 a lo largo de 5 horas de uso, fuente propia .....	57
Figura 13 propuesta de ubicación 1, fuente: José Carlos .....	58
Figura 14 primera propuesta de posición para actuadores fuente: propia .....	59
figura 15 posición final de los actuadores en horizontal.....	60
Figura 16 ensamble del robot zoomórfico fuente propia. ....	61
Figura 17 Velocidad angular en vertical Fuente: propia.....	62
Figura 18 velocidad angular en Horizontal Fuente: propia.....	62
figura 19 Movimiento en horizontal Fuente: Propia Fuente: Propia.....	63
Figura 20 Movimiento en Vertical Fuente: Propia.....	63
Figura 21 Fuerza del motor en Horizontal Fuente: Propia Fuente: Propia.....	63
Figura 22 Fuerza del motor en vertical Fuente: Propia.....	63
Figura 23 Desplazamiento horizontal Fuente: Propia Fuente: Propia.....	64
Figura 24 desplazamiento vertical Fuente: Propia.....	64

Figura 25 primeras pruebas de movilidad fuente propia .....	65
Figura 26 choque mínimo entre la estructura original y el actuador.....	65
Figura 27 Colocación de actuadores.....	67
Figura 28 ensamble completo.....	67
Figura 29 mecanismo de soporte.....	68
Figura 30 mecanismo de soporte giratorio.....	69
Figura 31 pruebas de movilidad.....	70

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Variables Dependiente e Independientes.....	38
Tabla 2 tabla de elementos y materiales Fuente: propia .....	49
Tabla 3 costo de elementos y trabajo invertido fuente: propia .....	51
Tabla 4 consumo de energía por hora fuente: propia .....	60

## I. INTRODUCCIÓN

El rápido avance de la tecnología ha llevado a un mayor interés en la robótica por parte del público y la comunidad científica. Por esta razón, la fabricación de robots, independientemente de su aplicación prevista, ha aumentado significativamente desde su aparición. Uno de los robots más fabricados es el robot zoomórfico. Estos robots tienen varios tipos de aplicaciones. Generalmente, este tipo de robots se utilizan mucho para moverse en terrenos muy irregulares e incluso trepar a un ángulo de 90 grados. De la misma forma, se aplican al campo del aprendizaje o la enseñanza. Específicamente, se encuentran en campos de investigaciones educacionales y son llamados robots educativos. Para eso en esta presente investigación se busca fabricar y finalizar partes de un robot zoomórfico para sea capaz de ser estable para luego darle su movilidad con la finalidad de que pueda ser utilizado de manera pedagógica.

Se parte de un diseño realizado en investigaciones anteriores. por ello, en esta etapa del proyecto se fabricará y añadirán, dos mecanismos que ayuden al robot a poder hacer sus movimientos en horizontal y en vertical, añadiéndole 8 actuadores que se usarán con los mecanismos para su movilidad. Donde se van a utilizar diversos materiales y procesos para la fabricación de los mecanismos que se añadirán al robot zoomórfico. En el presente documento se planteará todo el desarrollo, el cual cuenta con 7 capítulos. Primero, una introducción breve de la investigación en sí. Seguidamente, un planteamiento del problema de la investigación, donde se determina los objetivos a alcanzar y las preguntas de investigación a responder. Luego sigue el marco teórico donde se ve teorías y conceptos donde sustentan la presente investigación. En la metodología, se describe el desarrollo de la investigación por medio de variables de investigación y la metodología de estudio. En el capítulo 5 son los resultados y análisis obtenidos de la investigación. Por último, se encuentran las

conclusiones que dan respuestas a las preguntas de investigación y las recomendaciones.

## **II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El planteamiento del problema de la presente investigación es estructurar y definir la idea de investigación, para justificar de manera adecuada la realización de la investigación de este proyecto. Donde se definirán los objetivos generales y específicos y las preguntas a investigar.

### **2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA**

Los rápidos avances en el área de la robótica cada año aumentan el interés tanto público como científicos por la robótica. Es argumental definir que el tamaño de un robot va de acuerdo a su funcionalidad, y su composición estructural se decide según su utilidad, para el año 2020 se decidió desarrollar un robot cuadrúpedo tomando en cuentas los parámetros establecidos por su desarrollador.

Para ello tomo en cuenta su peso por lo cual decidió realizar una estructura meramente de aluminio al igual que sus extremidades, sin embargo, no finalizo la etapa de ensamble, dejando su aporte en diseño de chasis y extremidades y fabricación. Esto nos deja una estructura incompleta y sin tomar en cuenta su movilidad, tamaño de los actuadores, puntos fijos, puntos de choque y el peso.

### **2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Los robots zoomórficos son unos de los tipos de robots con alto potencial específicamente para problemas o circunstancias terrenales. Los robots zoomorfos son una clase de robots cuya característica principal es un sistema de movimiento que imita a los seres vivos. Existe una gran cantidad de robots zoomórficos de múltiples patas, y se están probando en varios laboratorios para desarrollar vehículos terrestres

reales que pueden ser conducidos o autónomos y pueden evolucionar en superficies muy rugosas. Sin embargo, en el país existen deficiencias en el uso de esta tecnología. Ya que no se cuenta con equipos móviles autónomos que puedan movilizarse con facilidad en terrenos variados donde se les pueden dar usos para muchas áreas en el país, como el área educativa o pedagógica donde los estudiantes puedan conocer más de esta área de investigación que es muy grande en la actualidad.

### **2.3 JUSTIFICACIÓN**

Los robots zoomórficos pueden ser de gran ayuda por su potencial ya que tiene una buena utilidad y apoyo para distintas aplicaciones en diferentes áreas. Donde su estructura y mecanismo le proporcionan una facilidad de movimientos en áreas irregulares donde otros robots puedan tener problemas. La creación de los mecanismos adecuados para la implementación en el robot zoomórfico va asegurar que el robot pueda tener una movilidad más confiable en su estructura, añadiéndoles actuadores que proporcionen la fuerza y movilidad necesaria para desplazarse. Dándole un uso en muchas áreas que se le puede sacar mucho provecho.

### **2.3 PREGUNTAS**

- ¿CUÁL ES EL CONSUMO DE ENERGÍA TOTAL DE TODOS LOS ACTUADORES EN EL SISTEMA?
- ¿QUÉ COMPARATIVA DE ANÁLISIS FUE LA INDICADA PARA SELECCIONAR LA POSICIÓN DE LOS MECANISMOS?
- ¿QUÉ FUERZA NECESITA EL ACTUADOR PARA LEVANTAR EL FÉMUR Y LA PATA DE ROBOT?

### **2.5 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

En esta sección se presentará en detalle los objetivos generales y específicos que debe alcanzar el proyecto.

### **2.5.1 Objetivos Generales**

- Fabricar y ensamblar, los mecanismo y actuadores para que el robot sea capaz de movilizarse sin ningún problema con la finalidad de que sea utilizado en áreas pedagógicas.

### **2.5.2 Objetivos Específicos**

- Calcular el consumo de energía de los actuadores según sus esfuerzos a lo largo del tiempo.
- Comparar y determinar la estructura realizada por el estudiante anterior, para seleccionar la posición idónea de los mecanismos a poner.
- Se realizará un análisis de fuerza donde se determinar el resultante necesario para definir la fuerza del actuador que se usará en el robot.

### III. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 ROBÓTICA Y ROBOTS ZOOMÓRFICOS

Como definición principal, un robot es una máquina controlada por equipos de electrónica y de programación, puede mover, manipular objetos y realizar tareas que se han realizado por humanos o personas que necesitan usar inteligencia. Por otro lado, se debe enfatizar que los países desarrollados de hoy, los robots con la misma apariencia han logrado un progreso increíble humanoide, inmerso en la historia, se considera el primer robot creado en toda la historia.

Estos robots computarizados están equipados con pequeños microprocesadores. Capaz de procesar la información proporcionada por sensores externos, esto es el robot puede cambiar o mantener la operación que se está ejecutando, esto se llama la retroalimentación que es parte de la cibernética.

Los robots inteligentes no sólo tienen funciones de entretenimiento, sino que también pueden hacer muchos trabajos de forma eficiente en lugar de las personas, con el desarrollo de la tecnología robótica, los robots inteligentes o los correspondientes productos inteligentes están entrando cada vez más en los hogares, las fábricas y las empresas, proporcionando diversos servicios de entretenimiento, producción y otros servicios para los seres humanos, haciendo que la interacción entre humanos y robots sea cada vez más universal. (Jia, 2018)

La simpatía percibida por un robot influye en su aceptación, en la confianza, en la auto divulgación humana, en la distancia física preferida y en el contacto con un robot. La simpatía depende de la expresión, la inteligencia percibida y el tipo de movimiento del robot, pero sobre todo de su aspecto.

El robot pretende ser una herramienta de ayuda para que un humano trabaje en un área sucia, aburrida y peligrosa. Lugares a los que no es fácil llegar para los humanos, como, por ejemplo, bajo el agua, la vigilancia aérea, el subsuelo y las zonas de catástrofe. El tipo de robot más adecuado de robot para la vigilancia son los robots

móviles que pueden volar, deslizarse, rodar, etc. Llegando a lugares lejanos y difíciles, la necesidad de vigilancia es cada vez mayor debido a su amplia gama de escenarios de aplicación (Dewi et al., 2019)

En cuanto a la zoomorfología y la estructura de movimiento que estos robots ofrecen, está inspirada en la estructura y movimiento aplicado por animales. Los robots inspirados en animales copian las partes de animales vivos o extintos, así como en criaturas imaginarias que poseen ciertos rasgos animales. En el caso de los robots basados en animales reales están: a) los animales familiares, cuyo comportamiento puede reconocerse fácilmente, como los animales domésticos (por ejemplo, un perro o un gato), y b) los animales desconocidos, entre los que se encuentran aquellos de los que la gente sabe algo, pero con los que no está familiarizada y con los que rara vez ha interactuado antes (por ejemplo, tigres o focas). Esta relativa familiaridad o extrañeza de la apariencia física de un robot tiene profundos efectos en la interacción posterior.

Además de factores como la especie animal y la familiaridad, hay muchos otros factores de apariencia que hay que tener en cuenta a la hora de diseñar un robot, como el material, las proporciones y el color. A pesar de la gran cantidad de investigaciones centradas en la interacción entre humanos y robots, son pocos los trabajos que se centran explícitamente en el diseño de la forma y la estructura en el sentido tradicional del diseño industrial. Por lo general, se afirma que la apariencia física debe coincidir con la funcionalidad prevista, sin embargo, no está claro cómo lograr un equilibrio adecuado entre la "calidad del producto", la "calidad del animal" y la "calidad del robot".

Los robots se basan principalmente en sus propias capacidades de control para realizar diversas funciones, el robot tiene un alto nivel de automatización, tiene un alto grado de flexibilidad y puede ser programado y multifuncional. Los robots suelen tener capacidades de inteligencia similares a las de los humanos, principalmente de movimiento, de planificación, de colaboración y de percepción.

En el proceso de investigación de los robots, es necesario llevar a cabo una investigación sistemática sobre de acuerdo con la composición de los sistemas humanos, ya que los robots son también máquinas completas de ingeniería de sistemas relativamente complejas, que incluyen principalmente cuatro tipos de sistemas. máquinas completas de ingeniería de sistemas, que incluyen principalmente cuatro mecanismos principales, como son los actuadores dispositivos de accionamiento, sistemas de control y dispositivos de inteligencia artificial. sistema. En el proceso de diseño de un sistema robótico, es importante tener en cuenta que el robot no necesita respirar ni hacer circular la sangre. Por lo tanto, el sistema de movimiento del robot no puede coincidir con el sistema de movimiento humano o movimiento animal.(Yu Feng & Fei, 2020)

### **3.1.1 Diferencia entre robot zoomórficos y humanoides**

(Löffler et al., 2020) La interacción robot-robot-humano es un campo emergente que tiene el potencial de revelar los efectos sociales que conlleva la interacción humana con más de un robot, se comprobado si una interacción entre un participante y dos robots no humanoides puede provocar sentimientos negativos relacionados con el ostracismo, y si puede afectar a necesidades psicológicas fundamentales como el control, la pertenencia, la existencia significativa y la autoestima. Se implementa una actividad física de lanzamiento de pelotas basada en el paradigma del Cyberball, las medidas se obtienen y subjetivas pueden indicar que la condición de exclusión condujo a una experiencia de ostracismo que implicaba sentirse "rechazado", "ignorado" y "sin sentido", con un impacto en varias necesidades, incluyendo el control, la pertenencia y la existencia significativa.

En cuanto a la comparativa entre un robot humanoide y un robot zoomórfico una de las más evidentes es su funcionalidad, mientras una sirve habitualmente de forma educativa y método de estudio para la inteligencia artificial, la zoomórfica brinda funcionalidades físicas o de exploración. Lo que se pretende con un robot humanoide

es cubrir las necesidades comunicativas, sociales, de interacción y análisis en un campo de interacción directa entre una persona y un robot.

También se puede decir que un robot humanoide pretende adoptar la apariencia y la estructura del cuerpo humano, mientras que la zoomórfica pretende adoptar la estructura de los animales.

Para un robot zoomórfico su funcionalidad más importante es la interacción con su entorno y propósito, la aplicación de ambos a la fecha está orientada en esos ámbitos, debido a en ambos tipos de robot se sigue avanzando tanto en estructura como en inteligencia.

También se toma en cuenta algunos aspectos estéticos de suma importancia dentro la interacción humana con un robot, esto pretende explicar la razón del por qué un robot humanoide cuida mucho más su apariencia en comparación con un robot zoomórfico que este orientado a una actividad en concreto.

Se ha sugerido que los robots antropomórficos, como un robot ficticio, que no cumplen nuestras expectativas, pueden ser rechazados por que se pueden encontrar confusos cuando no están a la altura del nivel de realismo que espera de este tipo de robots, algunos tienen rasgos vocales y de comportamiento que son más comunes y que se encuentran más comúnmente en animales domésticos como los perros, los tonos más agudos se producen durante la búsqueda de atención y los tonos más graves se relacionan con contextos más amenazantes o de advertencia. (Jones et al., 2008)

### **3.1.2 Clasificación de los robots zoomórficos**

Caracterizado por intentar reproducir diversas formas o comportamientos. Las criaturas del mundo animal se adaptan a la estructura de su sistema de locomoción. La mayoría de los robots con forma de animales, a pesar de sus diversas formas, se han desarrollado la capacidad de cumplir varios objetivos, por ejemplo, para moverse. Entorno desfavorable, desigual o severo (como entorno montañoso, volcanes, espacio, etc.). También hay algunos robots de aviación y agua similares, pájaro o pez.

Existen diferentes tipos de robots zoomórficos entre los que se pueden conocer:

- Robots colaborativos: diseñados para efectuar tareas de forma segura en colaboración con humanos preservando su integridad, con el fin de garantizar la seguridad humana, se siguen en la fabricación de estos robots ciertas pautas, como la utilización de materiales ligeros, sensores en base a la funcionalidad o articulaciones del robot para el control y medición tanto de la fuerza como de la velocidad, contornos redondeados etc. Dichas características se encuentran definidas en la ISO recogida por la Federación Internacional de Robótica
- Robots intuitivos de acción: diseñados para interactuar de forma independiente con su entorno a través de sensores que permitan conocer su entorno y poder reaccionar de manera inmediata ante una situación.
- Robots hiper-redundantes son aquellos que poseen un número de grados de libertad muy superior al mínimo requerido para realizar una determinada tarea.

Todos estos robots puede clasificarse de la siguiente manera(Martín Barrio et al., 2018):

- Según su funcionalidad: En función de esta clasificación se habla de robots hiper-redundantes manipuladores, móviles o híbridos. Los primeros son dispositivos con una base fija capaces de posicionarse para manipular objetos (Hannan and Walker 2001).
- según el número de grados de libertad; donde se toma en cuenta la cantidad  $n$  de movimientos que el robot realizar dentro de una articulación.
- Según el número de articulaciones: es importante aclarar que los grados de libertad en una articulación no influye en la cantidad de articulaciones que el robot puede proporcionar. Cada robot puede poseer desde 2 articulaciones en adelante, algunos robots poseen articulaciones solididad o de engranes que amplían o limitan la cantidad de grados de libertad que pueden poseer.

- Según su actuación: Los actuadores son el conjunto de dispositivos capaces de transformar la energía en la activación de un movimiento a partir de las órdenes dadas por una unidad de control.

(Mahmood et al., 2020) Los robots debe cumplir algunas condiciones. En esta sección, se discutirán estos requisitos.

1. Par de arrastre: como se ha mencionado anteriormente, la fuerza de adherencia necesaria es generada por los rotores de alta velocidad y se produce un Como resultado de este mecanismo se produce un par de arrastre. Este par indeseable debe ser eliminado mediante un par inverso de otro sistema de rotores que gire en sentido contrario. Por lo tanto, hay que tener en cuenta el número de rotores, su velocidad y su distribución en el cuerpo del robot.

2. Transición La operación de transición: en el caso del robot no volador, se trata de la "transición entre planos": como el suelo, la pared y el techo. El diseño de estos robots (de tipo no volador) determinará si el robot puede alcanzar uno o varios de estos modos de transición. Además, los robots difieren en su grado de dependencia del empuje de la hélice durante este proceso.

3. Peso: la reducción constante de microprocesadores, actuadores y sensores provocan una explosión, Además, un robot que funciona en dos modos de locomoción distintos debe hacer concesiones en peso y complejidad para acomodar las diferentes mecánicas de interacción, enfoques de control y de control y los requisitos de potencia de los modos de interés.

4. Seguridad: para cumplir con el requisito de aumentar la capacidad de carga útil del robot, la potencia eléctrica debe ser maximizar y aumentar el tamaño del rotor y la potencia del motor.

5. Coeficiente de fricción: si la fuerza de fricción es superior al valor crítico, el robot móvil se mantendrá en el suelo en el mundo real, es difícil estimar con precisión el coeficiente de fricción en el punto de contacto, por lo tanto, podría utilizar en exceso la energía.

6. Fuente de energía: la fuerza de empuje necesaria se genera mediante motores de corriente continua sin escobillas. Estos motores consumen una corriente de alto nivel. Por lo tanto, es necesario asegurar una corriente suficiente para alimentar estos motores y proporcionar una fuente de energía estable para alimentar los motores.

### **3.1.3 Aplicaciones de robots**

La variedad de aplicaciones de los robots zoomórficos puede llevarse a diferentes ámbitos, tomando en cuenta cuan diferente puede ser sus aplicaciones la variedad de robots puede ser muy similar según las necesidades presentadas.

Aplicación agrícola: La robótica agrícola se ha desarrollado rápidamente en los últimos años. Ha mostrado grandes ventajas en mejorar la productividad agrícola, cambiar los modelos de producción agrícola, resolver la escasez de mano de obra y conseguir escala, diversificación y precisión en la agricultura. La robótica agrícola se ha convertido gradualmente en una de las direcciones importantes de la ingeniería agrícola.(Zhao et al., 2020)

Aplicación de rescate: dentro de las tareas propuestas a realizar por robots de rescate se encuentran la tarea de búsqueda cuya actividad se concentra en interiores de estructuras tales como cuevas, túneles, edificios, también hay robots de reconocimiento y mapeo cuya actividad es determinar una respuesta a los especialistas que les permita tomar conciencia de las condiciones del entorno que se monitorea, también se puede mencionar robots para la remoción de escombros donde su actividad central es realizar de manera rápida las típicas actividades de una grúa y que por cuestiones de tamaño no pueden acceder a determinadas zonas. Otras que se pueden mencionar es la evaluación estructural, la ampliación de cobertura y soporte

logístico donde se automatiza el transporte de equipo o suministros en zonas de desastre.(García García & Arias-Montiel, 2018)

Los robots autónomos representan un sector de gran crecimiento en la industria de la robótica y la automatización, en términos generales, un robot autónomo es cualquier robot que puede entender y moverse por su entorno sin ser continuamente supervisado o controlado por un operador. Se supone que el entorno no es completamente conocido y mapeado, y que pueden aparecer obstáculos no mapeados durante la misión, por lo tanto, los robots autónomos necesitan un conjunto de sensores que les permita comprender e interpretar su entorno, lo que les ayuda a realizar su tarea de la manera más eficiente, navegando alrededor de los obstáculos fijos (edificio (edificios, estanterías, puestos de trabajo, etc.) y obstáculos variables (como personas, carretillas elevadoras y escombros)(Rødseth & Vagia, 2020).

También hay robots zoomórficos con estructura de serpiente este diseño fue perfeccionado al tal punto que ya se ha probado en centrales nucleares como Fukushima-Daiichi, resistió altas dosis de radioactividad y se controla mediante cable debió a que las señales inalámbricas son distorsionadas.

También existen robots para la prevención de incendios donde estos deben contar con características necesarias para evitar la expansión del incendio, o en extrema situaciones resistir las altas temperaturas a las cual puede ser sometido por las llamas.

Aplicación en la Aeroespacial; por mencionar una de las más grandes agencias aeroespaciales se encuentra la Nasa que a lo largo de los años a enviado diferentes robots autónomos, actualmente enviado robots autónomos a marte, estos robots toman el nombre de Rover culla funcionalidad es la exploración. Las características más importantes es que incluyen un generador termoeléctrico de radioisótopos como fuente de energía, posee ruedas de aluminio, bandas resistentes al desgates causado por rocas afiladas sin sacrificar el rendimiento de la arena (*Everything You Need to Know About NASA's Perseverance Rover Landing on Mars - IEEE Spectrum*, ).

Existente trabajos previos los cuales documentan algunos beneficios al introducir robótica en la educación básica como medio para la socialización del aprendizaje, así cuando los estudiantes interactúan con las herramienta, se favorece el aprendizaje significativo, potencializando además el desarrollo de estrategias en conjunto a los métodos de planificación del aprendizaje, y en cuanto a la relación con la definición se encuentran diversas concepciones en este sentido la conceptualizan como una disciplina la cual permite desarrollar robots de ámbito educativo sirviendo como primera experiencia entre los alumnos y la tecnología (Merlo-Espino et al., 2020)

Los organismos vivos pueden adaptarse fácilmente a entornos complejos y moverse con flexibilidad utilizando estructuras corporales blandas y deformables. Utilizando materiales deformables como un cuerpo de robot inspirado en el diseño del cuerpo humano, se debe diseñar robots que se adapten a entornos complejos e interactúen de forma segura con los humanos. Este método de diseño de robots se llama robótica suave, y cada vez más investigadores están siguiendo este método. Por ejemplo, existen manipuladores que imitan tentáculos de pulpo y manipuladores que utilizan materiales blandos que se adaptan a formas complejas. Estos robots mecánicamente blandos se pueden utilizar en el campo médico. Estos grandes robots están inspirados principalmente en criaturas submarinas que no necesitan soportar la gravedad.(Morishima et al., 2020)

### **3.1 MECANISMOS**

La aplicación de mecanismos en los robots va de la mano con los actuadores que realizan la acción y provocan el movimiento de los mecanismos,

Para mecanismos de manivela se trata de un mecanismo que transforma un movimiento circular en un movimiento de translación, Cuando los valores de las fuerzas dinámicas superan ciertos límites, se produce un desgaste prematuro de las juntas que generan vibraciones, a veces incluso choques durante el funcionamiento. Mediante el equilibrado estático de los mecanismos se persigue la disminución del valor de la fuerza resultante de todas las fuerzas de inercia que actúan sobre los elementos

componentes. Esto se consigue introduciendo algunas masas de equilibrio montadas en la prolongación de los elementos componentes que conduce al aumento del gálibo del mecanismo y de su masa.(Bădoiu et al., 2018)

Mecanismos de balancín: los mecanismos articulados de cuatro barras, pueden realizar una rotación completa, y se pueden clasificar en dos categorías, clase I que son los mecanismos que pueden realizar una rotación completa, clase II ninguna de las barras del mecanismo puede realizar una rotación completa. El teorema de Grashof proporciona un medio para averiguar la clase a la que pertenece un mecanismo articulado con solo conocer sus dimensiones y disposiciones.(Duran et al., 2021)

### **3.2.1 Tipo de mecanismos para robot zoomórficos**

Cada robot tiene un tipo de mecanismo para satisfacer los grados de libertad requerida, y es importante tomar en cuenta el torque (momento de la fuerza) se representa cuando se aplica una fuerza en algún cuerpo rígido, el torque se denomina a la capacidad teórica de dicha fuerza para producir un giro o rotación alrededor de un punto.

Los mecanismos orientados para robot zoomórficos van cambiando según su utilidad por ejemplo existen mecanismos planos que consisten en una plataforma móvil en forma de triángulo equilátero, a cuyos vértices se fijan tres varillas de longitud variable y se fijan mediante rotadores. (Khalapyan et al., 2021)

Los robots con múltiples grados de libertad, la rama importante de los robots, tienen la apariencia similar y la función de caminar con los seres humanos, equipados con algunas funciones inteligentes como la visión y el oído. Como tipo de robots de servicio, los robots con múltiples grados de libertad pueden moverse automáticamente en un determinado entorno y comunicarse con los seres humanos. En la cognición a los robots, los robots más parecidos a los seres humanos significa que la investigación tiene más éxito.(Lan, 2019)

Actualmente se puede determinar que los movimientos de un robot pueden ejercerse mediante actuadores, que estén conectados de manera directa en las articulaciones o mediante sistema de transmisión de movimiento, entre ellos están:

Transmisión directa: es donde el actuador ejerce una fuerza directa en la articulación de forma que el actuador se mueve junto a su pieza.

Dado que un robot mueve su extremo con aceleraciones elevadas, es de gran importancia reducir al máximo su momento de inercia. Del mismo modo, los pares estáticos que deben vencer los actuadores dependen directamente de la distancia de las masas al actuador. Por estos motivos se procura que los actuadores, por lo general pesados, estén lo mas cerca posible de la base del robot. Esta circunstancia obliga a utilizar sistemas de transmisión que trasladen el movimiento hasta las articulaciones, especialmente a las situadas en el extremo del robot. Asimismo, las transmisiones pueden ser utilizadas para convertir movimiento circular en lineal o viceversa, cuando sea necesario. (Huang et al., 2019)

Transmisión por cable: el actuador puede ejercer sobre uno o más puntos la fuerza requerida para crear el movimiento, es necesario la utilización de guías para el cable de lo contrario el sistema no tendría la dirección adecuada para la trasmisión de fuerza. (Huang et al., 2019)

Transmisión por engranaje. Esta transmisión es muy utilizada internamente en los robots mediante sus actuadores, en gran parte de los casos este tipo de transmisión de fuerza se da entre el motor eléctrico y el mecanismo de accionamiento y no directamente sobre la articulación que se pretende mover, en la mayoría de los casos se utiliza transmisión por engranaje como apoyo a una transmisión directa.

Uno de los principales problemas de la ingeniería mecánica es la transmisión de movimiento entre la unidad de potencia y la máquina accionada, desde la antigüedad se han utilizado cuerdas y elementos de madera para solucionar los problemas de

transporte, conducción, elevación y movimiento. Los engranajes son engranajes cilíndricos que se utilizan para transferir movimiento y potencia de un eje giratorio a otro, los dientes del engranaje impulsor están entrelazados con precisión y se insertan en los espacios entre los dientes del engranaje impulsado., el diente impulsor empuja al diente impulsado aplicando una fuerza perpendicular al radio del eje, por lo tanto, el par se transmite y, dado que los engranajes giran, también se transmite potencia. El mecanismo básico que consta de dos engranajes se denomina "un par de engranajes".(Vez Labrador, 2019)

En los sistemas multi-robots heterogéneos, hay varios tipos de robots con diferentes funciones. Estos robots tienen diferentes capacidades debido a los diferentes hardware y software, como la percepción (infrarrojos, cámara, sonar, etc.), la capacidad de ejecución capacidad de ejecución (movimiento, manipulación, etc.). (Huang et al., 2019)

### **3.2.2 Grados de libertad**

El objetivo que tienen los brazos robóticos es realizar tareas complicadas para el ser humano y de forma automatizada, como, por ejemplo, transportar peces con un peso superior al que puede soportar un trabajador. También pueden llevar a cabo operaciones que requieran mucha precisión, como hacer puntas de soldadura o ajustar cargadores, actualmente, es un elemento esencial para la industria ya que incrementan el rendimiento y la producción del proceso de fabricación(Quiles Romero, 2021).

Los grados de libertad se expresan como movimientos que puede realizar un eslabón o articulación, los movimientos pueden darse en el plano cartesiano tomando en cuenta los planos X Y Z.

Los robots con múltiples grados de libertad (una rama importante de los robots) tienen una apariencia similar y la función de caminar con los humanos, y tiene algunas funciones inteligentes, como la visión y oído. Como robot de servicio, los

robots con varios grados de libertad pueden moverse libremente por el Medio ambiente y comunicarse con los humanos.

Un manipulador robótico industrial típico se compone de una combinación de eslabones, elementos metálicos lineales y estructurales del cuerpo y articulaciones, los ejes de rotación motorizados. El sistema presentado descompone estos componentes fundamentales en una en una serie de puntales (enlaces) y nodos (articulaciones) modulares y reconfigurables. (articulaciones), se pueden formar cadenas cinemáticas con un alto DOF mediante la conexión de los puntales y los nodos, los movimientos más complejos pueden surgir del sistema a medida que los nodos se separan de los de los puntales para dividir las cadenas cinemáticas y volver a conectarse con diferentes puntales para formar otras nuevas, lo que da lugar a un sistema en el que los puntales y las cadenas cinemáticas trabajan al unísono.(Leder et al., 2019)

Hoy en día mientras los procesos de mecanización relacionados con transferencia de diversos productos y fletes LD son ampliamente utilizados, la característica de esta operación es necesaria para mover varios pesos de la carga en dependencia de la masa de la pinza y del actuador de LD  $\Delta m$  y la masa de la carga  $m_0$ . En este sentido, el peso de las pinzas de carga (ganchos, pinzas electromagnéticas, de palanca o neumáticas y otros equipos) determina la masa mínima que puede tener la masa del 10 al 35 % de la masa de la carga desplazada.

La suma de las masas del actuador y de la carga movida  $\Delta m + m_0$  determina el valor máximo de la masa, tendencia a minimizar el peso y la inercia de las partes móviles del LD lleva a la necesidad de disminuir su masa que reduce los elementos rigidez de los engranajes y construcciones mecánicas y provoca impacto de los enlaces mecánicos elásticos en el funcionamiento del EMS. Estas distinciones de EMS deben ser tenidas en cuenta mientras el desarrollo de LD., el objetivo comúnmente se enfoca en desarrollar métodos de desarrollar la automatización de los SCA electromecánicos

que sean capaces de mejorar el rendimiento de la ingeniería y de ampliar capacidad de las máquinas herramienta.(Pyatibratov et al., 2018)

Debido a la gran cantidad de robots y sus variaciones en algunos casos para la selección de mecanismos a utilizar se toma en cuenta las características físicas que y las articulaciones que se pretende posicionar en el robot. Para ello en algunos casos debe de conocer las fuerzas que serán aplicadas en los actuadores y mecanismos, entre ellos están el torque para el cual la ecuación funcional es:

$$\tau = rF\text{sen}\theta$$

Donde

r=la distancia entre el eje de rotación y la fuerza aplicada

F=la fuerza

$\Theta$ = Angulo de la fuerza aplicada

También se toma en cuenta la tensión a la cual sería sometido un actuador en ciertas ocasiones.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Donde:

A=al área transversal de la pieza que será sometido a la fuerza.

Cabe mencionar que, aunque bien estas son las ecuaciones básicas la aplicación de cada una de ellas va de acuerdo a la cantidad de fuerzas aplicadas la forma en cómo se aplicarán y puntos de rotación que serán estudiados.

La estructura mecánica y tipo de robot está determinado por su tipo de movimiento, rotación, prismática, en esfera, cilíndrica, plano. Esto se determina por la configuración a los ejes principales de movimiento los cuales determinan la posición en el espacio, y también determina las coordenadas con las que se puede saber la posición.

Por su tipo de movimiento hay varios tipos de robots:

- Robot cartesiano: utiliza tres ejes de movimiento lineal, que son perpendiculares entre sí, esta configuración ayuda a darle mayor precisión, velocidad, y capacidad de carga constante en todo su alcance, a diferencia de las articulaciones de rotación, presenta una mala relación entre su volumen de trabajo y el espacio que ocupa en plana.
- Robot cilíndrico: cuando un robot tiene una articulación rotacional y dos prismáticas es decir si la primera articulación prismática del tipo cartesiano, es reemplazada por una articulación rotacional con un eje giratorio de 90 grados en respecto al eje Z, un robot con estas características se denomina robot cilíndrico cuyo brazo se mueve por medio de  $\beta$  y Z, por lo tanto, tiene una rotación base, una elevación y un alcance.
- Polar o Esférico: Cuando el brazo de un robot es capaz de cambiar su configuración moviendo sus dos articulaciones de revoluta y su articulación prismática, es decir, cuando la segunda articulación prismática a lo largo de la altura y del tipo cilíndrico es reemplazada por una articulación de revoluta con su eje girado 90° respecto al eje z, se denomina brazo de robot esférico o polar.
- Robot Scara: El robot SCARA se compone de tres pares giratorios y un par móvil, lo que garantiza que pueda moverse en tres grados de libertad y girar alrededor de la dirección vertical en su espacio de trabajo. En algunos modelos de robots SCARA se establece según el método de Craig (Xie et al., 2020)

Para este último puede se debe de entender que para que se realice un movimiento en conjunto no precisamente deben ser accionados por el mismo actuador.

### 3.2.3 Robot cuadrúpedo y hexápodo

Los robots cuadrúpedos tienen una gran capacidad de adaptación a entornos no estructurados en comparación con los robots móviles con ruedas y móviles con ruedas y orugas, en comparación con los robots bípedos y otros robots con menos patas, los robots cuadrúpedos tienen una marcha equilibrada más más robustos y equilibrados. Los robots cuadrúpedos tienen un rendimiento cinemático más rápido que los hexápodos y otros hexápodos y otros robots con múltiples patas. Por lo tanto, los robots cuadrúpedos tienen un alto valor de investigación y aplicación. La trayectoria del pie trayectoria del pie es la condición necesaria y suficiente para que el robot cuadrúpedo se adapte al entorno no estructurado (Li et al., 2019a)

El ciclo de la marcha se divide en la fase de bipedestación, en la que pies en contacto con el suelo, balancea, levanta los pies y pasa al siguiente Posición, el engranaje se puede dividir en simétrico, en el que el pie izquierdo y el pie derecho Un par de movimientos alternos (por ejemplo, al caminar o trotar), y asimétricos, en los que los pies izquierdo y derecho se mueven aproximadamente al mismo tiempo (por ejemplo, al galope o al galope o salto). Los aires simétricos pueden describirse mediante dos magnitudes: el factor de trabajo; la proporción de la zancada durante la cual cada pie está en el suelo, y la fase; el momento en que se inicia la fase de apoyo de un pie delantero de un pie delantero en relación con el inicio de la fase de apoyo del pie del mismo lado, por ejemplo, en un trote de carrera el factor de trabajo de trabajo es  $<0,5$  (ya que el animal se levanta completamente del del suelo durante una parte de la zancada), y las fases de apoyo y las fases de balanceo de los pares de patas diagonales están sincronizadas, por lo que la fase es del 50% normalmente, los cuadrúpedos caminan a baja velocidad y pasan al trote y al galope al galope a medida que aumenta su velocidad, sin embargo, los mecanismos que determinan qué andares se utilizan en una situación concreta, y cómo y por qué los animales pasan de un paso a otro, son todavía poco conocidos (Smith & Usherwood, 2020)

Es importante saber que la araña tiene 7 partes (coxa, rocanter, fémur, rótula, tibia, metatarso, tarso) por cada pata, pero por defectos de robótica algunas de estas partes pueden suprimirse, y la razón es porque se pretende simplificar todo el sistema, las partes que más suelen utilizarse son la rótula, el fémur se une con la tibia por articulación directa y el metatarso con la tibia se unen en un solo eslabón.

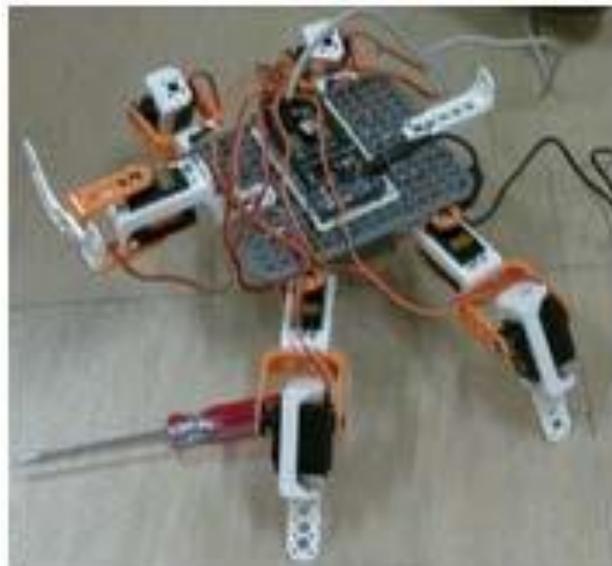
(Suaréz et al., 2017) Ya que se toma en cuenta la estructura de la araña sus articulaciones pueden dividirse de la siguiente manera:

- Articulación cuerpo-coxis: Algunos autores consideran esta articulación como una articulación esférica de tres grados de libertad (DOFs) de tres grados de libertad.
- Articulación Coxa-Trocánter: Algunos individuos ven esta articulación como una rótula de 3 DOFs o como una articulación de 2 DOFs de 2DOFs.
- Articulación trocánter-fémur: esta articulación puede ser modelada como una articulación universal con 2DOFs.
- Articulación fémur-patela: Comúnmente esta articulación puede ser modelada como una articulación de bisagra.
- Articulación Rótula-Tibia: Hay dos opciones para modelar esta articulación; primero como una articulación de bisagra o una articulación universal con una articulación muy limitada en el eje Y-Z.
- Tibia-Metatarso: también es posible asumir esta articulación como una articulación de bisagra, o una articulación universal, pero con algunas limitaciones.
- Articulación metatarso-tarso: esta articulación puede modelarse como una articulación universal

Los robots hexápodos han sido usados en exploraciones y en situaciones hostiles, más allá de la aplicación a la cual se determina el mayor trabajo los robots hexápodos también pueden ser usados para una amplia variedad de tareas como lo son las cosechas ayudas de búsqueda y salvamento de personas.

Cada una de las extremidades 6 en el caso del robot hexápodo, posee tres grados de libertad que incluye el servo motor ubicado en la parte central; el diseño tiene el objetivo de permitir al robot desplazarse en superficies lisas o irregulares, i.e., superficies irregulares boscosas, entornos con rocas o arena.(Sanchez et al., 2018)

Si bien hay diferentes robots cuadrúpedos y hexápodos la representación gráfica es como se muestra en la figura.



*Figura 1:robot cuadrúpedo echo con Arduino fuente:(Wang, 2017)*

Si bien la figura anterior se muestra un robot cuadrúpedo echo con Arduino el principio de articulación en sus articulaciones muestra la mecánica simple que permite su movimiento. Para efectuar el movimiento se puede observar dos actuadores por pata, un actuador para realizar el movimiento vertical y un segundo actuador para realizar el movimiento horizontal, a diferencia con otros robots que utilizan 3 actuadores por pata. La mecánica simple exige la precisión en su sincronización de movimiento, debido a que su punto de equilibrio se mantiene en movimiento su apoyo debe ser rápido y preciso de lo contrario su equilibrio se vería comprometido.

Sus puntos de movimiento son independientes por lo cual su movimiento horizontal no influye en el movimiento vertical al menos no de forma mecánica.

### **3.3 ACTUADORES**

Es esencial saber de los actuadores hoy en día ya que tienen múltiples usos y en la tecnología son los más usados día a día, se ven incorporados en muchas maquinas donde realizan múltiples actividades, el uso de ellos en los robots donde también realizan muchas actividades en múltiples ramas de la robótica y la industria.

#### **3.3.1 Tipo de actuadores**

Los actuadores son muy usados hoy en día en múltiples ramas de la ingeniería y sus actividades son distintas en cada proyecto que se observa, hoy en día existe cientos de actuadores y cada uno tiene su tipo de uso en distintas ramas.

Los actuadores de músculos neumático que son utilizados en una amplia gama de aplicaciones, un uso óptimo de los músculos neumáticos es en dispositivos de asistencia para personas discapacitadas donde este actuador tiene un movimiento suave y hace que el usuario tenga una mejor facilidad a la hora de desplazarse. Hoy en día la aplicabilidad principal de este actuador es en la industria como una alternativa a los accionamientos hidráulicos o lo que son eléctricos donde son la principal fuente de energía de movimiento, en la industria se ven comúnmente en brazos robóticos, como manipuladores industriales, como dispositivos de asistencia entre otras utilidades, la ventaja que nos da este actuador son muchas y muy factibles, la más importante en su bajo peso y el comportamiento complaciente que permite garantiza una interacción muy segura con el ser humano.

Los actuadores blandos han sido desarrollados al pasar de los años para poder ayudar a su usuario a realizar movimientos flexibles y adecuados para ser utilizados como dedos de un robot colaborativo. Están fabricados con un material blando realizado de caucho que tiene una gran flexibilidad y están accionados neumáticamente.

El actuador electromagnético suave es un actuador compuesto por silicona, cuando se enciende el electroimán de AESA (Actuador electromagnético suave), el compuesto de

organosilicio superior se adhiere a la parte inferior. AESA se puede conectar al eje y-z sin necesidad de conexiones de electrodos adicionales, AESA muestra un desplazamiento de 2,62 mm bajo una entrada de 1A, que se puede considerar como el valor máximo si se considera el grosor y la altura del marco de silicona, AESA con varios grados de libertad se puede instalar de varias formas, y tiene la ventaja de poder generar mayor fuerza ajustando el tamaño del imán adherido a la parte superior.(Song et al., 2020)

Actuador mecánico de salto con pacto, alimentado por gas estos actuadores no son muy comunes verlos en la industria como tal, estos son más usados en la parte robótica, normalmente se usan para generar saltos mediante la combustión de los gases, muy usados en robots para realizar un salto compacto.

Actuadores oscilatorios normal mente se usan en distintas aplicaciones, como en desarrollos de dispositivos hápticos para sistemas de navegación, donde este mecanismo se realiza mediante el uso del actuador de giro del mecanismo deslizante de manivela. Estos sistemas solo pueden impulsar un eje, para accionar varios ejes, el tamaño y el peso aumentarán porque algunos actuadores y los enlaces se fusionan.

Actuadores PAM o músculos artificiales neumáticos son muy usados para crear manos robóticas ya que funciona llenando una vejiga neumática de aire que hace liberar la presión mediante válvulas que ayudan a hacer un movimiento bidireccional, haciendo que los dedos se muevan y así poder coger algún objeto haciendo una muestra o copia de un brazo humano.

El actuador de PPY Dado que la velocidad de actuación es más rápida y se produce una flexión bidireccional en el actuador de tres capas, el bastidor del actuador se fabrica como un actuador de correa de tres capas, por lo tanto, el actuador de tres capas de tres lados se considera un actuador de dos estados. El pando bidireccional es similar al movimiento de la cola de pez y al movimiento de la cola de pez, por lo que es adecuado para robots móviles submarinos. En esta estructura en capas, la capa

intermedia se utiliza como una membrana porosa de electrolito de polímero sólido (SPE), ya que atrapa el electrolito durante el proceso de síntesis, por lo que se puede utilizar en cualquier medio fluido no electrolítico.

Las capas superior e inferior son capas de PPy, que actúan como electrodos de trabajo y contraelectrodos durante la operación, haga que la interfaz entre la capa SPE y PPy sea conductora para mantener el voltaje a través del actuador durante el funcionamiento. Al aplicar un potencial a un extremo del actuador PPy, el intercambio de iones entre las capas SPE y PPy generará tensión y hará que el actuador de correa se doble.(Panda & Bandopadhy, 2019)

### **3.3.2 Actuadores en la industria**

En la industria, los robots son utilizados mayor mente para realizar operaciones repetitivas, donde deben de ser rápidas y con mucha precisión, con ayuda de los actuadores dichos robot mejoran sus capacidades en la industria dándoles mucha rapidez, se ven múltiples usos de los actuadores en la industria robótica como brazos con tenazas donde su movilidad viene de actuadores hidráulicos dándoles movimientos rápidos para poder mover piezas pesadas sin ningún problema.

Los actuadores jerárquicos fusionan múltiples actuadores individuales en un sistema de macro-nivel geométricamente complejo para lograr funciones ventajosas, al integrar varios actuadores en una estructura jerárquica, se pueden ajustar la velocidad, la fuerza, la eficiencia, la carrera y la redundancia finales. Este método ha demostrado ser adecuado para actuadores piezoeléctricos celulares, actuadores de flujo libre, métodos serie-paralelo-serie-paralelo y el reclutamiento de actuadores bio-heurísticos. más A pequeños actuadores para ampliar el ancho de banda y la eficiencia de los actuadores.(Jenkins & Bryant, 2020)

Festo realizo un actuador de músculos neumáticos donde tienen múltiples usos, uno de ellos la realización de dispositivos que ayudan a movilizar con más facilidad a personas discapacitadas, no solo eso este actuador tiene múltiples usos en la industria

dándole movimientos a brazos robóticos con mucha seguridad y teniendo siempre en cuenta la salud humana. (Petre, 2021)

Por los riesgos que se llegan a tener en la industria para el ser humano muchas veces se crean robots que puedan ayudar a hacer dicha labor y garantizar la seguridad del ser humano, llegan a realizar pinzas o dedos robóticos que ayudan a poder hacer el trabajo más sencillo, adaptando actuadores que ayudan al robot a poder trabajar más fácil y seguro, actuadores como neumáticos o eléctricos que ayudan al robot tener un contacto firme.

En la industria no hacen de mucha aplicación el uso extensivo de los actuadores blandos, estos son más usados en el campo de medicina ya que es una forma muy útil de usar para la rehabilitación de los pacientes, estudios de investigadores llegaron a la conclusión de la creación de estos actuadores para la industria y crearon la forma de adaptar estos actuadores blandos y darles usos que sean capaces de realizar movimientos de flexión y adecuados para adaptarlos en robots colaborativos y así poder dar un uso mejor en la parte industrial mejorando en la parte de eficiencia y rapidez a la hora de trabajar. (Antonelli et al., 2018)

En la robótica la definición de efector final da a entender que es un dispositivo situado al extremo de una mano robótica o un brazo robótico, creado para realizar actividades o aplicación requerida, muchos estudios han intentado crear manos robóticas muy similares a la de un ser humano cuanto a rendimiento y capacidades y esta ha sido muy difícil, pero con los actuadores se puede realizar articulaciones directas o indirectas las cual dichos actuadores son similares a los músculos humanos conocido como musculo artificiales neumáticos (PAM). Estos actuadores ayudan mucho a la creación de manos robóticas ya que ayudan accionarse y permitiendo ser los dedos de la mano y poder moverla mano sin ningún problema. (Farag et al., 2018)

Este es un módulo actuador PPy y este es su funcionalidad o como llega trabajar para darle un amplio uso en la Industria robótica o aplicarlo en robots submarinos. El módulo de almacenamiento y el módulo de pérdida varían con la temperatura y, por

lo tanto, con el tiempo, se ha demostrado que cuando la temperatura sube por encima de los 90 ° C, el módulo disminuye gradualmente, por lo que se puede considerar que el módulo elástico de almacenamiento del actuador PPy en un entorno submarino es de casi 320 MPa. El módulo viscoso o de pérdida es de casi 5 MPa y el factor de pérdida es de casi 1, lo que demuestra que tiene viscoelasticidad. El comportamiento viscoelástico del actuador PPy muestra una buena coherencia con los resultados publicados, y se encuentra que el módulo es muy alto, lo que lo hace adecuado para la operación bajo el agua. (Panda & Bandopadhyaya, 2019)

Normalmente la creaciones de actuadores son muy a menudo en todo la industria robótica, dando ideas nuevas para la innovación o mejorando las resistencias o la utilidad de los actuadores a la hora de crear un proyecto, donde se observan creación de actuadores electromagnéticos suaves que consisten en cables magnéticos donde fluyen la electricidad haciendo que el actuador puedan encenderse o apagarse, estos actuadores tienen cuerpos blandos y son muy usables para varios campos en la industria robótica.

### **3.3.3 Beneficio De Los Actuadores**

Hoy en día se utilizan diversidad de actuadores en todo el mundo de la industria por muchos beneficios que brindan, ya que ayudan a poder trabajar más rápido y eficiente, la diversidad de actuadores hace mucho más fácil la creación de nuevos inventos o proyectos día a día, ayudan al ser humano a poder usarlos no solo en la industria robótica, como también llegar a usarlo en nuestros hogares creando actuadores que nos ayuden a abrir puertas, ventanas, etc. Son muchos los beneficio que nos brindan ayudando a mejorar cada proceso a realizar, mejorando cada vez más la industria y la robótica dándole mejor seguridad al ser humano, donde cada proceso que se realiza se mas fácil y factible para la industria, así como creaciones de robot para movilidad de piezas que con ayuda de sus actuadores neumáticos realices con más facilidad la movilidad, no solo para mover piezas puede ayudar también para realizar cualquier movilidad para robots.

### 3.3.4 Consumo De Energía De Los Actuadores

Normalmente los robots vestibles o portátiles ocupan una energía de mucha duración para poder manejarse por mucho tiempo si este es requerido, cuando se suministra energía al actuador, el tiempo de funcionamiento del robot portátil es limitado, para minimizar el consumo de energía del actuador y, por lo tanto, aumentar el tiempo de funcionamiento del robot portátil, el actuador requiere un mecanismo adicional que pueda soportar la carga en una postura constante incluso sin una fuente de alimentación.

Los actuadores neumáticos pueden mantener la contracción y la expansión a través de una válvula que controla la cantidad de aire, sin embargo, FSA debe consumir energía continuamente para mantener su estado de contracción, por ejemplo, un actuador hecho de un tubo neumático de silicona debe consumir energía para mantener una presión de aire constante del compresor para soportar el movimiento de sujeción. En los actuadores basados en voltaje, se debe proporcionar un voltaje de CC para mantener el estado de retención del actuador. Para el músculo textil (SFM), se debe proporcionar una corriente continua de memoria de forma (SMA) para mantener el estado contraído por calentamiento Joule, para mejorar la eficiencia energética de los actuadores de robots portátiles, los investigadores han estudiado formas de combinar estructuras mecánicas con actuadores para mejorar la eficiencia del consumo de energía, aplicaron un mecanismo motor-tendinoso que utiliza las propiedades elásticas de un resorte para reducir la potencia máxima del motor de 250 W a 81 W, desarrollaron un actuador basado en la elasticidad del embrague, usarlo en los brazos y piernas de los robots exoesqueletos puede reducir el consumo de energía.(Park et al., 2019)

El consumo que tiene los actuadores es muy variado dependiendo de cómo se usa el actuador como se puede observar en este trabajo el consumo de energía, sin ninguna fuerza, la corriente básica requerida por el motor es de 220 mA, la corriente requerida por el motor en estado estacionario es de 560 mA. Después de realizar la prueba de

carga en la corriente al levantarse, la capacidad máxima de elevación del robot es de 35 N superior a su peso básico, esto aumenta el peso del robot por 2,5 kg, que representa el peso total del robot la carga es de aproximadamente 60N.

Durante la prueba, tenga en cuenta que el motor no se sobrecargará y registre su consumo de corriente total a 2500 mA, los resultados anteriores muestran que la batería LIPO de 3500 mAh es suficiente para haga funcionar el robot durante más de una hora sin utilizar una fuente de alimentación. La batería se utilizó posteriormente para confirmar la situación anterior.(Atuesta, 2020)

En la actualidad existen diferentes robots con diferentes tamaños desde robot móviles pequeños hasta robots morfológicos con 6 patas o hasta más donde los actuadores, sensores, mecanismos siempre son incluidos y el consumo de energía de estos son elevados, esta es una fórmula que nos ayudaría a calcular el consumo de los actuadores en placas para mini robots donde se calcula la potencia máxima (P) consumida por el actuador para lograr una determinada deflexión.

Debido a la eliminación de ciertos parches del actuador, el voltaje requerido para lograr el mismo desplazamiento cambiará, por lo que la potencia consumida por el actuador también cambiará. Se obtiene la configuración del actuador, que da el menor consumo de energía. El consumo de energía del actuador es  $P = \pi f C V^2$  (28). Donde  $f$  es la frecuencia (períodos por segundo) y  $C = \epsilon A / t$  es Capacitancia del actuador,  $V$  es el voltaje. Para al final conseguir el menor consumo posible de los actuadores.(Mukherjee & Joshi, 2001)

### **3.4 ESTRUCTURA DE MOVIMIENTO**

En los últimos años se han realizado construcciones de muchos robots con patas en todo el mundo, y cada uno cambia en tamaño, estructura y su función, la estructura de movimiento de cada robot cambia dependiendo de cuantas patas tenga y para que uso tenga dicho robot, se realizan robot de 2 y 4 patas que son los más comunes, los robots multi-pata o robot de una sola pata, su estructura de movimiento es más

compleja, como el robot zoomórfico sus patas van conectadas entre sí y tienen que coordinarse a la hora de su movimiento esto hace que su estructura de movimiento sea más compleja ya que su sistema de activación tiene que ir muy coordinado con las patas para que active los sistemas eléctricos, hidráulicos y neumáticos que el robot utiliza para poder moverse y no tener ningún problema a la hora de desplazarse, para ver mejor la estructura de movimiento se deben realizar pruebas o simulaciones de los componentes para ver si la marcha de dicha estructura sea la adecuada.

Tal diferencia EMS es factible gracias al control de tensión de alta precisión Gravedad parcial o totalmente compensada, inercia, fricción. Objetivo designado del equipo El control del trabajo del equipo debe realizarse de forma unificada con la aplicación Sistema de compensación de potencia del motor (FCS). Por lo tanto, es necesario mejorar la calidad y la eficiencia de la unidad de procesamiento. Suele ser necesario implementar amortiguación eléctrica. (ED)Vibración elástica del dispositivo, limitación de la carga dinámica En engranajes y estructuras elásticas y Control óptimo del trabajo del equipo.(Durga Prasad & Vasanth Kumar, 2020)

El sistema ejecutivo no solo puede caminar, sino que muchos otros robots modernos son mecanismos espaciales controlables complejos, mecanismos espaciales multi enlazados con muchas unidades y estructuras de movimiento en forma de árbol, pueden tener decenas de grados de movilidad, el grado de movilidad de estos robots se instala en un único sistema multi conectado, son severamente interferidos por actuadores y fuentes de alimentación universales con potencia limitada, por lo que se recomienda controlar los variadores con la ayuda de un controlador de conexión múltiple. Hay muchas formas en la teoría moderna del control automático para integrar este tipo de controlador, pero al crear un sistema para controlar el movimiento de un robot ambulante, surgirán muchos problemas, en particular, la conocida "maldición de la dimensionalidad" hace que la síntesis de los reguladores de un sistema con tantos controladores sea bastante complicada y requiera mucho tiempo, incluso si la estructura y los parámetros del sistema son constantes.

En AWR, la configuración del actuador cambia constantemente durante el movimiento. El aspecto externo y la desaparición del enlace mecánico adicional aplicado en el enlace del dispositivo mecánico (principalmente en el pie). Esto va acompañado de perturbaciones cuyos efectos solo pueden predecirse de manera muy aproximada. La carga externa y las características de inercia de la masa del actuador están cambiando. Por lo tanto, es necesario ajustar continuamente la configuración del controlador en tiempo real, y en el caso de que no todos los parámetros del sistema puedan medirse directamente y la señal correspondiente del sensor pueda ser muy ruidosa. (Semenov & Ryabinin, 2020)

La locomoción de seis patos es una estructura de robot muy ventajosa y eficaz, ya que tiene la estabilidad estática cuando va en marcha y una estabilidad dinámica cuando el cuerpo aumenta la velocidad, esto puede ser información muy valiosa para el aprendizaje del control adaptivo de la locomoción donde se puede innovar a la hora de creación de robot. A diferencia de locomoción bípeda humana, este sistema de movimiento de seis patas emplea esquemas de coordinación en el movimiento que hace tener una estabilidad muy buena. Uno de los esquemas con más frecuencia en uso es el esquema de marcha doble trípode que se basa en tener tres patas en el suelo en todo momento como soporte de trípode, y las otras tres en el aire se mueven, los trípodos de cada lado van rotando a la hora del movimiento hacia adelante donde permiten un movimiento sin perturbación y muy estable en todo terreno.

En comparación con los robots móviles de ruedas y orugas, los robots cuadrúpedos tienen una gran adaptabilidad a entornos no estructurados, en comparación con los robots bípedos y otros robots con menos piernas, el paso de los robots cuadrúpedos es más robusto y equilibrado. Los robots cuadrúpedos tienen un rendimiento cinemático más rápido que los hexápodos y otros robots de múltiples patas, por lo tanto, el robot cuadrúpedo tiene un alto valor de investigación y aplicación. El sendero para caminar es una condición necesaria y suficiente para que el robot cuadrúpedo se adapte al entorno no estructurado, el diámetro del pie del mejor robot cuadrúpedo

puede hacer que el robot cuadrúpedo tenga un buen rendimiento dinámico y cinemático sobre la base de una adaptación completa al entorno no estructurado.(Li et al., 2019b)

### **3.4.1 Centro De Gravedad**

El centro de gravedad es un punto imaginario donde se ve el resultado de todas las fuerzas gravitacionales que actúan en un mecanismo, donde el momento respectivo a cualquier de esta resultante este aplicado en el centro de gravedad sean las mismas que el producido por todo el peso de los componentes materiales que hicieron dicho cuerpo. El cuerpo del robot zoomórfico tiene que ser estable cuando pasa de posición a posición y luego se encuentra el centro de gravedad del robot, cuando está en el suelo y cuando esta se apoya, así se da a entender que el robot cumple con la fuerza de marcha y se decida que el robot tiene una marcha estáticamente estable.

### **3.4.2 Punto de equilibrio**

Los robots y su control de equilibrio es un tema muy desarrollado en estos años, donde hay muchos conceptos, aplicaciones o algoritmos para mejorar su movilidad ante cualquier complicación, muy a menudo se ven complicaciones con la coordinación de la estabilidad o del equilibrio donde se incluyen sensores y actuadores o mecanismos que nos ayuda a poder controlar la estabilidad o controlar el equilibrio de los robots; como forma de inspiración a este sistema de control se le llama sistema vestibular ya que es la forma en que los humanos y animales pueden controlar sus cuerpos mediante partes del oído que nos ayuda a orientarnos y poder posicionar nuestra cabeza y así tener un mejor equilibrio, a su vez la visión también es una herramienta importante para controlar el equilibrio, se han realizado análisis donde demuestra que es una posible herramienta para el control de postura y equilibrio de los robots. (García-Haro et al., 2020)

### 3.4.3 Aceleración Relativa

La aceleración relativa se refiere a la aceleración de una partícula con respecto a un sistema de referencia (xyz) llamado sistema de referencia relativo o en movimiento, porque está en movimiento con respecto a otro sistema de referencia (XYZ) que se considera un sistema de referencia absoluto o fijo. El movimiento del objeto de referencia en relación con el otro puede ser traslación, rotación o una combinación de los dos (movimiento de rotación). La aceleración relativa es la aceleración de un objeto observado desde otro objeto de referencia que también se está moviendo. El análisis de aceleración se usa generalmente para determinar la aceleración de varios puntos en un mecanismo en una configuración específica. Debe entenderse que el resultado de este análisis es característico del movimiento instantáneo. (Romanov, 2019)

Según la matriz jacobiana se dice que es la relación entre la velocidad final del pie y la velocidad angular de la articulación. Donde sí se conoce la velocidad del pie en sistema del cuerpo, se puede calcular la velocidad angular de la articulación en un espacio articular del robot con esta fórmula:  $\beta J V = \dot{\theta}$ , Ayudándonos a conocer la velocidad angular del robot y poder realizare cálculos donde se debe dar una mejor estabilidad y firmeza al robot.(Liu et al., 2020)

### 3.4.4 Robots móviles

La participación de los robots móviles en nuestra vida diaria y laboral aumenta día a día, donde se tiene robots móviles que realizan tareas de limpieza del hogar, asistencia médica, entrega de paquetes e Incluso rescate, todas estas tareas deben realizarse de manera eficiente y autónoma. En los últimos años, ha habido una amplia discusión e investigación sobre la planificación de movimiento, especialmente en un entorno estático y supervisado. si no se tiene en cuenta los robots móviles autónomos en un entorno dinámico o no estructurado en el que el robot debe estar Capaz de reaccionar ante imprevistos. Hasta ahora, ha realizado importantes contribuciones a la resolución de problemas de navegación en entornos dinámicos, pero Muchos no se prueban en el entorno real, solo se realizan pruebas en simulación, no hay factores que afecten la

precisión del movimiento. Las imperfecciones del robot y la inclinación del suelo. En la actualidad se ven distintos tipos de robot, desde robots con una pata hasta robot con seis u ocho patas cada robot tiene su movimiento y su función. (Diaz R. et al., 2018)

El uso de robots de enfermería móviles en el área de la epidemia puede reducir en gran medida la posibilidad de infección del médico y reducir la dependencia del área de la epidemia del personal médico. Al mismo tiempo, el desarrollo de inteligencia artificial, big data y computación en la nube proporciona reservas técnicas para el desarrollo de robots de enfermería móviles en áreas populares. Cada vez más escenarios de construcción requieren que los robots de enfermería móviles participen en esta área popular. Con el auge de las industrias emergentes y la mejora continua del rendimiento de los robots, también puede suplir la escasez de médicos. Por lo tanto, la demanda de robots de cuidados móviles está aumentando en áreas populares.

La tecnología de detección avanza más con los robots móviles y cada vez estudian muchos puntos en profundidad. La capacidad de percepción que debe de tener un robot móvil acerca del entorno es cada vez más importante. Una de las partes que es muy necesario en el entorno de percepción es la detención de obstáculos. Estudios se enfocan en mejorar este punto ya que es un entorno no muy conocido en los robots móviles, y el sistema de detección en los robots móviles debe de ser muy buena para que juzgue el entorno y planifique su trayectoria, para que el robot cumpla con la tarea de llegar a su punto. Existen métodos para detectar obstáculos, como la detección de LIDAR, la detección por visión artificial, la detección por sensores infrarrojos y detección por sensores ultrasónicos. Los sensores infrarrojos como el ultrasónico ayudan al robot para detecciones a cortas distancias y también para la medición de distancias de un solo objeto o obstáculo La aparición de los sensores láser resuelve el problema de que estos dos tipos de sensores tienen un rango pequeño y pueden obtener con precisión información sobre la posición del objeto. Estos son algunos

métodos que se usan para la detección de obstáculos en los robots móviles.(Zheng et al., 2020)

El robot móvil autónomo (AMR) es un sistema de robot autónomo con capacidades competitivas que combina las características de los robots antropomórficos y los robots autónomos. Debido a sus amplias y atractivas perspectivas de aplicación, la investigación de robots humanoides autónomos cubre muchos campos, como el diseño de estructuras mecánicas, diseño de estructuras de robots, inteligencia artificial, visión por computadora, control de movimiento, procesamiento de imágenes para la toma de decisiones, reconocimiento de patrones, fusión de información, etc. Hay muchos desafíos en la investigación, por lo que la tecnología de robots humanoides autónomos se ha convertido en uno de los focos de investigación actuales en el campo de la robótica. (Zhang, 2019)

Con el desarrollo de la robótica, ha surgido una gran cantidad de robots móviles con ruedas biónicas en el campo de Operaciones industriales, mejorando así la precisión y eficiencia de las operaciones industriales. Como una dirección importante de los robots inteligentes, los robots móviles con ruedas tienen un buen valor de aplicación en el control de agarre y movimiento, ya que manejan muchos sensores y actuadores que lo ayudan a orientarse a mejora cada aplicación asignada en la industria, donde su desempeño mejora día a día por la evolución de la tecnología años tras años, dando más oportunidad a los robots móviles a mejorar y poderse usar cada día más en la industria.

Los robots móviles son muy usados para muchas aplicaciones en la industria, ya que son muy usables en la parte de manipulación y transporte de piezas, cada vez los robots móviles van innovando y mejorando, que hasta ya se encuentran en hogares implementados para la parte de limpieza; estas innovaciones han traído muchas mejoras para la robótica como tal y mejorando cada vez más la rama, ampliando investigaciones que estudien la cinemáticas de los robots móviles para mejorar las trayectorias del robot haciendo pruebas y cálculos donde se mejora el

direccionamiento del robot para mejorar la ubicación y que el comportamiento sea el adecuado.

Los robots móviles han causado una feroz controversia. Además, muchos robots móviles se han utilizado para múltiples propósitos, como la industria, la defensa nacional, lugares que los humanos nunca han tocado (por ejemplo, el robot Rover de Marte para la exploración planetaria, Marte), e incluso con fines educativos. A los robots también les gustan los juegos de bolas de robots, los juegos de robots cortacésped y los juegos de robots de búsqueda de incendios. Una de las principales tareas que debe realizar todo robot móvil es llegar a la ubicación planificada y conocer siempre su ubicación y dirección (sistema de navegación). Una técnica sencilla que se puede utilizar es hacer que el robot se mueva a lo largo de una trayectoria recta para llegar al destino y rotar de acuerdo con la dirección esperada [10]. Debido a la simplicidad del control, en general, este método se usa ampliamente en robots reales, como los que se usan en robots de enfermería. Los robots móviles evolucionan al pasar de los años y muchos estudios implementan nuevas ideas como la de las curvas Bézier que se utilizan a menudo en campo de graficas por ordenador y también se han implementado en la trayectoria de los robots donde calculan la longitud y la curvatura para que el robot siga su orientación y es importante que las ruedas del robot tanto izquierda como derecha estén ajustadas suavemente para poder implementar el método de Bézier.(Alfatih et al., 2021)

## **IV. METODOLOGÍA**

En su definición, la metodología de investigación es un conjunto coherente y racional de procedimientos junto con técnicas que se aplican en un orden cronológico y sistemático, también se puede interpretar que la metodología de investigación es un proceso o técnica específica que se utiliza para identificar, seleccionar, procesar y analizar información sobre un tema. La metodología debe justificar las opciones de diseño, mostrando que los métodos y técnicas elegidos son los que mejor se ajustan a las metas y objetivos de la investigación y proporcionarán resultados válidos y confiables.

### **4.1 ENFOQUE**

El enfoque cuantitativo es la forma más adecuada de clasificar el enfoque de la investigación, debido a que se plantea la confirmación de movilidad del robot mediante la aplicación de mecanismos. La selección de los mecanismos se toma en cuenta algunos datos como lo son el peso, ángulo de movimiento, y predicción de movimiento mediante simulación, para confirmar y validar los datos obtenidos se realizan pruebas de validación que permita demostrar que el movimiento es posible.

Dado que se describen y analizar los comportamientos de las variables a estudiar que afectan directa e indirectamente la movilidad se puede describir el proyecto como una investigación experimental donde se toma en cuenta la funcionalidad y el comportamiento de los mecanismos y de los actuadores.

### **4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN**

Las variables de investigación son las que define y representan un concepto de vital importancia dentro de un proyecto. Las variables, son los conceptos que forman enunciados de un tipo particular denominado hipótesis

A continuación, se presentan las variables de investigación:

*Tabla 1 Variables Dependiente e Independientes Fuente: Propia*

<b>Variable Dependiente</b>	<b>Funcionamiento correcto de los mecanismos y actuadores en el robot.</b>	
<b>Variables independientes</b>	<b>Energía consumida</b>	Esta variable nos ayuda a saber la energía que se consumirá en todo el sistema, conociendo el tiempo a utilizar sin sufrir un sobrecalentamiento de sus actuadores.
	<b>Peso externo</b>	El peso máximo al cual puede ser sometido todo el sistema sin sufrir deformidades y sin exceder las capacidades de los actuadores en el momento de su desempeño.
	<b>Posición del Mecanismo</b>	Ayuda a determinar la posición adecuada de los mecanismos y actuadores en el robot para su libre movimiento.

La movilidad de las articulaciones del robot se toma como la variable dependiente la cual dependerá directamente de los actuadores y mecanismos implementados que influyen de una manera importante al robot.

#### **4.2.2 Variables Independientes**

Se han determinado como variables independientes el tipo de actuador aplicado, el tipo de mecanismo utilizado y el material que se utilizara según las propiedades que este proporciona. Se estima que estas variables influyen sobre la variable dependiente que es la movilidad del robot zoomórfico.

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

En este proyecto de investigación se utilizó informaciones provenientes de muchas fuentes de confianza como tesis universitarias, revistas académicas y libros relacionados a nuestra investigación proporcionando el cimiento de la investigación. Con el propósito de alcanzar la finalidad del robot y que este pueda funcionar, donde

fue necesario el diseño de un mecanismo y análisis de fuerza por medio del CAD Solidwork.

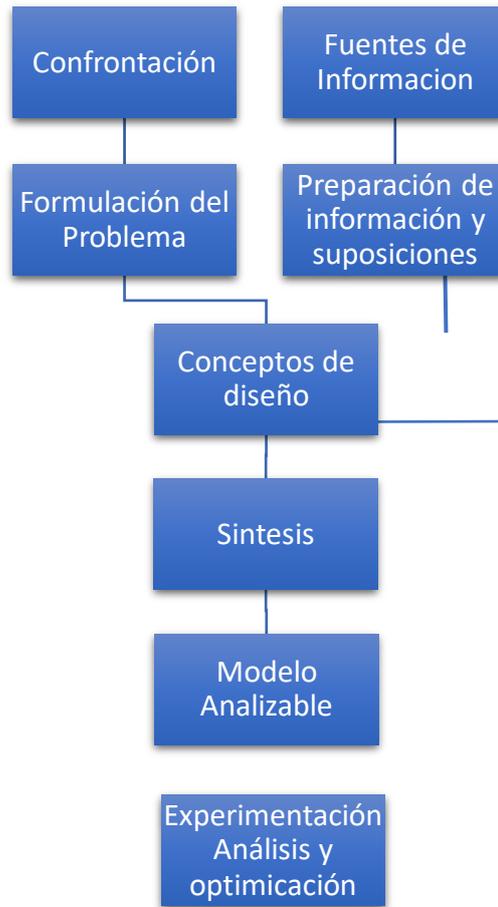
#### **4.4 MATERIALES**

Para la fabricación del robot fueron necesario diversos materiales, donde se compró actuadores, y la creación de un mecanismo hecho por maquinas 3D para dar la movilidad de dicho robot. Donde se utilizaron como material aluminio y plástico para la finalización del proyecto.

#### **4.5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO**

En este apartado se presenta la metodología aplicada que sustenta el desarrollo del proyecto de investigación. Para el proyecto presente, se utilizó la metodología de ingeniera, la cual nos ayudará a definir y solucionar problemas parar realizar la fabricación y el ensamblaje final del robot mediante tareas simples para el diseño de componentes o diseños complejos, esta metodología consta de 7 etapas, donde cada paso nos permitirá el desarrollo correcto del robot.

La metodología de ingeniería de diseño permite una relación entre el diseño la fabricación y elaboración del proyecto de una forma más continua hasta llegar al final del proyecto, mayormente la metodología es utilizada para el diseño en mecanismos que involucren factores de diseño y fabricación, esto con la finalidad de disminuir el margen de error que puede presentarse al momento de la elaboración de los mecanismos.



*Figura 2: pasos de la metodología de ingeniera de diseño fuente: propia*

#### **4.5.1 Paso:1 Confrontación**

En esta primera etapa se enfrenta el problema que debe ser solucionado mediante soluciones de diseño, para ello el diseñador recurre a información que ofrezca una serie de soluciones. La problemática para el robot es su movilidad haciendo que dicho robot necesite la adaptación de mecanismos y actuadores que lo ayuden a poder realizar su movimiento sin ningún problema, sin la ubicación correcta el robot corre el riesgo de tener poco o nulo movimiento, el gran tamaño de un robot puede dificultar en gran medida la necesidad de maximizar la cantidad de actuadores que este puede necesitar, pero mediante mecanismos puede disminuir proporcionalmente sin afectar

su movilidad, por lo cual se deben tomar en cuenta todos los movimientos posibles aplicables al robot.

#### **4.5.2 Paso:2 Formulación del problema**

Hoy en día los robots zoomórficos son muy utilizados para muchas actividades como militares, industriales y médicas, donde son implementados para la movilidad de cargas como en la industria o en la milicia, donde su movimiento debe ser muy eficaz y factible a la hora de su uso, la problemática de este robot es que su movilidad no está completada necesita la ayuda de mecanismos y actuadores para que facilite su movilidad y sea utilizado.

La causa de dichas fallas de movilidad provino de que el robot no estaba finalizado haciendo que este no pudiera levantarse y caminar para realizar las tareas asignadas dejando incompleta la forma en como este podría acceder al movimiento articulado para el cual se está planeando. Eso deja dos preguntas importantes que deben ser resueltas en este apartado.

#### **¿Como se resuelve el problema?**

La solución que se debe plantear para el robot zoomórfico debe tomar en cuenta las posibilidades de movimiento, tanto como los grados de libertad que se han contemplado para la finalidad de movimiento, en este caso, poder dos puntos articulados a los cuales quiere se accede con un solo actuador, el objetivo del mecanismo es permitir que el actuador maneje los dos nodos.

#### **¿Para qué se necesita?**

La necesidad del mecanismo surge ante el movimiento lineal que se quiere implementar mediante actuador de este movimiento. Como se mencionó con anterioridad la finalidad de un robot zoomórfico tiene variedad según el ámbito al cual sea destinado, pero en cuanto a su movimiento, es de suma que este pueda articular de una forma fluida y que pueda soportar tanto su peso como el peso adicional para el cual su tarea sea asignada.

### **¿Como se desea el efecto final?**

El efecto final mínimo que se debe cumplir es la movilidad del robot donde se establece las articulaciones mediante la implementación zoomórfica. Los actuadores deben de cumplir con unas estabilidad de sujeción fuerte y de manera que pueda ser retirada en caso de necesidad de remplazo, las articulaciones deben presentar una estabilidad y un movimiento fluido tal que el esfuerzo mínimo por fricción sea transmitido al actuador, debido al movimiento vertical y horizontal que deben ser sobrepuestos en cada una de las patas del robot zoomórfico, deben ser de aparente movimiento independiente, donde tanto el movimiento vertical no influya de manera mecánica el movimiento horizontal y viceversa, ambos movimientos deben ejercerse de una forma libre y con el mínimo esfuerzo requerido.

### **4.5.3 Paso:3 Conceptos de diseño**

En este paso debe presentar de forma clara el diseño final tomando en cuenta las variables que se presentan y tomando en cuenta la información necesaria que será aplicada de forma circunstancial en el robot. Se debe tomar en cuenta la solución más acertada para la movilidad y que no perjudique los demás ámbitos del movimiento. Para este punto se recomienda haber realizado simulaciones previas donde se pudiera observar el movimiento planteado con las posibles soluciones, donde se puede observar y variar los resultados según las observaciones que se puedan mostrar a través de las simulaciones.

#### **4.5.4.1 Árbol del producto**

Nuestro árbol de producto esta dividió en dos secciones, en la sección de mecanismo y la sección de actuadores, con esas dos secciones se realizará el movimiento del robot.

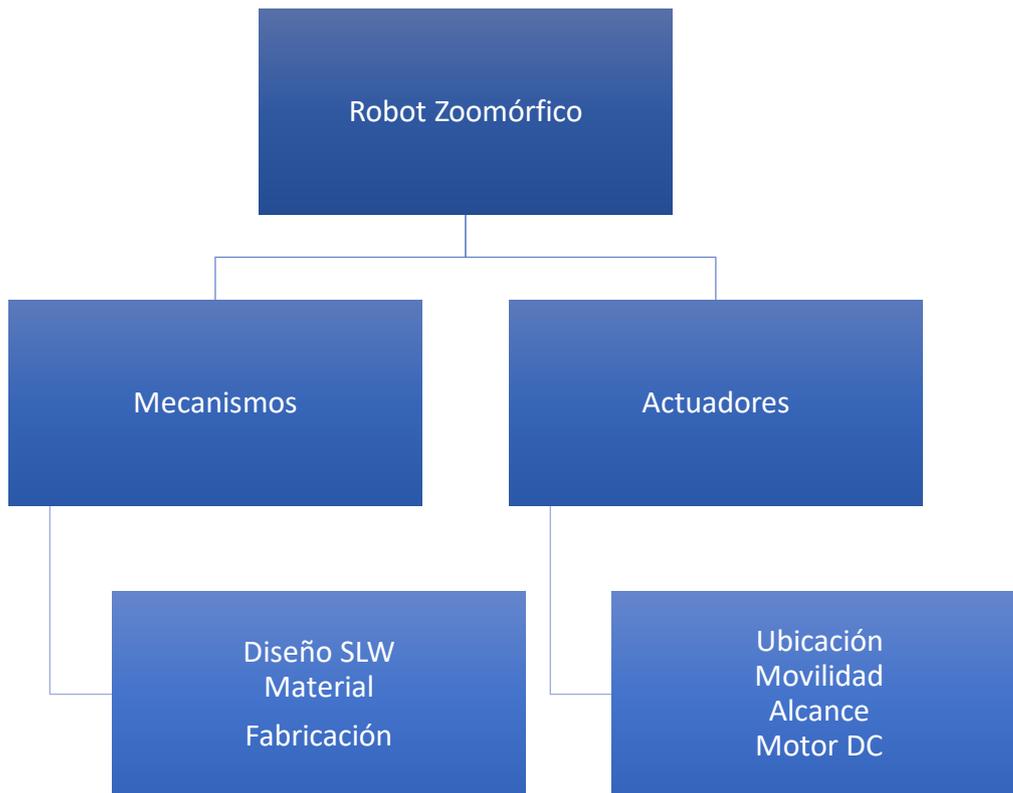


Figura 3: árbol de producto Fuente: propia

#### 4.5.4 Paso:4 Síntesis

Se requiere crear e instalar mecanismos y actuadores para que el robot tenga su movilidad y pueda funcionar sin ningún problema, para ello es necesario recurrir a herramientas y documentos que ayude a definir los parámetros de acceso y de acción que se requieren en la implementación de los actuadores y de los mecanismos. Cada tarea a realizar para finalizar el proyecto debe presentarse de forma organizada y estableciendo los parámetros de tiempo permitidos para dicha tarea, permitiendo así conocer el estatus de avance de una forma constante.

#### 4.5.5 Paso:5 Modelo Analizable

En este apartado se debe estudiar la funcionalidad final y la efectividad de la implementación de los actuadores y mecanismos para este tipo de robot tomando en cuenta las variables que afecta de forma directa e indirecta el movimiento del robot.

También debe tomarse en cuenta los componentes mecánicos y electrónicos donde se debe observar el comportamiento que estos presentan en las situaciones reales de

implementación. y la manufactura del modelo dando lugar a remplazo y producción en masa.

#### 4.5.6 Paso:6 Experimentación

Una vez realizadas todas las pruebas necesarias para determinar el comportamiento de los elementos se procede al punto donde se toma en cuenta todo lo antes mencionado y se procede a una etapa de experimentación y prueba donde se establece un tiempo de prueba donde todos los componentes funciones de forma constante para poder determinar, analizar y establecer de forma óptima el comportamiento del robot zoomórfico.

#### 4.5.7 Paso:7 Presentación

Ya en este paso se finaliza lo que es la metodología mostrando los resultados obtenidos, finalizando así la el total del proyecto.

### 4.6 CRONOGRAMA

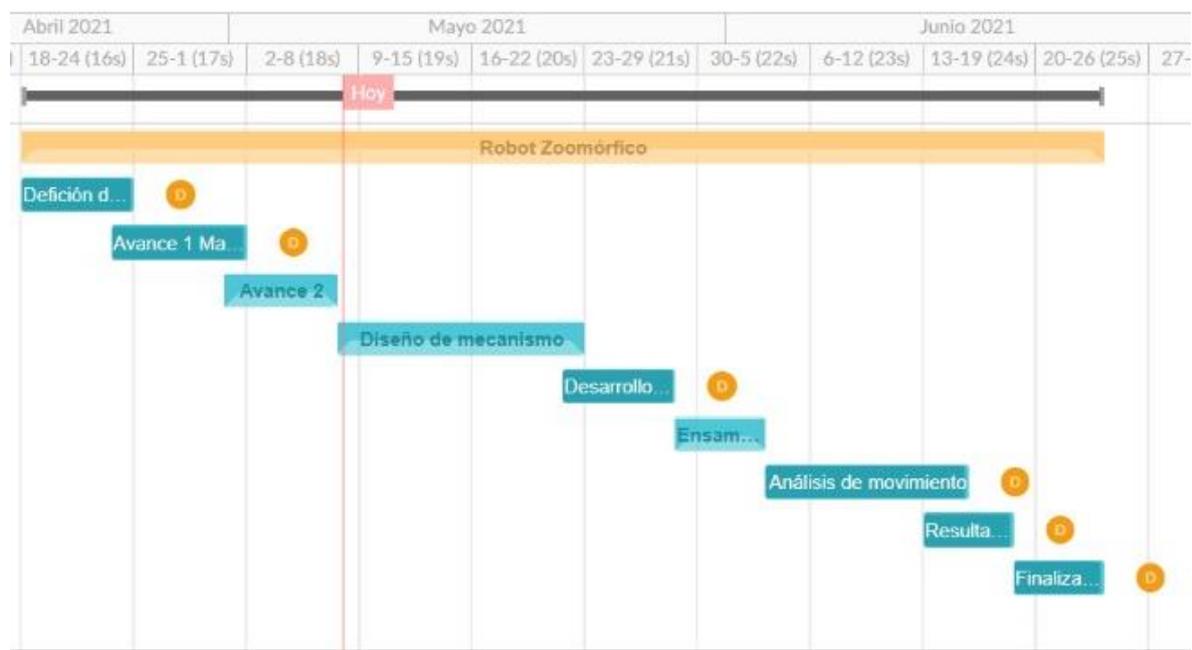


Figura 4 Diagrama de Gantt Fuente: propia

	Nombre de la tarea	Asignado	Registro	+
			0	
<b>1</b>	<b>Robot Zoomórfico</b>		<b>0</b>	⋮
1.1	Defición del problema del proyecto	Diego Sabi...	0	⋮
1.2	Avance 1 Marco Teórico	Diego Sabi...	0	⋮
<b>1.3</b>	<b>Avance 2</b>		<b>0</b>	⋮
1.3.1	Análisis del esqueleto del robot	Diego Sabi...	0	⋮
1.3.2	Metodología	Diego Sabi...	0	⋮
<a href="#">Añadir una tarea</a>   <a href="#">Añadir un hito</a>				
<b>1.4</b>	<b>Diseño de mecanismo</b>		<b>0</b>	⋮
1.4.1	Diseño de mecanismo en solidwork	Diego Sabi...	0	⋮
1.4.2	Pruebas simuladas	Diego Sabi...	0	⋮
1.4.3	Modificaciones necesarias	Diego Sabi...	0	⋮
<a href="#">Añadir una tarea</a>   <a href="#">Añadir un hito</a>				
1.5	Desarrollo del Mecanismo	Diego Sabi...	0	⋮
<b>1.6</b>	<b>Ensamble de mecanismo y actuadores</b>		<b>0</b>	⋮
1.6.1	Ensamble de mecanismo y actuadores	Diego Sabi...	0	⋮
1.6.2	Pruebas	Diego Sabi...	0	⋮
<a href="#">Añadir una tarea</a>   <a href="#">Añadir un hito</a>				
1.7	Análisis de movimiento	Diego Sabi...	0	⋮
1.8	Resultados	Diego Sabi...	0	⋮
1.9	Finalización de proyecto	Diego Sabi...	0	⋮
<a href="#">Añadir una tarea</a>   <a href="#">Añadir un hito</a>				

Figura 5 cronograma de actividades fuente: propia

## **V. ANÁLISIS Y RESULTADOS**

En análisis y resultados se detallará de forma consecutiva y tomando en cuenta la metodología se describirá el proceso aplicado para la investigación y aplicación. En este apartado se podrán observar el diseño aplicado al robot tomando en cuenta los movimientos, también se detalla el tipo de actuadores aplicados y el tipo de funcionalidad que estos proveen, tanto como el ángulo de trabajo y longitud de movimiento.

### **5.1 ANÁLISIS Y RESULTADOS**

En el marco teoría se detalló el tipo de mecanismos aplicados en los tipos de robot zoomórficos, para este robot se tomó en cuenta la movilidad inspirada en las arañas, sin embargo, la aplicación del exceso de actuadores dificulta la cantidad de energía que esta debe consumir. El tipo de actuadores aplicados, en el marco teórico se detalló los actuadores los beneficios que estos proveen, según las características, el consumo y el peso que estos añaden al robot, es de suma importancia que el conjunto de actuadores y sus impulsores sean de poco peso.

Se toma en cuenta la zoomorfa logia de una araña para tomar en cuenta los puntos articulares para el robot. En el apartado del marco teórico se describió las partes y sus articulaciones, como también se expresó ejemplos donde dos puntos articulados se vuelven uno reduciendo de seis a tres puntos articulados.

El apartado de consumo de energía por actuadores no se tomará en cuenta en el proyecto debido a que el enfoque principal es el libre movimiento del robot, dando como prioridad que el movimiento no se vea entorpecido por sus grados de libertad.

### **5.1 METODOLOGÍA**

En el apartado de metodología se detallará el proceso detallado para llegar al resultado final obtenido. La metodología aplicada en el proyecto es la metodología de diseño para ingeniería, que está dividida en varios pasos.

### **5.2.1 Confrontación**

En este punto es importante mencionar que el proyecto es la continuación de un diseño previo donde se tomó en cuenta solo ciertas etapas de construcción, el robot cuenta con cuatro partes esenciales las cuales son:

- La estructura de soporte
- Coxa y trocánter
- Fémur y patela
- Tibia. metatarso y tarso

Cada uno de los puntos representa un avance y una pieza importante de la estructura del robot, pero no se tomaron en cuenta varios puntos de movilidad y tamaño, si bien el trabajo de diseño se trabajó bajo criterios adecuados, en la aplicación surgieron varios problemas, entre ellos están los siguientes:

- Tamaño de los actuadores: en este punto el tamaño de los actuadores que se tomó en cuenta para el diseño difiere en gran cantidad de longitud el espacio destinado para su movimiento, como se puede observar en la figura 7, el tamaño no es el adecuado para la implementación de los actuadores propuestos, la aplicación de actuadores hidráulicos o neumáticos si es posible en el diseño propuesto, sin embargo esto aumenta el peso que el robot tendría sobre si, comprometiendo la estabilidad y aumentando los puntos críticos de la estructura,
- Puntos de fijación: los puntos de fijación no permiten que la estructura tenga el libre movimiento, limitando al máximo su movimiento en el sentido horizontal y vertical. Por lo cual los puntos de fijación deben ser ubicados en puntos diferentes y en diferentes orientaciones, debido a este punto y el punto antes

mencionado donde se expresa el tamaño de los actuadores es por el cual se contempla la posibilidad de una extensión a la estructura.

- Cantidad de actuadores: en este punto se tomó en cuenta la cantidad de actuadores con el fin de reducir el consumo de energía, también se debe tomar en cuenta que disminuir la cantidad de actuadores puede o no, que los actuadores aplicados aumenten su esfuerzo aplicado. Por lo cual se debe plantear el tipo de mecanismo que favorece el proyecto y su movilidad.

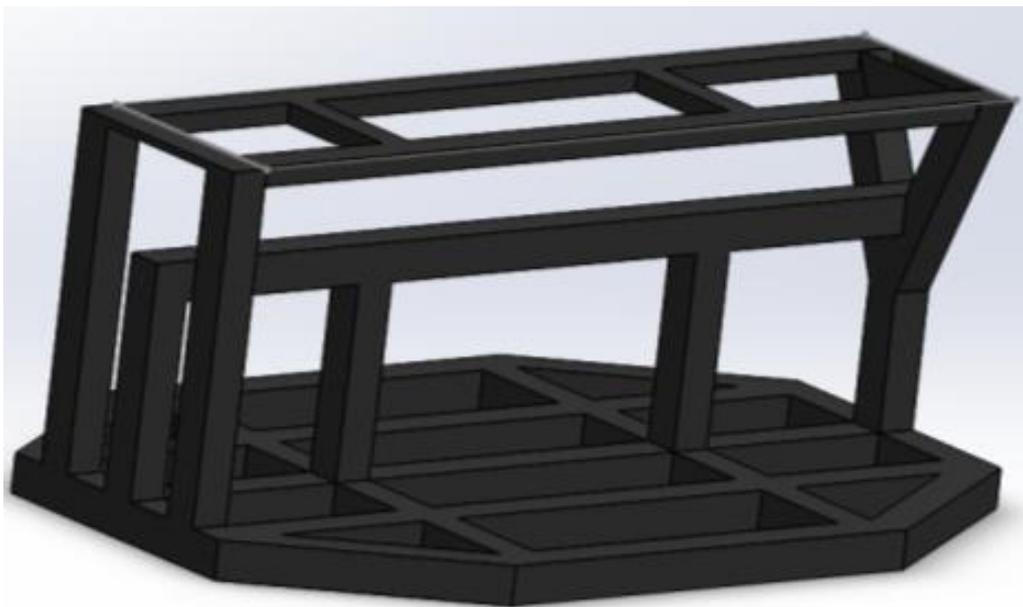


Figura 6 diseño propuesto fuente: José Carlos Andrés

## **5.2.2 Formulación del problema**

En este apartado se detallará la forma en cómo se enfrentó el cada uno de los problemas presentado, se detalla las propuestas que fueron planteadas para poder resolver cada uno de los problemas que se pudieron observar. Se presentarán el análisis previo a la implementación de algunos de los componentes y la reacción que estos demostraron.

### **5.2.2.1 Matriz de Materiales y equipo**

En este apartado se presentará propuestas de elementos para enfrentar la problemática previamente presentada, para ello se tomará como elementos primordiales el tipo de actuador, tipo de soportes para los actuadores y funcionalidad,

el tipo de material, y forma de unión. Cada uno de los elementos mencionados cuentan con una ventaja y desventaja que fueron tomadas en cuenta al momento de la selección de elementos y material.

Tabla de elementos y material

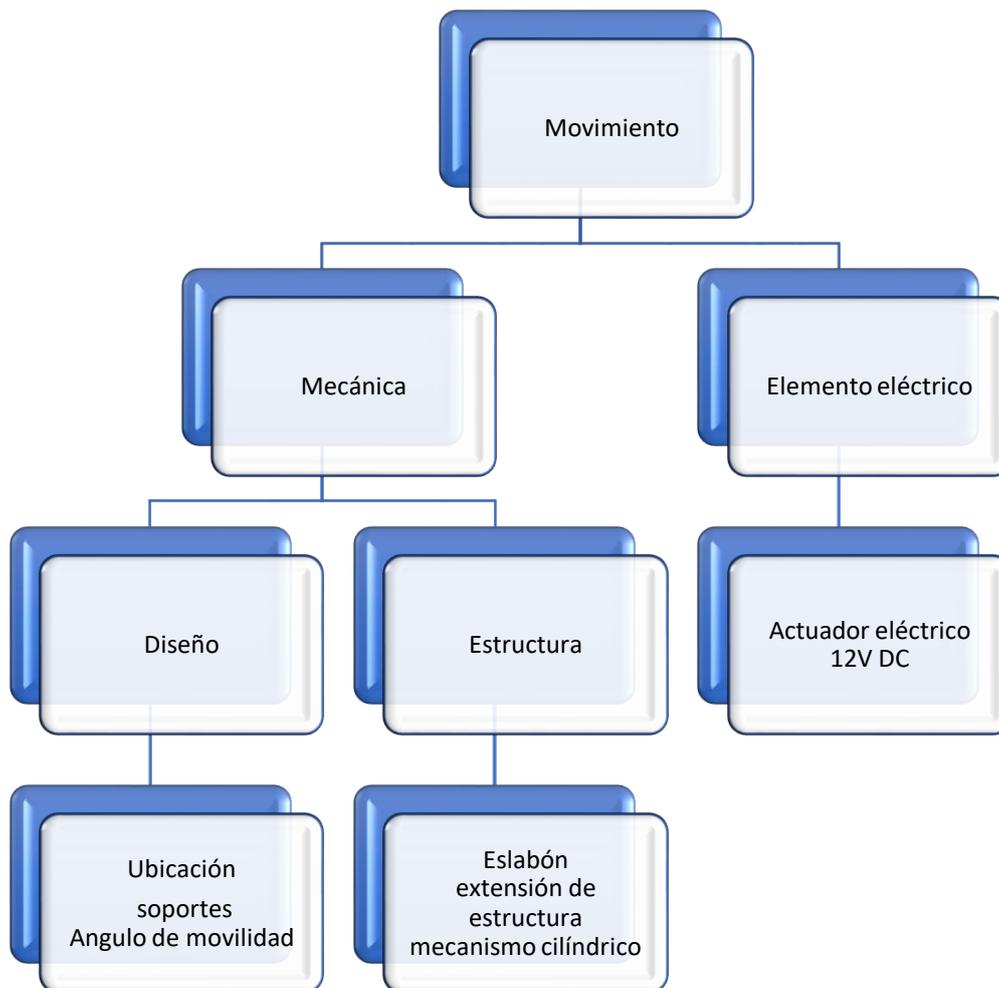
*Tabla 2 tabla de elementos y materiales Fuente: propia*

	A	B	C	D
Actuador	Pistones Hidráulicos	Pistones Neumáticos	Pistones eléctricos	
Soportes	Soportes rotacionales	Soportes Lineales	Soportes giratorios	Soportes de movimiento longitudinal
Material	Acero dulce	Acero galvanizado	Aluminio	Hierro negro
Unión	tornillos galvanizados	Soldadura eléctrica	Otras soldaduras.	

Caso: Pistones Eléctricos, Soportes giratorios, aluminio, tornillos galvanizados

En caso de los pistones neumáticos y pistones hidráulicos, es que el conjunto necesario para su activación aumenta el peso y las posibilidades de fallas en sus componentes, los pistones neumáticos necesitarían un compresor de alto consumo y electroválvulas, en el caso de los pistones hidráulicos se puede presentar fallas por el tipo de bomba, además de presentar inestabilidad del fluido según las condiciones a las que el robot sea sometido.

Descripción de La matriz Morfológica



*Figura 7 descripción de componente del proyecto Fuente: Propia*

### **5.2.2.2 Costos**

En el apartado de costos se describe tanto el costo de cada uno de los elementos que conformar el ensamblaje, como también el costo de mecanizado, soldadura, se a despreciado algunos procesos como taladrado de la estructura de aluminio, brocas, ya que se realizó de forma interna entre los integrantes del proyecto de investigación. En cuanto a la soldadura y mecanizado de las piezas se tomó la decisión de contratar un servicio externo que pudiera realizar de acuerdo a las especificaciones dadas todos los componentes que forman parte del proyecto de investigación, debido a que no se cuenta con el equipo necesario para la realización de dichos componentes como lo son: torno para fabricar el mecanismo giratorio, taladro de banco para las perforaciones de los componentes, y soldadora DC para soldar aluminio.

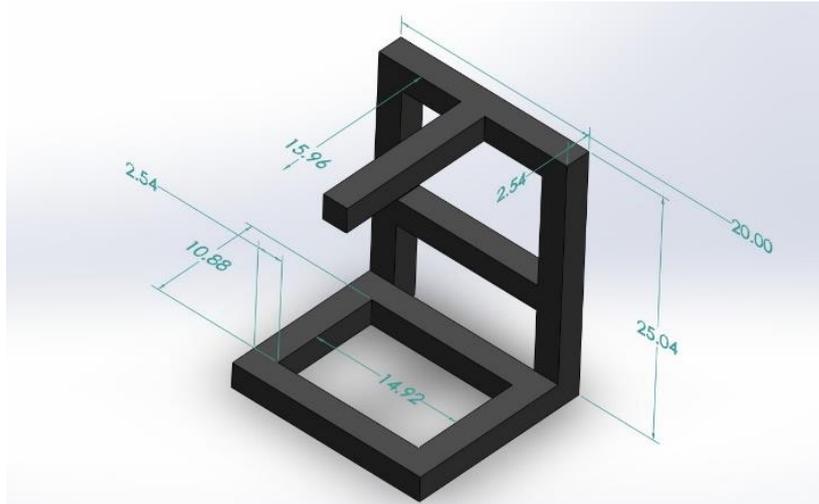
*Tabla 3 costo de elementos y trabajo invertido fuente: propia*

Descripción	Precio	Cantidad	Total
Motores	L 1,519.00	8	L 12,152.00
Aluminio	L 450.00	1	L 450.00
Mecanizado De Piezas, Mecanismo Y Pines giratorios	L 4,800.00	1	L 4,800.00
Soldadura De Aluminio	L 2,200.00	1	L 2,200.00
TORNILLO HEXAGONAL S5 1/2. 2"	L 5.00	16	L 80.00
TORNILLO HEXAGONAL S5 1/2. 1"	L 4.00	32	L 128.00
TUERCA PARA TORNILLO S5 1/2"Y ARANDELAS	L 4.00	50	L 200.00
<b>Total</b>			<b>L 20,010.00</b>

### 5.2.3 Resolución de problemas

La estructura tiene una variación en cuanto al diseño en medidas, lo que dificulta tomar en cuenta nuevos parámetros de extensión debido a que cierta parte de la estructura obstaculiza la libertad de movimiento en sentido horizontal, este problema se presenta solamente dos de sus patas, en cuanto al otro extremo que tiene forma de Y, el espacio para maniobrar es mayor lo cual permite un mayor alcance en cuanto a su angularidad se refiere.

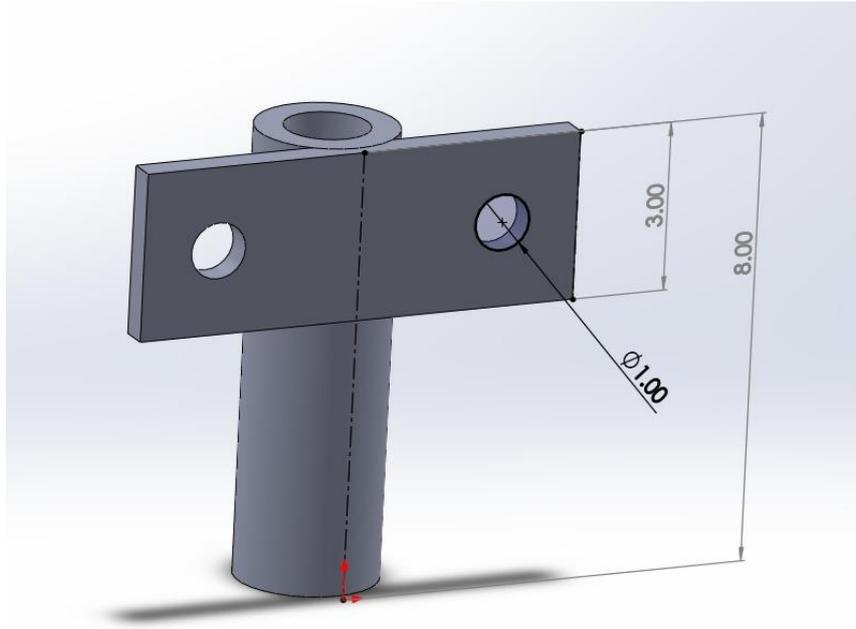
Se realiza como propuesta la extensión en dos de sus lados, como se puede observar en la figura 9, el objetivo con esta extensión es para poder posicionar los actuadores que serán responsables del movimiento horizontal, la extensión es de 18.5cm dando un espacio total de 23.5 cm para un actuador de 20cm, esto permitirá que el actuador pueda extenderse y contraerse con libertad.



*Figura 8 extensión añadida a la estructura fuente: propia*

La estructura de soporte para los actuadores es de comportamiento sólido, lo que quiere decir que debe estar sujetos a una estructura plana, y los soportes no pueden maniobrar movimiento por sí solos. La estructura a la cual se tenía contemplado colocar los soportes de los actuadores que realizarían el movimiento vertical son de comportamiento plano y fijos, el problema que esto lleva es debido al movimiento horizontal, ya que al realizar este movimiento se presentaran limitaciones por el movimiento vertical, para este problema podría darse una solución practica como rotar  $90^\circ$  el soporte, pero esto evitaría que se pudiera realizar con libertar el movimiento vertical.

Para maniobrar de manera vertical y horizontal se debe plantear un mecanismo plano con la posibilidad de rotación, para ello se propone un soporte de carácter rotativo, como se puede observar en la figura 10, cuenta con el soporte fijos para los actuadores encargados del movimiento vertical, y permitirá la rotación en sentido horizontal, se opta por realizarlo en ensamblaje, con la finalidad de que no tenga que remplazarse por completo.



*Figura 9 soporte de actuador vertical fuente: propia*

El punto de fricción que se ejercerá sobre la estructura y los soportes de los actuadores puede generar un desgaste a largo plazo, por lo cual un remplazo puede ser necesario.

Como se mencionó anterioridad la cantidad de actuadores se debe disminuir, por lo cual un mecanismo fijo se contempló como la mejor oportunidad. Debido a las maniobras que este realizara se toman en cuenta la altura, la longitud del mecanismo, y el peso que los actuadores deberán soportar en dichas maniobras.

Cada actuador soporta un total de 330 lb de peso realizando un total de 1000N, la unión de fémur y la tibia ayuda en la reducción de actuadores, la unión entre ellos se da mediante un eslabón fijo, en la figura 11 se puede observar que el eslabón está conformado por dos pines fijos que serán remplazados por tornillos de fijación y se apoyarán entre ellos.

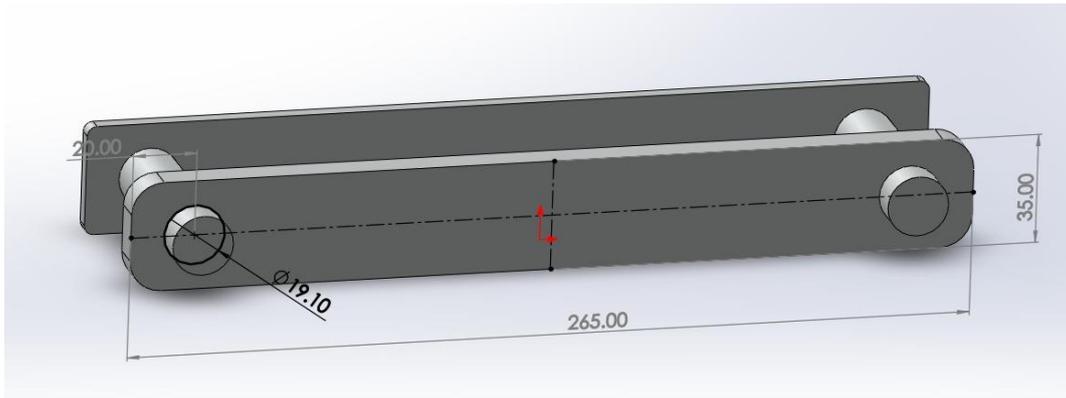


Figura 10 eslabón de fijación fuente: propia.

Los tornillos de fijación están sometidos a una fuerza de tensión, mediante pruebas de tensión se pudo concluir que la fuerza rotativa ejercida por el tarso es de 111 N, esta fuerza es ejercida por la fuerza rotacional que provoca el tarso y metatarso y el punto articulado entre la tibia y la patela.

El peso de cada uno del componente por sí solos

- Coxa y trocánter: 8.52lb
- Fémur y patela: 28lbs
- Tibia. metatarso y tarso: 39 lb

Luego de realizar pruebas de fuerza requerida para el levantamiento total del Fémur hasta el tarso, se pudo obtener el resultado de 67 lb de fuerza requerida para poder levantar el total las piezas. La obtención de los datos fue obtenida mediante una báscula de mecanismo de resorte que soporta 120 lb de fuerza.

La fuerza en Newton se da de la siguiente manera

$$N = 67lb * 0.45359137 \frac{kg}{lb} * 9.80665 \frac{m}{s^2}$$

$$N = 298.03N$$

Realizando el mismo calculo para conocer la fuerza de empuje se realizó pruebas con 200 lb obteniendo como resultado 889N

La cantidad de fuerza que aplicaría el actuador sería de 300N en levantamiento, para de defecto de estudio no se toma en cuenta la fuerza aplicada en empuje debido a que se desconoce el peso total que será colocado sobre la estructura, donde se incluye fuente de poder, Cableado y PLC, sin embargo, se realizaran pruebas de soporte para diferentes pesos para probar la estabilidad, la integridad de la estructura y la fuerza de los actuadores.

Los eslabones soportan una fuerza de 298.03N de tensión, por lo cual se opta por realizar pruebas simuladas de tensión para ver el comportamiento de este, si el material es hierro dulce.

Si bien el principio implementado en este tipo de mecanismo al momento de referirse a la tensión se distribuye en un área menor debido a que el área se ve reducida por la perforación que soportara los tornillos de fijación.

Al momento de realizar la simulación de fuerza aplicada en tensión se ver reflejada sus puntos más frágiles, como se puede apreciar en a figura 12, donde se puede observar que la mayor fuerza la recibe los tornillos fijos. La fuerza de corte que este provoca con 111N no supera las especificaciones de los tornillos, los tornillos seleccionados han sido tornillos uso común en el mercado de diámetro de 20 mm que poseen una propiedad 7056 N de resistencia al corte.

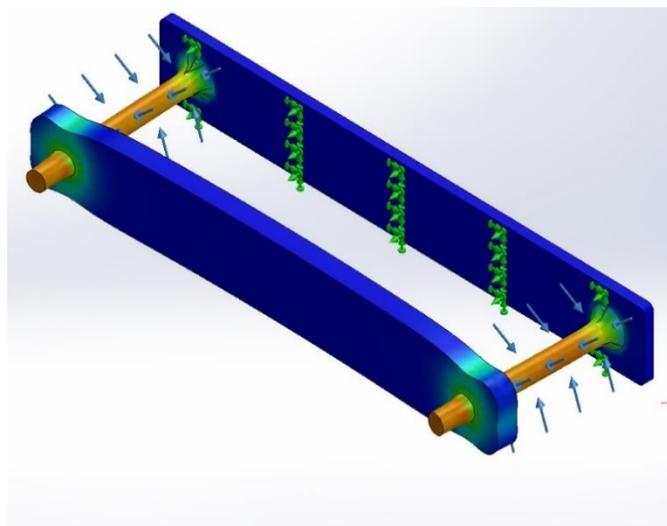


Figura 11 simulación de tensión a mecanismo de eslabones Fuente: propia

En la figura 12 para defecto de estudio se debe ignorar los pines de soporte debido a que el estudio se realizó con el mismo tipo de material. Pero tomando en cuenta lo antes mencionado se puede determinar que la fuerza será absorbida por los tornillos que serán los que une ambos eslabones.

#### **5.2.4 Actuadores**

En el marco teórico se habló sobre diferentes tipos de actuadores y se tomó en cuenta actuadores de movimiento lineal, en el proyecto de investigación se plantió el uso de este tipo de actuadores, las características de actuador son las siguientes:

- 205mm en posición cerrada
- 305mm en posición abierta
- 98 mm entre base de engranaje y motor
- 68 dB de ruido
- Doble polaridad
- 1000N de soporte
- Estructura de aluminio
- 12 V
- De carácter impermeable

Los actuadores fueron sometidos a 5 horas de uso continuo bajo las condiciones de fuerza presentando el motor un calentamiento de 15°C, pasando de 26°C de temperatura a 41°C siendo este el primer caso, por otra parte, se realizó un segundo caso donde había un lapso de 1 minuto con 30 segundo de descanso entre movimiento, la prueba fue realizada durante 5 horas, obteniendo un calentamiento de motor de 4°C. La continuidad del sistema de prueba se realizó mediante un sistema donde se utiliza un Relé para realizar el cambio de polaridad y un Arduino para el control de tiempo y la conexión y desconexión del relé, en la gráfica 1 se muestra el cambio de temperatura que se presentó en los motores a lo largo de 5 horas en ambos casos, la temperatura se tomó con un lector de temperatura infrarrojo con un margen

de error de 0.4°C cada hora desde el inicio del proceso, también se debe tomar en cuenta que debido al largo tiempo que llevo la prueba, la temperatura ambiente se vio afectada en 5°C de aumento de temperatura en el primer caso. En el segundo caso se presentó un aumento de temperatura de 3°C.

Debido a la variación de temperatura que se dio en el ambiente se tomó la decisión de realizar por segunda vez las pruebas al caso 1 y al caso 2 bajo condiciones de temperaturas constante tomando como punto de inicio 22°C, para el caso 1 el aumento de temperatura del motor fue de 7°C, y el caso 2 el aumento de temperatura fue de 2°C, bajo estas pruebas realizadas se pudo determinar tendrá un calentamiento mínimo.

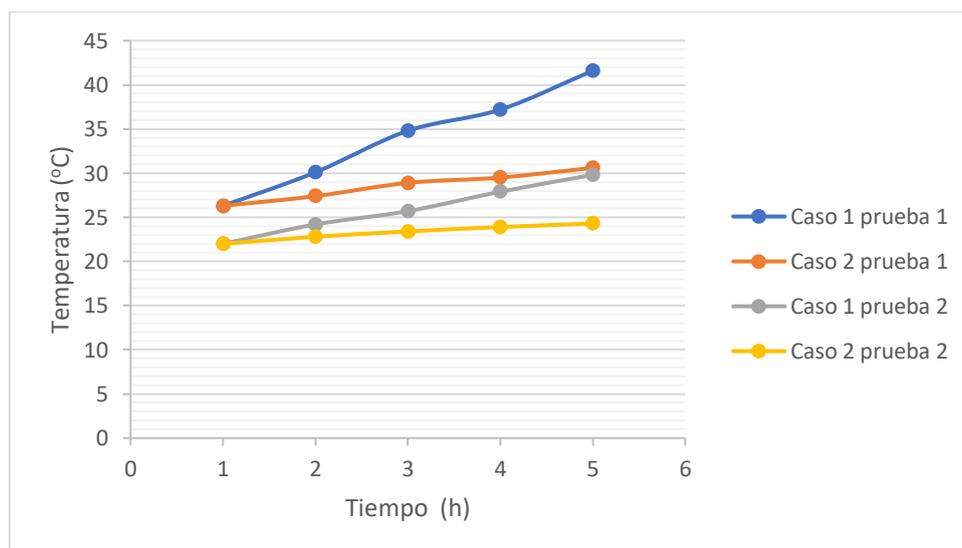


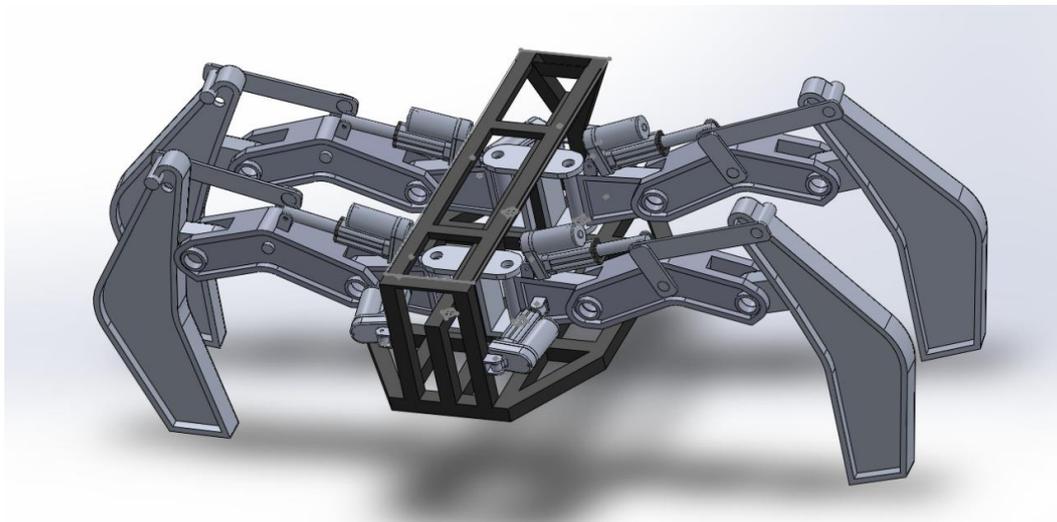
Figura 12 calentamiento de motores en caso 1 y caso 2 a lo largo de 5 horas de uso, fuente: propia

### 5.2.4.1 Ubicación

En este apartado se compara algunos de los puntos de ubicación, los veneficios y contras que el punto de ubicación tanto para los mecanismos y ubicaciones se presentan.

### Propuesta 1:

En la propuesta original se planteaba que los actuadores del movimiento horizontal iban dentro del chasis, y los actuadores del movimiento vertical se ubicarían sobre coxa, como se aprecia en la figura 13. El problema que se presento es que no se contempló las medidas del actuador, lo cual al momento de realizar las pruebas de ubicación se encontró con que los actuadores no cabían en los espacios destinados. El actuador vertical no podría ubicarse en la posición planteada debido a que este llegaría a estar ubicado desde el coxa hasta el metatarso, y el actuador horizontal necesitaba al menos 18 cm más de espacio para poderse posicionar en la ubicación propuesta, dejando descartada la propuesta 1.

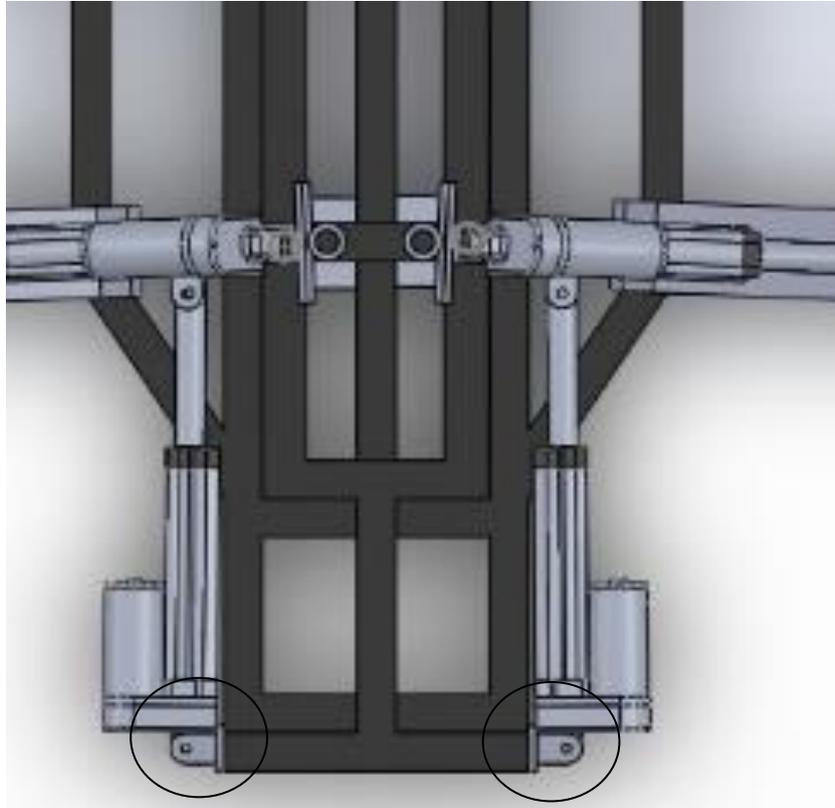


*Figura 13 propuesta de ubicación 1, fuente: José Carlos*

## **Propuesta 2:**

Se empezó realizando pruebas físicas de ubicación, detallando donde podrían ubicarse de mejor manera los actuadores horizontales, una vez se determinó el lugar, se procedió a realizar el diseño que constaba de una extensión para el chasis, el soporte del actuador permite maniobrar en un solo sentido de movimiento, por lo cual debía ubicarse de manera paralela al chasis, se planteó ubicarla en el costado para evitar posibles rozamientos entre el chasis y el actuador. Como se puede observar en la figura 14, dejando de esta manera un ángulo de  $90^\circ$  cuando las patas estuviesen en

perpendicular con el chasis, pero posteriormente al realizar las pruebas simuladas y en físico se notó que este ángulo dificulta la abertura del actuador después de que este se contrajera al mínimo posible, evitando que pudiese liberarse.



*Figura 14 primera propuesta de posición para actuadores fuente: propia*

### **Propuesta 3:**

Tomando en cuenta el problema con la propuesta número 2 se realizó un cambio de ubicación para los actuadores, ubicándolos en la parte interior del chasis, esto no solo ayuda a que el ángulo sea mayor a  $90^\circ$  también nos proporciona 2cm más de abertura en el actuador. La problemática en ello es que, al momento de realizar el movimiento horizontal, el actuador queda ubicado muy cerca del chasis, y disminuyendo el espacio para otro componente. Se puede apreciar en la figura 15, el ángulo resultante es de 96 grados cuando la extremidad se encuentra en posición perpendicular al chasis.

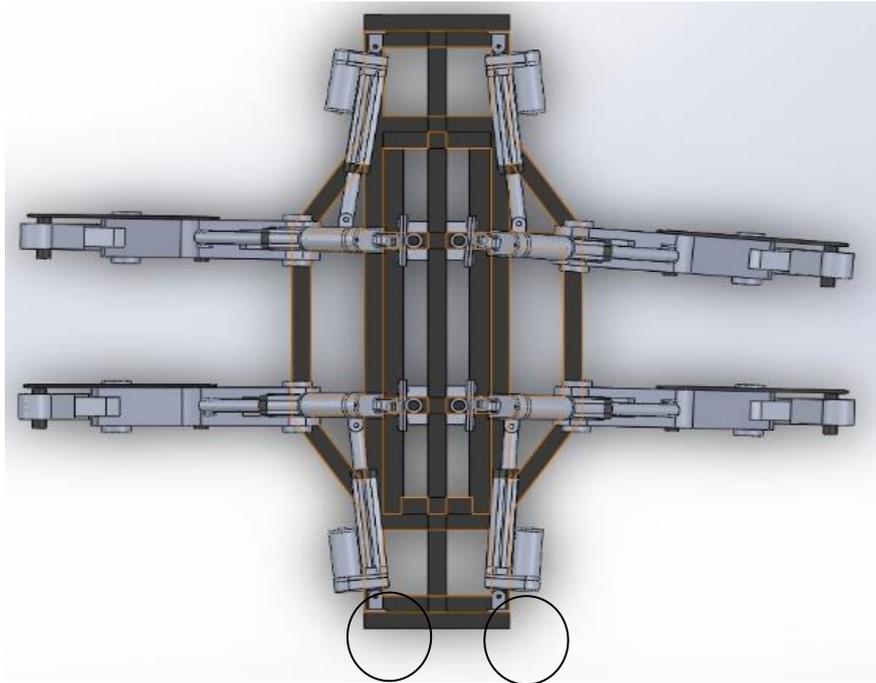


figura 15 posición final de los actuadores en horizontal Fuente: Propia

#### 5.2.4.2 Consumo de energía

los actuadores tienen un consumo de energía inicial de 0.0096 KW/h sin carga, y un consumo máximo de 0.036KW/h de con carga máxima, tomando en cuenta ello se realizó un cuadro con el máximo y el mínimo en un tiempo determinado por una hora tomando en cuenta los 8 actuadores.

La fórmula necesaria solo es Multiplicar el consumo de hora por las horas que se analizara.

Tabla 4 consumo de energía por hora fuente: propia

Horas	Con Carga máxima	Sin Carga mínima
1	0.288 KW/h	0.0768 KW/h
2	0.576 KW/h	0.1536 KW/h
3	0.864 KW/h	0.2304 KW/h
4	1.152 KW/h	0.3072 KW/h
5	1.44 KW/h	0.384 KW/h
6	1.728 KW/h	0.4608 KW/h

### 5.2.5 Análisis de modelo

Para el análisis de modelo se tomó en cuenta el ensamblaje total de todos los componentes del proyecto, la figura 6 se puede apreciar en su totalidad el posicionamiento de cada uno de sus elementos y componentes.

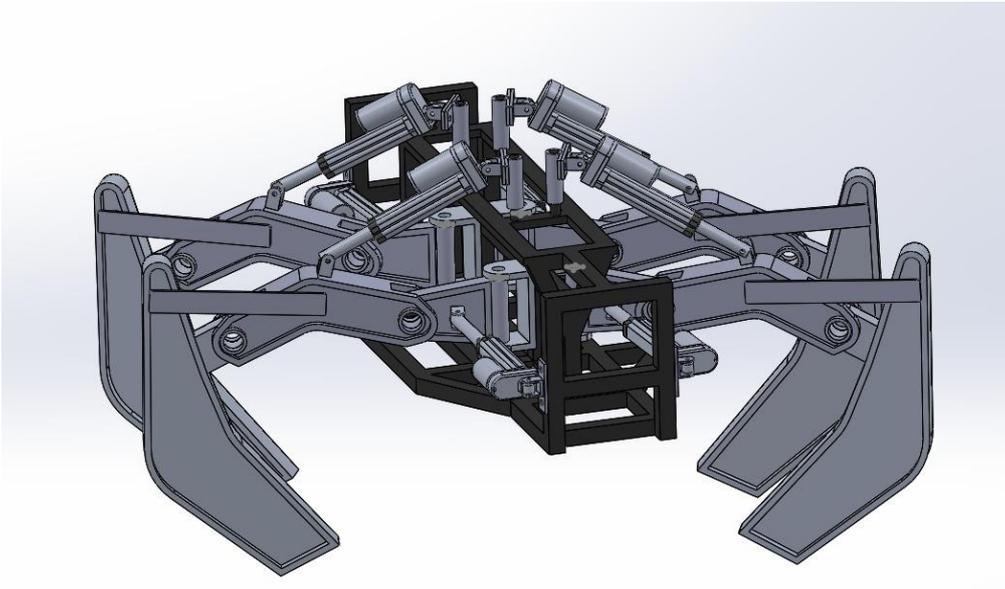


Figura 16 ensamblaje del robot zoomórfico fuente propia.

#### 5.2.5.1 Velocidad de desplazamiento

Se sabe que la velocidad lineal de un motor es de 0.0100076 m/s, se debe conocer la velocidad angular de cada uno de sus movimientos tomando en cuenta el radio de movimiento.

Para el movimiento vertical se calculan dos velocidades angulares que son las que se presentan, el primero será con  $r=0.5m$ .

$$w = v * r$$

$$w = 0.010076 \frac{m}{s} / 0.5m$$

$$w = 0.020 \text{ rad/s}$$

Encontrada la velocidad angular vertical ahora se busca la velocidad angular horizontal con  $r=0.70m$

$$w = 0.010076 \frac{m}{s} / 0.09m$$

$$w = 0.1119 \frac{rad}{s}$$

$$w = 6.7173 \frac{rad}{min}$$

### Velocidad angular vertical

Trazado12

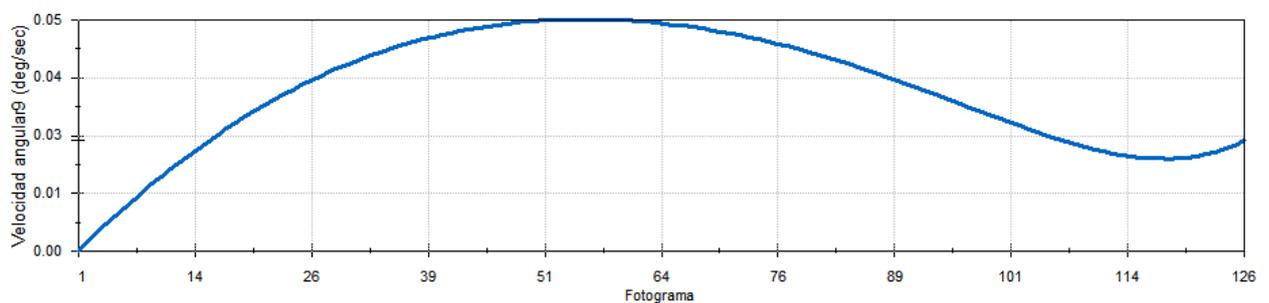


Figura 17 Velocidad angular en vertical Fuente: propia

### Velocidad angular horizontal

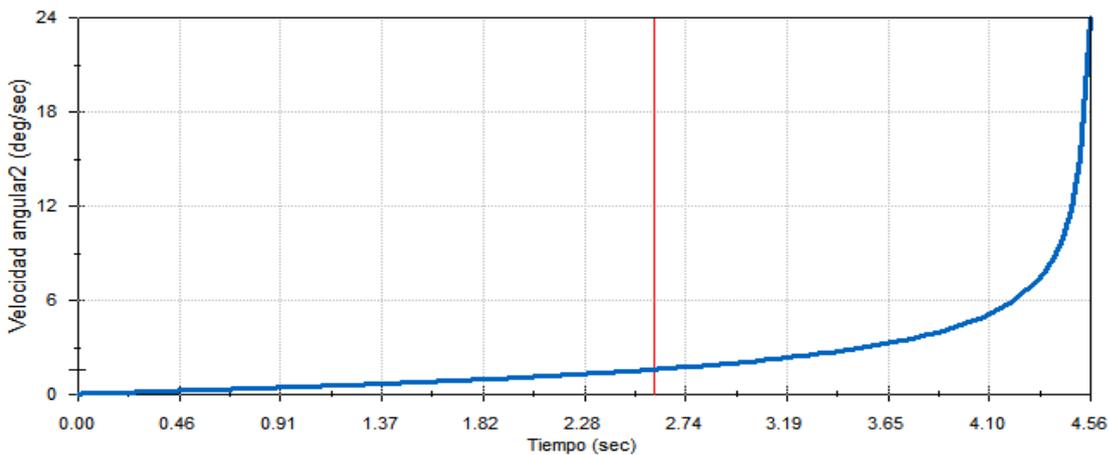


Figura 18 velocidad angular en Horizontal Fuente: propia

### 5.2.5.2 Análisis de movimiento

En el análisis que se realizó mediante el software SolidWorks se pudo describir gráficamente su movimiento vertical y horizontal como se muestra en la Gráfica 4 y 5.

mientras que en la Gráfica 6 y 7 se muestra la fuerza aplicada por el motor para cada movimiento.

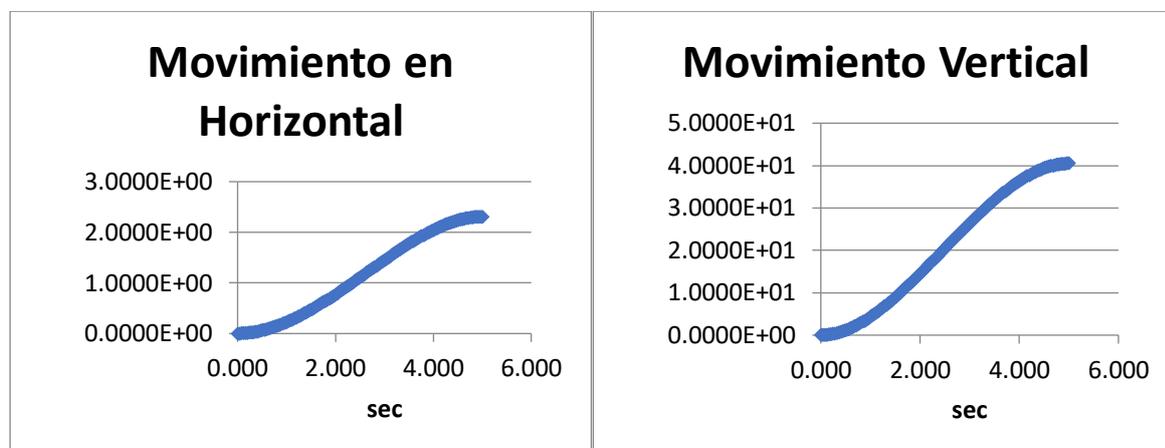


figura 19 Movimiento en horizontal Fuente: Propia

Figura 20 Movimiento en Vertical Fuente: Propia

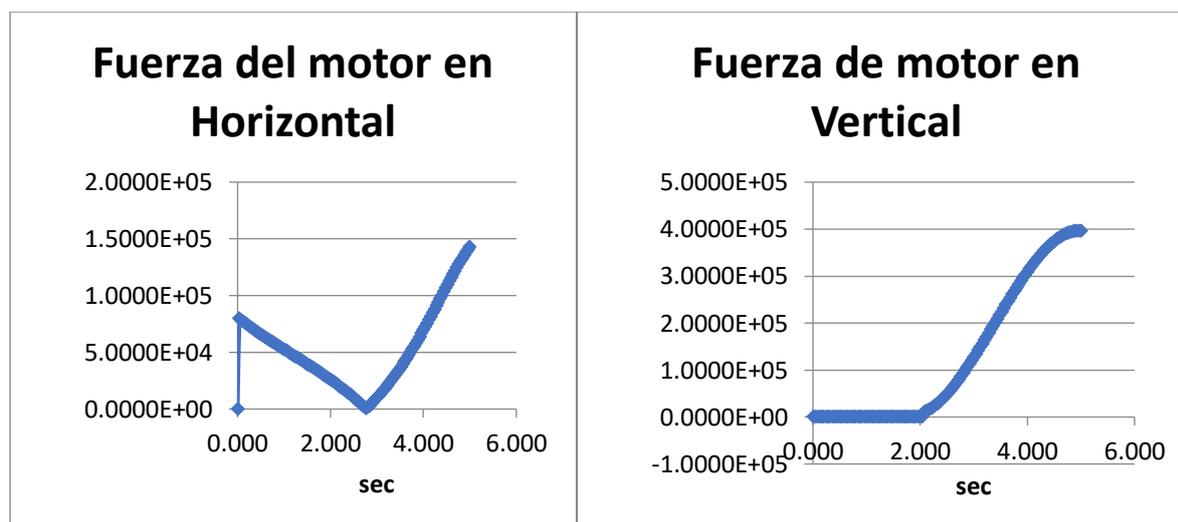


Figura 21 Fuerza del motor en Horizontal Fuente: Propia

Figura 22 Fuerza del motor en vertical Fuente: Propia

Se realizaron pruebas horizontales y verticales de cada actuador para analizar la funcionalidad de cada uno, se empieza probando los actuadores horizontales donde funcionaron correcta mente como se ve en las imágenes. También se ensablo el mecanismo fijo que va de la parte del fémur hacia la pata que lo hace fijo y así la pata no podrá moverse y el actuador hará la función de movimiento vertical.

En las Gráficas 8 y 9 se determina la manera en cómo el robot se moverá tanto vertical y horizontalmente las gráficas expresan el movimiento angular que tendrá cada una de las extremidades.

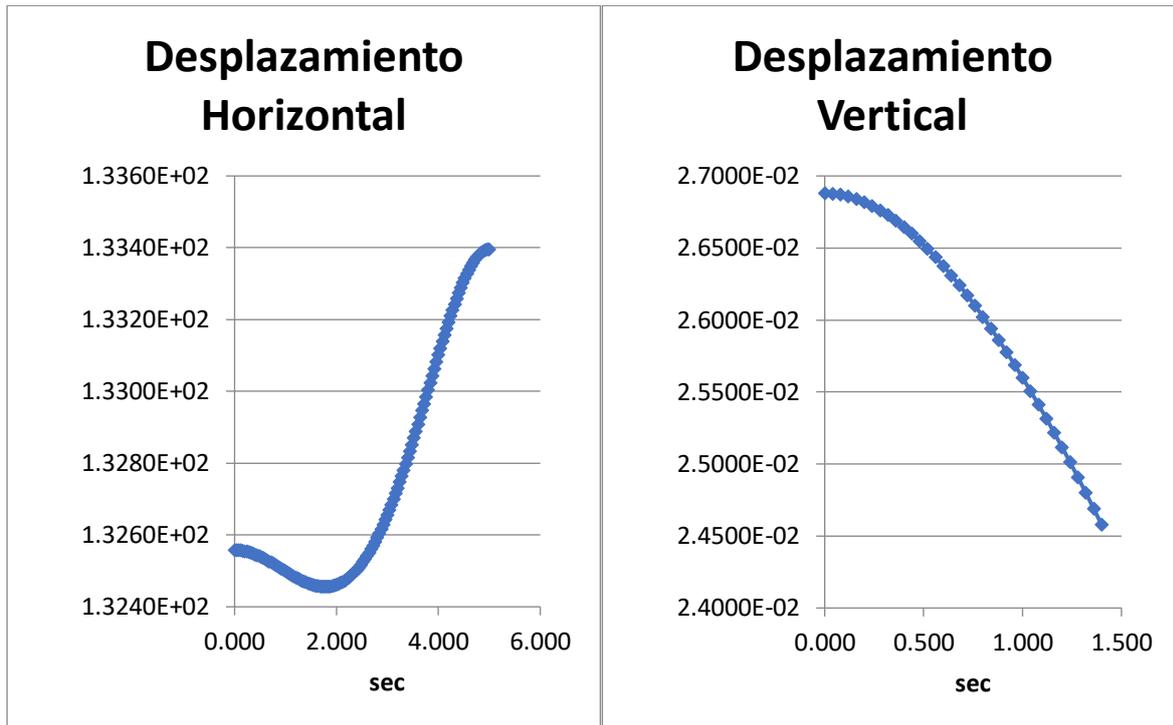


Figura 23 Desplazamiento horizontal Fuente: Propia

Figura 24 desplazamiento vertical Fuente: Propia

Para el desplazamiento angular vertical como se aprecia en la Gráfica 9 el robot presentara un movimiento establecido de manera que levantara hasta cierto nivel y bajara hasta un nivel fijo por lo cual en su Angulo de movimiento no sobrepasa los límites, en cambio en el movimiento horizontal si se parte de un eje imaginario que nos indique toda la extremidad esta perpendicular a la estructura, se puede decir que

tiene un movimiento que pasa negativamente al ángulo 0, a este movimiento se le denomina el movimiento de empuje.



*Figura 25 primeras pruebas de movilidad fuente propia*

Dado este punto se observó un problema de impacto con los actuadores y la estructura original, aunque no llega a causar un conflicto o una influencia directa sobre los actuadores es importante mencionarlo y tomar en cuenta.



*Figura 26 choque mínimo entre la estructura original y el actuador*

Luego se continuo con el análisis de los actuadores en vertical donde se observó una buena funcionalidad con ningún fallo, realizo el levantamiento del fémur con la pata

sin ningún problema. También se realizó el ensamblaje de los 4 mecanismos en la parte alta del chasis que ayudan a poder mover la patas del robot en horizontal ayudando así la movilidad del robot.

En el sentido contrario se notó que al momento de cerrar el actuador sobrepasa el límite de angularidad, para contrarrestar ese problema se tomó la decisión de cambiar la posición del soporte dando hasta 10 grados extra para poder realizar el movimiento, ya que debido de no realizar ese cambio el actuador ejerce una fuerza en sentido contrario el al movimiento debido a pasar los 0 grados de movimiento y llegar a -5 grados de movimiento con origen en el actuador.

El problema de choque entre los motores y la estructura no se encuentra en el otro extremo del robot debido a que en su diseño original tiene un soporte en forma de Y cómo se puede observar en la Gráfica 6.

También en dos de sus actuadores horizontales se modificó la estructura del soporte para darle 4 cm extra al actuador en angularidad eran de 18 a 20 grados en su movimiento horizontal con respecto al actuador. Estas modificaciones pueden ser vistas en las Gráfica 4 y en la Gráfica 5, también se opta por dejar los motores hacia fuera de la estructura para que estos no provoquen un choque entre sí, aun que el problema de impacto se reduce en el otro extremo (Gráfica 6), de igual forma se opta por dejar los motores hacia fuera para mantener uniformidad.



A



B



C

*Figura 27 Colocación de actuadores*

En la figura 19 se ve como el robot ya está ensamblado con sus actuadores y sus mecanismos instalados, donde son 8 actuadores, 4 horizontales y 4 verticales, 4 mecanismo en la parte alta del chasis y 4 mecanismo que van del fémur hasta la pata, que hace fija lo que es la pata para poder hacer correctamente el movimiento, de inicio se pudo observar que el robot es capaz de soportar su estructura sin ningún problema de estabilidad y sin comprometer el movimiento.



*Figura 28 ensamble completo*

Por último, se realizó un análisis donde se probaron todos los actuadores juntos con cada mecanismo, donde se planeó hacer el movimiento vertical para poder levantar la pata y luego el movimiento horizontal para mover la pata que se levanta hacia enfrente.

Este es el mecanismo fijo como se observa, este nos ayuda a poder dejar unida lo que es el fémur y la pata para que así queden fijas y no realicen movimiento, esto ayuda a que el actuador pueda levantar las dos piezas juntas sin que estén en movimiento para realizar el movimiento en vertical. como se había mencionado anterioridad este no solo tiene un impacto económico, también tiene un impacto estructural, debido al tamaño de cada uno de los actuadores colocar un actuador extra es una tarea ardua debido a que no cumple las medidas necesarias para poder ser implantado en la zona establecida, además aumenta el consumo de energía y el peso al primer actuador



*Figura 29 mecanismo de soporte*

La finalización del segundo mecanismo quedo así con su ensamblaje a los actuadores, donde este mecanismo ayuda a hacer rotaciones horizontales de izquierda y derecha para ayudar a los actuadores que están puesto en vertical para hacer su movilidad y poder mover las patas sin ningún problema.



*Figura 30 mecanismo de soporte giratorio*

### **5.2.7 observaciones sobre el sistema**

A continuación, se detallará los resultados obtenidos mediante pruebas de resistencia, observaciones durante las pruebas, las observaciones son consecuencia de las pruebas realizadas con todo el sistema ensamblado para poder apreciar en su totalidad su funcionalidad.

1. En estado apagado los motores cuentan con mucha estabilidad y mucha resistencia al cambio de posición. Lo que quiere decir que mientras el motor este sin ser energizado este no cambiara su estado.
2. Los motores a pesar de ser de una gran fuerza entran en conflicto al momento de superar la fuerza establecida, esto se pudo observar en pruebas donde una de las patas interfiere en el movimiento de la otra (esto en la práctica no sucede debido a que en las pruebas se excedió el Angulo horizontal de movimiento), lo que provoca que el actuador no se mueva a pesar de no llegar a su abertura

- máxima. Poniéndolo en contexto, quiere decir que en caso de estancamiento fuerte los actuadores no podrán realizar la liberación de sus extremidades
3. En estado estático el robot puede soportar 250lbs (peso máximo probado) sin sufrir deformaciones en su estructura.
  4. Superando los 250lbs en estado estático la estructura tiende a deformarse, la estructura de aluminio si bien es de mucha ayuda para disminuir el peso no cuenta con las propiedades adecuadas como resistencia a la torción.
  5. Los mecanismos de soporte giratorios ejercen un torque positivo y negativo según la dirección del empuje, lo que ejerce una gran fuerza de torción sobre la estructura de aluminio, lo cual provoca una deformidad mínima sumatoria que después de cierto tiempo puede afectar fuerte mente la estabilidad de sus elementos
  6. En cuanto al balance se puede determinar que el mecanismo cuenta con un balance adecuado, en un punto bastante amplio, sin embargo, la estabilidad es afectada al levantar solamente uno de sus extremidades, recuperando el balance al levantar la extremidad ubicada en esquina opuesta como se muestra en la figura



*Figura 31 pruebas de movilidad*

Se puede apreciar que al levantar la extremidad "1" este permanece en equilibrio, pero según la extremidad avanza hacia el frente, el peso de la extremidad significa un torque sobre todo el sistema provocando así un desequilibrio muy significativo, para contrarrestar el efecto se levantó la extremidad "2" provocando un torque en sentido negativo lo que significa que el equilibrio fuese restablecido. Para ello es muy importante equilibrar de manera adecuada el peso extra que soportara todo el sistema tomando en cuenta el sistema de control y de energía, y para ello debe tomarse como punto de partida la sincronización de movimiento. 7. El movimiento total del robot no se llevó a cabo debido a todos los cambios de movimiento que se deben realizar, para realizar un solo movimiento. Estos cambios de movimiento son realizados por un cambio de polaridad pro lo cual realizado de manera sincronizada no es posible.

## **VI. CONCLUSIONES**

1. Dado los resultados obtenidos mediante la instalación he implementación de actuadores y mecanismos cumple con las expectativas
2. Se cumplido con los objetivos planteados para el proyecto comprobando la aplicación y finalidad del proyecto.
3. Bajo las observaciones y pruebas de resistencia se puede concluir que se respondieron las preguntas de manera satisfactoria, donde se detalló respuesta a cada una de las preguntas realizadas.
4. La aplicación de mecanismos y actuadores cumplen con la funcionalidad para el movimiento, el robot soporta su propio peso, y para su movilidad su equilibrio es importante.

## VII. RECOMENDACIONES

1. Es importante conocer todos los componentes que serán incorporados al robot para poder darle un lugar y espacio, y no provoque modificaciones estructurales.
2. El control es una parte importante para el robot ya que del control depende en gran medida que el robot permanezca bajo condiciones de equilibrio y no sufra problemas de movilidad.
3. El acero podría ser una mejor opción para el chasis ya que puede soportar más la deformidad, en cuanto a sus extremidades, se puede realizar huecas en su interior para aligerar el peso de cada una de ellas.
4. No exceder la angularidad de movimiento ya que exceder el Angulo de movimiento puede provocar un sentido de movimiento negativos al movimiento habitual, para ello se puede incorporar sensores de fin de carrera o sincronizar el tiempo de activación.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Alfatih, M. F., Riyadi, M. A., & Setiawan, I. (2021). Speed control system in mobile robot based on Bezier curve trajectory. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1108(1), 012015. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1108/1/012015>
- Antonelli, M. G., D'Ambrogio, W., & Durante, F. (2018). Development of a pneumatic soft actuator as a hand finger for a collaborative robot. *Proceedings of the 2018 2nd International Conference on Mechatronics Systems and Control Engineering - ICMSC 2018*, 67-71. <https://doi.org/10.1145/3185066.3185079>
- Antonio Perez. (s. f.). *Transmisión por cable*. 2, 15.
- Atuesta, J. M. R. (2020). *DISEÑO Y PROTOTIPADO DEL MECANISMO DE LOCOMOCIÓN PARA UN ROBOT CUADRÚPEDO*. 39.
- Bădoiu, D., Petrescu, M. G., Antonescu, N. N., & Toma, G. (2018). Research concerning the balancing of a plane mechanism. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 295, 012016. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/295/1/012016>
- Dewi, T., Risma, P., Oktarina, Y., & Kusumanto, R. (2019). Motion Control Analysis of a Spherical Robot as a Surveillance Robot. *Journal of Physics: Conference Series*, 1167, 012004. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1167/1/012004>
- Diaz R., E., Sánchez L., A., Serna H., M., Gonzalez V., R., & Bernabe L., B. (2018). Planificación reactiva de movimientos en tiempo real para robots móviles.

*Research in Computing Science*, 147(7), 115-128. <https://doi.org/10.13053/rcs-147-7-10>

Duran, R. R., Vega, J. A. N., & Morales, F. H. F. (2021). Robot hexápodo para la enseñanza de mecanismos para la transformación de movimientos. *Rev. Interamericana de Investigación, Educación...*, 14(1), 279-303.  
<https://doi.org/10.15332/25005421.5876>

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>

*Everything You Need to Know About NASA's Perseverance Rover Landing on Mars—IEEE Spectrum*. (s. f.). IEEE Spectrum: Technology, Engineering, and Science News. Recuperado 26 de abril de 2021, de <https://spectrum.ieee.org/automaton/aerospace/robotic-exploration/nasa-perseverance-rover-landing-on-mars-overview>

Farag, M., Azlan, N. Z., & Alsibai, M. H. (2018). Development of anthropomorphic robotic hand driven by Pneumatic Artificial Muscles for robotic applications. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 342, 012052.  
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/342/1/012052>

García García, R., & Arias-Montiel, M. (2016). *Prototipo virtual de un robot móvil multi-terreno para aplicaciones de búsqueda y rescate* (pp. 337-351).

García-Haro, J. M., Martínez, S., & Balaguer, C. (2020). Detección de la orientación mediante visión artificial para el control de equilibrio en robots humanoides.

*Actas de las XXXIX Jornadas de Automática, Badajoz, 5-7 de septiembre de 2018*, 951-957. <https://doi.org/10.17979/spudc.9788497497565.0951>

Huang, Y., Zhang, Y., & Xiao, H. (2019). Multi-robot system task allocation mechanism for smart factory. *2019 IEEE 8th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC)*, 587-591.  
<https://doi.org/10.1109/ITAIC.2019.8785546>

Jenkins, T., & Bryant, M. (2020). Pennate actuators: Force, contraction and stiffness. *Bioinspiration & Biomimetics*, 15(4), 046005. <https://doi.org/10.1088/1748-3190/ab860f>

Jia, F. (2018). Research on Robot Control Technology Based on Kinect. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 452, 042119.  
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/452/4/042119>

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>

Khalapyan, S. Y., Rybak, L. A., Gaponenko, E. V., & Kholoshevskaya, L. R. (2021). Interaction algorithm of the mechanisms of relative manipulation in a 6-DOF robot control system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1064(1), 012019. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1064/1/012019>

- Lan, K. (2019). A Study on Control Algorithm for Robots with Multi-degree of Freedom. *Journal of Physics: Conference Series*, 1345, 042089.  
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1345/4/042089>
- Leder, S., Weber, R., Wood, D., Bucklin, O., & Menges, A. (2019). Design and Prototyping of a Single Axis, Building Material Integrated, Distributed Robotic Assembly System. *2019 IEEE 4th International Workshops on Foundations and Applications of Self\* Systems (FAS\*W)*, 211-212. <https://doi.org/10.1109/FAS-W.2019.00056>
- Li, J., Cong, D., & Yang, Z. (2019a). A Method of Foot Trajectory Generation for Quadruped Robots in Swing Phase to Optimize the Joint Torque. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 491, 012002.  
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/491/1/012002>
- Li, J., Cong, D., & Yang, Z. (2019b). A Method of Foot Trajectory Generation for Quadruped Robots in Swing Phase to Optimize the Joint Torque. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 491, 012002.  
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/491/1/012002>
- Liu, T., Fan, X., Liu, Y., Jia, X., & Deng, Y. (2020). Hexapod robot fault tolerant gait on slope and simulation verification. *Journal of Physics: Conference Series*, 1601, 062038. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1601/6/062038>
- Löffler, D., Dörrenbächer, J., & Hassenzahl, M. (2020). *The Uncanny Valley Effect in Zoomorphic Robots: The U-Shaped Relation Between Animal Likeness and Likeability*. 261-270. <https://doi.org/10.1145/3319502.3374788>

- Mahmood, S. K., Bakhy, S. H., & Tawfik, M. A. (2020). Propeller-type Wall-Climbing Robots: A Review. *Materials Science and Engineering*, 13.
- Martín Barrio, A., Terrile, S., Barrientos, A., & Del Cerro, J. (2018). Robots Hiper-Redundantes: Clasificación, Estado del Arte y Problemática. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 15(4), 351.  
<https://doi.org/10.4995/riai.2018.9207>
- Merlo-Espino, R. D., Rodríguez-Hernández, V., & Castaño-Meneses, V. (2020). Robótica Educativa como Herramienta Dirigida al Desarrollo de Pensamiento Algebraico en Edades Tempranas. *Revista Tecnológica-Educativa Docentes 2.0*, 9(2), 245-253. <https://doi.org/10.37843/rted.v9i2.170>
- Morishima, M., Umedachi, T., & Kawahara, Y. (2020). Caterpillar-inspired soft robot that locomotes upside-down by utilizing environmental skeleton. *Engineering Research Express*, 2(3), 035022. <https://doi.org/10.1088/2631-8695/abb28d>
- Mukherjee, A., & Joshi, S. P. (2001). Design of actuator profiles for minimum power consumption. *Smart Materials and Structures*, 10(2), 305-313.  
<https://doi.org/10.1088/0964-1726/10/2/316>
- Panda, S. K., & Bandopadhyay, D. (2019). Hydrodynamic Characterization and Performance Evaluation of Polypyrrole Actuator Propulsor. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 577, 012157.  
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/577/1/012157>
- Park, S. J., Jeong, J., Won, M., & Park, C. H. (2019). Locking–unlocking mechanism actuated by SMA springs to improve the energy efficiency of fabric-type soft

actuators. *Smart Materials and Structures*, 28(12), 125005.

<https://doi.org/10.1088/1361-665X/ab49be>

Petre, I. M. (2021). An approach regarding some performances of a FESTO pneumatic muscle actuator. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1009, 012047. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1009/1/012047>

Pyatibratov, G. Ya., Danshina, A. A., & Altunyan, L. L. (2018). Determination of Actuator and Electric Drives Efficient Parameters of Lifting Devices. *2018 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ICIEAM.2018.8728661>

Quiles Romero, J. (2021). *Enginyeria gràfica i disseny d'un braç mecànic*.

<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/343607>

Rødseth, Ø. J., & Vagia, M. (2020). A taxonomy for autonomy in industrial autonomous mobile robots including autonomous merchant ships. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 929, 012003.

<https://doi.org/10.1088/1757-899X/929/1/012003>

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. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2019-7-5-30-46>

Sanchez, M., Moya Cajas, M., Chamba, J., & Granizo, P. (2018). *Robot Animation in a Virtual Reality Environment* (p. 106).

<https://doi.org/10.1109/INCISCOS.2018.00023>

- Semenov, S., & Ryabinin, M. (2020). Method for increasing the damping of an electro-hydraulic drive system of anthropomorphic walking robots. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 963, 012030. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/963/1/012030>
- Smith, B. J. H., & Usherwood, J. R. (2020). Minimalist analogue robot discovers animal-like walking gaits. *Bioinspiration & Biomimetics*, 15(2), 026004. <https://doi.org/10.1088/1748-3190/ab654e>
- Song, K., Kim, S., & Cha, Y. (2020). Soft electromagnetic actuator for assembly robots. *Smart Materials and Structures*, 29(6), 067001. <https://doi.org/10.1088/1361-665X/ab84b8>
- Suaréz, M. C. R., Álvarez, S. N., & Rodríguez, H. L. (2017). Diseño de un dispositivo robótico bio-inspirado en una araña para la evaluación del dióxido de carbono indexado en el aire. *Revista de Tecnología*, 16(2), 69-77.
- Vez Labrador, S. (2019). *Modelado teórico y experimental de una transmisión por engranajes*. <https://doi.org/10/34838>
- Wang, L. (2017). Design and Implementation of a Quadruped Bionic Robot Based on Virtual Prototype Technology. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 250, 012067. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/250/1/012067>
- Xie, B., Qi, Y., & Su, W. (2020). RBF Network Adaptive Control of SCARA Robot Based on Fuzzy Compensation. *Journal of Physics: Conference Series*, 1650, 032006. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1650/3/032006>

Yu Feng, M., & Fei, W. (2020). Innovative Experimental Design of Modular Robot Platform. *Journal of Physics: Conference Series*, 1486, 072028.

<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1486/7/072028>

Zhang, J. (2019). Structural design of anthropomorphic robot vision system. *Journal of Physics: Conference Series*, 1423, 012055. [https://doi.org/10.1088/1742-](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1423/1/012055)

[6596/1423/1/012055](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1423/1/012055)

Zhao, J., Yang, Y., Zheng, H., & Dong, Y. (2020). Global Agricultural Robotics Research and Development: Trend Forecasts. *Journal of Physics: Conference Series*, 1693,

012227. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1693/1/012227>

Zheng, Y., Yan, B., Ma, C., Wang, X., & Xue, H. (2020). Research on obstacle detection and path planning based on visual navigation for mobile robot. *Journal of*

*Physics: Conference Series*, 1601, 062044. [https://doi.org/10.1088/1742-](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1601/6/062044)

[6596/1601/6/062044](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1601/6/062044)