



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**DISEÑO MECÁNICO DE UN ROBOT INDUSTRIAL TELEOPERADO PARA  
PROCESOS DE LOGÍSTICA.**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO:**

**INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**PRESENTADO POR:**

**LUIS JOSÉ RAMÓN PINEDA LÓPEZ**

**ASESOR: ING. ALBERTO CARRASCO.**

**CAMPUS: SAN PEDRO SULA; JUNIO, 2020**

## **DEDICATORIA**

Esta tesis está dedicada a:

A mi madre Mirna López quien con su amor, esfuerzo y dedicación me ha ayudado a cumplir hoy una de mis metas, por estar conmigo, por enseñarme a crecer y que si caigo debo levantarme. Por ser el pilar que me ayudo a llegar hasta aquí.

*Luis José Ramón Pineda López*

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios porque con su infinita bendición llena mi vida y me ha dado la sabiduría para llegar hasta este punto de mi vida, porque ha guiado cada paso que he dado en este proceso poniendo en mi camino a personas que me han dado fortaleza para superar las pruebas y dificultades que se hicieron presentes.

A mis hermanos Dereck Bustillo y Andrick Bustillo por su apoyo incondicional durante este proceso, por estar conmigo en todo momento, gracias A toda mi familia y amigos porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona. Todo lo que hoy soy es gracias a ustedes.

Gracias a mi madre Mirna López por ser la persona que me impulsa a ser mejor cada día, por confiar en mí y creer en mis decisiones, por los consejos, por los valores y principios con los que me ha criado y sobre todo por el esfuerzo que ha hecho a lo largo de mi vida para darme todo lo necesario para poder salir adelante en mis estudios. Gracias mamá. A mi padre Jorge Bustillo quien ha sido un ejemplo a seguir de superación, esfuerzo y responsabilidad. Gracias por inculcar estos valores en mí.

En el camino encuentras personas que iluminan tu vida, que con su apoyo alcanzas de mejor manera tus metas. De manera especial agradezco a Azucena Cerrato que con sus palabras me hace sentir orgulloso de lo que soy, quien ha sido una persona muy importante en mi vida, que con su apoyo y amor incondicional me impulsa a ser un mejor profesional y una mejor persona. Gracias por acompañarme en este proceso y brindarme consejos.

Agradezco a nuestros docentes de la Universidad Tecnológica Centroamericana por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de carrera profesional.

*Luis José Ramón Pineda López*

## EPÍGRAFE

Quién asume riesgos inevitables acaba teniendo y logrando más. La única equivocación que existe aquí es el no intentar, no existen los errores del pasado ni el futuro, solo existen los errores de no intentarlo AHORA.

*-Daniel Habif.*

Orador Latinoamericano.

## RESUMEN EJECUTIVO

En la actualidad estamos viviendo la cuarta revolución industrial en la que la automatización de los procesos se vuelve indispensable, entre ellos es fundamental la interacción máquina-humano. Uno de los sectores que hasta ahora no ha tenido muchos avances es el sector de la logística. Y es por ello que con la revolución 4.0 se busca avanzar en el tema involucrando robots de picking y otros métodos que hasta la fecha no han sido muy desarrollados. Por lo tanto se determinó para la presente investigación, el desarrollo de un diseño de un robot industrial para procesos de logística o procesos de picking, el cual podrá desplazarse y movilizarse en zonas determinadas de un almacén o planta de almacenaje, el cual será teleoperado por una persona que se guíara con las imágenes proporcionadas por las cámaras del robot, a su vez podrá transportar cajas de determinado tamaño gracias a la ayuda de un brazo instalado en la parte superior capaz de sujetar dichos objetos con precisión y llevar a lugar de almacenaje o de entrega con el fin de disminuir el esfuerzo humano. Esto se logró a través de la metodología de estudio de 4 etapas establecidas, además, de la metodología de diseño de robots. Se determinó para el robot una locomoción de 4 ruedas, potenciadas por servomotores de 750W los cuales producen el torque necesario para mover la carga mecánica aplicada y permite una mejor distribución de pesos en el robot. Se realizaron los respectivos análisis de movimiento, tensiones y esfuerzos por medio del software CAD, SolidWorks, con el fin de determinar materiales a usar. Así mismo se utilizó el software para realizar superficies y darle un mejor acabado al robot.

Palabras clave: mecanismos, robot, análisis de movimiento, análisis de tensiones, picking

## **ABSTRACT**

Currently we are experiencing the fourth industrial revolution in which the automation of processes becomes essential, among them machine-human interaction is essential. One of the sectors that until now has not had much progress is the logistics sector. And that is why the revolution 4.0 seeks to advance the issue by involving picking robots and other methods that have not been highly developed to date. Therefore, it was determined for the present investigation, the development of a design of an industrial robot for logistics processes or picking processes, which will be able to move and move in certain areas of a warehouse or storage plant, which will be teleoperated by a person who will be guided by the images provided by the robot's cameras, in turn, will be able to transport boxes of a certain size thanks to the help of an arm installed on the top capable of holding such objects accurately and leading to a storage place or delivery in order to reduce human effort. This was achieved through the established 4-stage study methodology, in addition to the robot design methodology. A 4-wheel differential locomotion was determined for the robot, powered by 750W servo motors which produce the necessary torque to move the applied mechanical load and allows a better distribution of weights in the robot. The respective analysis of movement, stresses and stresses were carried out using the CAD software, SolidWorks, in order to determine the materials to be used. Likewise, the software was used to make surfaces and give a better finish to the robot.

Keywords: mechanisms, robot, movement analysis, stress analysis, picking

# ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción.....	1
II.	Planteamiento del Problema.....	2
	2.1 Precedentes del Problema.....	2
	2.2 Definición del Problema.....	4
	2.3 Justificación.....	4
	2.4 Preguntas de Investigación.....	5
	2.5 Objetivos.....	5
	2.5.1 Objetivo General.....	5
	2.5.2 Objetivos Específicos.....	5
III	Marco Teórico.....	6
	3.1 Industria 4.0.....	6
	3.1.1 Operador Logístico.....	7
	3.1.2 RFID concepto y aplicación industrial.....	8
	3.1.2.1 RFID y la Logística.....	8
	3.2 Tecnologías Aplicadas en la Logística.....	8
	3.3 Modelado Cad.....	10
	3.3.1 Análisis de Piezas.....	12
	3.4 Diseño de Superficies.....	13
	3.4.1 ¿Qué es una superficie?.....	13
	3.4.2 ¿Cuándo trabajar con una Superficies?.....	14
	3.5 Materiales Empleados para el Diseño.....	14

3.5.1 Aluminio 1060 .....	14
3.5.2 Acero ASTM A36.....	15
3.5.3 Plástico ABS.....	15
3.6 Mecanismos.....	15
3.6.1 Clasificación de los mecanismos .....	17
3.6.2 Análisis de Mecanismos.....	17
3.6.3 Análisis de Tensión de Von Mises.....	19
3.6.4 Mecanismos en robots.....	20
3.7 Robótica.....	23
3.7.1 Partes de un Robot.....	24
3.7.2 Robots Móviles.....	25
3.7.2 Aplicaciones De La Robótica.....	29
3.7.3 Metodología De Diseño de Sistemas Robóticos.....	30
3.8 Motores En La Robótica .....	40
3.8.1 Parámetros de Selección del Motor de un Robot .....	41
3.9 Selección de llantas para el Robot.....	42
IV Metodología .....	44
4.1 Enfoque.....	44
4.2 Variables de Investigación .....	44
4.3 Hipótesis de Investigación.....	45
4.4 Técnicas e Instrumentos Aplicados .....	45
4.5 Materiales.....	46
4.6 Metodología de Estudio .....	46

4.7 Metodología de Validación .....	47
4.8 Cronograma de Actividades.....	47
Capitulo V. Análisis y Resultados.....	49
5.1 Diseño.....	49
5.1.1 Descripción de las Necesidades .....	49
5.1.2 Especificaciones Del Robot.....	51
5.1.3 Brazo .....	53
5.1.4 Estructura del Robot .....	57
5.1.5 Superficies.....	61
5.2 Análisis de Movimiento.....	63
5.2.1 Análisis Cinemático al Mecanismo del Brazo Aluminio 1060.....	63
5.2.2 Análisis Dinámico Brazo Robótico .....	64
5.2.3 Análisis Cinemático en el Tren de Movimiento. ....	65
5.2.4 Análisis Dinámico al Tren de Movimiento .....	66
5.3 Análisis de Tensión .....	66
5.3.1 Brazo Robótico.....	67
5.3.2 Tren de Movimiento.....	70
5.3.3 Tabla Resumen de Análisis Estáticos .....	74
5.4 Especificaciones del Robot .....	75
5.4.1 Peso Del Robot.....	75
5.4.2 Motor eje de Rotación del Brazo .....	75
5.4.3 Motor para el Antebrazo.....	76
5.4.4 Motor para el Tren de Movimiento.....	76

5.4.5 Velocidad del Robot.....	76
5.4.6 Medidas de la Caja.....	77
Capítulo VI. Conclusiones .....	79
6.1 Conclusión General.....	79
6.2 Conclusiones Especificas .....	79
Capítulo VII. Recomendaciones .....	81
Bibliografía.....	82
Anexos.....	86

## TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1- MiR Hook.....	3
Ilustración 2- Evolución de la revolución industrial.....	7
Ilustración 3- Interfaz de SolidWorks .....	12
Ilustración 4-Sistemas de engranajes.....	22
Ilustración 5- Tren de Engranajes .....	23
Ilustración 6- Locomoción Ackerman.....	26
Ilustración 7- Locomoción de Tres Ruedas .....	27
Ilustración 8-Locomoción Diferencial.....	28
Ilustración 9-Pasos del Diseño de sistemas robóticos.....	30
Ilustración 10-Diagrama de los pasos de diseño de sistemas robóticos.....	31
Ilustración 11-Metodología de diseño de sistemas robóticos parte I .....	33
Ilustración 12-Metodología de diseño de sistemas robóticos parte II.....	35
Ilustración 13-Diseño de sistemas robóticos con herramientas informáticas parte I.....	37
Ilustración 14-Diseño de sistemas robóticos con herramientas informáticas parte II.....	39
Ilustración 15-Variables de investigación .....	45
Ilustración 16-Estructura Terminada.....	51
Ilustración 17-Dimensiones del Robot.....	52
Ilustración 18-Base del Brazo .....	53
Ilustración 19-Antebrazo.....	54
Ilustración 20-Muñeca .....	54
Ilustración 21-Soporte para ventosas .....	55
Ilustración 22-Ventosas .....	56

Ilustración 23-Soporte de Unión.....	56
Ilustración 24-Brazo ensamblado .....	57
Ilustración 25-Chasis.....	58
Ilustración 26-Acople de Motores y Ejes.....	58
Ilustración 27-Ejes de acoplamiento.....	59
Ilustración 28-Piñones para Transmisión de potencia .....	59
Ilustración 29-Ruedas.....	60
Ilustración 30-Polea de Transmisión.....	60
Ilustración 31-Superficie Lateral .....	61
Ilustración 32-Superficie Lateral .....	62
Ilustración 33-Superficie Trasera.....	62
Ilustración 34-Análisis Cinemático.....	63
Ilustración 35-Análisis Dinámico Brazo.....	64
Ilustración 36-Análisis Cinemático Tren de Movimiento .....	65
Ilustración 37-Análisis Dinámico al Tren de Movimiento .....	66
Ilustración 38-Análisis de Von Misses Base del Brazo.....	67
Ilustración 39-Análisis de Von Misses de la Muñeca.....	68
Ilustración 40-Análisis de Von Misses Efecto Final .....	69
Ilustración 41-Análisis de Von Misses Soporte para acople de Brazo .....	69
Ilustración 42-Análisis de Von Misses Chasis .....	70
Ilustración 43-Análisis de Von Misses Llantas.....	71
Ilustración 44-Análisis de Von Misses Acoples.....	71
Ilustración 45-Análisis de Von Misses Ejes .....	72

Ilustración 46-Análisis de Von Misses Piñón .....	73
Ilustración 47-Análisis de Von Misses Bumpers .....	74
Ilustración 48-Peso del Robot.....	75

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1- Clasificación de los principales mecanismos .....	17
Tabla 2-Cronograma de Actividades .....	48
Tabla 3- Tabla Resumen de Análisis Estáticos.....	74

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Par de un motor.....	71
Ecuación 2. Velocidad.....	72

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1- Lista de Materiales .....	86
Anexo 2- Tabla de Presupuesto Estimado.....	88
Anexo 3- Planos de Chasis .....	79
Anexo 4- Plano Ejes de Acople.....	80
Anexo 5- Planos de Acoples .....	81
Anexo 6- Plano de Piñones .....	82
Anexo 7- Plano de Llantas .....	83
Anexo 8- Plano de Soporte de Brazo .....	84
Anexo 9- Plano de Base del Brazo.....	85
Anexo 10- Plano de la Muñeca.....	86
Anexo 11- Plano del Efector Final.....	87
Anexo 12- Plano de Bumper Delantero.....	88
Anexo 13- Plano de Bumper Trasero.....	89
Anexo 14-Plano de Superficie Superior.....	90

## **GLOSARIO**

Teleoperado: Se refiere al uso de robots operados por un humano, utilizando una modalidad robot-humano.

Internet de las cosas: Se refiere a un sistema de dispositivos capaces de transferir datos en una red.

Circunscritas: Hace referencia a la participación.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad con las nuevas tecnologías emergentes con la industria 4.0 y la automatización del piso de manufactura, es una parte clave sondear la implementación de robots en el sector logístico, entre los objetivos de esto esta, ver la viabilidad de su uso y las aplicaciones que se le podría dar en diferentes procesos. Con el fin de liberar a los empleados de tareas difíciles, estresantes y monótonas. Sin mencionar el hecho que un robot puede trabajar las jornadas sin interrupción.

Los tiempos cambian y cada vez resulta más importante para las empresas, en cabeza de sus directores logísticos, asumir como propio el tema de la modernización, automatización y eficiencia de sus bodegas.(henryo, 2019)

Por lo tanto, para el presente proyecto de investigación, se realizará el diseño de mecanismos para un robot para procesos logísticos teleoperado capaz de mover objetos de una forma y tamaño definido, el cual podrá moverse en determinados espacios.

Con el fin de utilizarlo en la industria se implementarán materiales robustos para su máxima duración en tiempo y calidad.

El robot deberá ser capaz de tomar objetos según lo indiquen las órdenes del operador y para ello se diseñará un brazo robótico que le permita tomar los objetos específicos y poder transportarlos. Con el fin de lograr mayor eficiencia el robot será capaz de transportar más de un objeto a la vez.

## **II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

En este capítulo se mostrarán los precedentes del problema, viéndose desde años atrás los límites y o dificultades que se han presentado en la industria. Definiendo el problema estableciendo los parámetros importantes. Luego se verá en la justificación la importancia de realizar dicho estudio con argumentos válidos. Se definirán las preguntas de investigación que orientan las respuestas que se esperan obtener mediante el análisis y desarrollo de esta investigación. Por último, los objetivos que son clave para determinar el alcance y el éxito de la investigación.

### **2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA.**

Según un estudio de St. Onge Company, en la actualidad un 80% de los centros de distribución opera de manera completamente manual, un 15% con algún apoyo de automatización (orientado básicamente al traslado de mercadería) y sólo un 5% ha logrado incorporar la automatización a sus operaciones.(Sotomayor, 2019)

“Las tendencias están marcadas por las grandes multinacionales y las compañías que tienen cobertura nacional, regional y global, y su preocupación por tener unos buenos modelos de almacenamiento, para lograr eficiencia en la manipulación de las mercancías”, asegura Celso Miguel Melo Melo (2019).

La optimización de los Procesos productivos y logísticos La industria 4.0 se propone como un potenciador innato de la industria actual, como se ha presentado anteriormente en el texto, las tecnologías habilitadoras por separado ya han venido dando resultados sin precedentes en la mejora del proceso productivo y la logística a lo largo de la historia como el uso de la robótica en el ensamble de autos, software como SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition, es decir, Supervisión, Control y Adquisición de Datos) que administran procesos en la industria.(URKUND, 2018)

Cuando hay que separar mercancías que se encuentran en un estado estático definido (por ejemplo, una tarima) y en un lugar determinado, además de que tienen que ser transferidas a una condición consolidada definida (por ejemplo, un pallet o un contenedor con ruedas) a

través de un proceso de alimentación, hoy en día esta tarea puede ser resuelta con múltiples formas de automatización. Sin embargo, todavía aplican ciertas restricciones. Por ejemplo, la automatización actual no funcionará para: artículos que están fuera de un tamaño o peso definido; productos que son demasiado frágiles para manipularlos o transportarlos; y mercancías que difieren demasiado en sus características.(Wagner, 2017)

En la actualidad se han implementado diseños de robots capaces de transportar mercancía dentro de la industria como lo asegura MiR quien es una compañía que produce y desarrolla robots móviles para uso profesional en la industria, empresas manufactureras, logística y hospitales. Su ambición es ofrecer automatización del transporte interno. Destacan que sus robots móviles son fáciles de configurar y de usar porque se utilizan en entornos con personas. Se centran en la seguridad en las maniobras y la operación y proporcionan un sistema móvil robusto. Su objetivo es permitir a sus clientes automatizar sus tareas de transporte interno y así liberar recursos de personal para tareas más valiosas en sus negocios.(MiR, 2020).

MiR cuenta con una variedad de robot destinados a la automatización de los procesos de logística entre ellos podemos encontrar MiR Hook es un robot destinado a la movilización de pallets dentro de una bodega.



Ilustración 1- MiR Hook

Fuente: (MiR, 2020)

## **2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.**

Los avances tecnológicos que presenta la cuarta revolución industrial pretenden cubrir la logística como tal, ya que se quiere liberar la mano de obra humana de tareas tediosas y repetitivas diariamente, esta razón los lleva a tener un alto nivel de rotación de personal. Dado lo anterior, es cada día más común que las áreas de logística se cuestionan la posibilidad de automatizar algunos de sus procesos con el fin de obtener resultados positivos y redireccionar el recurso humano en otras áreas que requieran de un mayor análisis y respuesta humana.

## **2.3 JUSTIFICACIÓN**

No cabe duda alguna que nos encontramos en un lugar de la historia donde la humanidad ha llegado a un punto de evolución tan grande donde la tecnología permite realizar innovaciones a un ritmo impresionante, y, en consecuencia, genera grandes retos para la logística, y es que en un mercado tan cambiante es difícil contar con la capacidad de respuesta que haga frente a todos los problemas que trae consigo.(MAMANI, 2020)

La logística siempre ha ido de la mano con la industria, pero ha medido que el tiempo pasaba los propósitos también, y ha llegado el momento de darle un nuevo concepto para la organización logística que desafíe la práctica actual y que haga frente a los desafíos que trae consigo la revolución industrial y logística(Maslarić, 2016)

En la actualidad las empresas buscan reducir sus costos y aumentar el rendimiento de sus procesos. Entre los factores que podrían generar mayor impacto en los costos son los errores humanos, pérdida de tiempo en capacitaciones, etc. Sin mencionar que las tareas repetitivas podrían generar un desgaste de tiempo y esfuerzo humano.(Gaitán, 2019)

Es por esto que se busca diseñar un robot teleoperado para procesos logísticos que facilite realizar tareas de picking dentro de la empresa para poder liberar a los trabajadores de tareas tediosas y repetitivas y así emplear esta energía y talento humano en otras tareas que requieran de un mayor análisis.

## **2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

- 1) ¿Qué tarea o proceso logístico podrá desempeñar el robot?
- 2) ¿Qué mecanismos deberá poseer el robot para llevar a cabo esta tarea?
- 3) ¿Qué factores de análisis inciden en los mecanismos del robot?
- 4) ¿Cuál será el comportamiento del robot según los estudios realizados, así como sus especificaciones?

## **2.5 OBJETIVOS**

### 2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar el diseño mecánico para un robot industrial que será utilizado en procesos de logística utilizando herramientas virtuales.

### 2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Definir la tarea o proceso logístico que el robot será capaz de llevar a cabo.
- 2) Definir los mecanismos apropiados para que el robot pueda llevar a cabo la tarea de logística establecida.
- 3) Determinar qué factores de análisis inciden en los mecanismos del robot.
- 4) Analizar el comportamiento obtenido a partir de las pruebas realizadas a los mecanismos y las especificaciones características que el robot poseerá.

### **III MARCO TEÓRICO**

Para los fines requeridos la siguiente investigación se basa en conceptos teóricos de gran vitalidad para poder comprender la manera en la cual se plantea realizar el enfoque y diseño de robot a desarrollar. Para esto es de suma importancia el entendimiento de los temas relacionados a la tesis, de tal manera es necesario conocer algunos conceptos relacionados a los mecanismos, parámetros, entre otras cosas los diferentes análisis que permiten determinar el desempeño del diseño realizado. La explicación completa de los temas anteriormente mencionados nos permitirá tener una mayor comprensión de la metodología a utilizar y la interpretación de resultados los cuales serán dados a conocer en las siguientes secciones.

#### **3.1 INDUSTRIA 4.0**

El concepto de revolución industrial está ligado a cambios en las condiciones tecnológicas de producción. A lo largo de la historia hemos visto varios procesos de transformación radical donde el avance tecnológico ha impactado sustancialmente en las condiciones materiales y sociales de producción.(Basco, 2018)

La novedad de esta época es que la conectividad alcanza también a los objetivos, lo que es posible mediante internet de las cosas. Así, se conectan las máquinas y las unidades productivas dentro de una misma empresa, e incluso, dentro de las cadenas de valor (proveedores, operarios, áreas comerciales, sistemas logísticos, consumidores, etc.). (Basco, 2018)

Maquinas inteligentes que automatizan tareas que antes estaban circunscritas únicamente al dominio humano. En el mundo de la industria, la tendencia es avanzar sobre la automatización de los procesos productivos. Por ejemplo una tendencia creciente en las fábricas inteligentes es la adaptación de vehículos de guiado automático (AVG) que pueden circular por la planta productiva, transportando productos intermedios y finales desde una estación a otra colaborando con los trabajadores.(Basco, 2018)

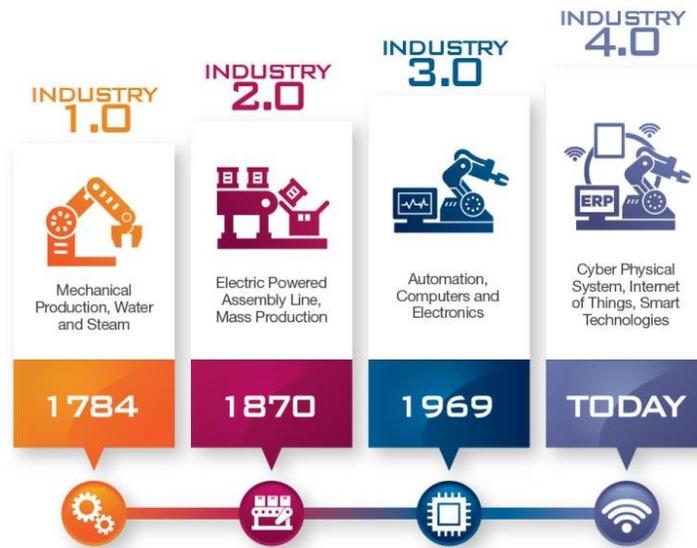


Ilustración 2- Evolución de la revolución industrial.

Fuente: (Sancho, 2011)

### 3.1.1 OPERADOR LOGÍSTICO

Según (Figuroa, 2004), los operadores logísticos se centraron en el transporte, para más tarde, ampliar su actividad en almacenaje, manipulación, distribución, etc. Este tipo de negocio surgió para dar respuesta a una idea que comenzaba a nacer en los agentes de la cadena de suministros: había algunas operaciones logísticas que reducen los costes (Carmona, 2007). Los operadores logísticos atienden las necesidades de sus clientes en el campo logístico generándole beneficios económicos, enfocando el "Core business".

Un operador logístico es una empresa cuyo objetivo es brindar una solución integral a dichas empresas para su cadena logística de abastecimiento. Esta cadena se inicia desde la gestión del aprovisionamiento, almacenamiento hasta el transporte y distribución final al cliente, colocando a disposición de sus clientes.(Santos, 2006)

- 1) Medios de Transporte.
- 2) Alquiler de espacios de almacenamiento.
- 3) Manipulación estiba y desestiba de los productos.

- 4) Control de la información, avisos de despachos, facturas, notificación del estado de stocks, entre otros.

### 3.1.2 RFID CONCEPTO Y APLICACIÓN INDUSTRIAL.

Las tecnologías RFID (identificación por radiofrecuencia), es una tecnología muy utilizada para transmitir información en industrias conectadas. Es la manera en la que se puede mejorar los procesos de logística para crear una ventaja competitiva sobre otras empresas.

Mediante una antena, el usuario puede leer de forma inalámbrica o remota la información contenida en un chip, embebido en una etiqueta (o tag), que bien emite dicha información permanentemente (RFID activo) o sólo lo hace cuando identifica que la antena trata de leer dicha información (RFID pasivo).(Sancho, 2011)

Esta tecnología, aunque viene aplicándose en la industria desde hace no mucho tiempo de forma masiva, fue creada en la industria militar, y utilizada durante la segunda guerra mundial dónde, mediante el uso de un transmisor IFF, creado en el Reino Unido en 1939, se podían distinguir si los aviones que detectaban los radares eran aliados o enemigos.(Sancho, 2011)

#### 3.1.2.1 RFID Y LA LOGÍSTICA.

Para entender como RFID puede ayudar en la optimización de los procesos logísticos, debemos definir la Logística dentro de las empresas actuales. D. Bowersox, D. Closs y M. Cooper definían que "la logística se enfoca en la responsabilidad para diseñar y administrar sistemas con el fin de controlar el movimiento y el posicionamiento geográfico de la materia prima, el trabajo en proceso y el inventario terminado al costo total más bajo".(Sancho, 2011)

## **3.2 TECNOLOGÍAS APLICADAS EN LA LOGÍSTICA**

La implementación de la función logística cada vez más autónoma empleando vehículos automatizados (AGV, Automated Guided Vehicle) guiados por radiofrecuencia o wifi, el empleo de drones, robot, ..., el uso de técnicas de fabricación aditiva más cercanas a nuestros clientes mediante la impresión 3D, el IoT empleando sensores capaces de conectar los objetos físicos con la red, la realidad aumentada empleando smartglasses en actividades de picking, el

almacenamiento masivo de datos o Big Data, y la revolución de la mano de Amazon ante la entrega de cualquier producto en cualquier momento y en cualquier lugar, ha supuesto unos de los grandes retos y tendencias que están revolucionando la industria de la logística contextualizada en la "digitalización" o "era digital".(Martinez, 2019)

Para conseguir implantar una logística digitalizada e interconectada, se precisan de las tecnologías habilitadoras de la I4. A continuación, se exponen algunos tipos de tecnologías de la I4 punteras en el área logística que permiten mejorar y optimizar las operaciones logísticas en las organizaciones. (Martinez, 2019)

- 1) El etiquetado inteligente mediante la identificación del producto empleando RFID, módems GPRS, asegurando la trazabilidad de los productos en la logística interna.
- 2) El empleo de wearables (IoT) en los procesos logísticos para guiar a los empleados, eliminar errores.
- 3) La realidad aumentada en las operaciones de picking, de control de inventarios.
- 4) Los robots o robótica colaborativa, como son los AGV o vehículos guiados automáticamente capaces de interactuar con el entorno, transportando los productos en la planta de forma totalmente autónoma y garantizando la seguridad en la interacción humano-máquina.
- 5) El Blockchain permite certificar la trazabilidad de los procesos logísticos.
- 6) La simulación empleada para las tareas relacionadas con la distribución del lay-out o gestión de la planta de los almacenes.
- 7) Los drones, dispositivos capaces de realizar las operaciones de control de inventarios, transporte de paquetería o incluso inspeccionar los procesos de fabricación.

### **3.3 MODELADO CAD**

El CAD es una técnica de análisis, una manera de crear un modelo del comportamiento de un producto aun antes de que se haya construido. Los dibujos en papel pueden no ser necesarios en la fase del diseño. La aplicación del software CAD en la ingeniería abarca la elaboración de cuadros sinópticos, diagramas de diversos tipos, gráficos estadísticos, representación normalizada de piezas para su diseño y fabricación, representación tridimensional de modelos dinámicos en multimedia, análisis con elementos finitos, aplicaciones en realidad virtual, robótica, etc.(Rojas Lazo & Rojas Rojas, 2014)

De acuerdo con Lombard (2007) son varias las disciplinas que sirven de sustento al diseño asistido por ordenador, entre ellas destacamos las siguientes:

#### 1) Modelado geométrico

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

#### 2) Técnicas de visualización

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

#### 3) Técnicas de interacción gráfica

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

#### 4) Métodos numéricos

Son la base de los métodos de cálculo y simulación.

##### 3.3.1 SolidWorks.

SolidWorks es un software CAD (diseño asistido por computadora) para modelado mecánico en 2D y 3D. El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en traspasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto. Posteriormente todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automatizada.(Lombard, 2008)

El software permite el análisis de piezas y sistemas mecánicos, así con un análisis de movimiento, con la herramienta Motion. El software de simulación Motion se puede usar para estudiar el desplazamiento, la velocidad y la aceleración que actúan sobre los componentes móviles. Además, el software de simulación Motion también ofrece las fuerzas de reacción/ momentos que actúan sobre cada relación de posición. La reacción y las presiones de endurecimiento que actúan sobre cada componente se pueden exportar al análisis de tensión de SolidWorks Simulation para estudiar sus efectos (deformación y tensión) sobre el componente. El software de simulación Motion puede contribuir al diseño de resortes, amortiguadores y levas necesario para el funcionamiento de su mecanismo. También puede ayudar a definir el tamaño de motores y actuadores necesarios para accionar el movimiento de los mecanismos.(Kurowski, 2013)

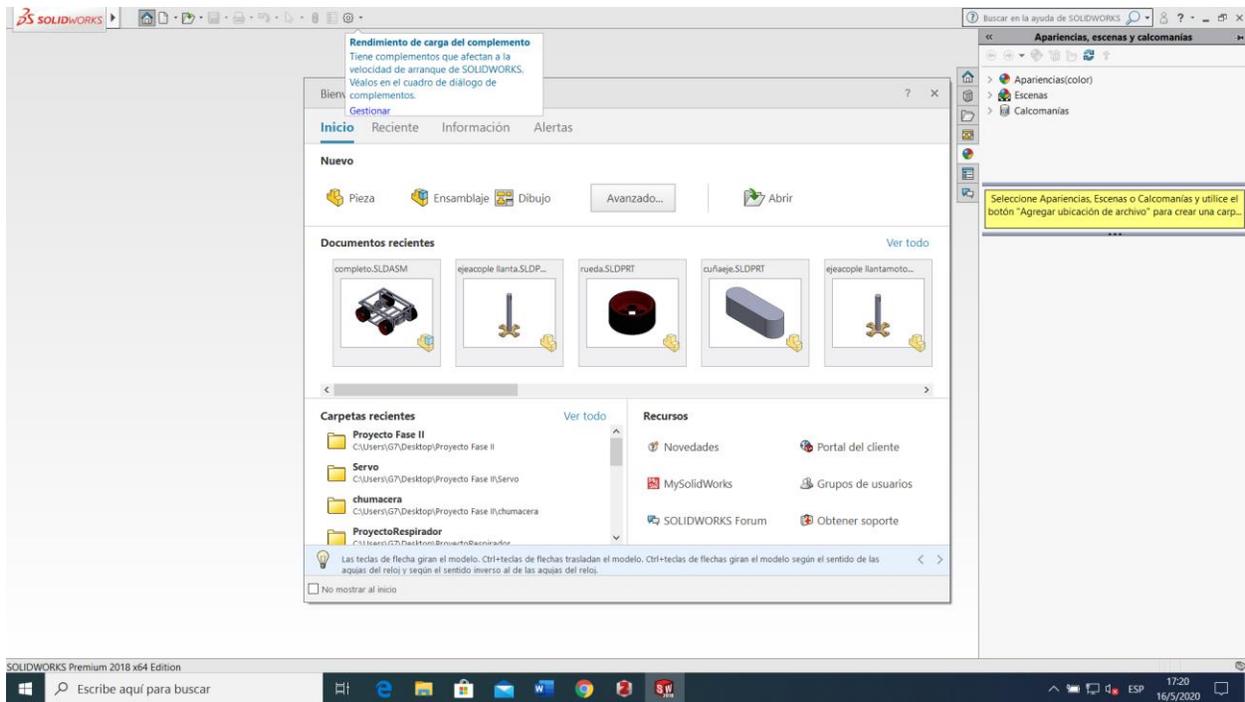


Ilustración 3- Interfaz de SolidWorks

Fuente: Elaboración Propia.

### 3.3.1 ANÁLISIS DE PIEZAS

SolidWorks al ser un programa CAD permite a los usuarios simular las condiciones de trabajo reales de un modelo, donde establecen restricción como ser de translación y rotación y los estados de carga. Además, permite realizar análisis estáticos y dinámicos, inclusive calcula las distribuciones de esfuerzos, las deformaciones y los modos en que estas vibran. Esto se realiza con el módulo SolidWorks Simulation. (Dassual Systems, 2010)

Dassual Systems (2010) menciona que para poder crear un estudio en SolidWorks se requiere diferentes procedimientos que realizar todos los análisis necesarios, los procedimientos son los siguientes:

#### 1) Selección de Material

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

## 2) Selección de Restricciones

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

## 3) Aplicar Cargas

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

## 4) Mallado

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

### **3.4 DISEÑO DE SUPERFICIES**

#### 3.4.1 ¿QUÉ ES UNA SUPERFICIE?

Una superficie es, básicamente, una frontera que separa dos regiones en el espacio. Un ejemplo de esta definición podría ser la de la tela de un globo aerostático, en el cuál la tela separa el aire caliente del frío.(Catarina, 2016)

Para algunos procesos de diseño, como los de creación de objetos con formas y curvas bastante complejas, las superficies teóricas son muy útiles. Es decir, se puede llevar a cabo la modelización de productos a través de la utilización de cuerpos de poco espesor (láminas) similares a superficies. Este tipo de geometría sin espesor se utiliza para: - Creación de sólidos que posean superficies con periferia. - Utilización de superficies como elemento de corte de un sólido o otra/s superficies. - Construcción de nuevas superficies a partir de otras creadas anteriormente. La ventaja de trabajar con superficies es que, al no poseer espesor, no es necesario preocuparse por el volumen de la pieza. Esto nos facilita el trabajo ya que únicamente debemos preocuparnos por la forma externa de nuestra pieza, y no por su interior. También es

interesante la utilización de estas para partir otros cuerpos y así tener distintas partes que provienen de un cuerpo principal. (Catarina, 2016)

### 3.4.2 ¿CUÁNDO TRABAJAR CON UNA SUPERFICIES?

Es importante dejar claro que trabajar con sólidos es mucho más sencillo que hacerlo a través de superficies. Al trabajar a través de superficies se debe modelar cada una de las caras del objeto, y estas caras deben ser juntadas de forma manual. Estas acciones se llevan a cabo de manera automática en el modelado de sólidos. Debido a ello, siempre que se pueda trabajar a través de sólidos, se debe hacer ya que el trabajo se nos va a simplificar notablemente. Pero siempre nos podemos encontrar con casos de objetos que posean una determinada geometría compleja y nos fuercen a utilizar las superficies. En algunas situaciones es difícil diferenciar las situaciones en las que se deben utilizar superficies o en las que el uso de las superficies se vuelve simplemente excesivo. Por lo tanto, es importante aprender a diferenciar las fortalezas y debilidades de trabajar a través de estas herramientas. (Catarina, 2016)

## **3.5 MATERIALES EMPLEADOS PARA EL DISEÑO**

### 3.5.1 ALUMINIO 1060

Las propiedades que este material y sus aleaciones presentan lo hacen uno de los materiales más empleados en la industria por su economía, versatilidad y lo fácil de encontrar en diversas presentaciones desde papel aluminio que se lo emplea en el hogar hasta aplicaciones de ingeniería que requieren de fuertes exigencias. En el ámbito del transporte el aluminio es muy empleado por su baja densidad que en comparación con el acero llega a tener una relación de 1 a 3, lo cual lo hace muy apetecido en la construcción de vehículos terrestres, marítimos, aeroespaciales, catalogándolo como el segundo material más usado con respecto a los demás aceros. Por sus cualidades el aluminio es uno de los materiales que se pueden reciclar en su totalidad y por varias ocasiones sin que las propiedades de este cambien logrando así obtener nuevos productos con características de alta calidad.(Jiménez, 2018)

### 3.5.2 ACERO ASTM A36

El acero ASTM A36 es un acero muy empleado en construcciones metálicas de diversos usos como son edificaciones, puentes, señalizaciones, entre otras. Dentro de las propiedades mecánicas del acero ASTM A 36 tenemos su densidad la cual está en el rango de 7.8 g/cm<sup>3</sup> , Un límite de fluencia de 250 MPA como mínimo, así como un límite a la rotura que se encuentra entre los rangos de 410 MPa, pero este dato es variables en comparación al espesor de las piezas a ser sometidas a ensayo. (Montoya, 2020)

Uno de los aceros más versátiles es exactamente el acero en estudio, refiriéndose al acero ASTM A36, el cual puede soldarse con la gran mayoría de métodos de soldadura, dentro de ellas la SMAW, la cual es de gran valor utilidad por su bajo costo y rapidez. (Montoya, 2020)

### 3.5.3 PLÁSTICO ABS

Los plásticos según su comportamiento frente al calor se clasifican en termoplásticos y termoestables. Dentro de los termoplásticos se encuentra el Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS), cuyas características hacen de él un material atractivo y de interés comercial significativa para aplicaciones de ingeniería, por su mejor resistencia mecánica, particularmente a bajas temperaturas y al impacto así como su facilidad de procesado(Castañeda, 2010)

## 3.6 MECANISMOS

El ser humano siempre está en la búsqueda de construir objetos para nuestras necesidades cotidianas y así mejorar su calidad de vida. Es por eso que los mecanismos se pueden considerar una solución a las diferentes necesidades que necesita satisfacer el ser humano. Además, los mecanismos son elementos destinados a transmitir y/o transformar fuerzas y/o movimientos desde un elemento motriz (motor) a un elemento conducido (receptor), con la misión de permitir al ser humano realizar determinados trabajos con mayor comodidad y menor esfuerzo. (Baranov, 1985)

En los principios de la mecánica, se representan los mecanismos mediante engranajes o ruedas dentadas, con los cuales se forman sistemas de ecuaciones, que caracterizan el comportamiento y funcionamiento de un mecanismo. Es por eso que un mecanismo no se considera como una masa puntual sino como un conjunto de sólidos rígidos enlazados, estos sólidos se denominan elementos del mecanismo y presentan combinaciones de movimientos relativos de rotación y traslación, que combinados pueden dar lugar a un movimiento de gran complejidad. (Landau & Lifshitz, 2002)

Toda máquina contiene uno o varios mecanismos que le sirven para controlar o transformar el movimiento producido por el elemento motriz y también todo mecanismo de cualquier máquina estará compuesto internamente por uno o varios dispositivos denominadas "operadores" (palancas, engranajes, ruedas, tornillos, etc.). (Goldstein, 2006)

Un mecanismo en resumen sería un conjunto de elementos que forman parte de una máquina conectados entre sí y cuya misión es transformar una velocidad en otra velocidad, transformar una fuerza en otra fuerza, transformar una trayectoria en otra diferente o transformar un tipo de energía en otro tipo distinto. (Myszka, 2012)

### 3.6.1 CLASIFICACIÓN DE LOS MECANISMOS

Los mecanismos se pueden clasificar en diferentes tipos, así como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1- Clasificación de los principales mecanismos

Tipo	Función	Mecanismos	
Mecanismos de transmisión del movimiento	Transmiten el movimiento, la fuerza y la potencia producidos por un elemento motriz a otro punto.	Mecanismos de transmisión lineal	Polea
			Polipasto
			Palanca
		Mecanismos de transmisión circular	Ruedas de fricción
			Sistemas de polea y correa
			Engranajes
Mecanismos de transformación del movimiento	Transforman el movimiento circular en rectilíneo, o de rectilíneo a circular.	Mecanismos de transformación del movimiento circular en rectilíneo o viceversa.	Cadenas
			Manivela-torno
			Piñón-cremallera
		Mecanismos de transformación del movimiento circular en rectilíneo alternativo o viceversa.	Tornillo-tuerca
			Tornillo sin fin
			Biela-manivela
Mecanismos auxiliares	Son toda una serie de elementos mecánicos que sirven para modificar o controlar algunos parámetros del movimiento, como permitir el giro en un solo sentido (trinquete), reducir la velocidad de giro (frenos), Absorber energía (resortes) y permitir el acoplamiento de ejes y árboles de transmisión (embragues y acoplamientos)		Leva y excéntrica
			Cigüeñal
			Trinquetes
			Frenos
			Resortes
			Embragues
Acoplamientos			

Fuente: (Myszka, 2012)

En la tabla 3, se presentan los tres tipos principales de mecanismos, de transmisión de movimiento, de transformación de movimiento y mecanismos auxiliares y se presentan los mecanismos más comunes de cada tipo. A cada mecanismo se le debe realizar su respectivo análisis, el cual permite saber el comportamiento de cada mecanismo.

### 3.6.2 ANÁLISIS DE MECANISMOS

Para el análisis de un mecanismo usualmente son necesarios conceptos como el de centro de gravedad, momento de inercia, velocidad angular, entre otros. La mayoría de veces un mecanismo puede ser analizado utilizando un enfoque bidimensional, lo que reduce el

mecanismo a un plano. En mecanismos más complejos y, por lo tanto, más realistas, es necesario utilizar un análisis espacial.

El análisis de los esfuerzos internos de un mecanismo, usualmente se realiza una vez determinada su cinemática y dinámica, y en este período se hace necesario modelizar alguno de sus elementos como sólidos deformables, y así mediante los métodos de la resistencia de materiales y la teoría de la elasticidad se pueden determinar sus deformaciones, así como sus tensiones, y decidir si los esfuerzos a los que están sometidos los elementos del mecanismos pueden ser adecuadamente resistidos sin rotura o pérdida de la funcionalidad del mecanismo. (Erdman & Sandor, 1998)

#### *3.6.2.1 Centro de Gravedad*

El centro de gravedad es el punto imaginario de aplicación de la resultante de todas las fuerzas de gravedad que actúan sobre las distintas porciones materiales de un cuerpo, de tal forma que el momento respecto a cualquier punto de esta resultante aplicada en el centro de gravedad es el mismo que el producido por los pesos de todas las masas materiales que constituyen dicho cuerpo. En otras palabras, el centro de gravedad de un cuerpo es el punto respecto al cual las fuerzas que la gravedad ejerce sobre los diferentes puntos materiales que constituyen el cuerpo producen un momento resultante nulo. (Mabie, 2001)

#### *3.6.2.2 Momento de Inercia*

La inercia es la propiedad de la materia de resistir a cualquier cambio en su movimiento, ya sea en dirección o velocidad. Esta propiedad se describe claramente en la Primera Ley del Movimiento de Newton lo cual dice: "Un objeto en reposo tiende a permanecer en reposo, y un objeto en movimiento tiende a continuar moviéndose en línea recta, a no ser que actúe sobre ellos una fuerza externa". Un momento es la resultante de una fuerza por una distancia, este efecto hace girar elementos en torno a un eje o punto El momento es constante, se puede tomar en cualquier punto del plano y siempre dará el mismo resultado, siendo la distancia la perpendicular, entre el punto y la dirección de la fuerza. (Zinoviev, 1969)

El momento de inercia es una medida de la inercia rotacional de un cuerpo. Cuando un cuerpo gira en torno a uno de los ejes principales de inercia, la inercia rotacional puede ser

representada como una magnitud vectorial llamada momento de inercia. El momento de inercia refleja la distribución de masa de un cuerpo o de un sistema de partículas en rotación, respecto a un eje de giro. El momento de inercia solo depende de la geometría del cuerpo y de la posición del eje de giro; pero no depende de las fuerzas que intervienen en el movimiento. (Zinoviev, 1969)

### *3.6.2.3 Velocidad Angular*

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

### *3.6.2.4 Aceleración Relativa*

La aceleración relativa hace referencia a la que presenta una partícula con respecto a un sistema de referencia (xyz), llamado referencial relativo o móvil por estar en movimiento con respecto a otro sistema de referencia (XYZ) considerado como referencial absoluto o fijo. El movimiento de un referencial respecto al otro puede ser una traslación, una rotación o una combinación de ambas (movimiento rotatorio). La aceleración relativa es la aceleración de un objeto observado desde otro objeto de referencia que también se está moviendo. El análisis de aceleración generalmente se emplea para determinar la aceleración de varios puntos sobre un mecanismo en una configuración específica. Debe entenderse que los resultados de este análisis son las características del movimiento instantáneo. (Shigley & Uicker, 1988)

## 3.6.3 ANÁLISIS DE TENSIÓN DE VON MISES

La tensión de Von Mises es una magnitud física proporcional a la energía de distorsión. En ingeniería estructural se usa en el contexto de las teorías de fallo como indicador de un buen diseño para materiales dúctiles. La tensión de Von Mises puede calcularse fácilmente a partir de las tensiones principales del tensor tensión en un punto de un sólido deformable. La tensión de

Von Mises es un escalar proporcional a la energía de deformación elástica de distorsión que puede expresarse en función de las componentes del tensor tensión, en particular admite una expresión simple en función de las tensiones principales, por lo que la tensión de Von Mises puede calcularse a partir de la expresión de la energía de deformación distorsiva. (Gere, 2002)

Igualmente, la superficie de fluencia de un material que falla de acuerdo con la teoría de fallo elástico de Von Mises puede escribirse como el lugar geométrico de los puntos donde la tensión de Von Mises como función de las tensiones principales supera cierto valor. Matemáticamente esta ecuación puede expresarse aún como el conjunto de puntos donde el invariante cuadrático de la parte desviadora del tensor tensión supera cierto valor. (Tsai & Miravete, 1988)

Las tensiones y deformaciones tridimensionales se desarrollan en varias direcciones. Una forma habitual de expresar estas tensiones multidireccionales consiste en resumirlas en una tensión equivalente, también denominada tensión de von-Mises. Un sólido tridimensional tiene seis componentes de tensión. En algunos casos, una prueba de tensión uniaxial busca propiedades del material experimentalmente. En ese caso, la combinación de los seis componentes de tensión en una única tensión equivalente se relaciona con el sistema de tensiones reales. (Tsai & Miravete, 1988)

#### 3.6.4 MECANISMOS EN ROBOTS

Los últimos avances tecnológicos han implicado el reemplazo de la mano de obra por mecanismos de robótica programables desde tareas cotidianas en el hogar hasta actividades complejas en la industria. El uso de la robótica en tareas específicas es novedoso, aún más cuando estas tareas están orientadas a prestar un servicio al público, esto implica la utilización de un sistema adecuado de interacción hombre-robot.

Mecánicamente, un robot está formado por una serie de elementos o eslabones unidos mediante articulaciones que permiten un movimiento relativo entre cada dos eslabones consecutivos. La constitución física de la mayor parte de los robots industriales guarda cierta similitud con la anatomía del brazo humano, por lo que, en ocasiones, para hacer referencia a

los distintos elementos que componen el robot, se usan términos como cuerpo, brazo, codo y muñeca. (Angulo Ruíz et al., 2016)

Dependiendo de la aplicación que se le dará a un robot., los mecanismos son diseñados. Existen diferentes mecanismos utilizados para el diseño del robot

#### 3.6.4.1 Sistemas de Poleas y Correa

Se trata de sistemas formados por pares de ruedas o poleas situadas a cierta distancia, con ejes normalmente paralelos, que giran simultáneamente transmitiendo el movimiento desde el eje de entrada o motriz hasta el eje de salida o conducido mediante una correa. Un sistema de transmisión por correa, ver ilustración 3, es un conjunto de dos poleas acopladas por medio de una correa con el fin de transmitir fuerzas y velocidades angulares entre árboles paralelos que se encuentran a una cierta distancia. La fuerza se transmite por efecto del rozamiento que ejerce la correa sobre la polea. (Myszka, 2012)

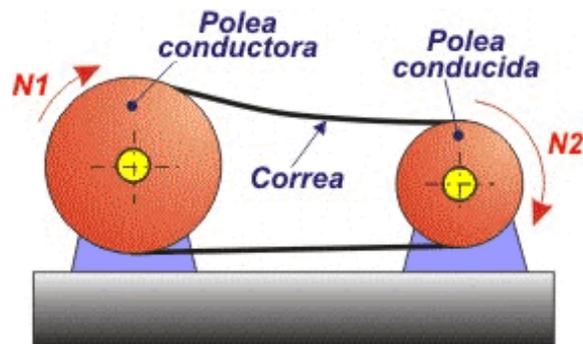


Ilustración 4- Sistema de polea y correa

Fuente: (Myszka, 2012)

El movimiento que se transmite a la rueda conducida tiene el mismo sentido que el movimiento de la rueda conductora, mientras que su módulo, como veremos más adelante, depende de los diámetros de las poleas. El proceso de transmisión del movimiento con correa es un proceso de elevado rendimiento (95-98%) y precio reducido. Su principal inconveniente es la limitación para transmitir grandes potencias, debido al deslizamiento de la correa sobre la polea. (Myszka, 2012)

### 3.6.4.2 Engranajes

Los engranajes son juegos de ruedas que disponen de unos elementos salientes denominados "dientes", que encajan entre sí, de manera que unas ruedas (las motrices) arrastran a las otras (las conducidas o arrastradas), ver ilustración 4. Estos transmiten el movimiento circular a circular. La condición para que las ruedas "engranen", es decir, que puedan acoplarse y transmitir el movimiento correctamente, es que tengan los mismos parámetros o dimensiones en el diente. (Erdman & Sandor, 1998)

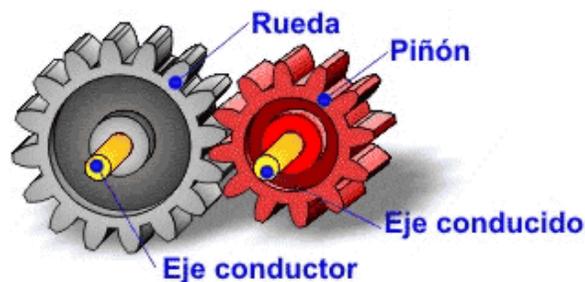


Ilustración 4-Sistemas de engranajes

Fuente: (Erdman & Sandor, 1998)

Los engranajes son sistemas de transmisión del movimiento circular de constituidos por el acoplamiento, diente a diente, de dos ruedas dentadas, una motriz y otra conducida. A la mayor se le llama corona y al menor piñón. Estos mecanismos ocupan espacios muy reducidos, no tienen posibilidad de deslizamiento, tienen una gran capacidad de transmisión de potencia y tienen un bajo mantenimiento. Sin embargo, son más costosos y más difíciles de fabricar, además de que producen bastante ruido en el proceso de transmisión. (Erdman & Sandor, 1998)

Se utilizan sistemas de engranajes rectos, los cuales están formados por ruedas dentadas que transmiten movimiento de rotación en espacios pequeños, también se utilizan engranajes cónicos, los cuales tienen dientes en forma de tronco de cono y estos transmiten el movimiento de giro entre ejes perpendiculares. (Erdman & Sandor, 1998)

Algunos sistemas que incluyen engranajes son los siguientes:

- 1) Engranaje de tornillo sinfín, los cuales transmiten el movimiento de giro entre ejes perpendiculares, tienen un gran poder de reducción.

- 2) Engranaje de piñón y cremallera, el cual consiste en la transmisión de movimiento desde una rueda dentada llamada piñón a otro engranaje rectilíneo llamado cremallera y transforma el movimiento rotativo del engranaje piñón en movimiento lineal de la cremallera.

#### 3.6.4.3 Trenes de Mecanismos

Es la combinación de varios mecanismos o sistemas mecánicos desde un eje motriz a un eje conducido para lograr una mayor o menor reducción de la velocidad. Se llama tren de engranajes a aquella transmisión en la que existen más de dos engranajes, como se presenta en la ilustración 5.

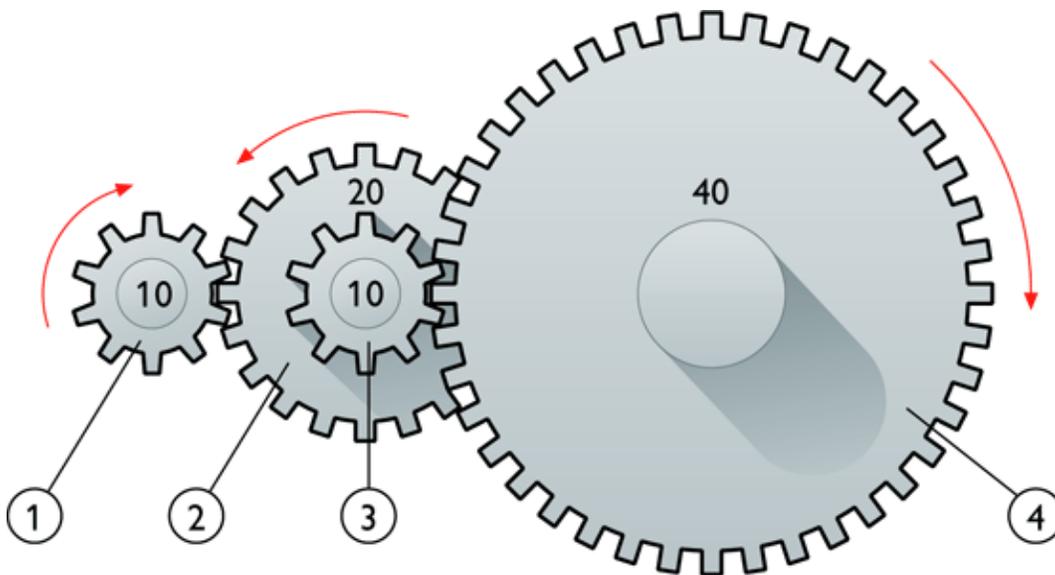


Ilustración 5- Tren de Engranajes

Fuente: (Erdman & Sandor, 1998)

Los trenes de engranajes se utilizan cuando la relación de transmisión que se quiere conseguir difiere mucho de la unidad, los ejes de entrada y de salida de la transmisión están muy alejados o se requiere que la relación de transmisión sea modificable.

### 3.7 ROBÓTICA

La robótica es una rama de la ingeniería mecánica, de la ingeniería eléctrica, de la ingeniería electrónica, de la ingeniería biomédica, y de las ciencias de la computación, que se ocupa del

diseño, construcción, operación, estructura, manufactura, y aplicación de los robots. Estamos presenciando avances significativos en tecnología industrial, que claramente están encaminados hacia la automatización y la robótica en plantas de producción, y que han generado posiciones diversas sobre lo que sucederá con el futuro de la industria. En otras palabras, la robótica es la rama de la tecnología que se dedica al diseño y construcción de robots. (Somolinos Sánchez, 2002)

Un robot es un sistema formado por sensores y actuadores controlados por un ordenador para realizar diferentes tareas. En la actualidad, los robots comerciales e industriales se utilizan a menudo y realizan tareas de forma más exacta o más económicas a como las harían los humanos. También se emplean en otros tipos de trabajo ya sean estos sucios, peligrosos o tediosos para los humanos. En adición, los robots también se pueden utilizar en plantas de manufactura, montaje y embalaje, en transporte, en exploraciones en la Tierra y en el espacio, cirugía, armamento, investigación en laboratorios y en la producción en masa de bienes industriales o de consumo. (Ollero Baturone, 2001)

### 3.7.1 PARTES DE UN ROBOT

Reyes Cortés (2011) establece que los robots están conformados por cuatro partes principales que permiten al robot sentir y actuar.

#### *3.7.1.1 Estructura*

Es el cuerpo o carcasa del robot, el cual le da forma y sostiene al resto de las partes. Una característica es su robustez, el tipo de material, facilidad para el cambio y del tipo de trabajo a desempeñar.

#### *3.7.1.2 Actuadores*

El robot luego de captar y procesar los datos del entorno, el robot deberá procesarlo para desempeñar la tarea programada. Esto se lleva a cabo mediante el uso de actuadores, estos actuadores incluyen los siguientes:

- 1) Motores, los cuales convierten la energía eléctrica en energía mecánica necesaria para producir movimiento en el motor

- 2) Mecanismos, son los elementos que permiten transmitir el movimiento de giro del motor a las diferentes partes del robot.

### *3.7.1.3 Sensores*

Todo robot debe tener un desenvolvimiento adecuado gracias a los estímulos externos que recibe del exterior. Para estos los sensores deben ser adecuado a la tarea a realizar y colocados de manera estratégica sobre la estructura. Son circuitos electrónicos que pueden detectar la posición, velocidad, temperatura, luz, etc.

### *3.7.1.4 Sistemas de Control*

Para que exista el movimiento o acción del robot por parte de los estímulos externo, se hace a través de una lógica de control que asigna el comportamiento de la máquina. Por lo general se trata de sistemas basado en microcontroladores que programados de manera conveniente resuelven de forma óptima los objetivos de una aplicación.

## 3.7.2 ROBOTS MÓVILES

Los Robot móviles están dotados de grandes capacidades para desplazarse, dichas capacidades están o podrían basarse en carros o plataformas como lo veremos en el desarrollo de esta investigación, cuentan con sistemas de locomoción. Siguen su camino por telemando o guiándose por la información recibida de su entorno a través de sus sensores. Estos Robots aseguran el transporte de piezas de un punto a otro de una cadena de fabricación. Guiados mediante pistas materializadas a través de la radiación electromagnética de circuitos empotrados en el suelo, o a través de bandas detectadas fotoeléctricamente, pueden incluso llegar a sortear obstáculos y están dotados de un nivel relativamente elevado de inteligencia. (Spong & Vidyasagar, 1989)

Los robots móviles están provistos de ruedas, orugas o extremidades que les permiten desplazarse de acuerdo a la información que reciben a través de sus sistemas de sensores y a su programación. Los robots móviles son un foco importante de la investigación actual y casi de cada universidad importante que tenga uno o más laboratorios que se centran en la

investigación de robots móviles. Los robots móviles se encuentran también en la industria y los servicios. (Nof, 1999)

Los robots móviles con ruedas se caracterizan por la solución más simple y eficiente de movilidad en terrenos suficientemente duros, en donde se pueden conseguir velocidades relativamente altas, sin embargo, puede patinar en cierto tipo de terrenos y además, el desplazamiento mediante ruedas no es eficiente en terrenos blandos o irregulares. Ollero Baturone (2001) presenta algunos de los sistemas de desplazamiento más comunes en robots móviles con ruedas, los cuales son:

### 1) Ackerman

Este sistema es utilizado en robots de 4 ruedas convencionales, ver ilustración 7, la rueda delantera interior gira a un ángulo superior al exterior para eliminar el deslizamiento. Las prolongaciones de los de las dos ruedas delanteras intersecan en un punto sobre la prolongación del eje de las ruedas traseras. El lugar de los puntos trazados sobre el suelo por los centro de los neumáticos son circunferencias concéntricas con centro el eje de rotación  $P_1$ .

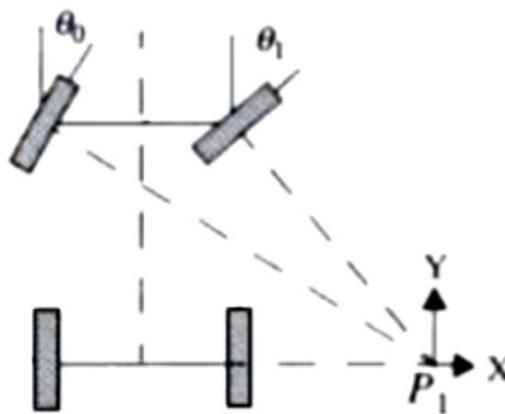


Ilustración 6- Locomoción Ackerman

Fuente: (Ollero Baturone, 2001)

### 2) Triciclo

En el sistema de triciclo, ver ilustración 8, la rueda delantera se utiliza tanto para el direccionamiento como para la tracción. El eje posterior con las dos ruedas laterales se desplaza

libremente. La movilidad resulta más eficiente en este sistema comparado al anterior, con la diferencia que puede presentar inestabilidad en terrenos irregulares. El centro de gravedad tiende a desplazarse cuando el vehículo se desplaza por una pendiente, causando la pérdida de tracción.

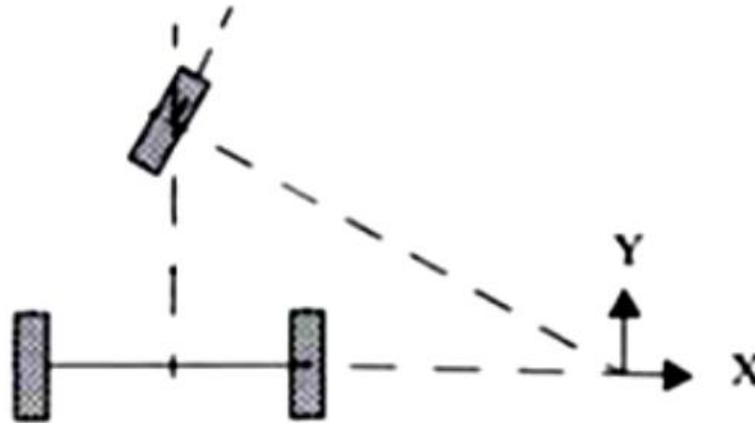


Ilustración 7- Locomoción de Tres Ruedas

Fuente: (Ollero Baturone, 2001)

### 3) Direccionamiento Diferencial

El sistema de direccionamiento diferencial se caracteriza por la diferencia de velocidades entre las ruedas laterales, ver ilustración 9, que a su vez son las que generan tracción, además no existe una o más ruedas de soporte, este tipo es más usado en robots para interiores.

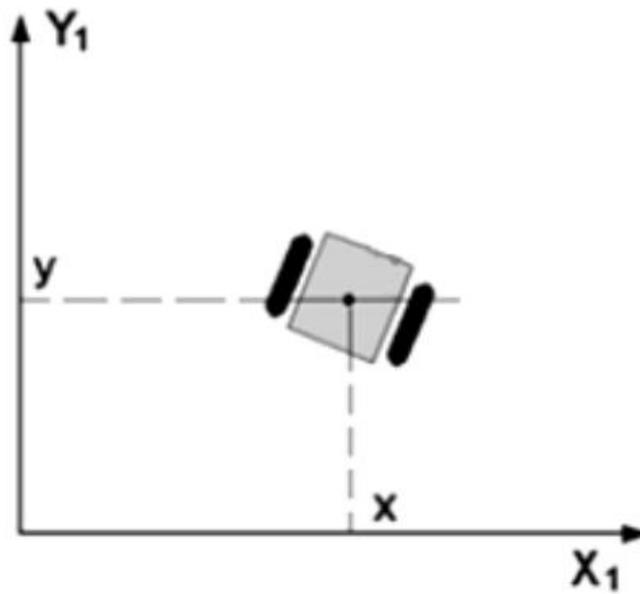


Ilustración 8-Locomoción Diferencial

Fuente: (Ollero Baturone, 2001)

#### 4) Skid Steer

En este tipo de locomoción aparecen varias ruedas en cada lado del vehículo, las cuales actúan simultáneamente. El desplazamiento es el resultado de combinar la velocidad tanto de la rueda de la izquierda como de la derecha.

#### 5) Pistas de Deslizamiento (Orugas)

Este sistema son robots tipo oruga en los que tanto la impulsión como el direccionamiento son realizados por sus pistas de deslizamiento. Las pistas actúan análogamente a las ruedas de gran diámetro. Su locomoción es eficiente en terrenos irregulares.

#### 6) Locomoción mediante patas

Algunas veces se ha requerido un tipo diferente de movilidad a la que presentan los robots de locomoción por ruedas, por ello se han desarrollado prototipos imitando distintas formas de desplazamiento, similares a las de los animales y al humano. Para este tipo de locomoción se deben tomar en cuenta algunos aspectos como la posición, velocidad y equilibrio, usando únicamente el movimiento de las articulaciones mediante motores.

## 3.7.2 APLICACIONES DE LA ROBÓTICA.

### *3.7.2.1 Industria*

En la actualidad, la robótica, ha causado un gran impacto en la industria, con los robots industriales. Las aplicaciones de los robots industriales que tienden a cumplir estas características se dividen en tres categorías básicas:

#### 1) Manejo de Material

Las aplicaciones de manejo de material implican el movimiento de materiales o piezas de una posición y orientación a otra. Para realizar la tarea de recolocación, el robot está equipado con un sujetador. Las aplicaciones de manejo de materiales incluyen la transferencia de materiales (colocación de piezas, cargar sobre tarimas y descargar tarimas) y carga y/o descarga de máquinas (por ejemplo, máquinas herramienta, prensas y moldes de plástico). (Hunt, 1983)

#### 2) Operaciones de Procesamiento

Las operaciones de procesamiento requieren que el robot manipule una herramienta como el actuador final. Entre las aplicaciones están la soldadura de puntos, la soldadura continua con arco eléctrico, el recubrimiento por aspersion y ciertas operaciones de corte y eliminación de rebabas en metal, en las cuales el robot manipula una herramienta especial. En cada una de estas operaciones se usa una herramienta (por ejemplo, una pistola para soldadura de puntos o una boquilla para pintura por aspersion) como el actuador final del robot. (Mair, 1988)

#### 3) Ensamble e Inspección

Las aplicaciones de ensamble e inspección no pueden clasificarse en forma definida en cualquiera de las dos categorías anteriores, porque en ocasiones implican el manejo de piezas y otras veces la manipulación de una herramienta. Las aplicaciones de ensamble frecuentemente requieren el apilamiento de una pieza sobre la otra, lo cual es básicamente una tarea de manejo de piezas. (Nof, 1999)

### 3.7.3 METODOLOGÍA DE DISEÑO DE SISTEMAS ROBÓTICOS.

Para el estudio y definición de cada subsistema contenido en el robot, se debe establecer una serie de tareas de diseño paralelamente (advirtiendo así, interacciones y limitaciones), a diferencia del diseño por disciplinas o secuencial, donde las tareas o acciones que deben efectuarse se llevan a cabo de forma secuencial. (Zabala, 2007)



Ilustración 9-Pasos del Diseño de sistemas robóticos

Fuente: (Zabala, 2007)

En la metodología para diseño de sistemas robóticos presentada en la ilustración 9, es un diseño concurrente, en donde a medida que el diseño avanza, se van definiendo diferentes parámetros y se va ajustando el sistema a las restricciones físicas, con este se logra una reducción del rango de modificación de los parámetros a medida que se resuelven restricciones e interacciones. (Zabala, 2007)

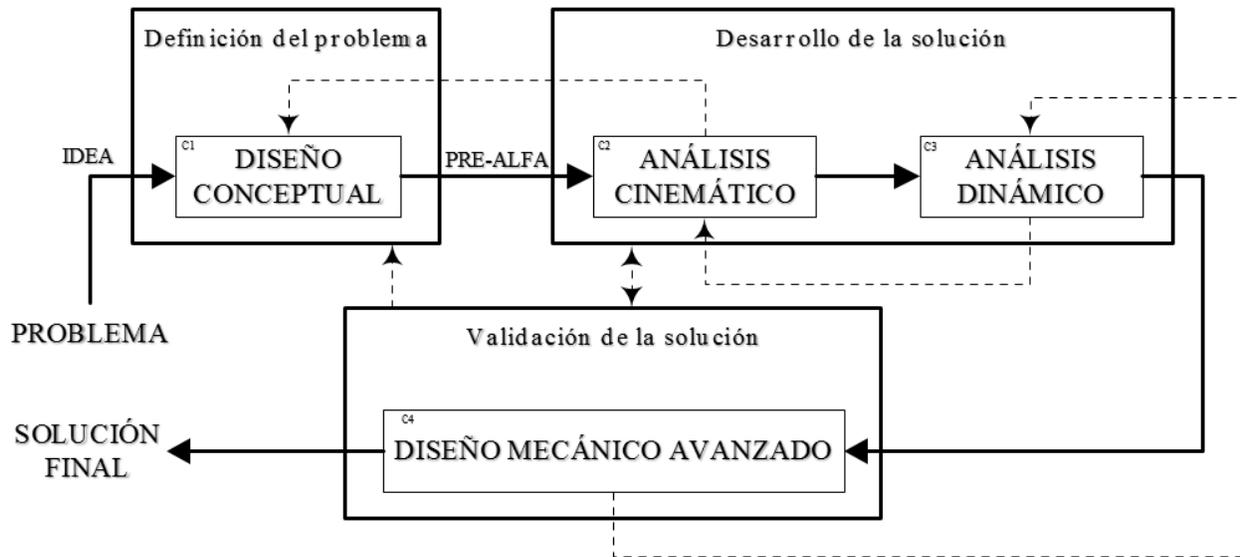


Ilustración 10-Diagrama de los pasos de diseño de sistemas robóticos

Fuente: (Martínez Verdú & Sabater Navarro, 2012)

En la ilustración 10, se presentan de manera seccionada los pasos establecidos en la ilustración 9, permitiendo tener un mayor control sobre el proceso de diseño. Donde el diseño conceptual es considerado como la definición del problema y se realiza una investigación de manera aplicada al diseño a realizar. Posteriormente, se encuentra el desarrollo de la solución, donde se realiza un análisis cinemático y un análisis dinámico al robot, y cada una es un desarrollo de la solución diferente, el cual permitirá saber el comportamiento que este tendrá. Y, por último, se encuentra la validación de la solución, donde se realiza un diseño mecánico avanzado del robot y con la simulación, dando resultado del robot diseñado. (Martínez Verdú & Sabater Navarro, 2012)

Martínez Verdú & Sabater Navarro (2012) mencionan que se puede diferenciar dos formas de hacer un diseño, ya que se puede utilizar la teoría convencional (la que se instruye en las asignaturas de robótica en las universidades) o bien hacer uso de herramientas informáticas de diseño mecánico avanzado.

### *3.7.3.1 Teoría Convencional*

Martínez Verdú & Sabater Navarro (2012) muestran los pasos para el diseño de un sistema robótico empleando la teoría convencional, donde se divide en diferentes etapas, las cuales permiten plantear y definir el problema de manera adecuada, prosiguiendo con dos etapas de desarrollo de soluciones que serán respuesta al problema planteado con anterioridad y culminando con la validación de las soluciones desarrolladas, para seguir toda esta metodología de diseño de sistemas robóticos es necesario emplear conocimientos teóricos para la resolución de los análisis a realizar como ser el análisis dinámico y cinemático.

Las primeras dos etapas a seguir son la definición y planteamiento del problema a resolver, para posteriormente desarrollar una solución, como se presenta en la ilustración 14. Con el fin de establecer de manera adecuada el planteamiento del problema es necesario identificar las necesidades a resolver, generando y reproduciendo nuevas ideas las cuales permitan analizar, comprender y describir el contexto de uso para el problema a resolver.

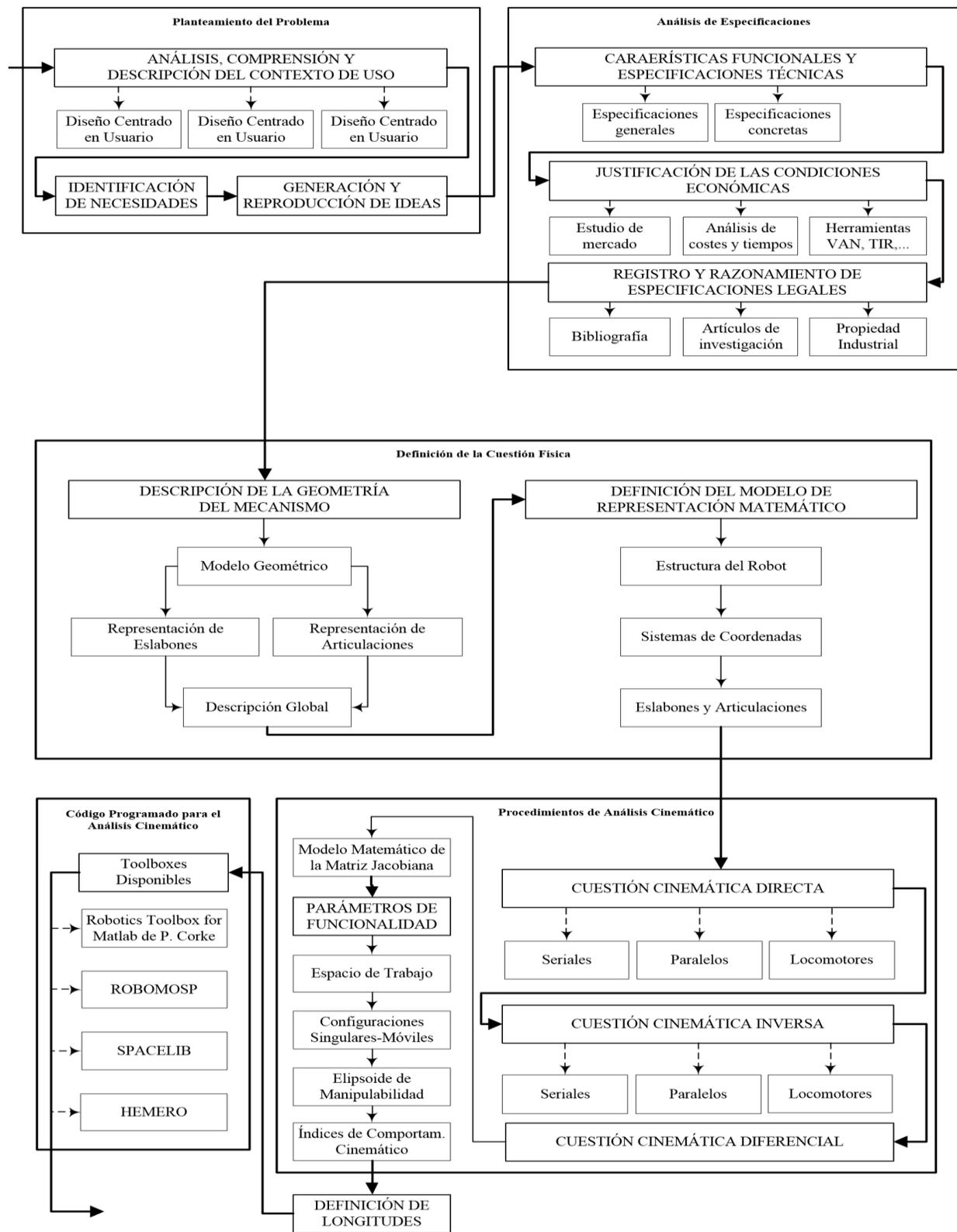


Ilustración 11-Metodología de diseño de sistemas robóticos parte I

Fuente: (Martínez Verdú & Sabater Navarro, 2012)

Luego de plantear el problema, como se muestra en la ilustración 10, se prosigue con un análisis de especificaciones, donde se presentan las características funcionales y especificaciones técnicas ya sean generales o concretas. Además, se justifican las condiciones económicas, analizan la situación actual y registrando diferente bibliografía, como ser artículos de investigación entre otros documentos que ayuden al diseño a realizar. Posteriormente, se procede a definir el diseño físico del robot, describiendo detalladamente la geometría del mecanismo a través de un modelo, representando todo lo que el mecanismo contiene, como ser representación de eslabones o articulaciones, y describiéndolo de manera global. Esto es necesario, para lograr determinar el modelo matemático el cual representará el funcionamiento y comportamiento del robot, incluyendo la estructura del robot, el sistema de coordenadas o eslabones y articulaciones. Luego de haber establecido los modelos que representan el comportamiento del robot, se continua con el análisis cinemático, donde se analiza la cinemática directa, inversa y así mismo la diferencial, estableciendo los parámetros de funcionalidad, espacio de trabajo, longitudes y demás configuraciones, además, se genera un código con el fin de realizar el análisis cinemático adecuado, con esto se culmina la parte I, de la metodología de diseño de robots con teoría convencional.

Finalizando la parte I de la metodología, se inicia con la parte II, donde se realiza de manera secuencial respecto a la parte anterior. Prosiguiendo con la definición de la parte física del robot, a diferencia de la parte I, donde solo se realiza un modelo geométrico, aquí se deben seleccionar los materiales con los cuales será diseñado el robot, la preselección de los actuadores y la estimación de peso que el robot tendrá a partir del material establecido. Todo ello, para poder realizar el respectivo análisis dinámico del robot, como se muestra en la ilustración 12. En el análisis dinámico se debe analizar tanto la dinámica inversa como la dinámica directa con diferentes técnicas que lo permiten. Además, se debe analizar la dinámica de los actuadores preseleccionados en el paso anterior.

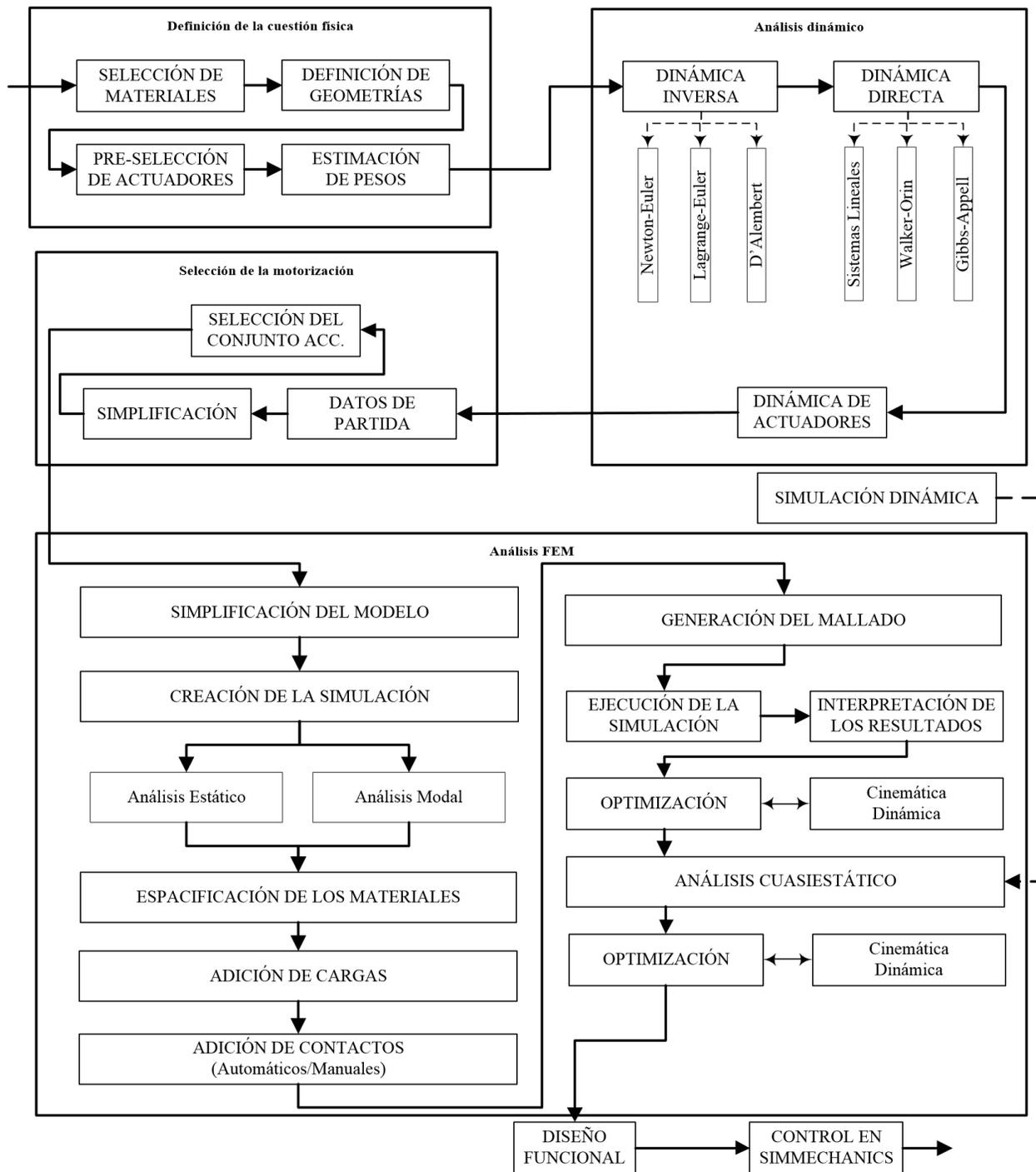


Ilustración 12-Metodología de diseño de sistemas robóticos parte II

Fuente: (Martínez Verdú & Sabater Navarro, 2012)

Posteriormente, como se presenta en la ilustración 12, se hace la selección final de la motorización, partiendo de los datos obtenidos en el análisis dinámico realizado con

anterioridad, encontrando la manera de simplificarlos para seleccionar el conjunto de actuadores que convendrían más al diseño del robot y que ayudaría a solventar el problema planteado al inicio. Luego se continúa con el análisis de la FEM del conjunto de actuadores seleccionados, simplificando el modelo que los representa, creando la simulación, que permitirán realizar un análisis estático y modal de los actuadores, a través de la especificación de los materiales, junto con una adición de cargas y contactos, para después generar el mallado y ejecutar la simulación del comportamiento de los actuadores. Con la simulación, se obtendrán resultados que determinarán el diseño realizado, los cuales serán interpretados y analizados con el fin de optimizar y hacer mejoras del diseño, finalizando con un diseño funcional del sistema robótico.

### *3.7.3.2 Diseño Empleando Herramientas Informáticas de Diseño Mecánico Avanzado*

Martínez Verdú & Sabater Navarro (2012) presenta este diseño de sistemas robóticos con el uso de herramientas informáticas de diseño mecánico avanzado (HI-DMA), con el uso de diferentes softwares de diseño, ya que estos softwares permiten crear un modelo representativo del diseño conceptual e información relativa a éste, como modelos 3D o planos, además de que permiten validar y evaluar el desarrollo de la solución en forma analítica con el fin de generar una solución sin necesidad de utilizar diferentes conceptos, ya que mediante la simulación se podrá obtener una solución numérica al problema establecido, estos softwares o aplicaciones pueden ser las siguientes:

- 1) Diseño Asistido por Computador (CAD), Computer Aided Design
- 2) Ingeniería Asistida por Computador (CAE), Engineering Aided Design
- 3) Diseño e Ingeniería Asistida por Computador (CAX) Computer Aided Design and Engineering
- 4) Realidad Virtual Asistida por Computador (CAVR) Virtual Reality Aided Design

Esta metodología, se estructura en diferentes partes, que permiten el diseño de un sistema robótico con el auxilio de softwares de diseño, iniciando con el diseño conceptual y el análisis cinemático, como se presenta en la ilustración 17.

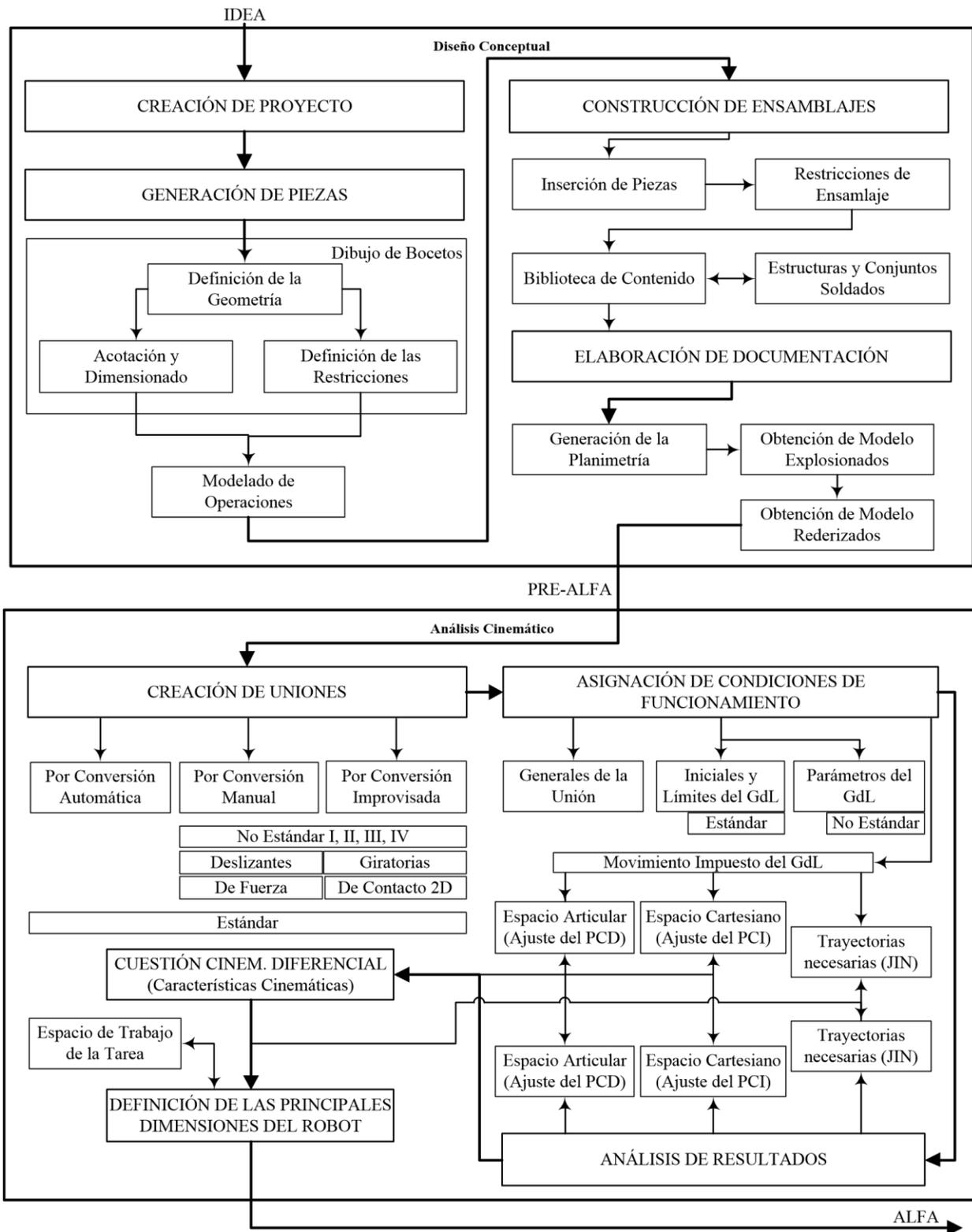


Ilustración 13-Diseño de sistemas robóticos con herramientas informáticas parte I

Fuente: (Martínez Verdú & Sabater Navarro, 2012)

El diseño conceptual inicia partiendo de una idea del diseño a realizar, el cual depende de los requisitos a cumplir o la expectativa o función que el robot deberá ejecutar. Se crea el proyecto o archivo en un software, generando las piezas que tendrá el robot, dibujando el boceto, definiendo la geometría de las piezas, acotándolas, dimensionándolas y definiendo las restricciones que las piezas deben de tener. Luego de que cada pieza es creada, se procede a la construcción de ensamblajes, donde las piezas son ubicadas e insertadas en su respectivo lugar, especificando las restricciones que el diseño debe de poseer y agregado de detalles que el ensamblaje debe de poseer como conjuntos soldados. Posteriormente, con el ensamblaje ya completado, se elabora la documentación de planos, generando planos de las piezas y el ensamblaje con todos los datos necesarios, además de obtener un modelo explosionado y renderizado del ensamblaje construido. Con esto hecho, se continúa con el análisis cinemático, partiendo de los modelos hechos, se crean las uniones ya sea por conversión automática, manual o improvisada y se asignan condiciones de funcionamiento, entre ellas pueden ser, parámetros de los grados de libertad, generalidades de la unión, se ajusta el espacio articular, el cartesiano y las trayectorias necesarias con el fin de obtener resultados con los parámetros establecidos, realizando todo esto, se culmina la primera parte de la metodología establecida de diseño de sistemas robóticos con la ayuda de diferentes herramientas informáticas.

Seguidamente, se continúa con la parte II de la metodología, donde se realiza el respectivo análisis dinámico al diseño del sistema robótico. Se crean las diferentes uniones, igual que en el análisis cinemático, estas pueden ser por conversión automática, manual o improvisada. Se asignan las condiciones o parámetros de funcionamiento, como ser la fuerza o par de cada grado de libertad, así como sus límites y diferentes parámetros, además, se ajusta el PDD y PDI, además de las trayectorias necesarias para realizar las pruebas y obtener resultados con los parámetros establecidos para su posterior análisis. Se definen los materiales a utilizar con sus respectivas geometrías y además se seleccionan la motorización que se usaran en el diseño, como se presenta en la ilustración 18.

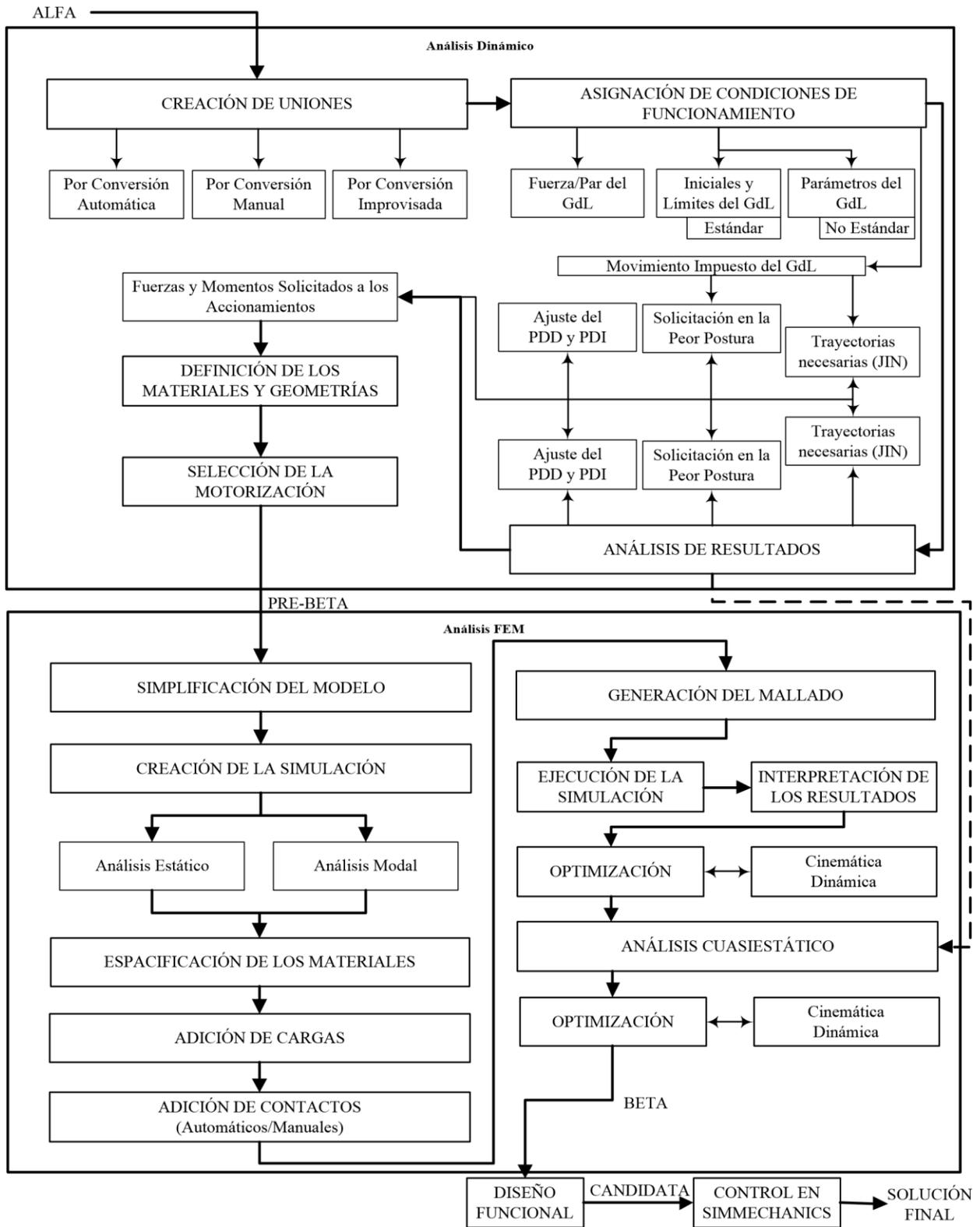


Ilustración 14-Diseño de sistemas robóticos con herramientas informáticas parte II

Fuente: (Martínez Verdú & Sabater Navarro, 2012)

Una vez finalizado el análisis dinámico, se procede con el análisis FEM de la motorización seleccionada con anterioridad. Se simplifica el modelo y se crea una simulación donde se hará un análisis estático y uno modal, especificando los materiales en el diseño, adicionando las cargas y contactos, para seguidamente generar el mallado y lograr ejecutar la simulación. Con la simulación culminada se extraen los datos resultantes, donde se interpretan y analizan para tener retroalimentación del diseño realizado. Los resultados obtenidos permitirán determinar alguna mejora u optimización que sea requerida o adicional en el diseño del sistema robótico, con esto se finaliza un diseño funcional, que permitirá ejercer la función deseada para cualquier aplicación.

### 3.8 MOTORES EN LA ROBÓTICA

Para el diseño de robots los motores más utilizados son de corriente continua, por las particularidades que estos poseen, los cuales funcionan de 2 a 24V. sin mencionar las particularidades físicas que tienen como ser pequeños y permiten el cambio de giro con facilidad. Existen 3 motores principalmente utilizados en la robótica:

- 1) Motores de Corriente Continua
- 2) Motores Paso a Paso
- 3) Servomotores

En la presente investigación, se enfocó en los servomotores, debido a que estos fueron empleados en el diseño del robot por la exactitud que estos poseen.

El motor eléctrico permite la transformación de energía eléctrica en energía mecánica, esto se logra mediante la rotación de un campo magnético alrededor de una espira o bobinado que toma diferentes formas. Al pasar la corriente eléctrica por la bobina ésta se comporta como un imán cuyos polos se rechazan o atraen con el imán que se encuentra en la parte inferior; al dar media vuelta el paso de corriente se interrumpe y la bobina deja de comportarse como imán pero por inercia se sigue moviendo hasta que da otra media vuelta y la corriente pasa nuevamente repitiéndose el ciclo haciendo que el motor rote constantemente. (BUN-CA, 2007)

Para poder realizar aplicaciones modernas y de precisión en los robots es necesaria la elección correcta de un motor. Esto se basa en las características de la carga aunque también pueden influir otras características como ser las económicas.

La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde  $90^\circ$  hasta pequeños movimientos de tan solo  $1.8^\circ$ , es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso ( $90^\circ$ ) y 200 para el segundo caso ( $1.8^\circ$ ), para completar un giro completo de  $360^\circ$ . (López, 2003)

Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas está energizada, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas. (López, 2003)

### 3.8.1 PARÁMETROS DE SELECCIÓN DEL MOTOR DE UN ROBOT

Una de las partes principales del diseño de un robot, es la selección de los motores apropiados para dicha aplicación. Existen algunos parámetros a tener en cuenta para la selección de estos motores. Teniendo en cuenta que se busca maximizar el torque y la velocidad y a su vez minimizar el tamaño junto con el consumo, se debe hacer la selección de parámetros. Sin embargo, los motores que proporcionan mayores velocidades suelen dar menor torque, los motores que dan mayor torque, dan menos velocidad y los motores que dan altas velocidades o torque son de mayor tamaño y de mayor consumo.

Las variables que determinan la selección de los motores son las siguientes:

- 1) Velocidad del motor
- 2) Torque o par del motor
- 3) Tamaño
- 4) Consumo

#### *3.8.1.1 Fricción o Rozamiento*

Con el fin de determinar la interacción entre el terreno y el robot es necesario tener en cuenta la fuerza de fricción o rozamiento. Se define como fuerza de rozamiento o fuerza de fricción, a la

fuerza entre dos superficies en contacto, a aquella que se opone al movimiento entre ambas superficies (fuerza de fricción dinámica) o a la fuerza que se opone al inicio del movimiento (fuerza de fricción estática). Existen dos tipos de rozamiento o fricción, la fricción estática ( $F_e$ ) y la fricción dinámica ( $F_d$ ). El primero es la resistencia que se debe superar para poner en movimiento un cuerpo con respecto a otro que se encuentra en contacto. El segundo, es la resistencia, de magnitud considerada constante, que se opone al movimiento, pero una vez que éste ya comenzó. (Mabie, 2001)

Algunas de las propiedades de la fuerza de fricción son las siguientes:

- 1) La fuerza de rozamiento se opone al movimiento de un bloque que se desliza sobre un plano.
- 2) La fuerza de rozamiento es proporcional a la fuerza normal que ejerce el plano sobre el bloque.
- 3) La fuerza de rozamiento no depende del área aparente de contacto.
- 4) Una vez empezado el movimiento, la fuerza de rozamiento es independiente de la velocidad.

### 3.9 SELECCIÓN DE LLANTAS PARA EL ROBOT

Para este tipo de robots destinados al transporte de productos dentro de una planta de almacenaje o producción es importante seleccionar de manera adecuada el enllantado que el robot deberá poseer.

Las llantas permiten al robot desplazarse sobre el terreno de forma cómoda y segura. La complejidad de su forma y las partes que la integran poseen una gran variedad de materiales- su principal componente es el caucho, el cual es un material polimérico capaz de recuperar su forma dependiendo del tipo de esfuerzo al que sea sometido. (Calderón, 2016)

Los robots móviles pueden tener distintos tipos de llantas, y de esto depende cómo se mueven. La respuesta a las instrucciones puede variar dependiendo a ciertas condiciones en las llantas. Cada una de las llantas contribuye al movimiento del robot y le impone restricciones. El chasis del robot provee la base para la unión de todas las llantas. Cuando un robot móvil se construye

con llantas, existen diversas configuraciones que permiten distintos grados de control sobre el movimiento, estabilidad y tracción.(Canú, 2019 )

En la industria de este tipo se utiliza el tipo de llanta rígida, es decir que no posee aire comprimido en su interior, consiste en un rin solido con el menor número de agujeros en el para aumentar la resistencia y este está recubierto por un material generalmente caucho el cual proporciona tracción a la rueda.

## **IV METODOLOGÍA**

La metodología sirve de guía, ya que a través de métodos, técnicas y procedimientos permite determinar los implementos a utilizar para recabar información valiosa para la investigación. El presente proyecto de tesis será una investigación científica aplicada en base al diseño de un robot teleoperado, haciendo uso de las tecnologías adecuadas para que estas sean adaptadas de la mejor manera con el fin de desarrollar un robot capaz realizar tareas de picking.

### **4.1 ENFOQUE**

El presente proyecto fue basado en un enfoque cualitativo y cuantitativo. Esto debido a que se describieron, estudiaron y analizaron variables de datos numéricos que afectaron directamente el diseño del mecanismo del robot a través de diferentes procedimientos basados en la medición. Además, permite un mayor nivel de control en la investigación, haciendo posible realizar experimentos y obtener explicaciones sustentadas.

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

### **4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN**

Las variables de investigación son de mucha importancia ya que estos son los objetos de estudio. En la presente investigación, se definieron las variables de las siguientes variables de investigación mostradas en la ilustración 19.

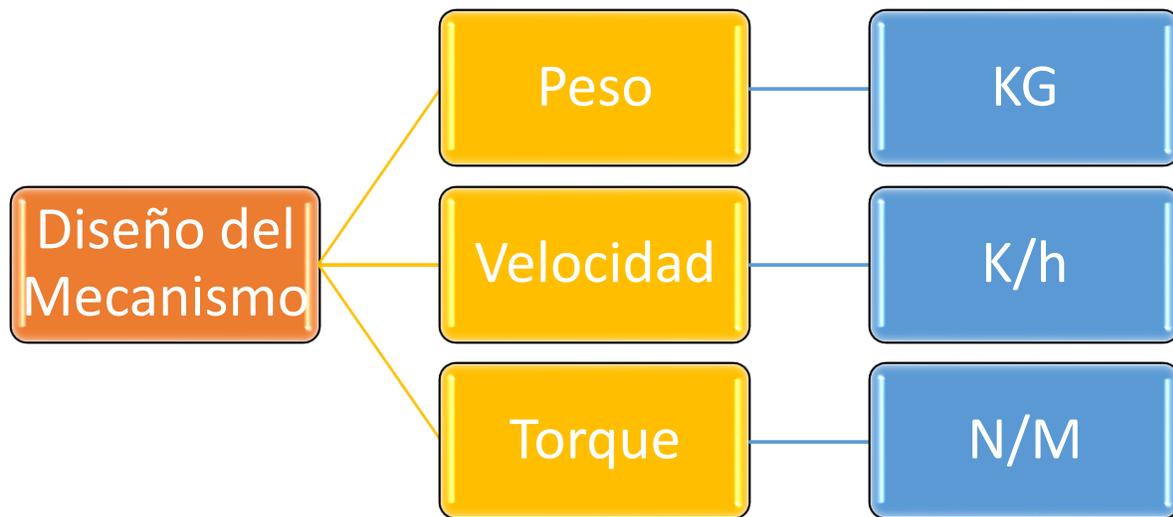


Ilustración 15-VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Fuente: Elaboración Propia

### 4.3 HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

A través de una hipótesis de investigación, se declara una especulación sobre el resultado del presente proyecto de investigación. Por lo tanto, se afirmó lo siguiente, como hipótesis nula de la investigación.

H<sub>0</sub>: El diseño del mecanismo del robot, le permitirá movilizarse por las diferentes zonas de una bodega o centro de almacén en el cual realizará operaciones de picking.

### 4.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

Fue indispensable la realización del proceso investigativo para el análisis y diseño del mecanismo del robot, a través de uso de recursos confiable, como ser libros, revistas académicas y el conocimiento de especialistas en el área.

Para la evaluación del comportamiento del diseño del mecanismo del robot, fue necesario apoyarse en el software CAD SolidWorks, el cual permitió realizar un análisis de movimiento detallado.

#### **4.5 MATERIALES**

Para realizar el diseño de los mecanismos fue indispensable el uso de una variedad de materiales que permitieran su mejor desarrollo, uno de los materiales principales fue el software SolidWorks, ya que este permitió el diseño del mecanismo, así como su posterior análisis. Además, se utilizó una combinación de piezas de aluminio y hierro dulce para el diseño del robot, incluyendo, todo lo necesario para el diseño, como ser, las llantas, engranes, entre otros.

#### **4.6 METODOLOGÍA DE ESTUDIO**

Para responder al problema planteado se presenta esta sección, en la cual se describen los procedimientos, actividades y demás, utilizadas para responder a lo planteado anteriormente, de igual manera indicando la forma de analizar los datos obtenidos. Por esta razón, se presenta el desarrollo de la investigación de una manera esquematizada en un proceso de cuatro etapas diferentes y secuenciales que permitieron el desarrollo de la presente investigación.

Etapa I: Recolección de Información

La etapa inicial fue la recolección de información, en esta etapa se obtuvo la información de mayor importancia referente al tema de investigación, desde los mecanismos más utilizados, hasta los diferentes análisis que se les debe de realizar al mecanismo para verificar su funcionamiento.

Etapa II: Diseño de Mecanismo

En la segunda etapa, se diseñó el mecanismo del robot, partiendo de toda la información recolectada anteriormente y obteniendo el mecanismo más apropiado para el diseño. Para realizar el diseño fue necesario apoyarse en el software de SolidWorks, el cual permitió la creación y modelado 3D del mecanismo del robot. Para este diseño, se utilizó la metodología de

diseño de sistemas robóticos presentada en la sección 3.7.3, específicamente con el diseño empleando herramientas informáticas de diseño mecánico avanzado.

#### Etapa III: Análisis del Mecanismo

Luego de que el mecanismo sea diseñado, se proseguirá a realizar un análisis del comportamiento del mecanismo diseñado y modelado en 3D en SolidWorks. De igual forma, se hizo uso del software SolidWorks para realizar un estudio de movimiento a través de las herramientas de análisis que provee el software, tomando en cuenta las medidas reales, el tipo de material, el peso, entre otros parámetros que influyen en el comportamiento del robot con el fin de simular el comportamiento y movimientos que el mecanismo poseerá.

#### Etapa IV: Comprobación y Resultados Finales

Para finalizar la investigación, se compró los datos obtenidos mediante una simulación final ya con los parámetros obtenidos en los análisis realizados a cada pieza y con el material definido para cada una de ellas.

### **4.7 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN**

La validación de la investigación es de vital importancia, a causa de esto, para validar el mecanismo diseñado, se realizó un análisis del movimiento del modelo en 3D.

### **4.8 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES**

Para la realización de la presente investigación, fue necesario dividir toda la investigación en diferentes actividades accionadas de manera cronológica, como se presentan en la tabla 2, seccionada en 8 actividades diferentes. Empezando, con la propuesta de la investigación y posteriormente plantear el problema a investigar. Fue necesario la recopilación de toda la información y teoría que dan sustento a la investigación realizada, todo esto fue hecho en las primeras tres semanas.

Posteriormente, se presentó la metodología utilizada para lograr el diseño del robot para procesos de logística industrial. Luego, se inició con la elaboración de este diseño, el cual fue culminado a lo largo de 4 semanas. Permitiendo realizar los análisis respectivos del diseño

elaborado, conjunto a las variables a investigar. Luego, se mostró un análisis detallado de los resultados obtenidos en las evaluaciones efectuadas en el mecanismo diseñado. Finalizando con las conclusiones y recomendaciones obtenidas a partir de los resultados mostrados por el mecanismo final.

Tabla 2-Cronograma de Actividades

Actividades Desarrolladas	Semana									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Propuestas de Investigación	■									
Realización del planteamiento del problema		■								
Recopilación de la teoría de sustento		■	■							
Presentación de la metodología				■	■					
Elaboración del diseño del robot				■	■	■	■			
Obtención de los resultados de los análisis del mecanismo							■	■		
Análisis de los resultados obtenidos									■	
Conclusiones y recomendaciones										■

Fuente: Elaboración Propia

## **CAPITULO V. ANÁLISIS Y RESULTADOS**

En el presente capítulo se busca detallar los resultados obtenidos en el diseño realizado, incluyendo la descripción del diseño realizado, obteniendo retroalimentación sobre todo el diseño a través de las diferentes pruebas efectuadas. Para la ejecución de estas pruebas se utilizó el software SolidWorks a través de su herramienta de SolidWorks Motion, herramienta especializada para estudios de movimientos para un diseño realizado.

### **5.1 DISEÑO**

#### **5.1.1 DESCRIPCIÓN DE LAS NECESIDADES**

Para el siguiente estudio se precisa para el diseño de este robot cumplir con las siguientes necesidades.

##### **Estética:**

- 1) Atractivo a la vista
- 2) Innovador

##### **Dimensiones:**

- 1) Altura mayor a 1 metro.
- 2) Ancho menor a 1.75 metros

##### **Materiales:**

- 1) Aluminio 1060
- 2) Acero ASTM A36
- 3) Plástico ABS

##### **Peso:**

- 1) Lo más ligero posible

##### **Acabado:**

- 1) Acabado adecuado para el trabajo duro y al ambiente de una bodega.

**Precio:**

No definido.

**Duración:**

- 1) Máxima

**Capacidad de transporte:**

- 1) Máxima permitida por torques de motor.

**Seguridad:**

- 1) Sin elementos cortantes
- 2) Resistente a golpes

El diseño tridimensional fue realizado con ayuda del software SolidWorks, el cual permitió asignar las medidas y parámetros deseados con el fin de obtener el mejor resultado. El diseño final fue toda la estructura del robot que permitiera su funcionalidad, se diseñó un ensamblaje en SolidWorks, uniendo todas las partes necesarias para la estructura final, la cual se muestra en la ilustración 16.

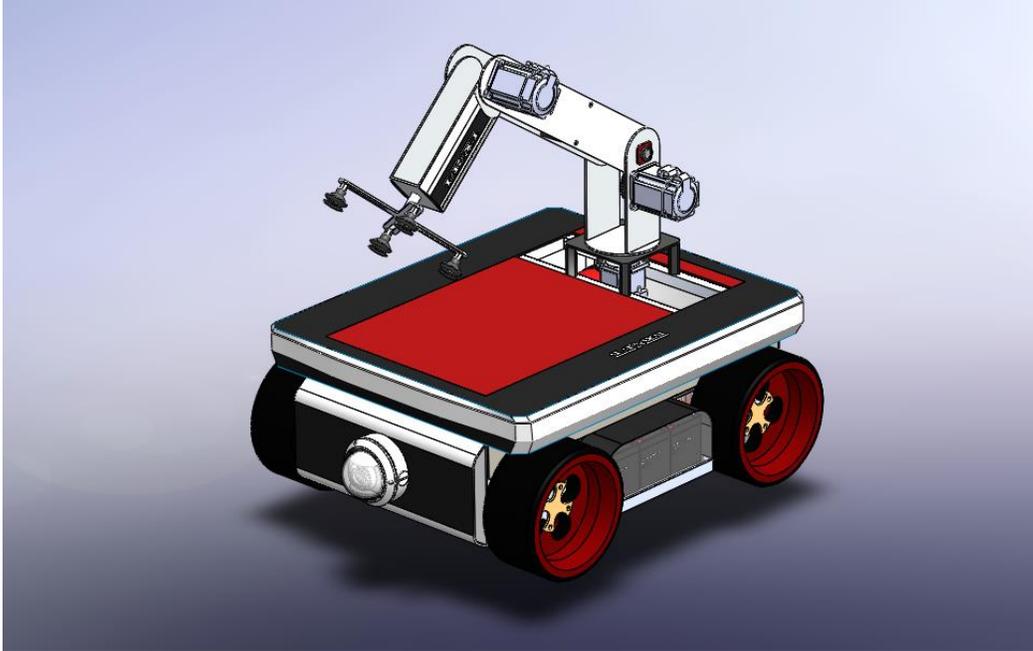


Ilustración 16-Estructura Terminada

Fuente: Elaboración Propia

En la Ilustración 17, se muestra la estructura final está compuesta por diferentes partes y superficies entre ellas el brazo para movilizar las cajas y el chasis que permite el soporte para todos los mecanismos que el robot contiene para llevar a cabo la movilidad del robot.

### 5.1.2 ESPECIFICACIONES DEL ROBOT

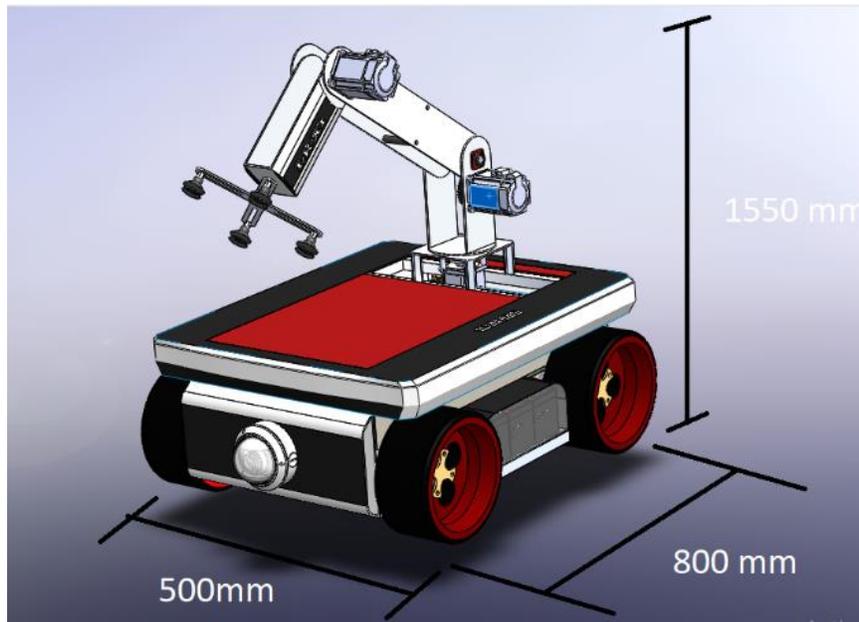


Ilustración 17-Dimensiones del Robot

Dimensiones:

- Altura máxima: 1550mm
- Ancho: 800mm
- Largo: 500mm

Peso: 124 Lb.

Materiales:

- Aluminio 1060
- Acero ASTM A36
- Plástico ABS

Carga Máxima: 248 Lb.

Capacidad de Transporte: 2 Cajas

Grados de libertad: 3

FOS: 15

### 5.1.3 BRAZO

El diseño del brazo es el más importante debido a que será el que transportara las cajas, por lo tanto, para el diseño del brazo se consideraron diferentes aspectos, primero se tomó en cuenta los movimientos que debe tener, debe extenderse para poder tener un mejor posicionamiento de la herramienta de sujeción o ventosas, se determinó que el brazo debe ser capaz de moverse de manera angular, el diseño se conformó de la siguiente manera, con el diseño de diferentes partes que permiten su mejor desempeño.

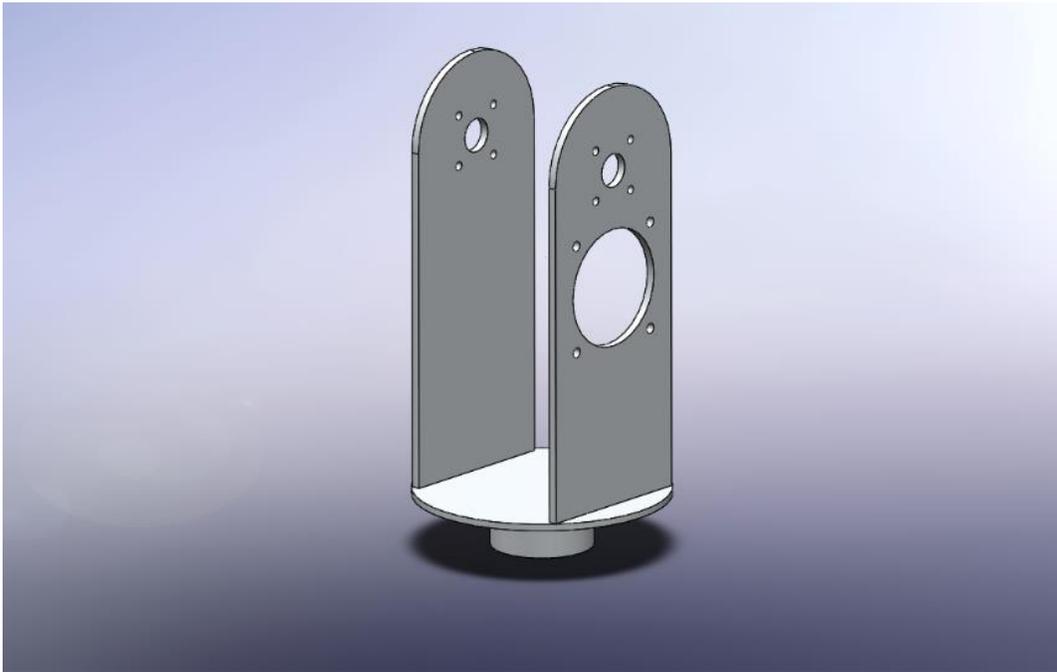


Ilustración 18-Base del Brazo

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 18, se muestra la parte que compone a la base del brazo, y a través de esta pieza permite el movimiento sobre su propio eje fijado a un servomotor.

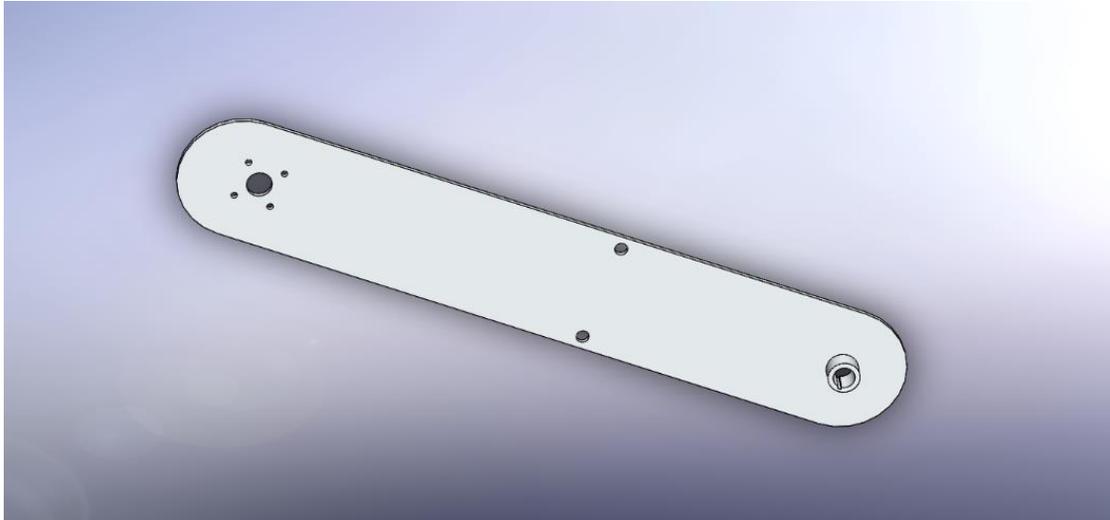


Ilustración 19-Antebrazo

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 19, Se diseño una pieza fija la cual permite un movimiento angular que actúa como el antebrazo de nuestro brazo robótico, con el cual se logra extender una mayor distancia. El antebrazo es ensamblado con la base y acoplado con un mecanismo de transmisión por engranes para permitir su movimiento angular.

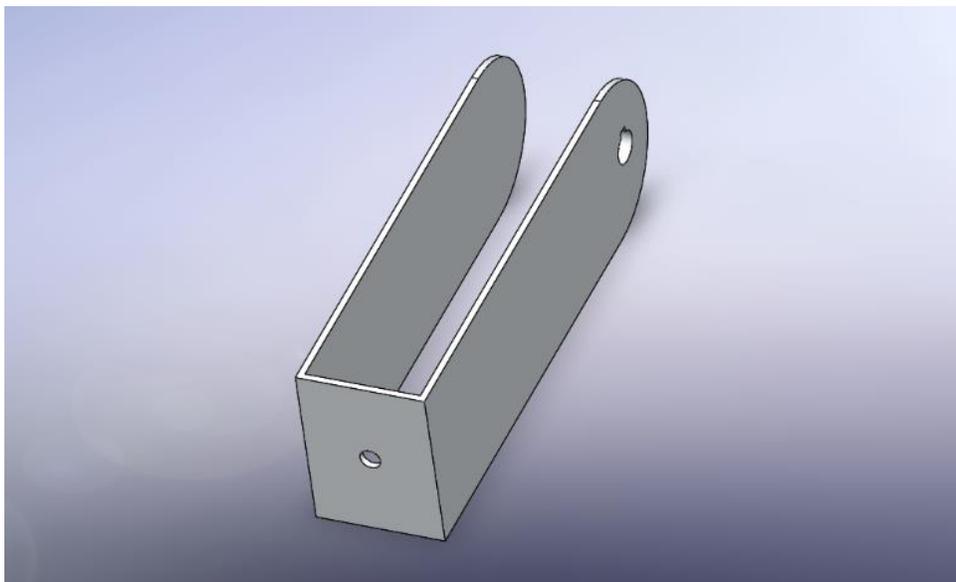


Ilustración 20-Muñeca

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 20, se muestra la muñeca del brazo la cual proporciona un ajuste para la herramienta de sujeción para permitirle posicionarse de mejor manera al momento de sujetar una caja. Con él se determina un grado de movimiento, solamente permitiendo girar la herramienta o pinza.

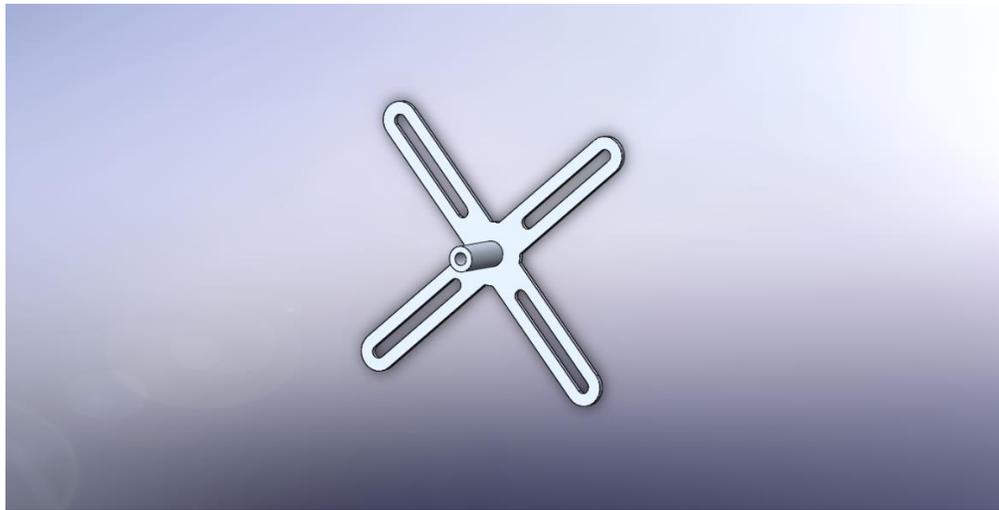


Ilustración 21-Soporte para ventosas

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 21, se observa la pinza que va ubicada al final de nuestro brazo robótico, la cual permite acoplar ventosas para poder sujetar las cajas para su posterior movilización.

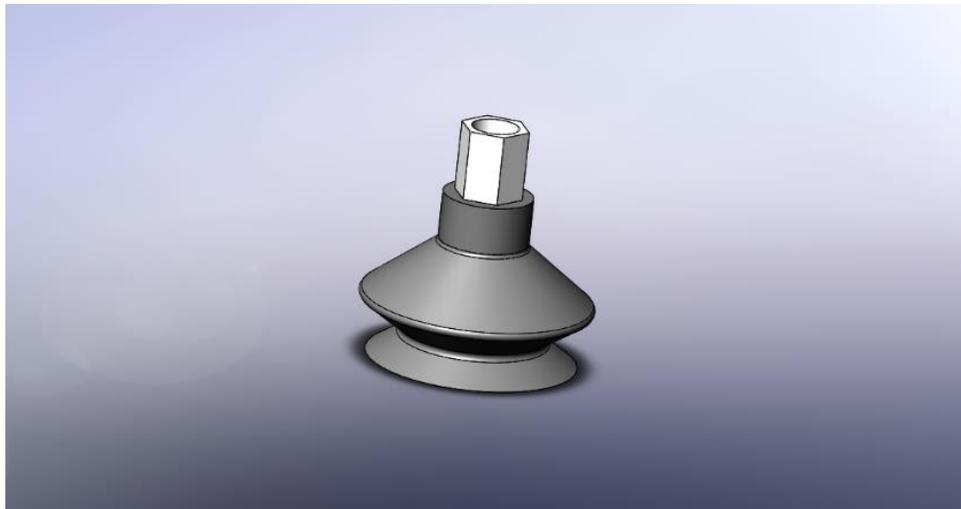


Ilustración 22-Ventosas

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 22, se observa las ventosas utilizadas para sujetar las cajas, de las cuales se utilizaron 4 acopladas a la pinza.

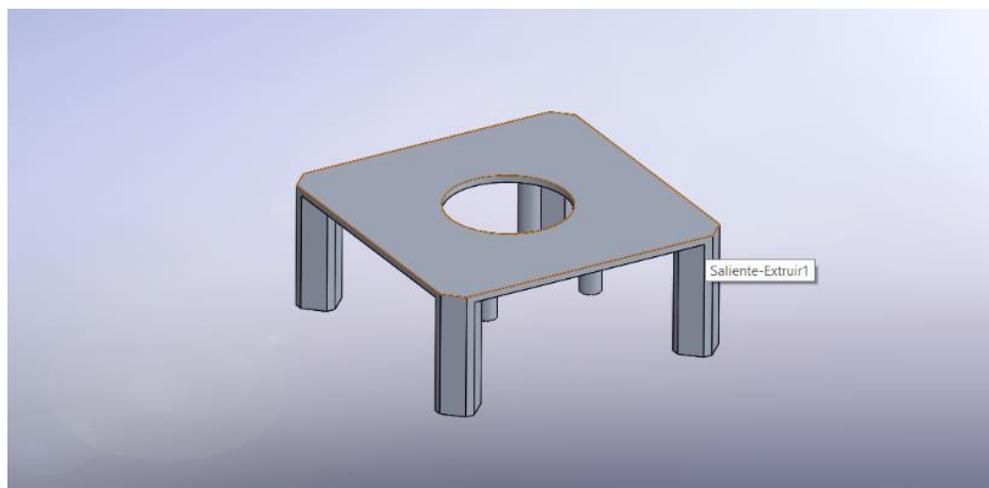


Ilustración 23-Soporte de Unión

Fuente: Elaboración Propia

En la Ilustración 23, se muestra el soporte donde va ubicado todo el brazo, el mismo sirve para acoplarlo al resto de la estructura.

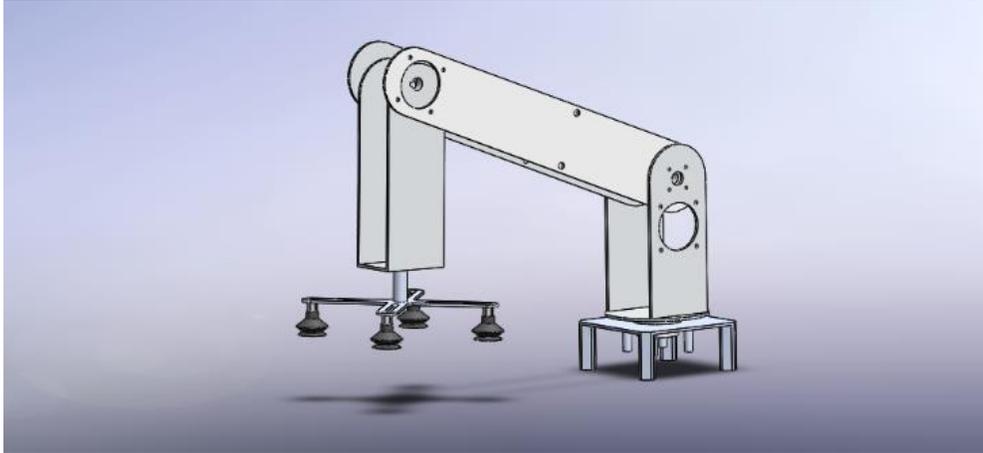


Ilustración 24-Brazo ensamblado

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 24, se muestra el ensamblaje final de la estructura final del brazo con función para auxiliar la pinza, como soporte, así, como permitiendo movilidad en un grado de libertad, con un movimiento angular, dando la oportunidad para un mejor posicionamiento. El diseño está determinado para ser acoplado con el resto de la estructura por medio de la base del brazo.

#### 5.1.4 ESTRUCTURA DEL ROBOT

Una vez detallado el diseño del brazo, se presenta el resto de la estructura del robot, el cual, permite al robot movilizarse a través de las bodegas o lugar donde se emplee con superficies de terreno planas. Esta Estructura se conforma de diferentes partes detalladas a continuación.

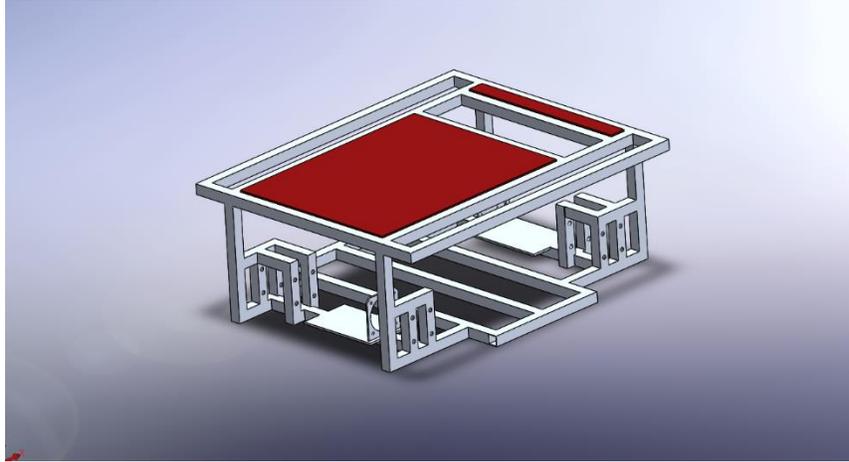


Ilustración 25-Chasis

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 25, se presenta el chasis el cual soporta todos los componentes que constituyen al robot, el cual fue elaborado con tubería de aluminio de 25mmx25mmx2.5mm para dar rigidez y ahorrar peso en el diseño para un mejor desempeño motriz.

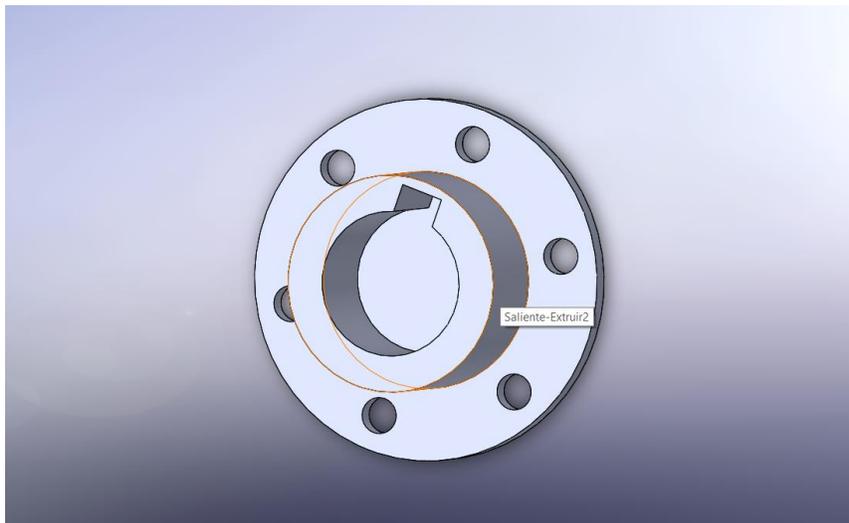


Ilustración 26-Acople de Motores y Ejes

Fuente: Elaboración Propia

En la Ilustración 26, se muestra el acople diseñado en acero para los motores del tren de movimiento, estos cuentan con sujeción de 6 tornillos M6 de acero inoxidable y una ranura para cuña la cual ayuda a evitar deslizamientos en el mecanismo.

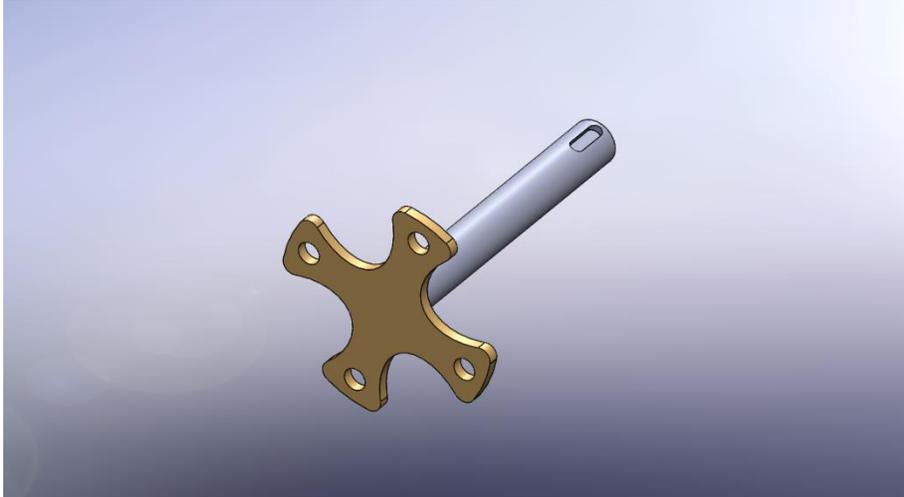


Ilustración 27-Ejes de acoplamiento

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 27, se muestra el eje de acople para las llantas el cual está fabricado en acero con sujeción para tornillos M10 y una ranura para la cuña y evitar deslizamientos en el mecanismo. Se utilizaron 4 en total en el mecanismo siendo uno para cada llanta.

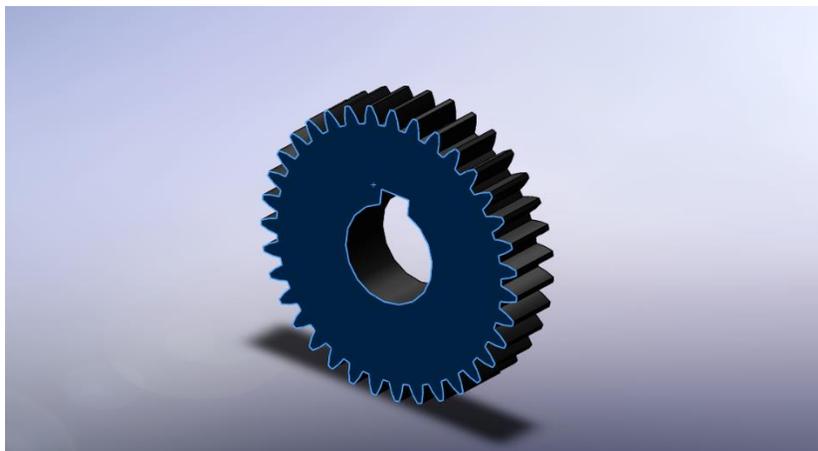


Ilustración 28-Piñones para Transmisión de potencia

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 28, se muestran los piñones utilizados para la transmisión de potencia entre motores se utilizaron engranes de 45 Dientes con modulo 2.5 y 15mm de ancho.



Ilustración 29-Ruedas

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 29, se muestra el diseño de las ruedas utilizadas, son ruedas para maquinaria pesada o de transporte con medidas estándar rígidas ideales para trabajos de logística. Estas van acopladas al chasis de la figura 25 por medio de los ejes en la figura 27.

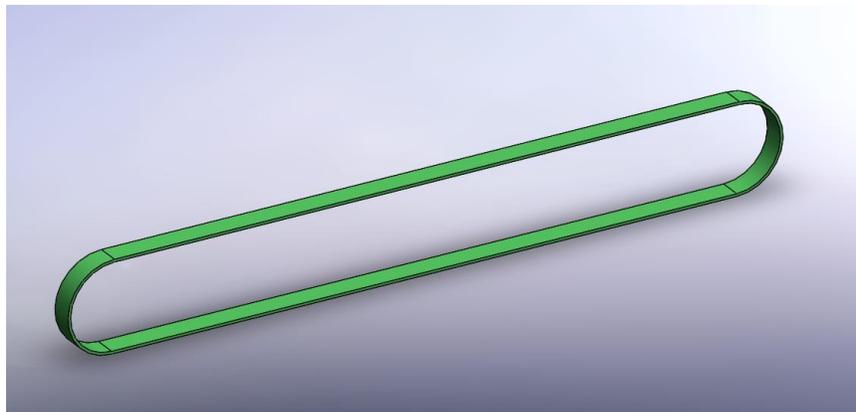


Ilustración 30-Polea de Transmisión

Fuente: Elaboración Propia

En la Ilustración 30, se muestra la polea a medida para la transmisión de potencia de un eje a otro, con medidas estándar, la cual funciona con los piñones acoplados a los ejes delanteros y traseros, este mecanismo de transmisión permite transmitir la potencia de una manera eficiente y limpia. Es uno de los métodos más utilizados en la construcción de robots.

#### 5.1.5 SUPERFICIES

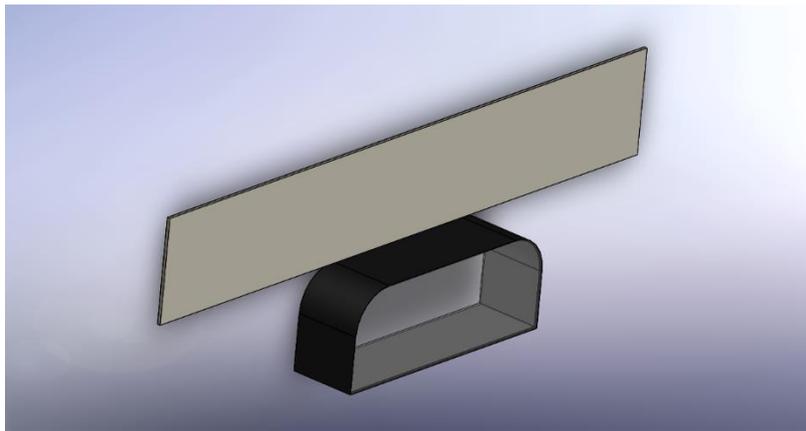


Ilustración 31-Superficie Lateral

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 31, se muestra una de las superficies aplicadas al robot para dar un mejor aspecto y proteger los dispositivos interiores, en este caso se trata de la superficie lateral aplicada a ambos lados del robot, con un compartimiento para montar las baterías.



Ilustración 32-Superficie Lateral

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 32, se muestra la superficie superior la cual fue diseñada a medida para proteger las esquinas y de igual manera dar una mejor presentación al robot.



Ilustración 33-Superficie Trasera

Fuente: Elaboración Propia

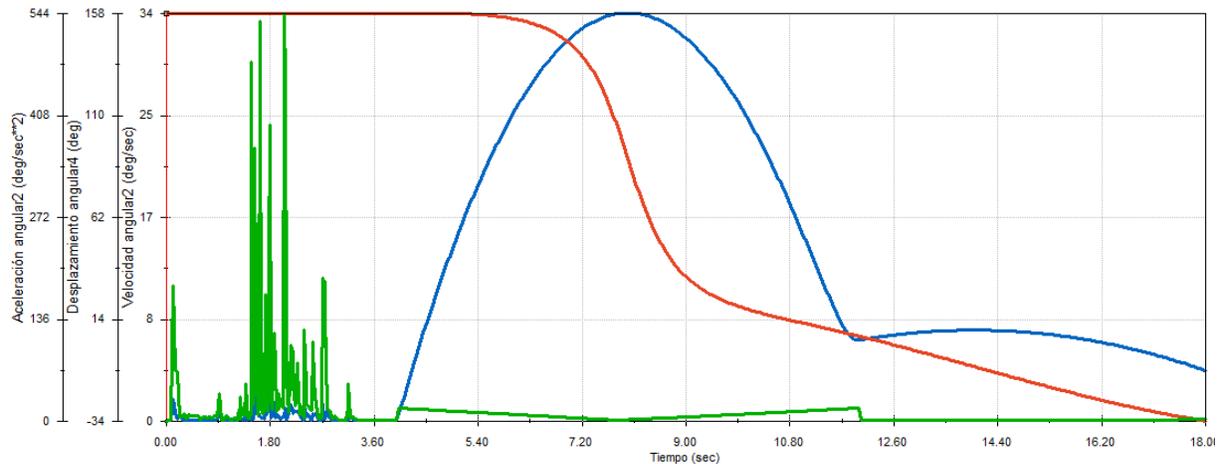
En la ilustración 33, se muestra la superficie trasera, la cual lleva el nombre del robot, con ella se protege la parte trasera del robot.

## 5.2 ANÁLISIS DE MOVIMIENTO

Fueron ejecutadas diferentes pruebas a cada parte del diseño del mecanismo presentado, en las siguientes secciones se detalla cada prueba.

### 5.2.1 ANÁLISIS CINEMÁTICO AL MECANISMO DEL BRAZO ALUMINIO 1060.

Se inicio con las pruebas de Análisis Cinemáticos en la estructura del Brazo utilizando material Aluminio 1060 como se estableció para estas piezas en específico.



- Brazoi-1 Velocidad angular2 (deg/sec) Sistema de coordenadas de ref.: Brazoi-1
- Brazoi-1 Desplazamiento angular4 (deg) Sistema de coordenadas de ref.: Brazoi-1
- Brazoi-1 Aceleración angular2 (deg/sec\*\*2) Sistema de coordenadas de ref.: Brazoi-1

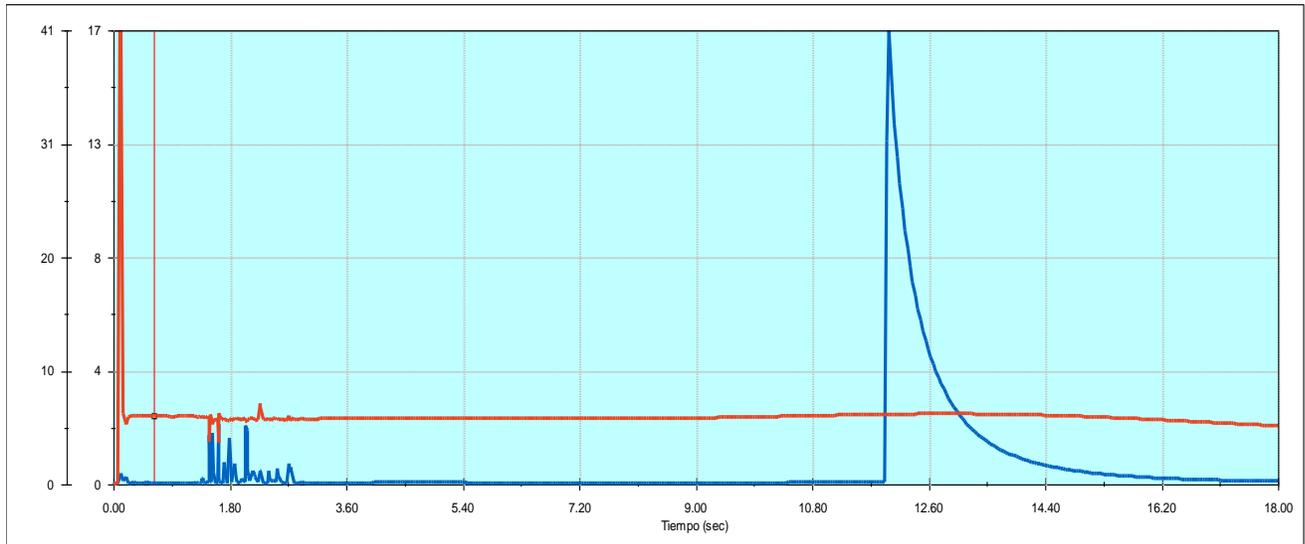
Ilustración 34-Análisis Cinemático

Fuente: Elaboración Propia

En la Ilustración 34, se detalla el análisis cinemático realizado al Brazo del robot, tomando en cuenta los datos del segundo 3 al 18. Que es el lapso de tiempo en el que el brazo se moviliza, las fluctuaciones iniciales son debido a la gravedad en la simulación. Dentro de los análisis cinemáticos realizados están la Velocidad Angular (Rojo), Desplazamiento Angular (Azul),

Aceleración Angular (Verde), Al realizar estos análisis observamos que nuestro mecanismo del brazo tiene movimientos fluidos y sin fluctuaciones bruscas, por lo tanto, concluimos en que el mecanismo empleado supero la prueba satisfactoriamente.

### 5.2.2 ANÁLISIS DINÁMICO BRAZO ROBÓTICO



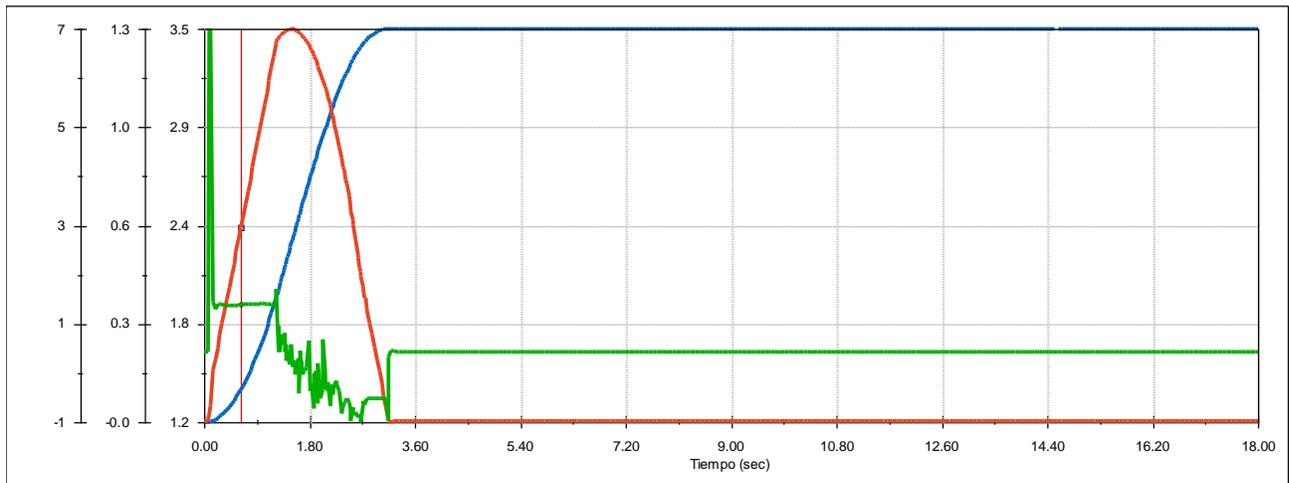
- ♦— RotaryMotor21 Fuerza de torsión1 (newton-meter)  
Sistema de coordenadas de ref.:
- RotaryMotor22 Fuerza de torsión3 (newton-meter)  
Sistema de coordenadas de ref.:

Ilustración 35-Análisis Dinámico Brazo

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 35, se muestra un análisis de fuerza realizado a los motores en el brazo robótico, el cual nos presenta las fuerzas que tendremos de torsión al momento de mover los mecanismos, siendo 17N/M en el giro sobre su propio eje y 41 N/M en el Antebrazo como tal debido al peso que tendrá que levantar. Estos datos nos serán útiles para conocer el peso máximo que podremos levantar con nuestro brazo y así poder definir dimensiones y pesos para las cajas que el robot podrá soportar.

### 5.2.3 ANÁLISIS CINEMÁTICO EN EL TREN DE MOVIMIENTO.



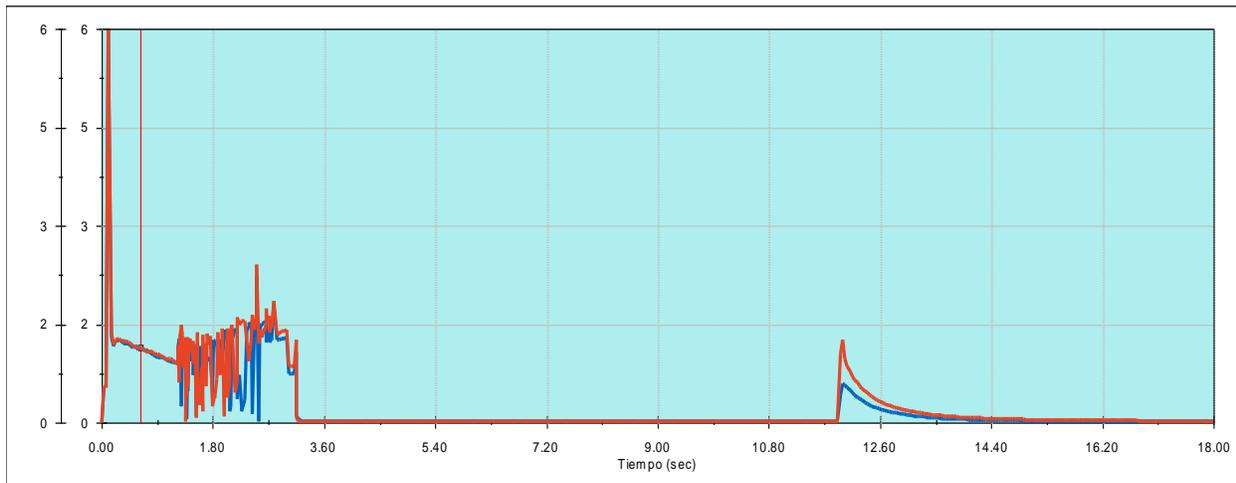
- chasis-1 Desplazamiento lineal3 (meter) Sistema de coordenadas de ref.: chasis-1
- chasis-1 Velocidad4 (meter/sec) Sistema de coordenadas de ref.: chasis-1chasis-1
- chasis-1 Aceleración3 (meter/sec\*\*2) Sistema de coordenadas de ref.: chasis-1chasis-1chasis-1

Ilustración 36-Análisis Cinemático Tren de Movimiento

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 36, se detalla la gráfica que presenta el análisis cinemático al tren de movimiento el cual nos presenta los datos de Desplazamiento, velocidad y Aceleración los cuales son efectuados del segundo 0 al 3 de la simulación ya que es el lapso en el que se mueve la estructura, nuevamente observamos una gráfica uniforme a excepción de la aceleración la cual varía debido a la activación y desactivación de los motores. Sin embargo, las pruebas realizadas son satisfactorias para los movimientos realizados ya que podemos observar datos numéricos los cuales pueden ser analizados al momento de llevar a cabo la construcción del robot.

## 5.2.4 ANÁLISIS DINÁMICO AL TREN DE MOVIMIENTO



- ◆ RotaryMotor17 Fuerza de torsión4 (newton-meter)  
Sistema de coordenadas de ref.:
- ◆ RotaryMotor18 Fuerza de torsión6 (newton-meter)  
Sistema de coordenadas de ref.:

Ilustración 37-Análisis Dinámico al Tren de Movimiento

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 37, podemos observar la fuerza de torque que tendremos en cada uno de los dos motores del tren de movimiento, siendo en ambos el mismo de 6 Newton/metro, lo cual nos servirá para seleccionar de manera adecuada el tipo de motor con su fuerza específica que mejor cumpla con los requisitos para estos movimientos a los cuales se someterá el robot.

## 5.3 ANÁLISIS DE TENSIÓN

Además del respectivo análisis de movimiento establecido para el robot, detallado en la sección anterior, es necesario, analizar el comportamiento que tendrán las piezas, con el fin de determinar el factor de seguridad, para su posterior fabricación, a continuación, se analiza las tensiones y deformaciones de las piezas diseñadas con el material de aluminio con aleación 1060 y de plástico ABS.

### 5.3.1 BRAZO ROBÓTICO

#### 5.3.1.1 Base del Brazo

Se inicia con las piezas del brazo, en este caso el material es aluminio 1060. Podemos observar en el grafico las tensiones de Von Mises con la cual podemos determinar el factor de seguridad de esta pieza, el cual es 15, significa que la pieza diseñada mostrada en la ilustración 38, soportará muy bien las cargas a las que será sometido.

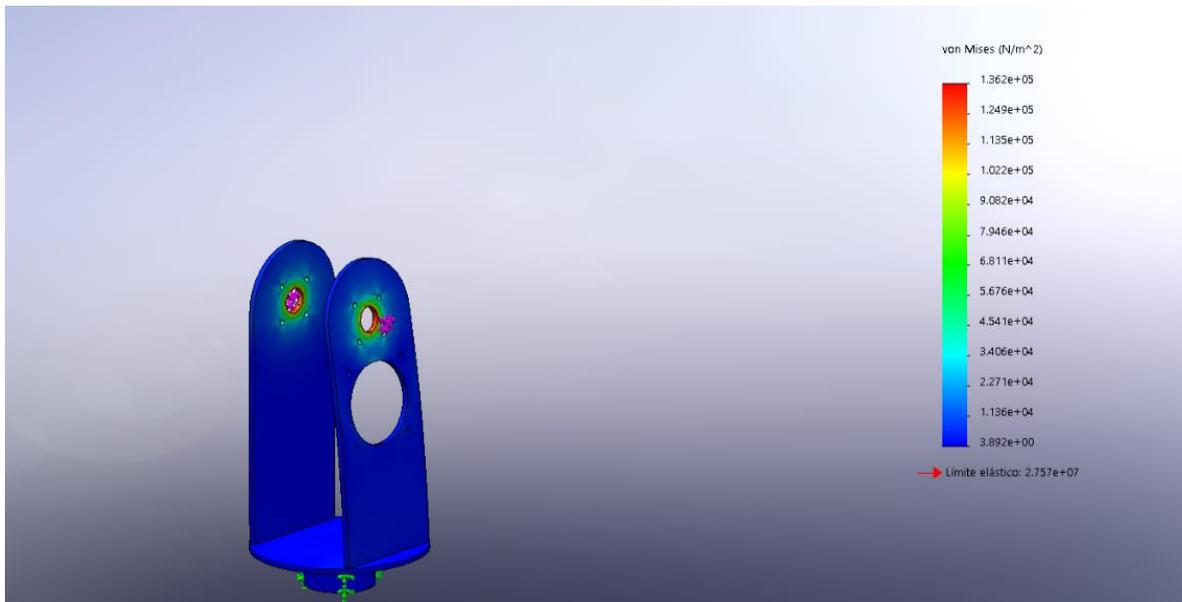


Ilustración 38-Análisis de Von Mises Base del Brazo

Fuente: Elaboración Propia

#### 5.1.1.2 Muñeca del Brazo

En la ilustración 39, se muestra muñeca del brazo robótico fue diseñada en aluminio 1060 igual al resto de las piezas, se aplicó una fuerza de 40 N/M equivalente al peso que podrá levantar el brazo, y se obtuvo un factor de seguridad de 6 lo cual es satisfactorio para esta pieza ya que nos garantiza que no habrá fallos en ella.

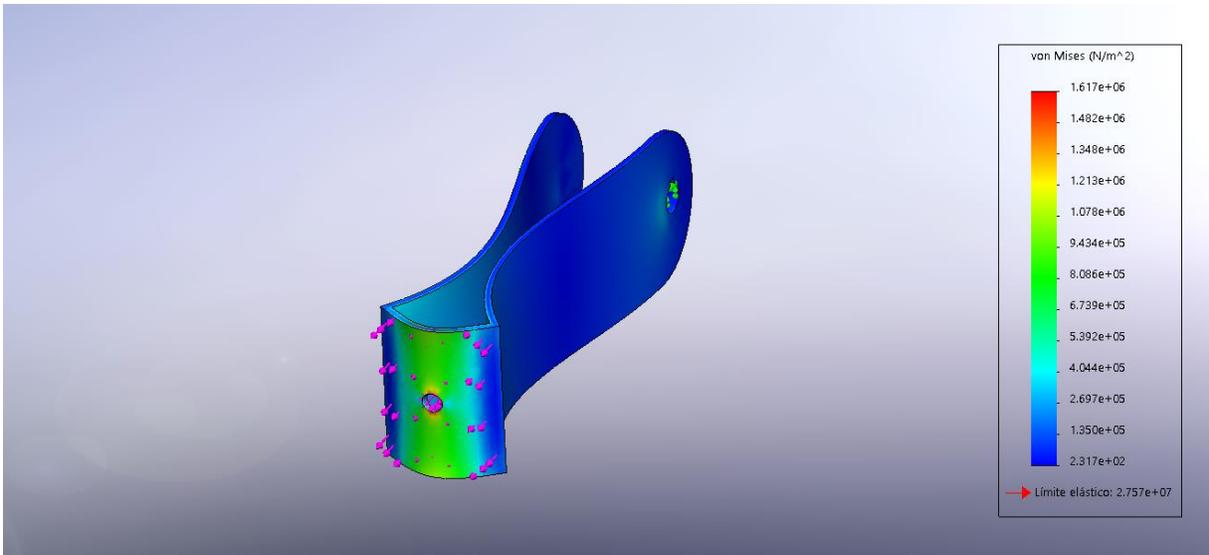


Ilustración 39-Análisis de Von Misses de la Muñeca

Fuente: Elaboración Propia

### 5.1.1.3 Efactor Final

En la Ilustración 40, se muestra el análisis estático realizado al efector final en el cual se obtuvo un factor de seguridad de 4, en el análisis se aplicó una fuerza de 40 N/M equivalente al peso máximo que podrá levantar el robot. Con la fuerza aplicada se aceptaron los resultados obtenidos como satisfactorios.

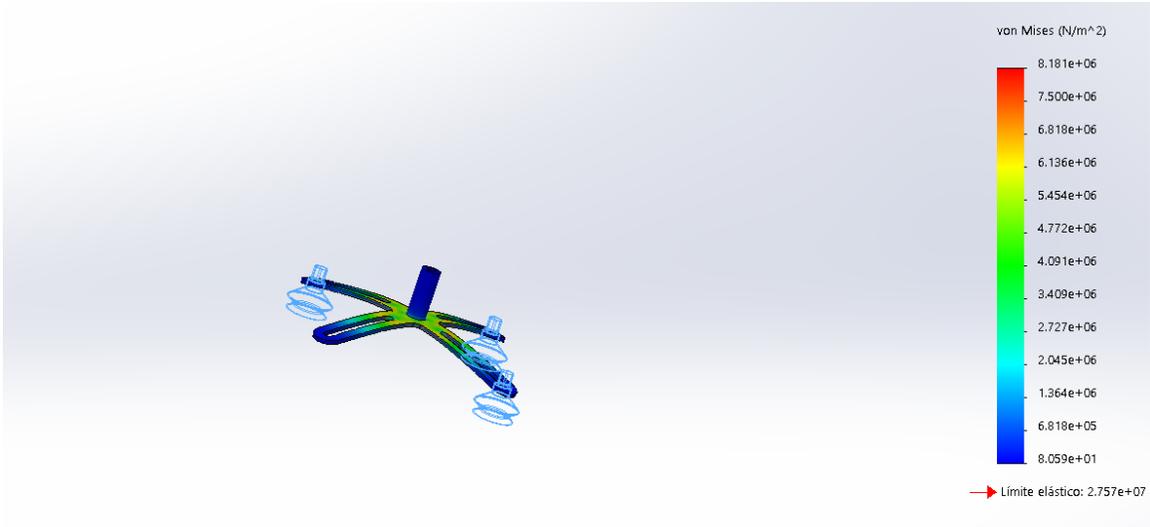


Ilustración 40-Análisis de Von Misses Efactor Final

Fuente: Elaboración Propia

#### 5.1.1.4 Soporte para Acople del Brazo

En la ilustración 41, se muestran las fuerzas aplicadas al Brazo la cual era de 71 N/M equivalente al peso de la estructura del brazo mas el peso de la caja que podra mover el robot, lo cual nos dio un factor de seguridad de 7.

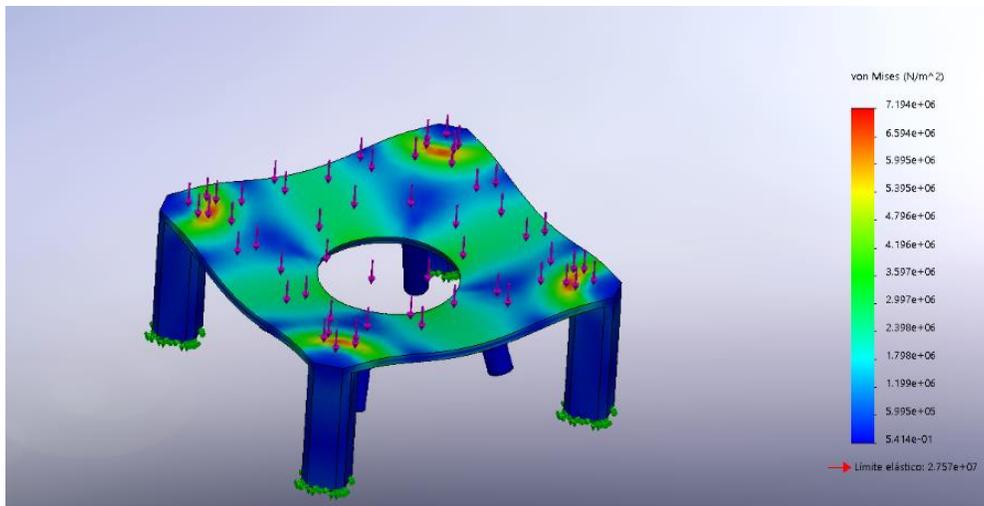


Ilustración 41-Análisis de Von Misses Soporte para acople de Brazo

Fuente: Elaboración Propia

## 5.3.2 TREN DE MOVIMIENTO

### 5.3.2.1 Diseño de Chasis

En la Ilustración 42, Se muestra el análisis realizado al chasis en donde se aplico una fuerza de 225N equivalente a su propio peso, mostrado resultados satisfactorios, ya que no muestra desplazamientos significativos y presenta un Factor de Seguridad de 2.

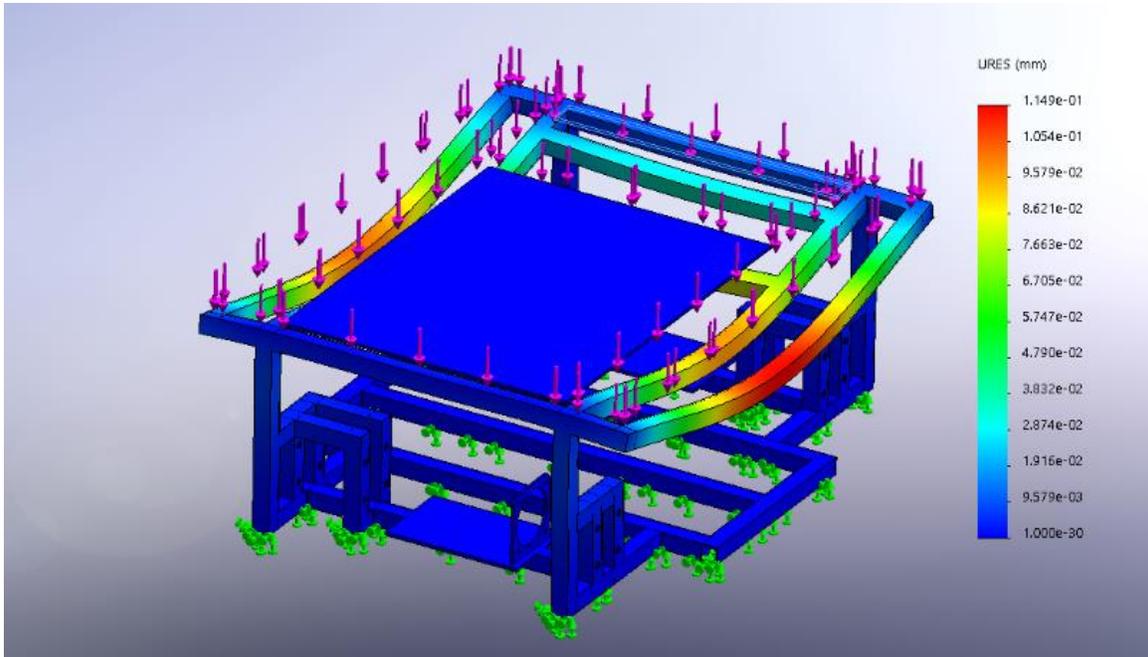


Ilustración 42-Análisis de Von Mises Chasis

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3.2.2 Llantas

En la ilustración 43, se muestra las tensiones de Von Mises obtenidas de la llanta, a las cuales se les aplico un cuarto de peso de la estructura, esto debido a la distribución de pesos en las cuatro llantas, y se obtuvo un factor de seguridad de 55. Lo cual nos indica que la pieza soportara adecuadamente el peso establecido.

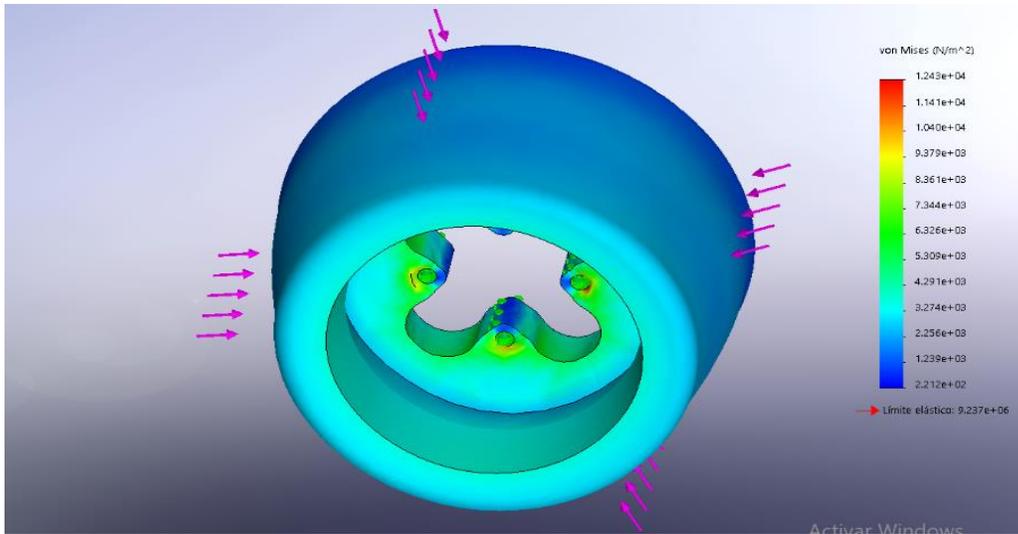


Ilustración 43-Análisis de Von Misses Llantas.

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3.2.3 Acoples para los Motores

En la Ilustración 44, se presenta el análisis realizado a los acoples para los motores aplicando la fuerza de torsión de los motores de 71 N/M y se obtuvo un Factor de Seguridad de 9.

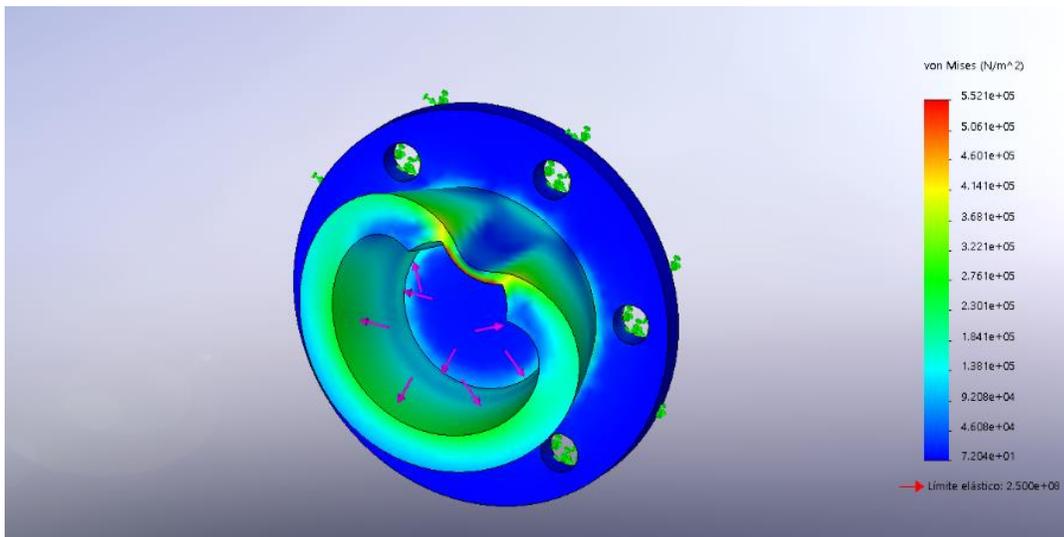


Ilustración 44-Análisis de Von Misses Acoples

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3.2.4 Ejes de Transmision

En la ilustracion 45, se Presentan los analisis realizados a los ejes de transmision en los cuales se aplico una fuerza equivalente a la torsion de los motores y una fuerza equivalente al peso de la estructura, con la aplicación de estas dos fuerzas combinadas se obtuvo un factor de seguridad de 4.

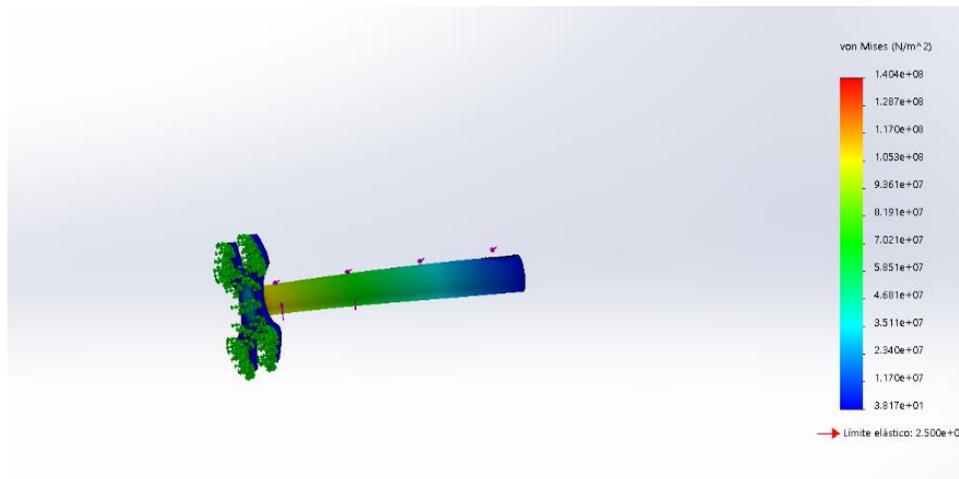


Ilustración 45-Análisis de Von Misses Ejes

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3.2.5 Piñones de Transmisión

En la Ilustracion 46, se el Analisis estatico realizado al Piñon de transmision en el cual se aplico la fuerza de torsion de los motores y se obtuvo una factor de Seguridad de 18, siendo mas que suficiente para desempeñar su funcionamiendo correctamente dentro del robot.

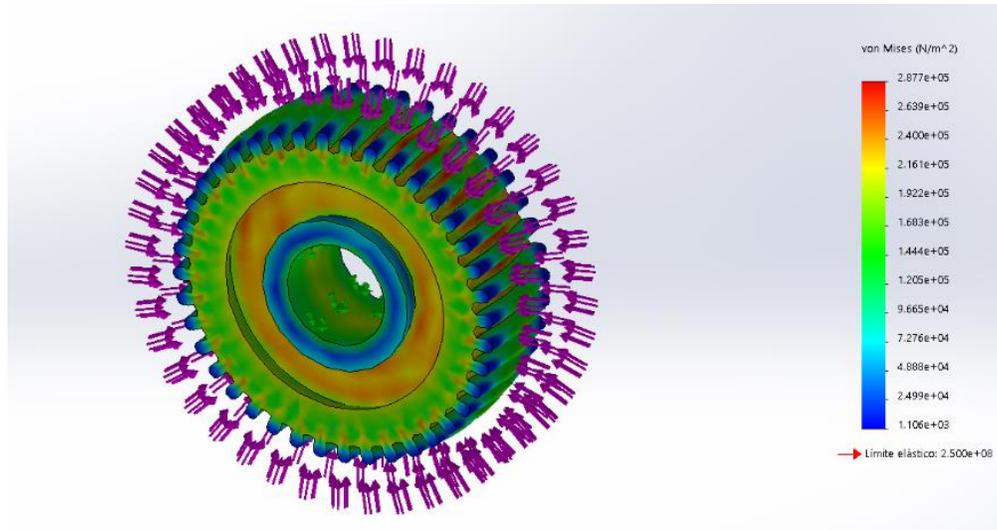


Ilustración 46-Análisis de Von Misses Piñón

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3.2.6 Bumpers

En la ilustración 47, se presenta el análisis realizado a los Bumpers del robot con el fin de encontrar la resistencia que tendría al momento de recibir algún impacto, para ello se aplicó la fuerza equivalente al peso del robot y se obtuvo un factor de seguridad de 12 lo que nos indica que tendremos una buena resistencia y esto es debido al diseño de la pieza ya que presenta curvas que absorberán los golpes en su mayoría dejando una pequeña deformación.

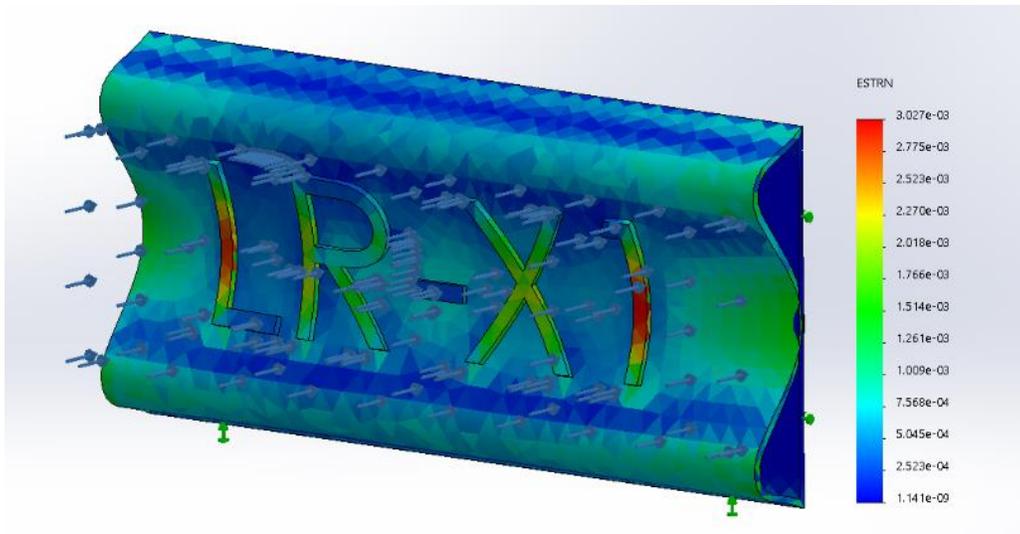


Ilustración 47-Análisis de Von Mises Bumpers

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3.3 TABLA RESUMEN DE ANÁLISIS ESTÁTICOS

Se realizó una tabla donde se presentan las deformaciones, desplazamientos, Tensiones y el factor de seguridad de forma resumida

Tabla 3- Tabla Resumen de Análisis Estáticos

Análisis de Von Mises				
Pieza	Desplazamiento	Deformación	Von Mises	FOS
<b>Muñeca</b>	6.12E+03	1.27E-05	1.60E+06	6
<b>Base del Brazo</b>	5.65E-04	1.61E-06	1.36E+05	15
<b>Efactor Final</b>	2.75E-01	7.19E-05	8.18E+06	4
<b>Acoples</b>	2.56E-05	1.74E-06	5.52E+05	9
<b>Ejes</b>	1.92E-01	5.95E-04	1.40E+08	4
<b>Piñones</b>	3.00E-05	1.05E-06	2.87E+05	18
<b>Llantas</b>	7.77E-02	1.77E-03	1.24E+04	55
<b>Bumpers</b>	1.20E+00	1.09E+03	3.11E+06	12

Fuente: Elaboración Propia

## 5.4 ESPECIFICACIONES DEL ROBOT

### 5.4.1 PESO DEL ROBOT

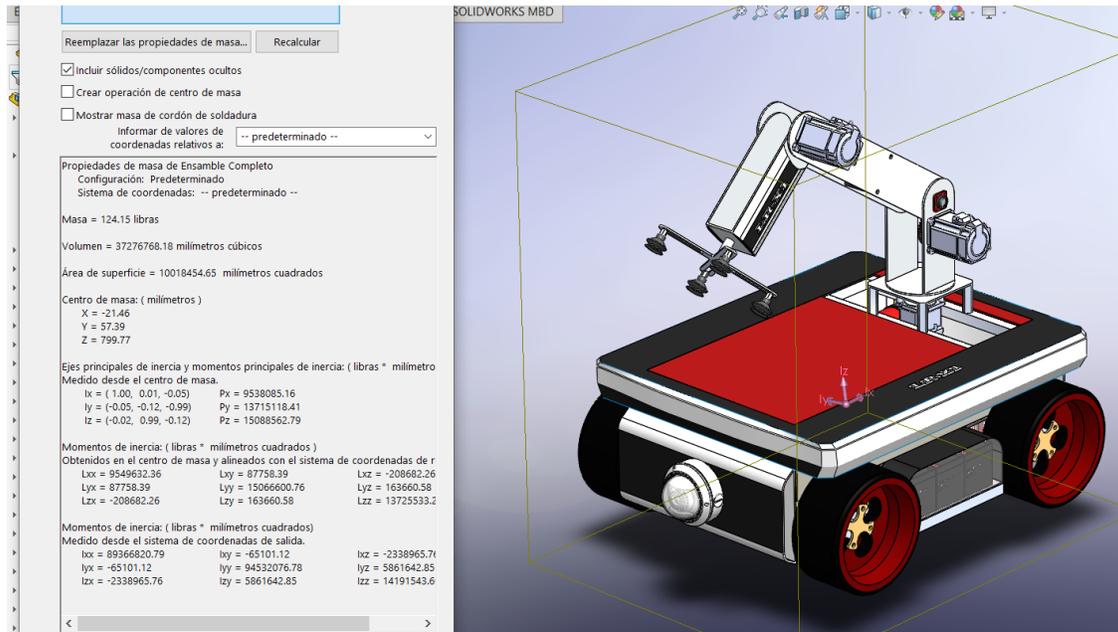


Ilustración 48-Peso del Robot

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 51, se muestra los resultados obtenidos del software SolidWorks con respecto al peso del robot utilizando aluminio para el chasis en el cual se logró reducir el peso de la estructura de 154 Lb (hierro estructural ASTM A36) a 124 Lb con aluminio 1060.

### 5.4.2 MOTOR EJE DE ROTACIÓN DEL BRAZO

Con los análisis dinámicos realizados en la sección 5.2 obtuvimos los torques que deberían tener los motores para poder mover el robot. Con estos torques podemos obtener los HP que debería tener cada robot utilizando la siguiente formula y así poder obtener el motor recomendado para este robot utilizando la ecuación 1.

$$hp = \frac{T * rpm}{5252} \quad (1)$$

$$hp1 = \frac{17 * 900}{5252} = 2.9hp$$

#### 5.4.3 MOTOR PARA EL ANTEBRAZO

Para el Primer Motor se obtuvo 2.9 HP que es el motor que se recomienda para mover la estructura del brazo sobre su propio eje.

$$hp = \frac{T * rpm}{5252}$$

$$hp2 = \frac{41 * 900}{5252} = 6.8hp$$

#### 5.4.4 MOTOR PARA EL TREN DE MOVIMIENTO

Para el segundo motor se recomienda utilizar un motor de 6.8 HP este motor debe tener más fuerza ya que deberá levantar la estructura del brazo y el peso de la caja a mover.

$$hp = \frac{T * rpm}{5252}$$

$$hp3, hp4 = \frac{6 * 900}{5252} = 1.02hp$$

Para los motores del tren de movimiento, los cuales son dos y presentaron el mismo torque en la simulación, se recomienda utilizar motores de al menos 1 HP para poder mover la estructura.

#### 5.4.5 VELOCIDAD DEL ROBOT

Para calcular la velocidad que el robot tendrá, se utilizan las características del motor y el radio de las llantas, siendo en este caso, un radio de 15 Cm y las RPM del motor que son 900. Utilizaremos la ecuación 2.

$$V = 2\pi rRPM \quad (2)$$

$$V = 2\pi(15)(900) \left( \frac{1Km}{100000Cm} \right) \left( \frac{60S}{1H} \right)$$

$$v = 50 \frac{Km}{H}$$

Se obtiene una velocidad máxima de 50 kilómetros por hora para el robot.

#### 5.4.6 MEDIDAS DE LA CAJA

Para definir las medidas de la caja que el robot podrá levantar fue necesario tomar en cuenta las medidas del efector final y las medidas del área de carga del robot. Siendo 200mm\*200mm y 400mm\*400mm respectivamente. Siendo 400mm\*400mm el límite y 200mm\*200mm el mínimo, estas serían las dimensiones que podría soportar el robot si hablamos de volumen.

Para poder determinar el peso máximo que podría llevar el robot se tomó en cuenta los datos obtenidos en los cálculos de los motores, los motores recomendados proporcionan un máximo de 71 N/M y para mover la estructura solo se necesitan 31 N/M. Aplicando la ecuación 3 Obtendremos el peso máximo de la caja.

$$Peso\ Maximo = \frac{T}{g} * 2.2 \quad (3)$$

$$Peso\ MAximo = \frac{40}{9.8} (2.2)$$

$$Peso\ MAximo = 9\ Libras$$

Con los cálculos utilizados se determinó un peso máximo de 9 libras, por lo que el robot podrá mover cualquier caja que respete los parámetros de dimensiones y peso.

Tomando en cuenta estos dos parámetros delimitantes para las dimensiones de la caja se establecieron las siguientes medidas de para la caja:

- 1) Ancho: 20 Cm.
- 2) Largo: 20 Cm
- 3) Alto: 20 cm

Entonces: 20Cm\*20Cm\*20Cm.

Tomando en cuenta lo anterior las medidas adecuadas para la caja para que el robot se capaz de moverla sin problemas y tener un margen del 50% de espacio extra para posicionar la caja en la base de carga. Y el peso máximo que esta deberá tener es de 9 libras. Para incrementar el peso máximo se puede implementar motores de mayor torque en el brazo robótico.

## **CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES**

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

### **6.1 CONCLUSIÓN GENERAL**

Se desarrollo y diseño un sistema mecánico para el robot móvil de manera adecuada y apropiada para su movilización dentro de las plantas de almacenaje tomando en cuenta las medidas regulares de los ambientes como ser puertas y pasillos y otros parámetros como las llantas utilizadas en estos ambientes laborales. Se determinaron diseños de superficies capaces de absorber golpes. Cada parte de la estructura, fue diseñada con el fin de dar mayor resistencia, robustez y firmeza al robot, se incluyó un soporte para una cámara, también fue provisionado con un brazo robótico el cual dispone de un efector final capaz de levantar cajas del peso establecido y transportarlas a otro lugar.

### **6.2 CONCLUSIONES ESPECIFICAS**

- 1) Para el robot diseñado se determinó como tarea específica; sujetar, cargar y transportar cajas con las especificaciones definidas en el capítulo 5 las cuales establecen dimensiones de 20Cm\*20Cm\*20Cm y un peso máximo de 9 libras de manera segura y con el cuidado y precisión necesario. Siendo capaz de transportar 2 cajas a la vez. Siendo esta su carga máxima.
- 2) Se establecieron los siguientes mecanismos necesarios para que el robot pueda desempeñar las tareas de una manera correcta y efectiva:
  - a. Tren de Movimiento: el tren de movimiento permite que el robot se desplace por el área de trabajo. Tras el análisis de varias configuraciones, se utilizó una configuración de cuatro ruedas similar a la configuración Ackerman, Utilizando el direccionamiento diferencial, el robot puede moverse en línea recta, puede realizar curvas de distinta intensidad y girar sobre sí mismo.
  - b. El brazo Robótico: el brazo está diseñado para la carga especifica con la capacidad de recoger y depositar la carga, está diseñado para poder descansar

en el cuerpo del robot y de esta manera permitir una mejor maniobrabilidad y estabilidad. Posee 3 grados de movimiento para dar una mayor longitud al brazo. El direccionamiento diferencial del tren de movimiento ayuda a posicionar mejor el brazo robótico complementando sus movimientos de precisión.

- c. El efector final: como se explicó anteriormente es un soporte el cual posee 4 ventosas neumáticas para poder tomar las cajas con la capacidad de ajuste y de poder agregar más ventosas si el usuario lo cree necesario para un mayor agarre.
- 3) Por medio de los análisis de movimiento realizados con el apoyo del Software SolidWorks, que incluían análisis cinemáticos, dinámicos y análisis estáticos, se pudo determinar que, con el diseño planteado, utilizando aluminio 1060 para el esqueleto del robot y ABS para las superficies que cubren el chasis y protegen los dispositivos internos se mantiene un FOS promedio de 15 con el cual podemos asegurar que el robot no presentara rupturas o puntos críticos siempre que se respeten las especificaciones de peso establecidas y los componentes recomendados para el robot.
  - 4) En base a las pruebas realizadas en SolidWorks de Cinemática y Dinámica al robot, se terminó el comportamiento del robot con las cargas aplicadas en las áreas específicas, mediante una simulación de recogida se obtuvieron los datos necesarios para establecer los motores adecuados para los movimientos y características esperadas.

## **CAPÍTULO VII. RECOMENDACIONES**

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

- 1) Al diseño del robot creado se le puede realizar posteriores modificaciones con el fin de expandir su uso, cambiando el efector final para poder agarrar pallets y movilizarlos en la planta.
- 2) Se podría implementar un sistema de inteligencia artificial que le permita al robot trabajar de manera autónoma.

## BIBLIOGRAFÍA

- Angulo Ruíz, E. M., Castellano Tarco, H. V., Medina Madril, J. C., & Veintimilla Calvopiña, F. H. (2016). *Mecanismos en Robots y Robots Aplicados en la Industria Ecuatoriana*. Universidad Técnica de COTOPAXI.
- Avello, A. (2014). *Teoría de Máquinas* (Segunda Edición). Tecnun.
- Baranov, G. G. (1985). *Curso de la Teoría de Mecanismos y Máquinas* (Segunda Edición). Editorial MIR.
- Basco, A. I., Beliz, G., Coatz, D., & Garnero, P. (2018). *Industria 4.0: Fabricando el Futuro*. Inter-American Development Bank.
- BUN-CA. (2007). *Manual técnico: Motores eléctricos* (1ra ed.). Diseño Editorial S. A.
- Calderón, J. P. Z. (2016). *ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LOS RINES DE LLANTAS RADIALES VS LLANTAS CONVENCIONALES EN MAQUINARIA AGRÍCOLA*. 74.
- Canú, R. O. M. (s. f.). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT MÓVIL TIPO EXPLORADOR PARA FINES ACADÉMICOS*. 142.
- Castañeda, M. C. H., Hernández, M. C. R., Gómez, M. C. G., Zitzumbo, D. R., Sánchez, D. J., & Alonso, D. S. (2010). *Análisis del Módulo Elástico y Resistencia a la Ruptura en Mezclas de Nanocompuestos de ABS/TPU*. 39, 8.
- Catarina, L. (s. f.). *GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL Y DESARROLLO DE PRODUCTOS*. 96.

Dassual Systems. (2010). *Introducción a las aplicaciones de análisis de movimiento con SolidWorks Motion, Guía del instructor.*

DEZA\_MAMANI\_CAR\_EXP.pdf. (s. f.). Recuperado 6 de julio de 2020, de [http://54.213.100.250/bitstream/20.500.12590/16200/1/DEZA\\_MAMANI\\_CAR\\_EXP.pdf](http://54.213.100.250/bitstream/20.500.12590/16200/1/DEZA_MAMANI_CAR_EXP.pdf)

Erdman, A. G., & Sandor, G. N. (1998). *Diseño de Mecanismos: Análisis y Síntesis* (Tercera Edición). Pearson Educación.

Gaitán, J. F. B., Mogollón, P. G., Montoya, F. R., Tibavizco, D. A. S., & Ramos, A. C. (2019). *Implementación de tecnología robótica (RPA) en procesos logísticos. Caso de estudio: Organización de Servicios Petroleros.* 38.

Gere, J. (2002). *Timoshenko. Resistencia de materiales* (5ta ed.). Ediciones Paraninfo.

Goldstein, H. (2006). *Mecánica Clásica.* Editorial Reverté, S.A.

henryo. (2019, mayo 3). Bodegas en la era del IoT. *Revista de Logística.* <https://revistadelogistica.com/almacenamiento/bodegas-en-la-era-del-iot/>

Hunt, V. D. (1983). *Industrial Robotics Handbook.* Industrial Press Inc.

Jiménez, D. A. G. (s. f.). *DUREZA, RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y DESGASTE EN EL MATERIAL SINTERIZADO ALUMINIO 1060 CON BABBIT ASTM B 23 ALLOY 2 COMBINADO POR ALEACIÓN MECÁNICA.* 119.

Kurowski, P. (2013). *Engineering Analysis with SolidWorks Simulation 2013.* SDC Publications.

LandauLandau, L. D., & Lifshitz, E. M. (2002). *Mecánica* (Segunda Edición). Editorial Reverté, S.A.

Lombard, M. (2008). *SolidWorks 2007 Bible.* John Wiley & Sons.

Mabie, H. (2001). *Mecanismos y Dinámica de Maquinaria* (Tercera Edición). Editorial Limusa.

Mair, G. M. (1988). *Industrial Robotics*. Prentice Hall.

Martínez Verdú, J., & Sabater Navarro, J. M. (2012). *Guía Docente para el Diseño de Robots de Servicio* (1ra ed.).

Maslarić, M., Nikoličić, S., & Mirčetić, D. (2016). Logistics Response to the Industry 4.0: The Physical Internet. *Open Engineering*, 1(open-issue). <https://doi.org/10.1515/eng-2016-0073>

*Montoya\_vg.pdf*. (s. f.). Recuperado 6 de julio de 2020, de [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/25129/montoya\\_vg.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/25129/montoya_vg.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Myszka, D. H. (2012). *Máquinas y Mecanismos* (Cuarta Edición). Pearson Educación.

Nof, S. Y. (1999). *Handbook of Industrial Robotics* (2nd ed.). John Wiley & Sons, Inc.

Ollero Baturone, A. (2001). *Robótica Manipuladores y robots móviles*. Marcombo, S. A.

Reyes Cortés, F. (2011). *Robótica. Control de Robots Manipuladores* (1ra ed.). Alfaomega Grupo Editor, S. A. de C. V.

Rojas Lazo, O., & Rojas Rojas, L. (2014). Diseño asistido por computador. *Industrial Data*, 9(1), 007. <https://doi.org/10.15381/idata.v9i1.5709>

Sancho. (2011). *Industria 4.0. Aplicación de Tecnologías RFID para la mejora de procesos logísticos*. 35.

Santos, I. S. L. (2006). *Logística y marketing para la distribución comercial*. ESIC Editorial.

Shigley, J. E., & Uicker, J. J. (1988). *Teoría de Máquinas y Mecanismos*. McGraw-Hill.

Somolinos Sánchez, J. A. (2002). *Avances en robótica y visión por computador*. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.

Spong, M., & Vidyasagar, M. (1989). *Robot dynamics and control*. Wiley & Sons.

*TapiasSotomayorCaterineDeJesus2019.pdf.pdf*. (s. f.). Recuperado 14 de mayo de 2020, de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/32149/TapiasSotomayorCaterineDeJesus2019.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

*TFG\_143620271464294356125819565330.pdf*. (s. f.). Recuperado 24 de junio de 2020, de [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/53656/TFG\\_143620271464294356125819565330.pdf?sequence=2](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/53656/TFG_143620271464294356125819565330.pdf?sequence=2)

Tsai, S., & Miravete, A. (1988). *Diseño y análisis de materiales compuestos*. Editorial Reverte S. A.

*URKUND.pdf*. (s. f.). Recuperado 6 de julio de 2020, de <http://repositorio.unemi.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/4366/URKUND.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Wagner. (2017). *Robots para una mejor logística de picking*. énfasis. <http://www.logisticamx.énfasis.com/notas/78722-robots-una-mejor-logistica-picking>

Zabala, G. (2007). *Robótica*. Gradi.

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

## ANEXOS

### Anexo 1- Lista de Materiales

Listado de Materiales	
Material	Cantidad
Tubería Cuadrada de Aluminio	N/A
Lamina de Acero Inox.	400mm*400mm*4mm
Eje de Acero Inox.	N/A
Chumaceras con Diámetro interior de 17mm	4
Chumaceras Con diámetro interior de 12mm	4
Lamina de Aluminio 4mm de espesor	N/A
Bandas dentadas de transmisión	2
Piñones Dentados Para transmisión	4
Piñones Dentados para Brazo	2
Llantas Rígidas de Transporte	4
Tornillos M10	16
Tornillos M6	20
Tornillos M5	32
Tornillos M8	50
Cuñas medidas estándar 20mm	8
Plástico ABS	

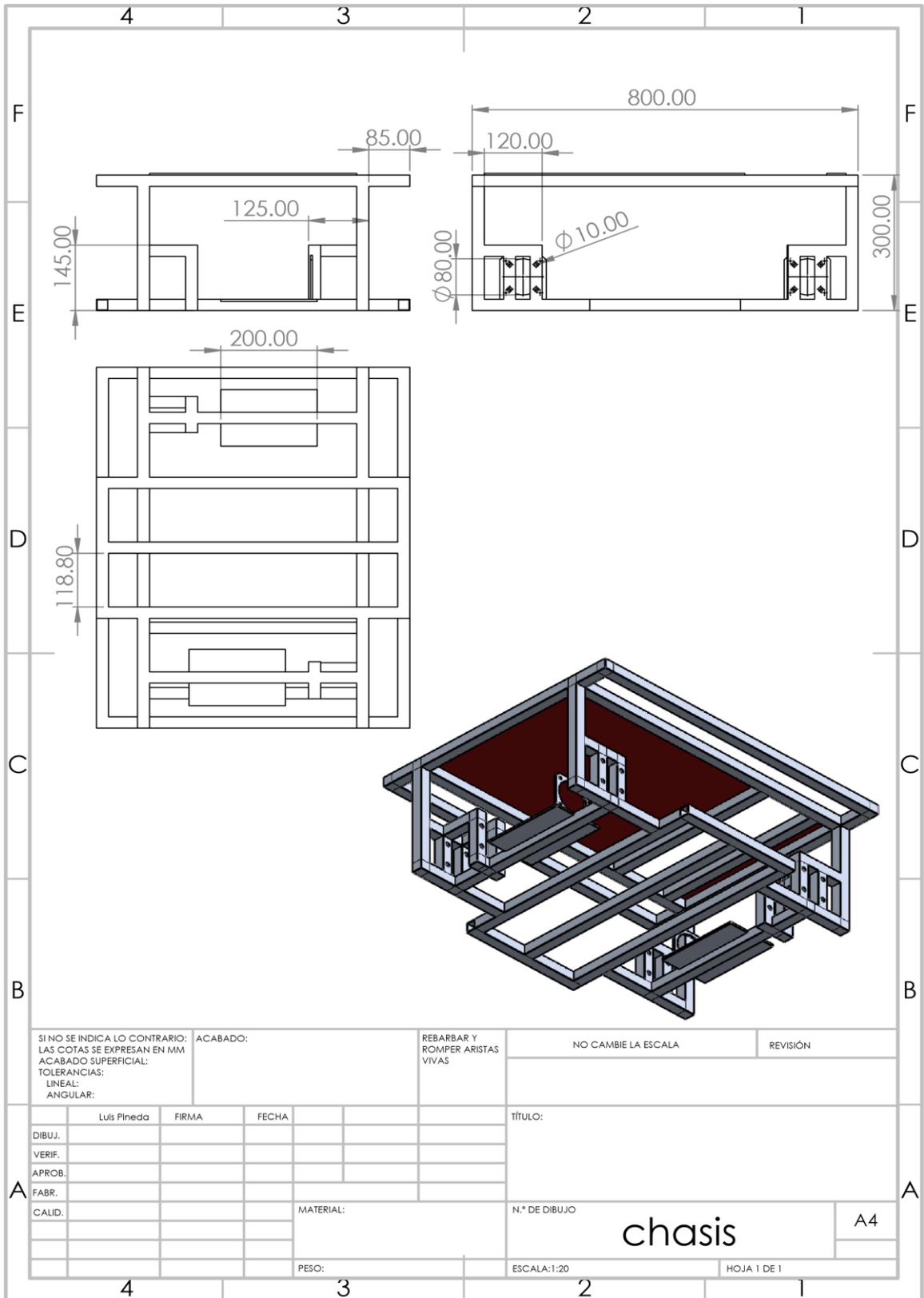
<b>Motor 1 HP</b>	2
<b>Servomotor Motor 6HP</b>	3
<b>Cámara 360 grados Diámetro Ext. 140mm</b>	1
<b>Ventosas 42mm</b>	4
<b>Compresor 4CV</b>	1

Anexo 2- Tabla de Presupuesto Estimado

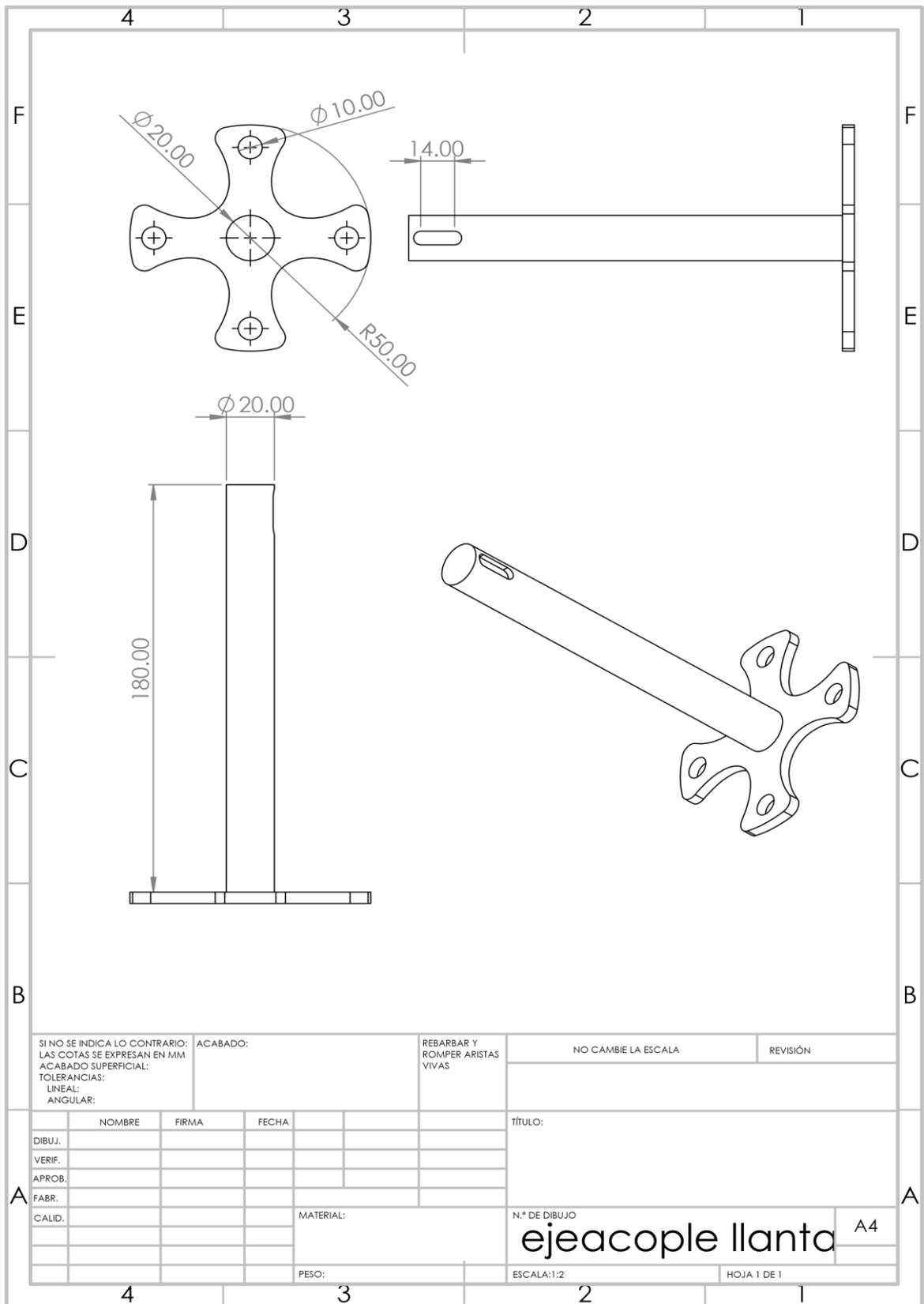
<b>Listado de Precios</b>			
<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor C/U</b>	<b>Total</b>
<b>Mecanizado de la estructura chasis</b>	1	7500 L.	7500 L.
<b>Chumaceras Con diámetro interior de 12mm</b>	4	250 L.	1000 L.
<b>Lamina de Aluminio 4mm de espesor</b>	N/A	1100 L.	1100 L.
<b>Bandas dentadas de transmisión</b>	2	1000 L.	1000 L.
<b>Piñones Dentados Para transmisión</b>	4	950 L.	3800 L.
<b>Piñones Dentados para Brazo</b>	2	350 L.	700 L.
<b>Llantas Rígidas de Transporte</b>	4	1100 L.	4400 L.
<b>Tornillos M10</b>	16	3 L.	48 L.
<b>Tornillos M6</b>	20	1.6 L.	32 L.
<b>Tornillos M5</b>	32	1 L.	32 L.
<b>Tornillos M8</b>	50	2.4 L.	120 L.
<b>Cuñas medidas estándar 20mm</b>	8	10 L.	80 L.
<b>Plástico ABS</b>		N/D	0 L.
<b>Motor 1 HP</b>	2	4500 L.	9000 L.
<b>Servomotor 6 HP</b>	2	24000 L.	48000 L.
<b>Cámara 360 grados Diámetro Ext. 140mm</b>	1	2400 L.	2400 L.
<b>Ventosas 42mm</b>	4	1600 L.	6400 L.
<b>Compresor 4CV</b>	1	1800 L.	1800 L.

<b>Total</b>	81,012 L.
--------------	-----------

### Anexo 3- Planos de Chasis

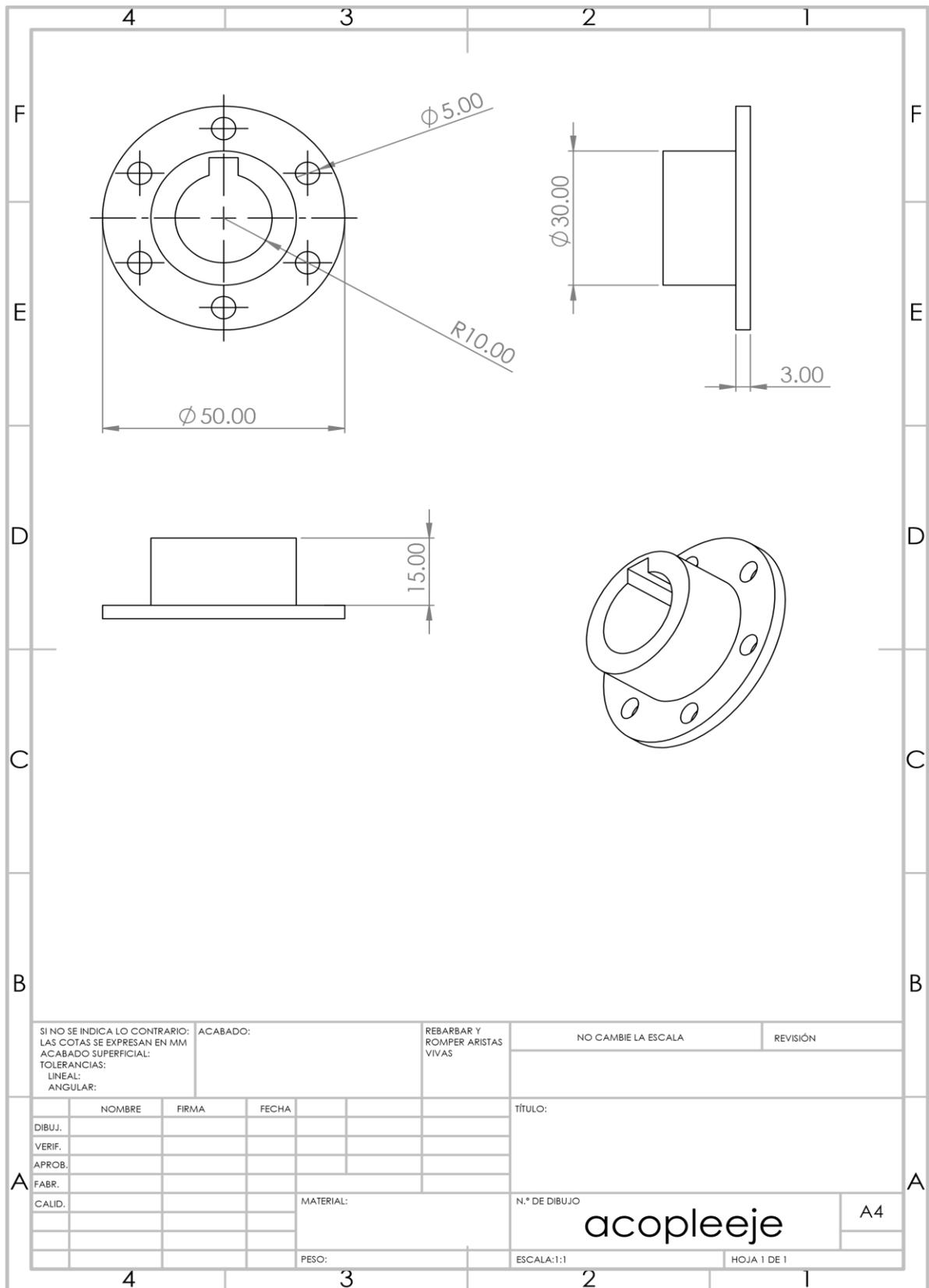


### Anexo 4- Plano Ejes de Acople



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE		FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ.				ejeacople llanta A4	
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.	MATERIAL:			N.º DE DIBUJO	
PESO:			ESCALA:1:2	HOJA 1 DE 1	

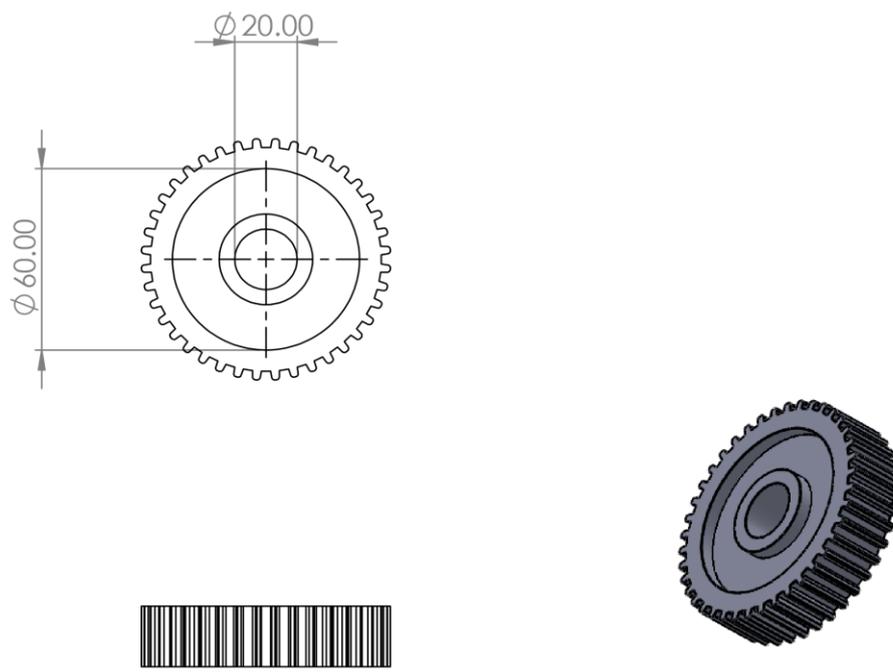
### Anexo 5- Planos de Acoples



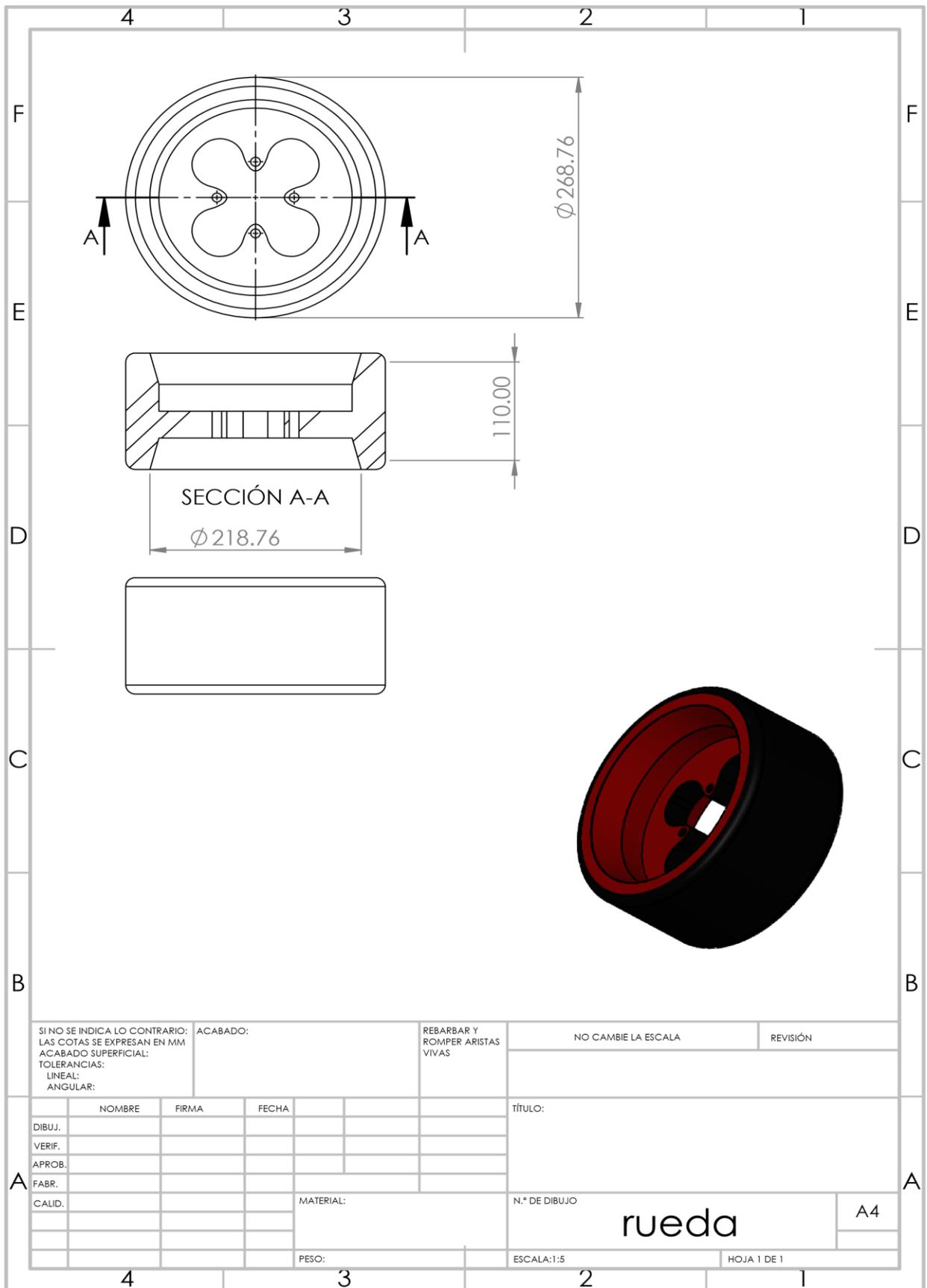
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.			MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	A4
			PESO:	ESCALA: 1:1	HOJA 1 DE 1

acopleeje

## Anexo 6- Plano de Piñones

4	3	2	1
F	E	D	C
			
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS
		NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			
		MATERIAL:	TÍTULO:
		PESO:	N.º DE DIBUJO
		Piñon	
		ESCALA: 1:1	A4
		HOJA 1 DE 1	
4	3	2	1
A	B	C	D

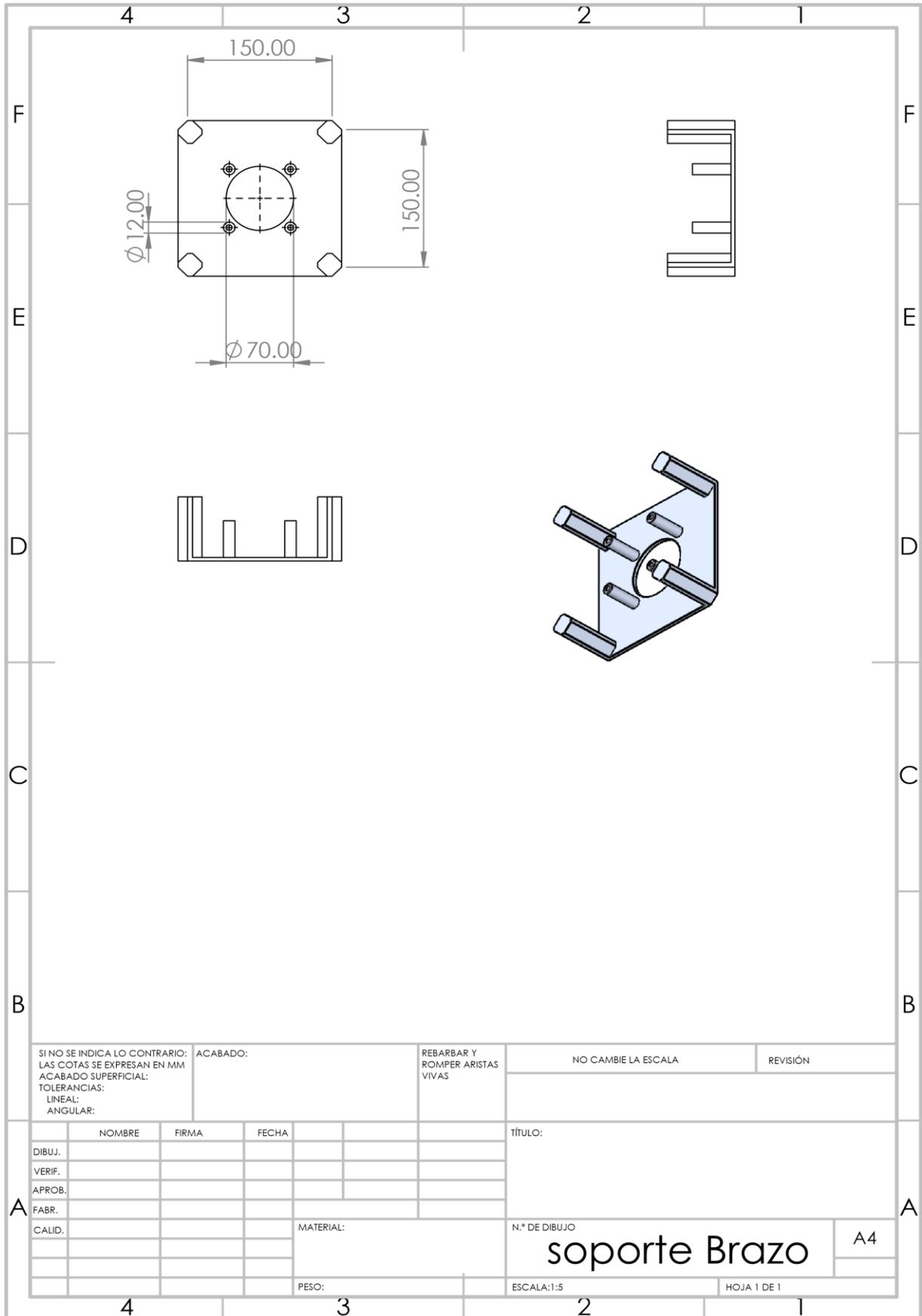
### Anexo 7- Plano de Llantas



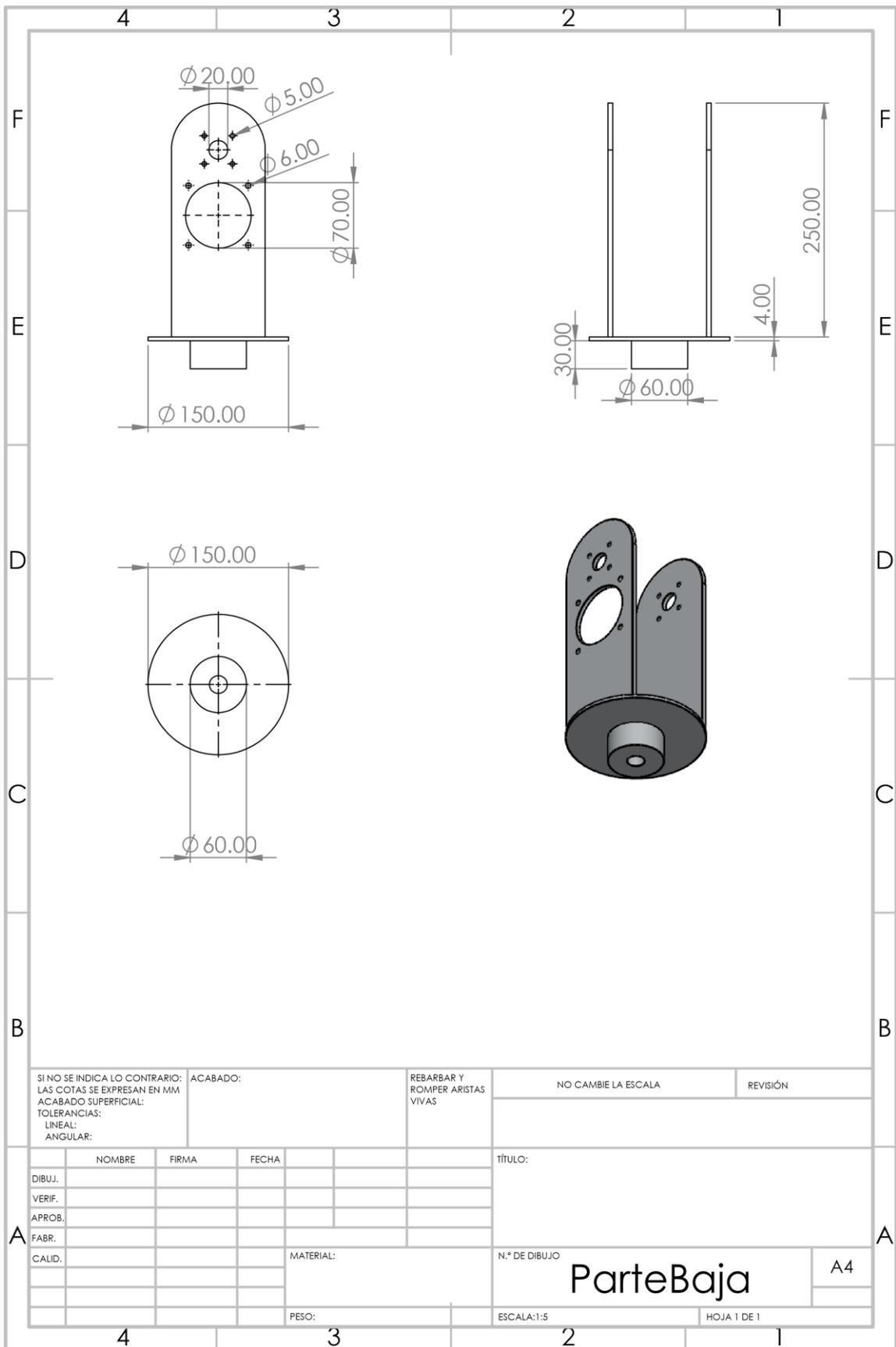
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE			FIRMA	FECHA	TÍTULO:
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.			MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	A4
			PESO:	ESCALA:1:5	HOJA 1 DE 1

rueda

### Anexo 8- Plano de Soporte de Brazo



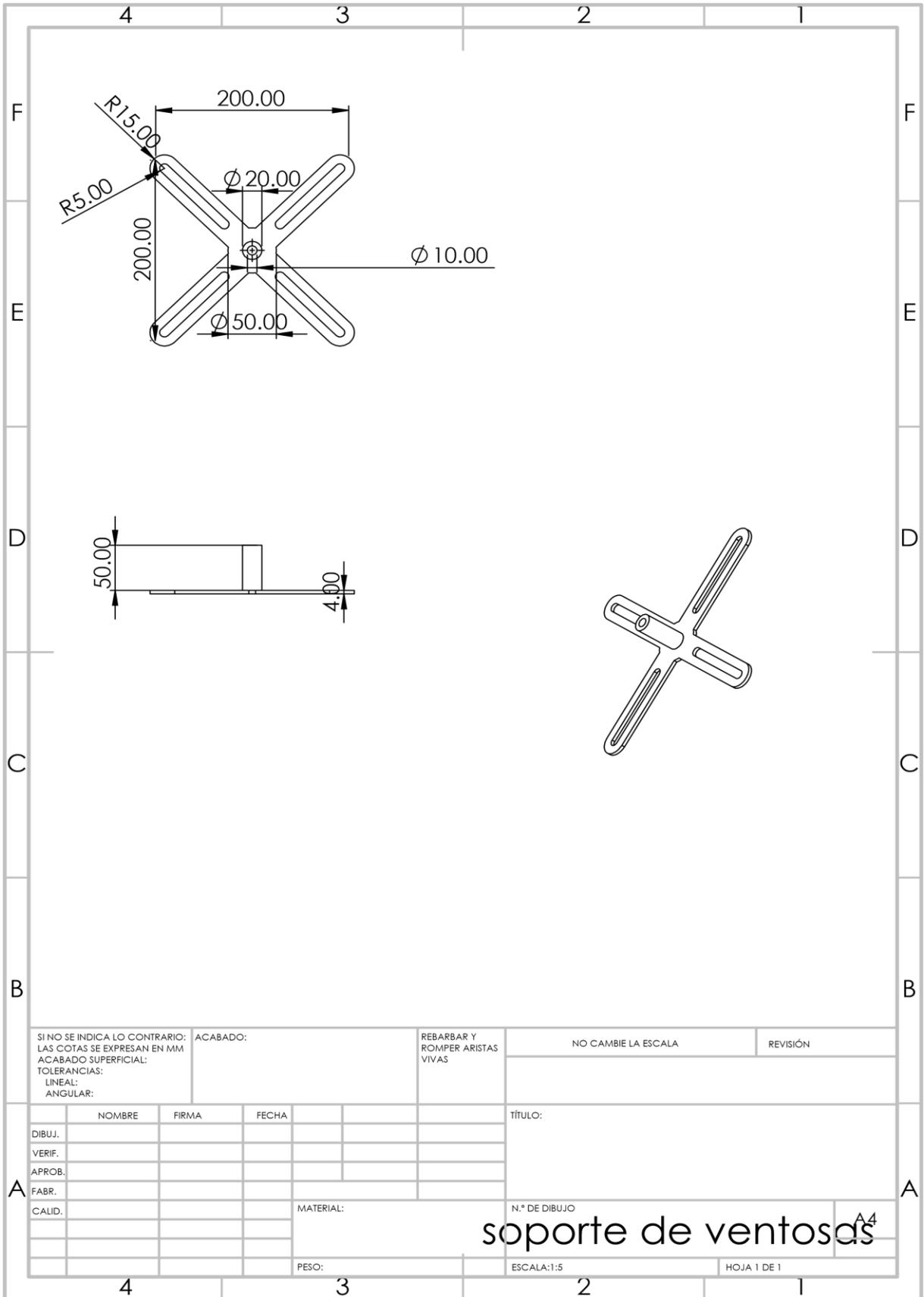
Anexo 9- Plano de Base del Brazo



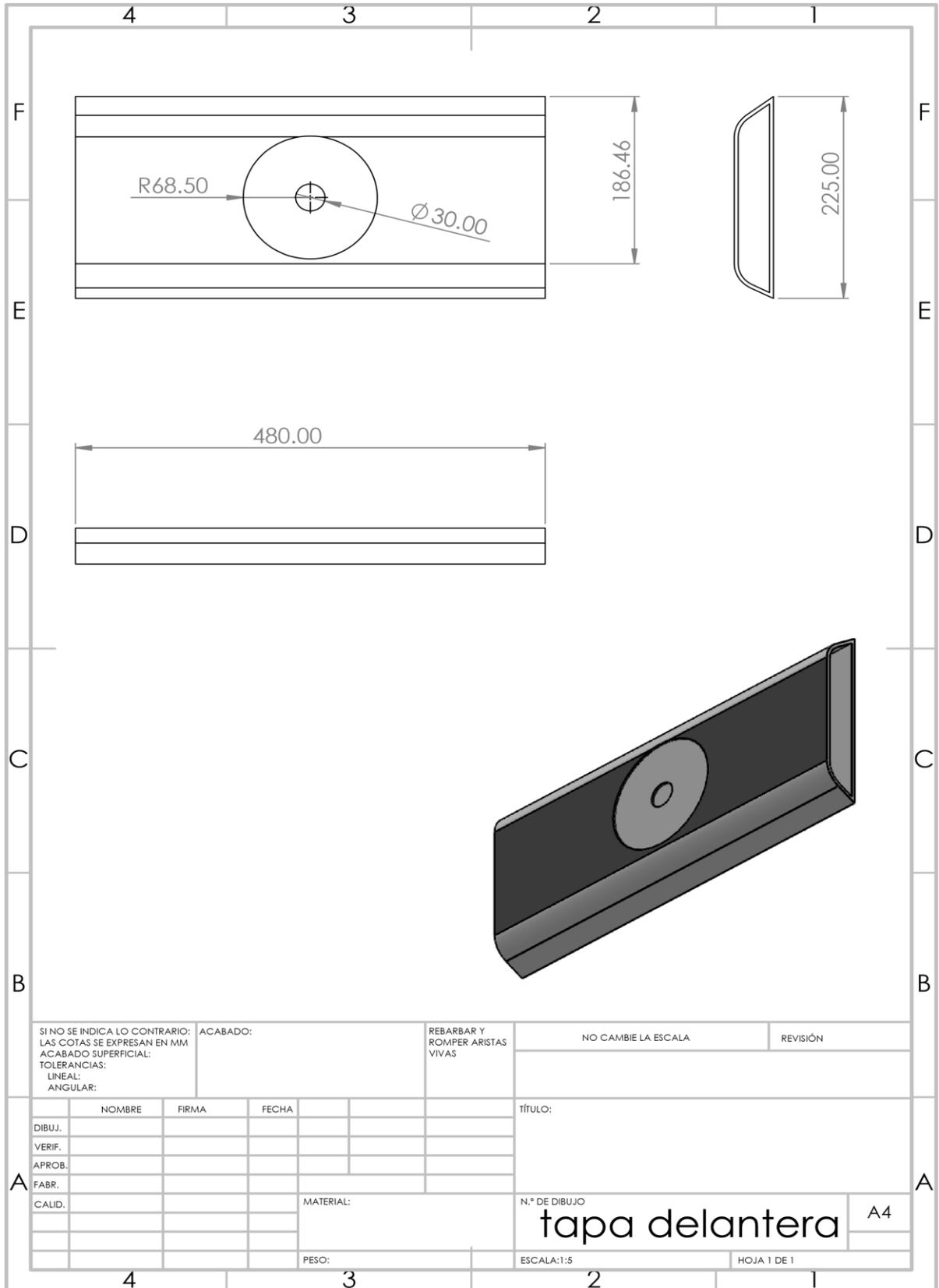
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO:	
DIBUJ.				N.º DE DIBUJO <b>ParteBaja</b>	
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CAUID.			MATERIAL:	A4	
			PESO:	ESCALA:1:5	HOJA 1 DE 1



Anexo 11- Plano del Efector Final

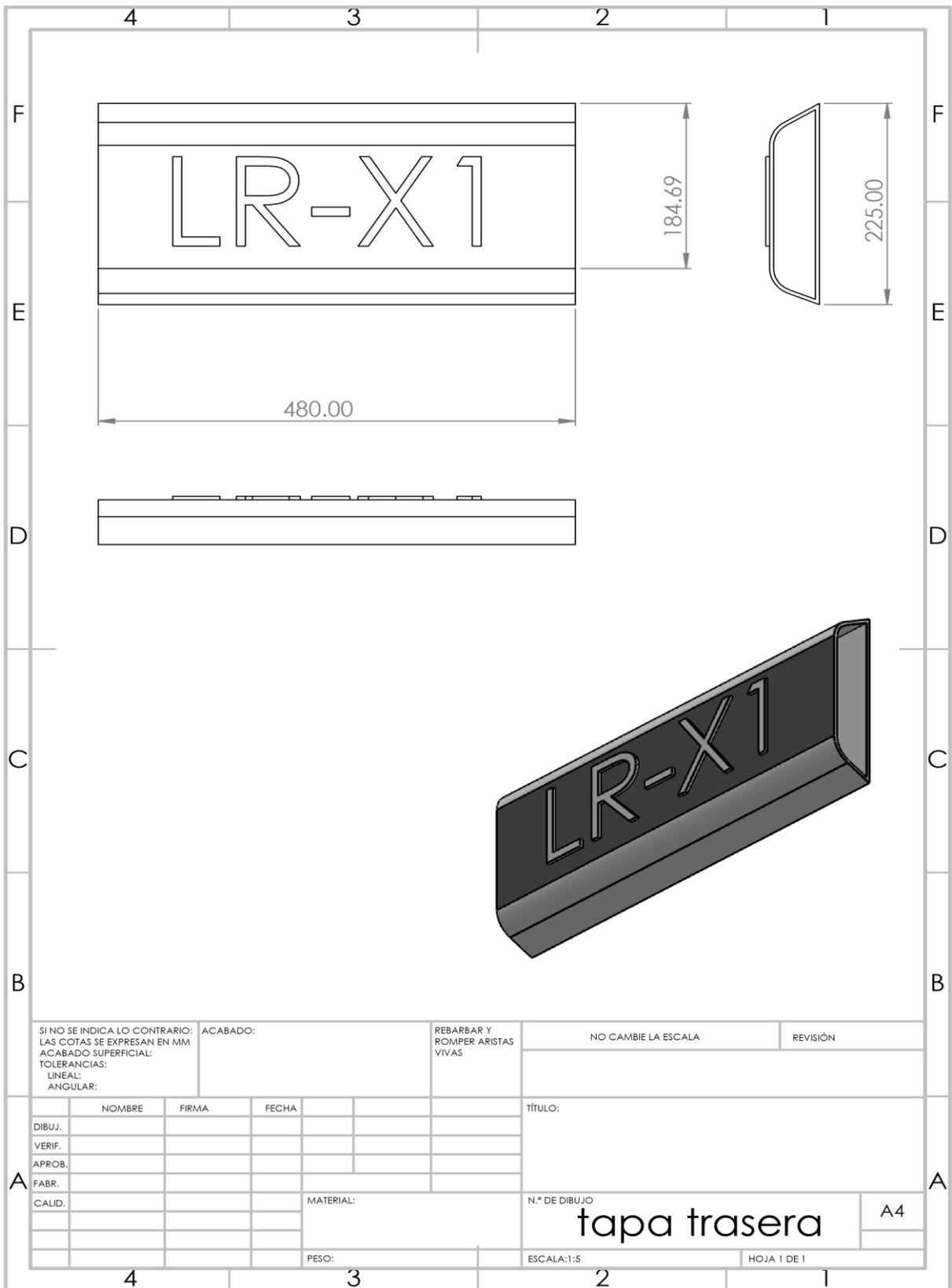


### Anexo 12- Plano de Bumper Delantero



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.			MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	
				tapa delantera	
			PESO:	ESCALA: 1:5	HOJA 1 DE 1

### Anexo 13- Plano de Bumper Trasero



### Anexo 14-Plano de Superficie Superior

