



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE FRENO
HIDRÁULICO DE PEDALES PARA UN PROTOTIPO ELÉCTRICO
MONOPLAZA”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para aportar el grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTOR:

JULIO CESAR PAREDES MORENO

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE FRENO
HIDRÁULICO DE PEDALES PARA UN PROTOTIPO ELÉCTRICO
MONOPLAZA”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para aportar el grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTOR: JULIO CESAR PAREDES MORENO

DIRECTOR: Ing. JOHNNY MARCELO PANCHAS RAMOS

Riobamba – Ecuador

2022

©2022, Julio Cesar Paredes Moreno

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, JULIO CESAR PAREDES MORENO, declaro que el presente trabajo de integración curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 16 de marzo de 2022

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a blue oval. The signature reads "Julio Cesar Paredes".

Paredes Moreno Julio Cesar

050415098-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto Técnico, “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE FRENO HIDRÁULICO DE PEDALES PARA UN PROTOTIPO ELÉCTRICO MONOPLAZA**”, realizado por el señor: **JULIO CESAR PAREDES MORENO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

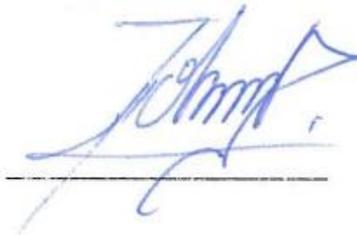
Ing. Javier Jose Gavilanes Carrion



2022-03-16

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Johnny Marcelo Pancha Ramos



2022-03-16

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla



2022-03-16

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico principalmente a Dios, por bendecirme con la vida y la salud, por la fortaleza y perseverancia para continuar con mi formación académica. Dedico también a mis padres Julio César Paredes Castillo y Gladys Lucia Moreno Villacís quienes han sido un pilar fundamental en mi vida, por todo el esfuerzo que han realizado para brindarme el cariño y apoyo en el transcurso de mi formación profesional, a mi querida abuelita María Josefina Villacís Romero que desde muy pequeño me supo cuidar y guiar hasta sus últimos días de vida, a mi hermano quien ha sido guía y compañero, quien me ha sabido brindar su apoyo moral para alcanzar cada objetivo.

A toda mi familia y amigos quienes me han brindado su apoyo incondicional y su ayuda durante todo este proceso, a todas las personas quienes han compartido sus conocimientos y me han abierto las puertas.

AGRADECIMIENTO

Agradezco la terminación de este trabajo principalmente a Dios por darme la vida y la salud y permitirme continuar formándome en lo personal y académico. Agradezco infinitamente a mis padres por la confianza brindada hacia mi persona, por su entrega y sacrificio que han realizado durante todo mi período de aprendizaje.

Un agradecimiento especial al Ing. Johnny Marcelo Pancha Ramos y al Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla que con sus conocimientos, experiencias y motivaciones guiaron en la realización del presente trabajo como también en lo personal.

Agradezco igualmente a todos los docentes que forman parte de la prestigiosa Carrera de Ingeniería Automotriz, por todas las enseñanzas impartidas dentro y fuera de la institución convirtiéndose en mentores de nosotros los estudiantes.

Agradezco a toda mi familia, amigos y compañeros quienes han sido parte de mi formación académica por toda su ayuda y motivación que me han brindado para continuar adelante, por ello les deseo los mejores éxitos en su vida.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
RESUMEN	xiv
SUMMARY	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1. MARCO REFERENCIAL	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3 Justificación	4
1.4 Objetivos	5
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	5
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	5
CAPÍTULO II	
2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Estado del arte	6
2.2 Base teóricas	7
2.2.1 <i>Prototipos eléctricos</i>	7
2.2.2 <i>Sistema de freno</i>	8
2.2.3 <i>Tipos de sistemas de freno</i>	9
2.2.4 <i>Freno de disco hidráulico</i>	11
2.2.5 <i>Componentes del sistema de freno hidráulico</i>	13

2.2.5.1	<i>Palanca de freno.</i>	13
2.2.5.2	<i>Mordaza de freno.</i>	14
2.2.5.3	<i>Pastillas de freno.</i>	16
2.2.5.4	<i>Disco de freno.</i>	17
2.2.5.5	<i>Latiguillo de freno.</i>	19
2.2.6	<i>Factores que intervienen en un freno de disco hidráulico</i>	20
2.2.6.1	<i>Relación de la palanca de freno.</i>	21
2.2.6.2	<i>Relación de pistón.</i>	22
2.2.6.3	<i>Fatiga de frenado.</i>	22
2.3	Marco Legal	23
2.3.1	<i>Normativa de competencia Shell Eco Marathon 2021</i>	24
CAPÍTULO III		
3.	DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS	25
3.1	Diagrama de etapas del proyecto	25
3.2	Metodología de investigación a realizar	26
3.3	Desarrollo del proyecto	28
3.3.1	<i>Cronograma (Planificación de actividades)</i>	28
3.3.2	<i>Recursos y materiales</i>	29
3.3.2.1	<i>Presupuesto</i>	29
3.3.3	<i>Desarrollo del proyecto</i>	30
3.3.3.1	<i>Bosquejo</i>	30
3.3.3.2	<i>Selección de materiales</i>	31
3.3.3.3	<i>Concepto del diseño.</i>	44
3.3.3.4	<i>Diseño final.</i>	50
3.3.3.5	<i>Construcción y ensamble del sistema de freno.</i>	53
3.3.3.6	<i>Análisis y pruebas preliminares.</i>	64

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS	72
----------------------------	-----------

4.1 Resultados obtenidos	72
---------------------------------------	-----------

CONCLUSIONES	77
---------------------------	-----------

RECOMENDACIONES	78
------------------------------	-----------

GLOSARIO

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Freno de cantiléver.....	10
Figura 2-2:	Freno de disco.....	11
Figura 3-2:	Prensa Hidráulica (Principio de Pascal).....	12
Figura 4-2:	Palanca de freno radial y lineal.....	14
Figura 5-2:	Mordaza de freno.....	16
Figura 6-2:	Pastillas de freno.....	17
Figura 7-2:	Disco de freno.....	18
Figura 8-2:	Latiguillo de freno.....	19
Figura 9-2:	Relación del pistón.....	22
Figura 1-3:	Bosquejo.....	31
Figura 2-3:	Fuerzas generadas en el frenado del vehículo.....	32
Figura 3-3:	Prueba técnica, pendiente de 20%.....	33
Figura 4-3:	Torque de frenado.....	38
Figura 5-3:	Freno Hayes Stroker.....	40
Figura 6-3:	Peso de kit de freno.....	41
Figura 7-3:	Mordaza de freno (cuatro pistones).....	42
Figura 8-3:	Disco de freno center lock de 160 mm.....	43
Figura 9-3:	Anclaje de mordaza de freno.....	43
Figura 10-3:	Diseño del pedal de freno.....	45
Figura 11-3:	Diseño del soporte de freno.....	46
Figura 12-3:	Diseño del soporte de mordaza delantera.....	47
Figura 13-3:	Diseño del soporte de mordaza delantera junto a la rueda.....	48
Figura 14-3:	Diseño del soporte de mordaza posterior.....	49
Figura 15-3:	Diseño del soporte de mordaza posterior junto a la rueda.....	49
Figura 16-3:	Conjunto de accionamiento.....	50
Figura 17-3:	Sistema de freno para el eje frontal.....	51
Figura 18-3:	Ensamble final del sistema de freno.....	52
Figura 19-3:	Soporte de freno.....	53

Figura 20-3: Peso del soporte de freno.....	54
Figura 21-3: Construcción del pedal de freno.	55
Figura 22-3: Peso del pedal de freno.....	55
Figura 23-3: Acople tipo “T”	56
Figura 24-3: Soporte para las mordazas de freno delanteras.	57
Figura 25-3: Soporte para la mordaza de freno posterior.	58
Figura 26-3: Ensamble del soporte y cilindro maestro.	58
Figura 27-3: Ensamble del accionamiento del sistema de freno.....	59
Figura 28-3: Sistema de freno hidráulico de pedales.....	60
Figura 29-3: Purgado del sistema de freno.....	61
Figura 30-3: Soporte del sistema de freno frontal.	62
Figura 31-3: Ensamble del sistema de freno frontal.	62
Figura 32-3: Ensamble final del sistema de freno en el prototipo monoplaza.	63
Figura 33-3: Análisis de carga en el pedal de freno.	65
Figura 34-3: Análisis de esfuerzo de Von-Mises del pedal de freno.	66
Figura 35-3: Análisis del factor de seguridad del pedal de freno.	66
Figura 36-3: Análisis de carga del soporte de freno.	67
Figura 37-3: Análisis de esfuerzo de Von-Mises del soporte de freno.	68
Figura 38-3: Análisis del factor de seguridad del soporte de freno.	68
Figura 39-3: Prueba de campo en pendiente al 20%	71
Figura 1-4: Accionamiento del freno para el eje frontal.....	76
Figura 2-4: Accionamiento del freno para el eje posterior.	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Características de los pistones en la mordaza de freno.....	15
Tabla 2-2:	Características del disco de freno.....	19
Tabla 1-3:	Metodología de investigación.....	26
Tabla 2-3:	Planificación de actividades.....	28
Tabla 3-3:	Costos indirectos.....	29
Tabla 4-3:	Costos directos.....	30
Tabla 5-3:	Costo total.....	30
Tabla 6-3:	Código de clasificación de los materiales de fricción.....	37
Tabla 7-3:	Valores de fuerza y desaceleración.....	69
Tabla 8-3:	Valores de velocidad y distancia de frenado.....	70
Tabla 1-4:	Valores calculados del sistema de freno.....	72
Tabla 2-4:	Valores analizados mediante Ansys.....	73

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Factores que intervienen en el frenado.....	20
Gráfico 2-2:	Relación de palanca.	21
Gráfico 1-3:	Diagrama de etapas del proyecto	25
Gráfico 2-3:	Fuerza ejercida por la acción del tobillo.	36
Gráfico 1-4:	Desaceleración con respecto a la fuerza aplicada en el pedal.....	74
Gráfico 2-4:	Distancia de frenado con respecto a la velocidad.....	75

RESUMEN

El objetivo del presente proyecto técnico fue diseñar y construir un sistema de freno hidráulico de pedal para un prototipo eléctrico monoplaza el mismo que debe ser ligero y efectivo, capaz de controlar la velocidad del vehículo. Se inició con la fundamentación teórica del sistema de freno hidráulico, conociendo sus componentes y principios de operación. Se evaluó teóricamente el funcionamiento y la efectividad del sistema de freno, se analizó al prototipo en una pendiente del 20% obteniendo una fuerza de frenado de 255,619 Newton que se requiere para mantenerlo completamente detenido en esta inclinación. Se seleccionó los materiales en base a los requerimientos establecidos, que permitan controlar la velocidad por medio de un pedal y ser capaz de detenerlo aplicando el freno en el eje delantero y posterior individualmente. Se realizó mediante herramientas electrónicas específicamente Solidworks el diseño del sistema de freno. Por medio de herramientas prácticas se realizó la construcción y ensamble de todo el conjunto de sistema de freno hidráulico de pedal para implementar en el prototipo eléctrico monoplaza, cumpliendo con el proceso metodológico del proyecto. Se evaluó el comportamiento de los elementos mediante software CAE, simulando una carga de 250 Newton a la que están sometidos tanto el pedal como el soporte del sistema de accionamiento de freno. Se concluye, que al accionar el sistema de frenos individualmente para cada uno de los ejes, se obtiene una respuesta de frenado óptima, capaz de detener completamente al prototipo, y a su vez, se alcanza una distancia de frenado de 3,351 metros evaluado a una velocidad de 40 Km/h, ratificando el correcto funcionamiento del sistema de freno hidráulico de pedal. Para mantener el sistema de freno en perfecto estado se recomienda realizar el mantenimiento cada 6 meses y revisar periódicamente que el par de apriete sea el adecuado.

Palabras clave: <SISTEMA DE FRENO>, <FRENO HIDRÁULICO>, <PROTOTIPO MONOPLAZA>, <SOLIDWORKS>, <PEDAL DE FRENO>, <DISTANCIA DE FRENADO>.

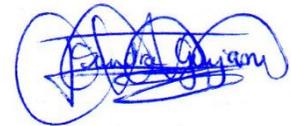
0887-DBRA-UPT-2022



SUMMARY

The objective of this technical project was to design and build a hydraulic pedal brake system for a single-seat electric prototype that must be light and effective, capable of controlling the speed of the vehicle. It began with the theoretical foundation of the hydraulic brake system, knowing its components and operating principles. The operation and effectiveness of the braking system were theoretically evaluated, and the prototype was analyzed on a 20% slope, obtaining a braking force of 255,619 Newton that is required to keep it completely stopped on this slope. The materials were selected based on the established requirements, which allow the speed to be controlled using a pedal and being able to stop by applying the brake on the front and rear axles individually. The design of the brake system was carried out using electronic tools specifically Solidworks. By using practical tools, the construction and assembly of the entire hydraulic pedal brake system were carried out to be implemented in the single-seater electric prototype, complying with the methodological process of the project. The behavior of the elements was evaluated using CAE software, simulating a load of 250 Newton to which both the pedal and the support of the brake actuation system are subjected. It is concluded that by activating the braking system individually for each of the axes, an optimal braking response is obtained, capable of completely stopping the prototype, and in turn, a braking distance of 3,351 meters is reached, evaluated at a speed of 40 Km/h, ratifying the correct functioning of the hydraulic pedal brake system. To keep the brake system in perfect condition, it is recommended to carry out maintenance every 6 months and periodically check that the tightening torque is adequate.

Keywords: <BRAKE SYSTEM>, <HYDRAULIC BRAKE>, <SINGLE SEAT PROTOTYPE>, <SOLIDWORKS (SOFTWARE)>, <BRAKE PEDAL>, <BRAKE DISTANCE>.



Sandra Leticia Guijarro Paguay

C.I.: 0603366113

INTRODUCCIÓN

En el desarrollo del diseño y construcción de un sistema de freno hidráulico de pedal para un prototipo eléctrico monoplaza. Surge en la necesidad de incorporar un sistema de freno que permita controlar la velocidad y brindar sobre todo seguridad al momento de conducir el prototipo monoplaza, con ayuda de herramientas electrónicas que faciliten el diseño y simulación del sistema de las cargas a la cual está sometido el vehículo. El sistema de freno hidráulico que se lo accionará mediante un pedal permitirá controlar de manera sencilla y cómoda la velocidad del prototipo. Comenzando con la investigación teórica del sistema de freno hidráulico, sus elementos que lo conforman, su funcionamiento y aplicación para implementarlo posteriormente en el prototipo monoplaza. El diseño y simulación del sistema de freno y sus componentes mediante software Solidworks y Ansys que permiten el análisis y comportamiento de cada uno de ellos, cargas, esfuerzos y factor de seguridad para evaluar su rendimiento. La construcción del sistema de freno hidráulico de pedal proporciona mayor seguridad al ejecutar la maniobra de frenado, todo el sistema de freno y sus componentes incorporados al prototipo monoplaza se instala adecuadamente cumpliendo con las dimensiones específicas que el vehículo establezca. Para la validación del sistema de freno hidráulico mediante el accionamiento de pedal se realiza pruebas, verificando la acción de frenado ejercida en cada una de las ruedas con la capacidad de disminuir la velocidad y detener el prototipo.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes

La competencia Shell Eco Marathon es reconocida a nivel internacional por impulsar a estudiantes universitarios al desarrollo de prototipos que proporcionen una mayor eficiencia energética. En la carrera de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, estudiantes conjuntamente con docentes de la escuela han venido desarrollando prototipos monoplazas con la finalidad de participar en la competencia Shell Eco Marathon. Eco Kuntur, equipo de la ESPOCH que ha tenido participación en la competencia Shell Eco – Marathon Brasil, en Rio de Janeiro, ha desarrollado el diseño y construcción de un prototipo que cumpla con las normativas que rige en la competencia para su participación.

Estudiantes de diferentes universidades también han venido realizando trabajos de titulación o artículos, referentes al desarrollo de prototipos monoplazas como también de los diferentes sistemas que lo componen. El sistema de freno siendo imprescindible para la seguridad y manejo del prototipo, ha sido tema de estudio para la implementación en estos prototipos. El análisis del sistema de freno automotriz y sus componentes ayudará a comprender el funcionamiento y a su vez permitirá seleccionar adecuadamente el sistema a emplearse en el prototipo.

El trabajo presentado contribuirá con información para investigadores acerca del sistema de freno que será implementado en prototipos monoplaza, como también estará sujeta a modificaciones con la finalidad de optimizar el sistema de frenado en el prototipo.

1.2 Planteamiento del problema

La contaminación ambiental es uno de los problemas que más se ve afectada la sociedad, siendo la industria automotriz el principal causante debido a los gases contaminantes emitidos por los vehículos. La construcción de prototipos eléctricos que se han venido desarrollando ha sido con la finalidad de consolidarse en el sector automotriz, para en un futuro poder sustituir a los vehículos de combustión interna y reducir en su mayoría la contaminación en el medio ambiente, para ello la importancia de construir cada uno de los sistemas que componen el vehículo de manera eficiente.

Con respecto a lo mencionado, uno de los intereses para la realización de este proyecto es encontrar las mejores soluciones y prestaciones que brinda la ingeniería a través de la investigación acerca del sistema de frenos a implementarse. En la carrera de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ha sido destacada por desarrollar prototipos ya sean de competencia o ayuda didáctica. Se encuentra en desarrollo un prototipo eléctrico monoplaza, por lo que se ve necesario implementar un sistema de freno, que brinden seguridad al piloto y este pueda controlar la velocidad del prototipo a su conveniencia. La implementación de un sistema de frenos en un prototipo eléctrico monoplaza requiere consideraciones que se deben tomar en cuenta en el desarrollo del proyecto por sus dimensiones específicas que el prototipo debe tener y al que el sistema de freno debe regirse, a su vez brindar comodidad al piloto sin dejar de lado el correcto funcionamiento que se debe mantener en este tipo de sistema para evitar posibles accidentes. El prototipo eléctrico monoplaza requiere que se incorpore un sistema de freno independiente tanto para el eje delantero como posterior, y a su vez sea de bajo peso y ergonómico.

1.3 Justificación

La necesidad y funcionalidad de un freno es sumamente importante siendo imprescindibles en los vehículos y otros medios para precautelar la seguridad. “El sistema de frenos en un vehículo tiene la misión de reducir la velocidad. El efecto de frenado consiste en absorber la energía cinética producida por el vehículo en movimiento, energía que es transformada en calor por el rozamiento mutuo entre los elementos de frenado.” (CRO, 2017)

El sistema de frenos ha ido avanzando significativamente, muchos de los fabricantes fueron mejorando sus productos para abaratar costos, mejorar la eficiencia y reducir el impacto medioambiental para mejorar la seguridad en la conducción.

Para la siguiente investigación se han tomado en cuenta los tipos de sistemas de freno existentes y aplicados en el vehículo como el sistema de freno mecánico, hidráulico, eléctrico, freno regenerativo, siendo el sistema de freno hidráulico ideal para implementar en este tipo de prototipos debido al tamaño, peso ligero y seguridad que brinda este sistema. (HEDRICK, 1997)

En un vehículo el tamaño del sistema de freno es intrascendente en relación a los diversos sistemas que lo componen, en caso del prototipo monoplaza el sistema de freno hidráulico deberá ser lo más ligero y fiable posible que proporcionen una distribución de fuerzas entre ambos ejes que aseguren la estabilidad del prototipo. (CRIADO OCAÑA, 2012)

La implementación del sistema de freno hidráulico de pedal permite estudiar y conocer las características de cada uno de los componentes del sistema, seleccionando materiales adecuados que permitan el buen funcionamiento y evitar sobredimensionar el peso del prototipo.

En el trabajo apunta aspectos que aparentemente no son relevantes en el funcionamiento del sistema de freno sin embargo es importante analizar y realizar el estudio como la correcta selección de los elementos de freno, materiales a utilizar, peso del prototipo, coeficiente de fricción que son aspectos que infieren en la funcionalidad del sistema de freno hidráulico incorporados en el prototipo eléctrico monoplaza. (BORJA, y otros, 2009)

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar por medio de herramientas electrónicas y construir con herramientas prácticas un sistema de freno hidráulico a través del accionamiento de pedales para un prototipo eléctrico monoplaça.

1.4.2 Objetivos específicos

- Realizar una investigación bibliográfica sobre sistemas de freno hidráulico para la comprensión de su funcionamiento y posterior aplicación.
- Diseñar con ayuda de un software el sistema de freno hidráulico para el prototipo eléctrico monoplaça y evitar la mayor cantidad de problemas en la implementación.
- Construir el sistema de freno hidráulico por medio del accionamiento del pedal para incorporarlo en el prototipo eléctrico monoplaça.
- Realizar pruebas de frenado para la validación del sistema y el correcto funcionamiento del sistema de freno.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte.

El sistema de frenos en prototipos eléctricos ha sido tema de estudio y análisis, por lo que se han realizado varios trabajos referentes a implementar un sistema de frenos a un prototipo monoplaza eléctrico para optimizar el comportamiento y su funcionalidad.

En el trabajo de titulación “Diseño, desarrollo y fabricación de sistema de frenado para vehículo de bajo consumo”, realizado por Alessandro Zenone Giménez, incorpora un sistema de freno hidráulico de pedales para un prototipo construido por el equipo UPV que participa en la competencia Shell Eco Marathon, este freno accionado mediante el pie del conductor permite controlar el sistema de freno en las ruedas delanteras y otro pedal para la rueda posterior, por lo que requiere diseñar y fabricar soportes que permitan sujetar al pedal de freno como también una base adaptable que permita ajustar el largo del pedal para comodidad del conductor. Todo el conjunto de soporte de los elementos de freno es construido de aluminio que brindan mayor resistencia y menor peso. El pedal de freno está fabricado de una lámina de carbono con la finalidad de reducir el peso en el sistema de frenado.

Jefferson Chamba y Diego Jaramillo en su trabajo de titulación: “Sistema de dirección y frenos para vehículo de competencia Shell Eco Marathon”, implementan tanto el sistema de dirección y sistema de frenado para un prototipo de competencia Shell Eco Marathon, utilizando frenos hidráulicos de bicicleta y acoplándolos al volante de la dirección permitiendo controlar la velocidad del prototipo. Los soportes para las mordazas de freno son diseñados conjuntamente con las manguetas en el sistema de dirección permitiendo que la construcción del sistema de frenado sea de mejor manera.

José Grandes y Paúl Totoy en su trabajo de titulación: “Diseño y construcción de un vehículo con motor de combustión interna mediante el análisis cae para la competencia Shell Eco-Marathon”, en la implementación del sistema de freno para este prototipo, incorporan frenos mecánicos de disco

tanto para las ruedas delanteras como para la rueda posterior, accionados individualmente desde el volante de dirección como se lo realiza en una bicicleta convencional.

Ian Kennedy, Gabriel Levy y Anneka Cimos, en su trabajo: “De sistema de frenos para un vehículo de supermillaje de Cal Poly”, realiza un estudio para diseñar un freno hidráulico de pedal basándose desde el sistema de freno hidráulico de bicicleta, diseñando soportes para el ajuste de la mordaza de freno delanteras como para la mordaza posterior. Diseñando una base donde ira incorporado la bomba de freno de bicicleta y aprovechando la maneta de freno para incorporar un pedal que brinde mayor área de apoyo para accionarlo mediante el pie del conductor, esto genera mayor facilidad al momento de realizar la acción de frenado brindando seguridad en la conducción.

2.2 Base teóricas

2.2.1 Prototipos eléctricos.

Estudiantes universitarios han venido desarrollando prototipos eléctricos monoplace con la aplicación de los conocimientos ingenieriles adquiridos a lo largo de la carrera, buscan diseñar y construir vehículos de estilo formula. La demostración de la creatividad y destreza de los estudiantes al fabricar vehículos tipo formula son puestos a prueba en las competencias, y que van dirigidos a estudiantes de todo el mundo. (SAE INTERNATIONAL, 2021)

Varias Instituciones educativas nacionales e internacionales han impulsado a estudiantes en el diseño y construcción de prototipos desafiando al ingenio de cada uno de ellos, han realizado trabajos destacados en el ámbito automotriz y optimizado sistemas del vehículo con el propósito de incluirse en los vehículos utilizados comúnmente.

Del mismo modo, existen eventos que invitan a instituciones y estudiantes a participar en estas competencias entre las más importante en el continente americano tenemos la competencia Formula SAE y Shell Eco Marathon, dedicados a la impulsión de diseños y alternativas energéticas en los prototipos realizados netamente por los estudiantes.

Formula SAE una competencia en la cual están encargados la Asociación de Ingenieros de Automoción con origen en Estados Unidos y establecida en el año 1982.

Cada equipo debe superar las siguientes clases:

Clase 1: En esta categoría se evalúa el diseño de modelo, simulación y el costo que este requiere para su construcción

Clase 2: Aprobado la categoría anterior se evalúa el modelo construido, su diseño y presentación.

Clase 3: Se verifica el prototipo completamente diseñado y construido que se capaz de desplazarse. El vehículo solo puede participar un año en la competencia como tal, por lo que se impulsa a su rediseño y renovación mejorando sus características funcionales.

Shell Eco Marathon ha sido una de las competencias más prestigiosas a nivel mundial, poniendo a prueba a estudiantes de distintas universidades. En los últimos 35 años, Shell a promovido al desarrollo de generar energías más limpias para en un futuro reducir emisiones que son contaminantes para el medio ambiente. (SHELL, 2021)

En la competencia Shell Eco Marathon existen diferentes categorías entre ellas tenemos:

- Urban Concept: Con características de vehículos familiares
- Modelo Real: Prototipos ultra eficientes y ligeros

También existen categorías dependiendo la energía suministrada al prototipo:

- Motor de combustión interna (gasolina, diésel y etanol)
- Batería eléctrica
- Pila de combustible de hidrógeno.

El prototipo en desarrollo será alimentado eléctricamente con características de un monoplaza tipo formula. Donde se implementará un sistema de frenos hidráulico mediante el accionamiento de pedal que permita controlar la velocidad del prototipo cumpliendo con las normativas establecidas por la competencia Shell Eco Marathon.

2.2.2 Sistema de freno

El sistema de freno son uno de los componentes indispensables para el vehículo, brindando seguridad y confiabilidad en la conducción. El sistema de freno tiene como finalidad reducir y detener la velocidad de un vehículo, cuando se lo requiera. La energía mecánica formada por el movimiento de

las ruedas, se convierte en energía calorífica debido al rozamiento que genera los elementos de freno. (DIETSCHE, 2005)

El sistema de freno además de ayudar a controlar la velocidad del vehículo aporta en la seguridad evitando colisiones del mismo, el funcionamiento del sistema de frenado debe ser sumamente eficiente. Un vehículo tiene un peso entre 800 y 2500 kg según de las dimensiones y estructuras que posea, la inercia cambia dependiendo de la velocidad y mediante el sistema de frenado colocados en cada rueda del vehículo podrá controlar, estabilizar y manejar confiablemente el automóvil. (ALBORNOZ SALAZAR, 2011)

El vehículo al estar en circulación a diferentes velocidades es necesario implementar sistema que actué sobre él para detenerlo o disminuir su velocidad, se denomina energía cinética a la energía que tiene un objeto al estar en movimiento en este caso el vehículo. El sistema de freno es el encargado realizar un esfuerzo con la finalidad de oponerse al movimiento y transformar esa energía en calor para poderlo detener.

La ecuación de la energía cinética está dada de la siguiente manera:

$$Ec = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Donde:

Ec = Energía cinética

m = masa del vehículo

v = velocidad del vehículo

2.2.3 Tipos de sistemas de freno

Los sistemas de freno se clasifican dependiendo del medio de accionamiento con el que trabajan, entre los principales tenemos: Frenos de tambor y frenos de disco.

- Frenos de tambor. Están compuestas por dos zapatas en su interior, que al generar una presión entran en contacto con la parte interna del tambor que se encuentra en movimiento con las ruedas, lo cual genera fricción oponiéndose al movimiento.

- Frenos de disco. Son los más utilizados en la actualidad, debido a su eficiencia al momento de realizar la acción de frenado. Está compuesto principalmente por un disco que se encuentra anclado a la rueda, girando estos elementos en conjunto. Al realizar la fuerza de frenado el disco es el elemento que recibe el contacto de las pastillas de freno que se encuentran en el interior de una mordaza de freno, formando fricción entre estos componentes. En los frenos de disco la temperatura es disipada de mejor manera por su diseño y material de construcción.

Las bicicletas también han venido desarrollando los sistemas de freno. Al igual que en los automóviles, tienen el mismo principio de funcionamiento y con la finalidad de reducir o detener al vehículo. Profundizaremos en el sistema de freno de las bicicletas por su beneficio en la dimensión de los elementos que componen el sistema de freno que es mucho menor a los existentes en el vehículo, pero con la misma capacidad y precisión.

- Para la bicicleta los frenos de cantiléver, es un freno diseñado en forma de V llamada también de pinza que se encuentra sujeto al cuadro de bicicleta. Al realizar el frenado las zapatas entran en contacto con el borde exterior de los aros, oponiéndose al movimiento de las ruedas. (Figura 1-2)



Figura 1-2: Freno de cantiléver

Fuente: Ramírez, J. 2014

- Para la bicicleta los frenos de disco, funcionan de igual manera que en los vehículos, a diferencia de los frenos de cantiléver la fuerza de frenado se realiza sobre un disco en

comparación con los frenos de cantiléver reduciendo los daños en los elementos de la bicicleta y aumentando su rendimiento. (Figura 2-2)



Figura 2-2: Freno de disco.

Fuente: MegabikeStore, 2020.

2.2.4 Freno de disco hidráulico

Los frenos hidráulicos ha sido uno de los sistemas que han generado mayor impacto en los vehículos, su eficiente mecanismo ha brindado mayor seguridad al realizar la acción de frenado. El movimiento de los componentes del sistema se lo hace mediante fluidos hidráulicos ejercidos bajo presión (fuerza aplicada sobre una superficie).

El frenado hidráulico está fundamentado por el Principio de Pascal. Anunciando lo siguiente: “La presión ejercida sobre un fluido incomprensible y en equilibrio dentro de un recipiente de paredes indeformables se transmite con igual intensidad en todas las direcciones y en todos los puntos del circuito”: (HERNÁNDEZ GRANADOS, 2017)

Lo que nos indica que presión ejercida sobre un fluido, se propaga de la misma manera por toda la sección.

El Principio de Pascal tiene diferentes aplicaciones, por ejemplo:

En un sistema hidráulico conformado por dos cilindros de distinto diámetro y sección, que se encuentran conectados entre sí, comprendidos por fluido hidráulico. Se ajustan 2 émbolos en cada uno de los cilindros con sus respectivas secciones. Al aplicar una fuerza F_1 sobre el émbolo de menor sección S_1 este genera una presión sobre el fluido que lo llamaremos P_1 y como se encuentran conectados estos cilindros entre sí, La presión P_1 será la misma presión P_2 en el cilindro de mayor sección: (CABRERIZO, y otros, 2008) (Figura 3-2)

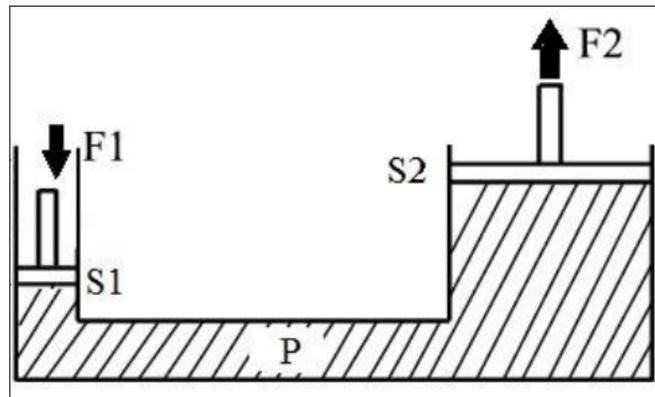


Figura 3-2: Prensa Hidráulica (Principio de Pascal).

Fuente: Rueda, M. 2018

La presión ejercida en los dos émbolos es la misma, cumpliendo con el Principio de Pascal:

$$P = P_1 = P_2$$

Empleando el concepto de presión, tenemos:

$$P_1 = \frac{F_1}{A_1} \quad ; \quad P_2 = \frac{F_2}{A_2}$$

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

Donde:

S_1 = Émbolo de menor sección [m^2]

S_2 = Émbolo de mayor sección [m^2]

F_1 = Fuerza aplicada sobre el émbolo de menor sección [N]

F_2 = Fuerza aplicada sobre el émbolo de mayor sección [N]

Este mismo principio se aplica en los sistemas de frenos hidráulico para los vehículos, lo que ayuda a controlar la velocidad del vehículo.

El funcionamiento del sistema de freno hidráulico es generado por una fuerza ejercida por el conductor en la palanca de freno, empujando al embolo, generando presión en el interior del cilindro maestro. La presión recorre por todo el circuito de freno hasta llegar a la mordaza, lo cual permite que se compriman los pistones junto con las pastillas de freno. Este accionamiento genera la fricción entre las pastillas y los discos de freno, oponiéndose así al movimiento de la rueda. (SRAM, 2013)

2.2.5 Componentes del sistema de freno hidráulico.

El sistema de frenos de disco hidráulico está conformado por varios elementos que ayudan a que la acción de frenado se realice de manera segura y eficaz.

2.2.5.1 Palanca de freno.

La palanca de freno o “*maneta de freno*” es el componente donde el conductor aplica directamente una fuerza, que en el caso de los frenos hidráulicos es el encargado de empujar al embolo del cilindro maestro y por ende al fluido hidráulico.

La palanca de freno conjuntamente con el cilindro maestro puede estar conectados en las siguientes posiciones: (Figura 4-2)

- Palanca de freno radial.
- Palanca de freno en línea.

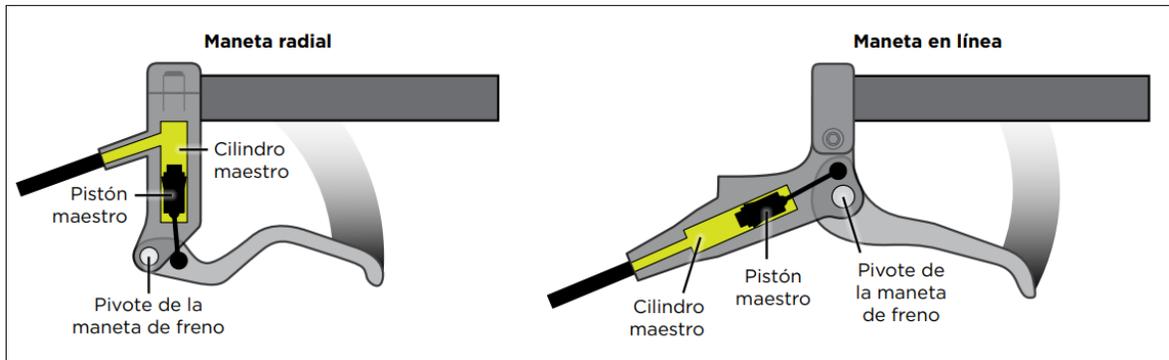


Figura 4-2: Palanca de freno radial y lineal.

Fuente: SRAM. 2013

En la palanca de freno radial la ubicación del cilindro maestro se encuentra posicionado perpendicular a la maneta, a diferencia de la palanca de freno en línea que se encuentra de manera paralela a la maneta de freno, lo que hace que la unión del pistón maestro que se encuentra conectado directamente a la palanca de freno cambie.

2.2.5.2 Mordaza de freno.

La mordaza o “caliper” de freno como también se lo conoce, es el elemento que genera la fricción de las pastillas con el disco de freno para detener el movimiento de las ruedas. (LUQUE, y otros, 2004)

En el interior de la mordaza de freno podemos encontrar dos pistones o cuatro:

- Mordaza de freno de dos pistones, se distribuyen un pistón para cada pastilla de freno y se posicionan uno en cada lado de la mordaza.
- Mordaza de freno de cuatro pistones, este tipo de mordazas contienen dos pistones para cada pastilla de freno y se distribuyen dos pistones a cada lado de la mordaza, aumentando el tamaño de la pastilla y generando mayor superficie de frenado.

Las principales características entre las mordazas de freno tenemos:

Tabla 1-2: Características de los pistones en la mordaza de freno

Dos pistones	Cuatro pistones
<ul style="list-style-type: none">• Tiene dos puntos donde se va a ejercer la fuerza• Tienen un pistón en cada lado.• La mordaza es de menor tamaño.• El pistón es de mayor diámetro.	<ul style="list-style-type: none">• Tiene cuatro puntos donde se va a ejercer la fuerza.• Posee dos pistones en cada lado de la pinza de freno.• La mordaza es de mayor tamaño.• La fuerza de frenado es mayor.• El diámetro de los pistones es de menor dimensión pero distribuye en mayor superficie la fuerza de frenado.

Realizado por: Paredes, J. 2021

El funcionamiento de la mordaza de freno se genera gracias a los pistones que se ubican en su interior. El fluido hidráulico que ingresa por todo el circuito de la mordaza de freno, ayuda a empujar a los pistones y pastillas hacia el disco de freno. Al ejercer una fuerza en la palanca de freno y generar una presión sobre el fluido provoca desplazar a los pistones, de igual manera al momento de soltar la palanca de freno los pistones se retraen alejándolos del contacto de las pastillas con el disco de freno. Las juntas que existen en los pistones ayudan ajustar a las pastillas de freno que a medida que estás se van desgastando el pistón se desplace sin la necesidad de ir corrigiendo manualmente. Figura (5-2).

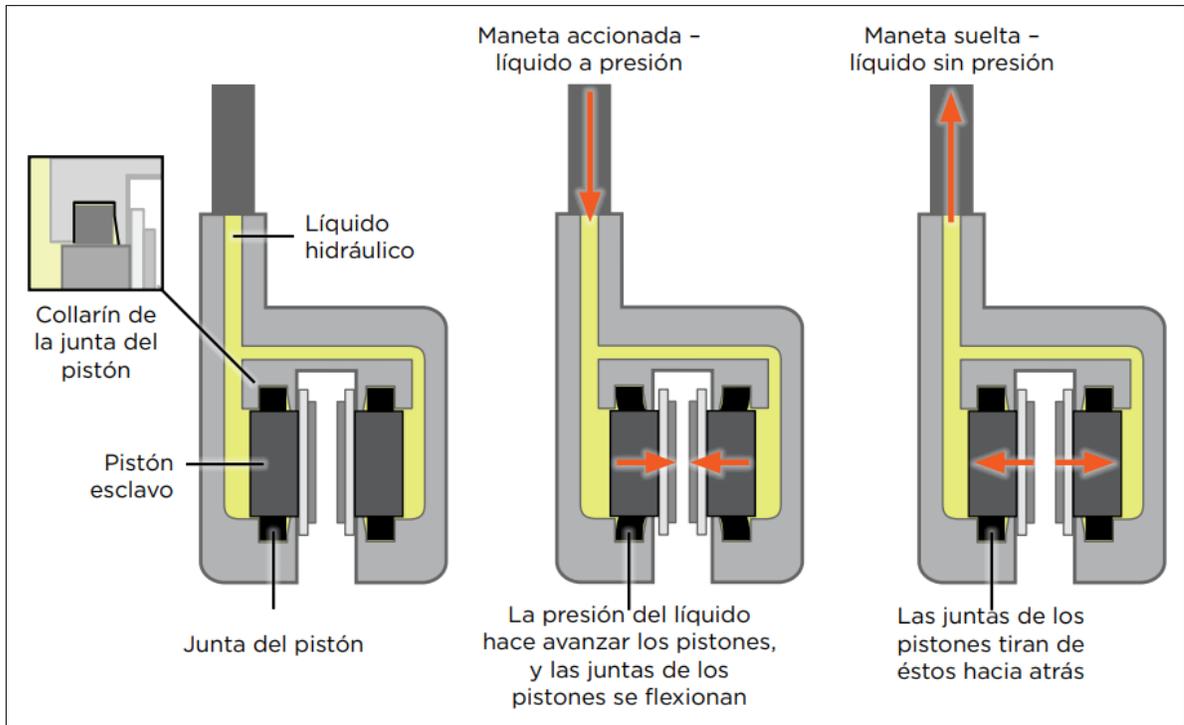


Figura 5-2: Mordaza de freno.

Fuente: SRAM. 2013

2.2.5.3 Pastillas de freno.

Las pastillas son los elementos imprescindibles en el sistema de freno ya que son los que generan esa fricción directa con el disco de freno, las pastillas pueden sustituirse dependiendo de su uso. Al ser empujados por los pistones de la mordaza de freno entran en contacto con el rotor del mismo modo se alejan del disco dejando girar con libertad al momento de no existir la acción de frenado. (Figura 6-2)

Existen varios tipos de pastillas de freno entre ellos tenemos:

- Sinterizadas, son fabricados con materiales metálicos o semimetálicos, por lo cual son más abrasivas lo cual desprende demasiado calor en la fricción que se genera con el disco de freno.
- Orgánicas, contiene material de resina por lo que prolonga la acción de frenado lo cual no genera demasiado calor. Aunque su durabilidad es menor son menos agresivas con el disco.

- Cerámicas, fabricada con material de silicato lo que evita el sobrecalentamiento en el disco de freno.

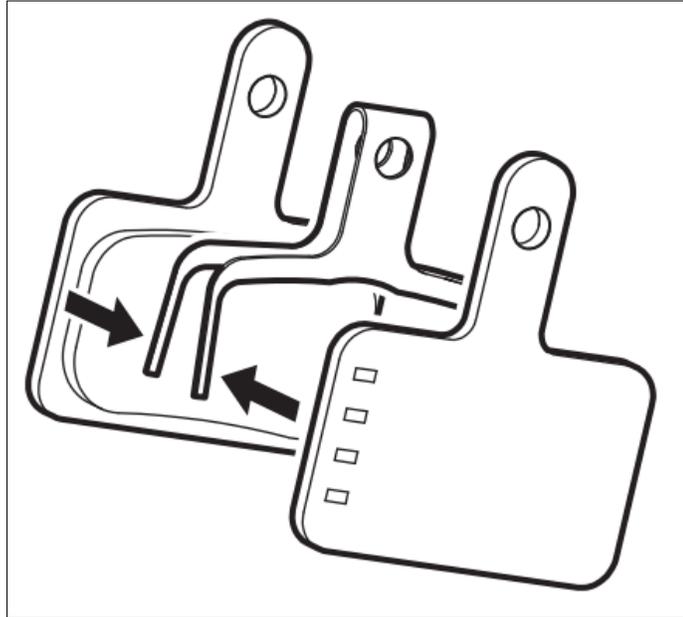


Figura 6-2: Pastillas de freno.

Fuente: Shimano. 2012

2.2.5.4. Disco de freno.

El disco de freno al estar en conjunto con la rueda, gira en mismo sentido y con la misma velocidad que el neumático. Lo que hace que al detener el disco se consiga que las ruedas también se paraliquen. Esto se logra con ayuda de la mordaza de freno que al entrar en contacto las pastillas de freno en la superficie del disco transforme esa energía cinética en energía calorífica consiguiendo controlar la velocidad. El diseño del disco de freno se centra principalmente en disipar esa energía calorífica producida por el frenado. El dimensionamiento del diámetro del disco en mayor tamaño genera mayor potencia de frenado como también ayuda a disminuir el calor, a diferencia de los discos de menor diámetro que en su caso el peso es menor. Los discos de freno incorporan agujeros de diferentes diámetros y en distinta posición para evitar sobrecalentar al disco y perder el control de frenado. Figura (7-2)

El disco de freno va conectado a la manzana de la rueda, que presenta distinta adaptación que puede ser:

- Mediante 6 tornillos hexalobular #15. Este sistema de adaptación es utilizado por distintos fabricantes, con la finalidad de que el disco pueda instalarse en distintas manzanas. Únicamente con la utilización de una herramienta hexalobular para el ajuste de los tornillos.
- Mediante un adaptador center lock al buje. Shimano ha sido la empresa que ha incorporado este tipo de sistema, compatible únicamente con las manzanas Shimano. Su montaje consiste en una ranura interna en los discos que se acopla exactamente con el estriado de la manzana y por medio de un anillo se lo fija. Esto permite que la instalación y desmontaje del disco sea de manera rápida y fácil. (SHIMANO, 2021)

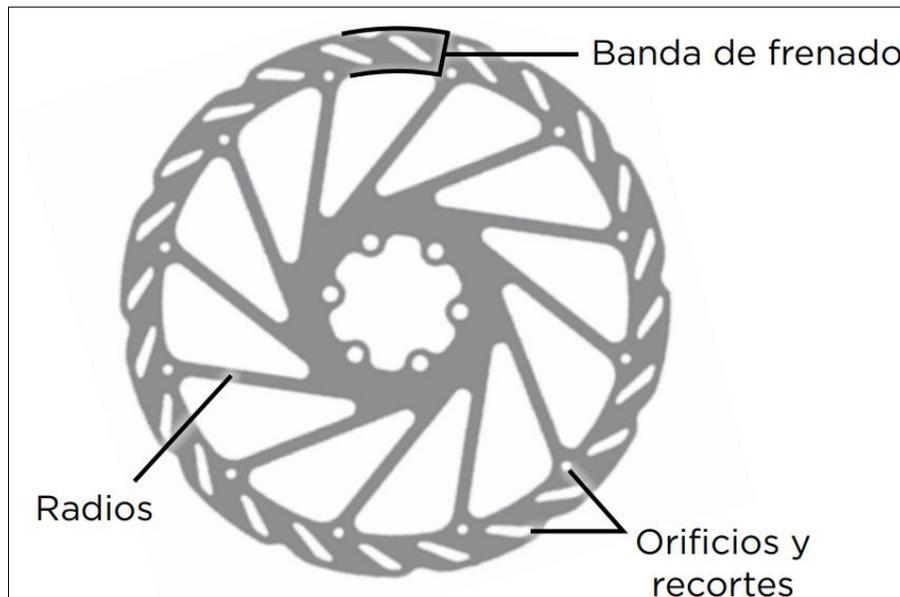


Figura 7-2: Disco de freno.

Fuente: SRAM. 2013

Los discos de freno se pueden encontrar en diferente tamaño y material, haciendo que el peso también varíe un disco del otro. Como también se los puede encontrar por el tipo de pastilla de freno que se utiliza:

Tabla 2-2: Características del disco de freno.

Diámetro de disco	Material	Peso aproximado	Tipo de pastilla
160 mm	Acero de gran resistencia	130 gramos	Resina
180 mm	Acero de gran resistencia	150 gramos	Resina
203 mm	Acero y aluminio	200 gramos	Resina/Metálica

Realizado por: Paredes, J. 2021

2.2.5.5 Latiguillo de freno

Latiguillo de freno o llamado también “*cañería de freno*”, es por donde circula el fluido hidráulico desde el cilindro maestro hacia la mordaza de freno, no debe existir fuga de fluido o a su vez ingresar aire en el sistema en ningún punto de anclaje ya que al ocurrir esto, se perdería la presión del líquido hidráulico como también existiría pérdida de frenado. Las burbujas de aire en el interior afectan directamente en el rendimiento de sistema de freno hidráulico. (Figura 8-2)

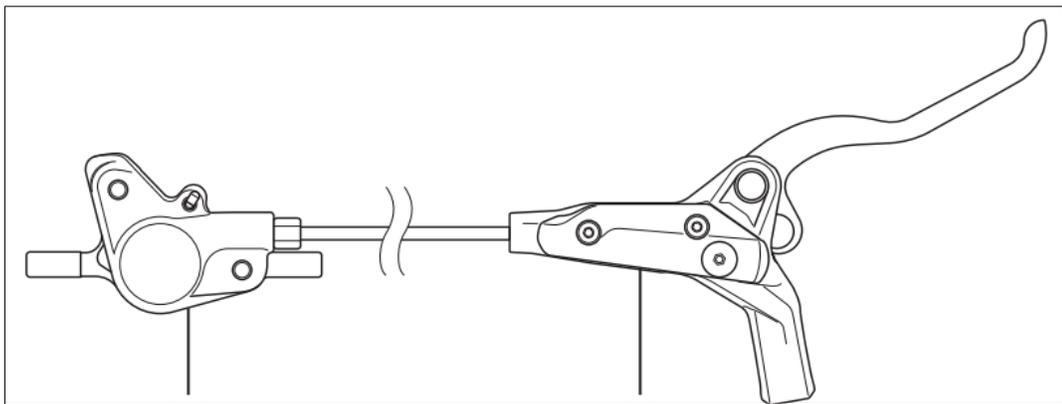


Figura 8-2: Latiguillo de freno.

Fuente: Shimano. 2012

2.2.6 Factores que intervienen en un freno de disco hidráulico.

El sistema de freno hidráulico está compuesto por varios elementos que permitan una funcionalidad óptima al frenar el vehículo, entre ellos tenemos:

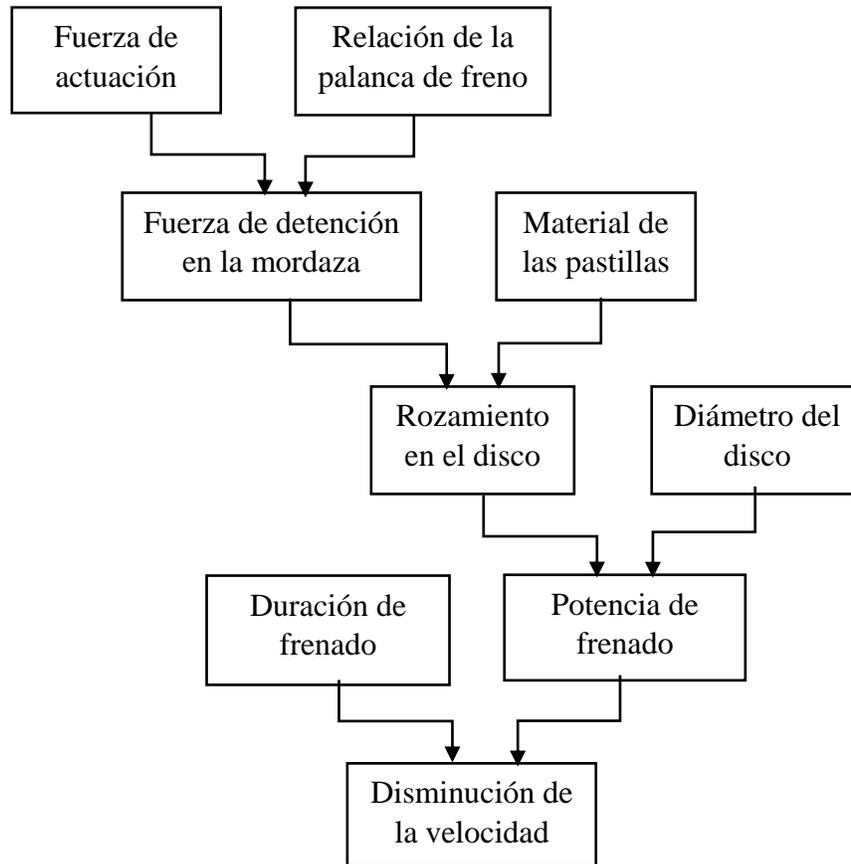


Gráfico 1-2: Factores que intervienen en el frenado.

Realizado por: Paredes, J. 2021

Todos estos factores intervienen en el rendimiento del sistema de freno, por lo que se debe tomar en cuenta al momento de incorporar en el prototipo eléctrico monoplaza.

2.2.6.1 Relación de la palanca de freno.

La relación de la palanca de freno es uno de los factores que permite generar mayor potencia de frenado. El diseño en conjunto con la palanca de freno y el cilindro maestro implica una unión entre estos dos elementos denominándolo punto pivote, existe también la unión donde se conecta el embolo del pistón maestro para conectarlo con el cilindro.

La relación de la palanca hace referencia a la fuerza ejercida sobre la palanca de freno a la cual se amplifica durante todo el sistema dependiendo del tamaño de la palanca, utilizando al punto pivote como base de la relación.

La relación de palanca puede variar a medida que se va accionando el freno, entre ellas tenemos:

- Creciente, la relación de la palanca incrementa durante el recorrido de la maneta de freno.
- Lineal, la relación de la palanca es la misma durante el recorrido de la maneta de freno.
- Decreciente, la relación de la palanca disminuye durante el recorrido de la maneta de freno.

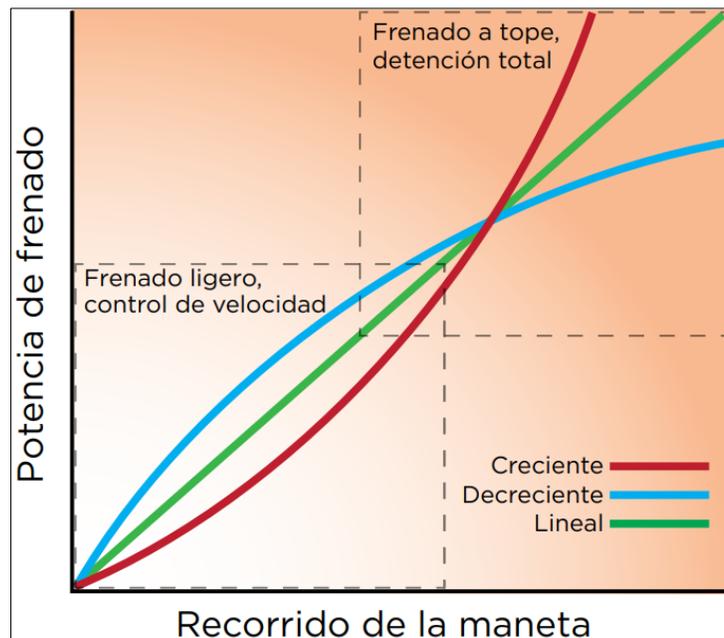


Gráfico 2-2: Relación de palanca.

Fuente: SRAM. 2013

2.2.6.2 Relación de pistón.

La relación entre pistones ocurre algo similar con la relación de palanca de freno, determinando el diámetro del pistón que se encuentra en el interior de la mordaza de cada lado y el pistón que se encuentra en el cilindro maestro. (Figura 9-2)

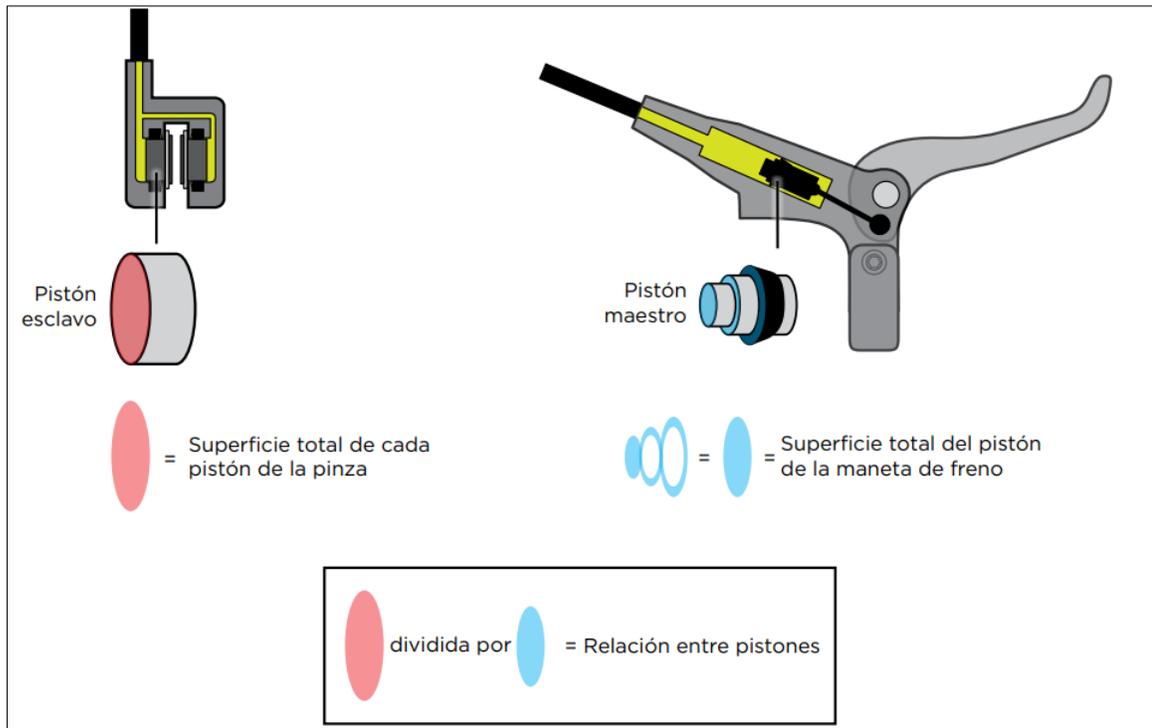


Figura 9-2: Relación del pistón.

Fuente: SRAM. 2013

2.2.6.3 Fatiga de frenado.

Denominamos fatiga a la pérdida de potencia de frenado mientras este se lo usa. La fatiga en los frenos hidráulicos puede darse por fricción y vaporización.

- Fatiga por fricción, se genera directamente por los elementos que están en contacto como son las pastillas de freno y el disco. Esto se debe al material que se utiliza en las pastillas como también de la temperatura que existe en el disco de freno. Se puede evidenciar en la fuerza

que el conductor aplica sobre la palanca de freno ya que debe presionar con mayor intensidad para detener el vehículo.

- Fatiga por vaporización, esto ocurre principalmente en el fluido hidráulico, sabiendo que en la mordaza de freno se genera fricción y por ende aumenta la temperatura lo que hace que la presión en el fluido disminuya, formando pequeñas burbujas de aire en el interior del sistema lo cual impide que la presión de frenado sea eficaz.

Los sistemas de freno hidráulicos, aunque son diseñados para los requerimientos y prestaciones de los usuarios, existe también sus limitaciones. Debido a la utilización constante y al desgaste que esto produce en los elementos hace que presenten dificultades al momento de detener el vehículo.

2.3 Marco Legal

En este anexo se adjunta las normativas legales del proyecto en las cuales instituciones, fabricantes u otros establecen, con el propósito de que el proyecto ese encuentre estandarizado y pueda incluirse posteriormente.

El diseño y construcción de un sistema de freno hidráulico de pedales para un prototipo eléctrico monoplaza no establece específicamente una normativa legal, sin embargo, en la competencia Shell Eco Marathon encontramos en un apartado de reglamentos establecidos que los competidores deben cumplir para participar en este evento.

El prototipo eléctrico monoplaza construido en la Carrera de Ingeniería Automotriz, no tiene como finalidad participar en el presente en la competencia debido a que no se encuentra completamente finalizado para participar. A pesar de aquello no se descarta la participación en un futuro del prototipo en construcción en la competencia Shell Eco Marathon.

Tomaremos en cuenta la normativa estipulada por la competencia para el diseño y construcción del sistema de frenos hidráulicos de pedal para el prototipo eléctrico monoplaza.

2.3.1 Normativa de competencia Shell Eco Marathon 2021

Para el diseño y construcción del sistema de freno hidráulico que estará implementado en el prototipo eléctrico monoplaça, tomaremos en cuenta la normativa establecida en la competencia Shell Eco Marathon actualizada es decir 2021.

En la competencia Shell Eco Marathon se aplica una normativa a las que los prototipos deben regirse, para el sistema de freno en los prototipos monoplaças tenemos lo siguiente:

- Los prototipos deben ser necesariamente hidráulicos y accionados en dos diferentes sistemas uno para el eje frontal del vehículo y otro para el eje posterior, el frenado no debe ejecutarse sobre las ruedas ni aros de los neumáticos.
- Necesariamente el accionamiento del frenado para el eje delantero debe ser realizado por medio del pie y para el eje posterior se puede utilizar una palanca anclada al volante o como también puede ser accionado mediante el pie.
- Debe existir máximo dos cilindros maestros para cada eje, y en un circuito único para las ruedas delanteras proporcionando de igual manera el fluido tanto para la rueda izquierda como derecha del prototipo.
- Los dos sistemas de freno para los ejes frontal y posterior deben ser accionados en simultaneo sin retirar las manos del volante de dirección.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS.

3.1 Diagrama de etapas del proyecto

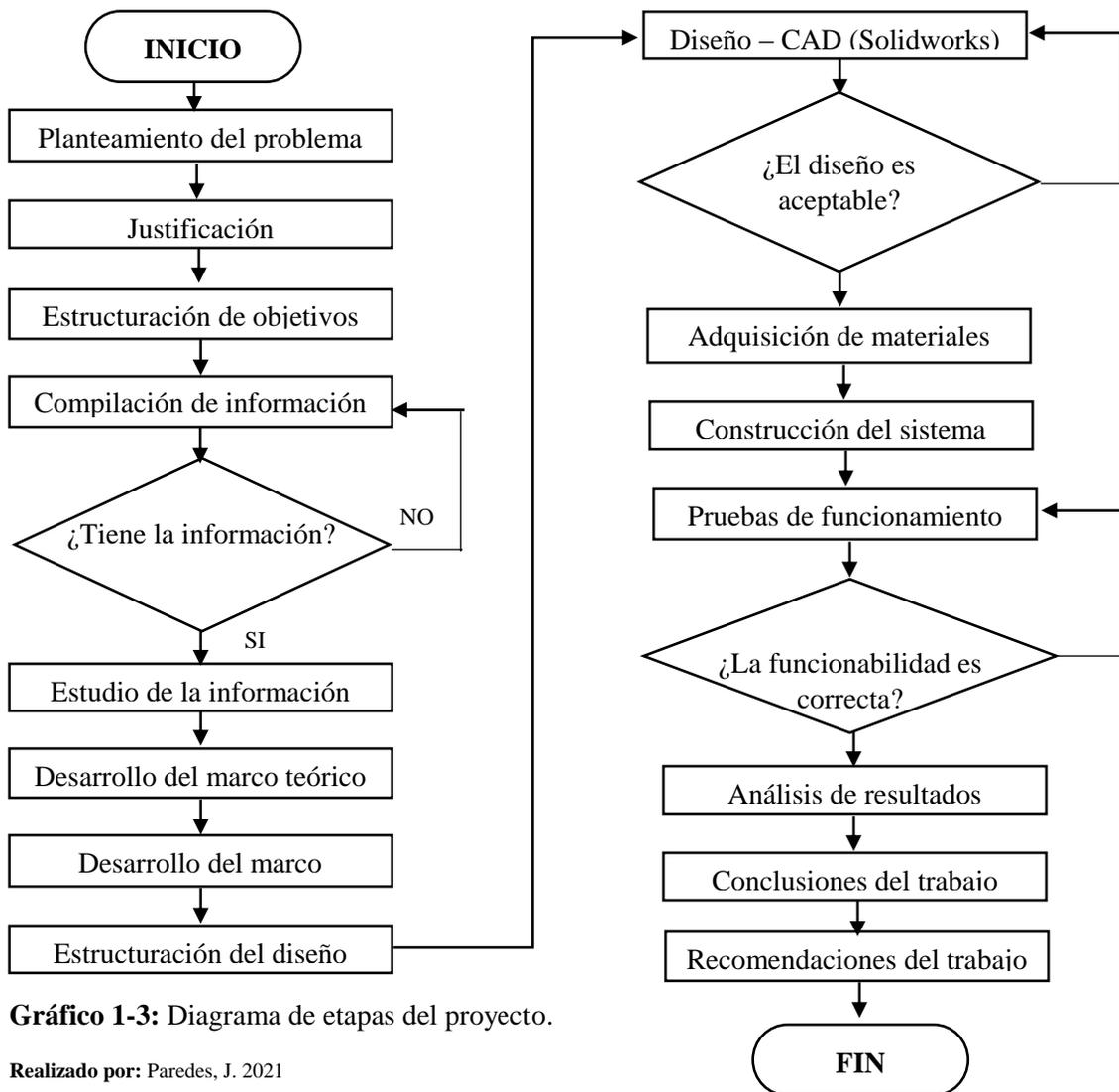


Gráfico 1-3: Diagrama de etapas del proyecto.

Realizado por: Paredes, J. 2021

3.2 Metodología de investigación a realizar

Tabla 1-3: Metodología de investigación.

Objetivos	Preguntas	Metodología	Técnicas	Herramientas
OE1: Realizar la investigación bibliográfica, revisión de la documentación y selección de información que aporte en el conocimiento con respecto al área del sistema de freno hidráulico que ayude a clarificar las ideas y permitan desarrollar adecuadamente el proyecto.	P1: ¿Que es el sistema de freno y su finalidad en los vehículos? P2: ¿Qué tipos de sistema de frenos existe en el vehículo? P3: ¿Funcionalidad del sistema de freno?	Investigación bibliográfica mediante el método deductivo	- Recopilación de información	- Trabajos de titulación desarrollados - Artículos científicos - Libros digitales
OE2: Realizar el diseño de sistema de freno mediante un software que permita modelar cada componente. Ejecutar la simulación del sistema de freno con la finalidad de analizar el comportamiento al estar sometido a las cargas y esfuerzos en su accionamiento.	P1: ¿El diseño propuesto será óptimo para incorporar en el prototipo? P2: ¿ Que software brinda mayor factibilidad al realizar el diseño y simulación?	Diseño y simulación del sistema de freno con ayuda de software CAD mediante el método analítico sintético	- Utilización de softwares de diseño y simulación - Recopilación de medidas	- Computador - Softwares CAD (Solidworks) y CAE (Ansys) - Herramientas de medida.
OE3. Realizar la construcción del sistema, analizar la distribución de los componentes del sistema de frenado por el prototipo, ubicar adecuadamente las mangueras y los mandos de accionamiento de freno proporcionando mayor comodidad y que su accionamiento sea sencillo.	P1: ¿La instalación del sistema de freno evita el daño en sus componentes? P2: ¿La facilidad de accionamiento del sistema de freno delantero y posterior es adecuado?	Adecuación del sistema en el prototipo eléctrico monoplaza mediante método de estudio analítico.	- Mediante bosquejo de la adecuación del sistema de freno. - Verificación en programas CAD de la incorporación en el prototipo.	- Componentes del sistema de freno. - Herramientas mecánicas. - Plataformas de diseño.
OE4: Realizar pruebas y verificación del funcionamiento del sistema de	P1: ¿El sistema de frenos cumple con los requerimientos	En la verificación del funcionamiento	- Recolección de medidas	- Plataforma con una

freno, con ayuda del procedimiento técnico que se realiza en la competencia Shell Eco Marathon para la comprobación del correcto funcionamiento del sistema instalado en el prototipo.	en la prueba técnica de la competencia? P2: ¿El sistema de frenos brinda seguridad en el manejo del prototipo?	se aplica el método de estudio analítico.	- Mediante la prueba técnica aplicada en la competencia Shell Eco Marathon.	pendiente del 20%.
--	---	---	---	--------------------

Realizado por: Paredes, J. 2021

3.3 Desarrollo del proyecto.

3.3.1 Cronograma (Planificación de actividades)

Tabla 2-3: Planificación de actividades.

Actividades	Mayo			Junio				Julio				Agosto				Septiembre			
	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1			
Investigación bibliográfica																			
Recopilación de información																			
Investigación del funcionamiento del sistema																			
Realización de documento escrito (Marco teórico)																			
Estudio de implementación del sistema de freno en el prototipo																			
Análisis de las características del sistema de freno hidráulico																			
Estudio de los requerimientos del prototipo para el sistema de freno																			
Selección de los materiales																			
Cotización y adquisición de materiales																			
Diseño de los componentes del sistema																			
Análisis de cargas y esfuerzos mediante softwares																			
Construcción del sistema de freno hidráulico																			
Instalación del sistema de freno en el prototipo																			
Prueba y verificación del funcionamiento d																			
Validación de resultados																			
Presentación final																			

Realizado por: Paredes, J. 2021

3.3.2 Recursos y materiales

3.3.2.1 Presupuesto

Tabla 3-3: Costos indirectos.

Materiales	Cantidad	Unidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Kit de freno Hayes Stroker	2	-	200	400
Mordaza de freno Hayes Stroker (4 pistones)	1	-	100	100
Disco de freno	3	-	20	60
Manguera de freno	3	Metro	20	60
Adaptador de mordaza	3	-	15	45
Conjunto de ruedas	3	-	130	390
Pastillas de freno	3	-	20	60
Líquido de freno	2	Litro	30	60
Acoples	2	-	20	40
Elementos varios	-	-	60	60
Asesoría profesional	-	-	150	150
Total	-	-	-	1435

Realizado por: Paredes, J. 2021

Tabla 4-3: Costos directos.

Materiales	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo Total (\$)
Transporte	-	-	60
Hospedaje	-	-	80
Imprevistos	-	-	50
Alimentación	-	-	100
Impresiones de los documentos	-	-	70
Gastos varios	-	-	60
Total	-	-	420

Realizado por: Paredes, J. 2021

Tabla 5-3: Costo total.

Costos	Costo total (\$)
Costos directos	1555
Costos indirectos	420
Total de costos	1855

Realizado por: Paredes, J. 2021

3.3.3 Desarrollo del proyecto

3.3.3.1 Bosquejo

El bosquejo del sistema de freno a implantar se basa en la forma de accionamiento en este caso será de peda para los dos ejes. (Figura 1-3)

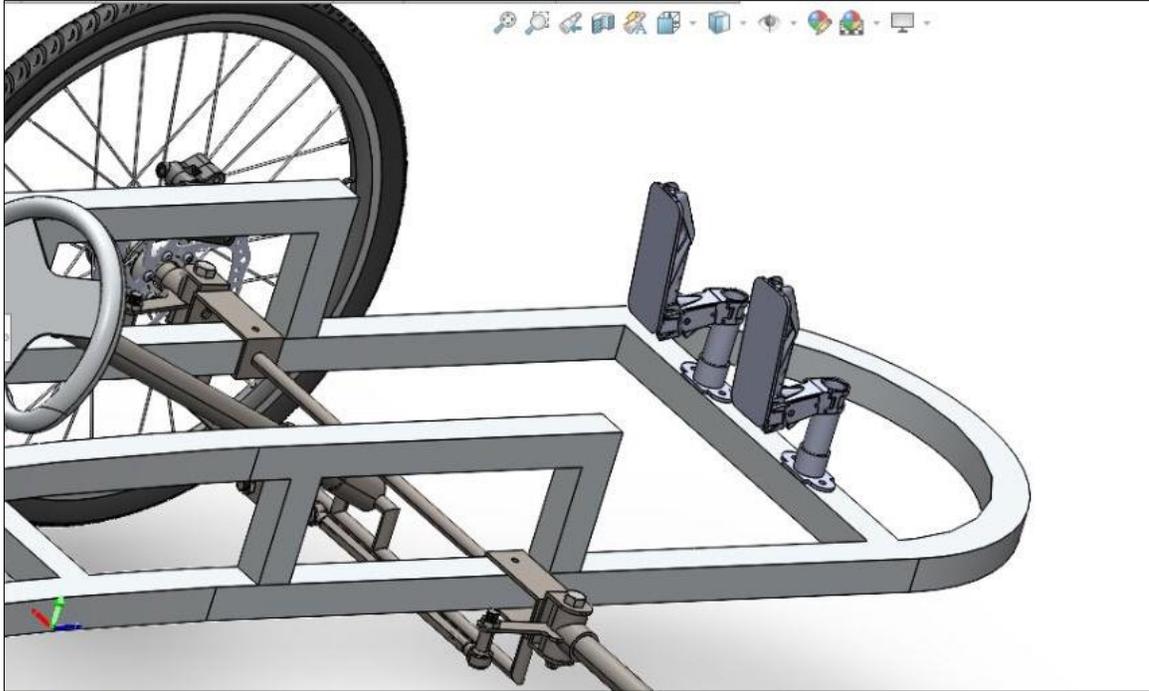


Figura 1-3: Bosquejo.

Realizado por: Paredes, J. 2021

3.3.3.2 Selección de materiales

En la selección de materiales nos permite elegir correctamente los elementos que componen el sistema de freno hidráulico para nuestro prototipo eléctrico monoplaza.

Se debe realizar cálculos previos a la adquisición y selección de los materiales, con la finalidad de conocer las prestaciones que presenta el prototipo. Para determinar la fuerza de frenado que el prototipo debe tener para detenerse, se lo realiza en base a la prueba técnica de la competencia Shell Eco Marathon que consiste en subir el prototipo conjuntamente con el piloto en una plataforma con pendiente del 20%, (Figura 2-3), y realizar la acción de frenado del sistema delantero como también del sistema de freno posterior individualmente, verificando que el prototipo permanezca estático y no descienda de la ranfla, esto se lo realiza para determinar el correcto funcionamiento del sistema de frenado en el prototipo. (CHAMBA OCHOA, y otros, 2016)

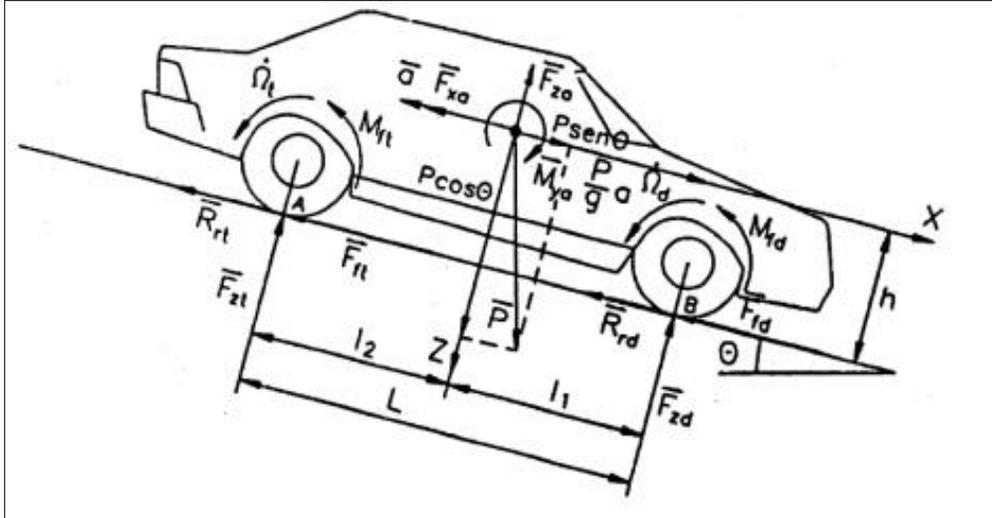


Figura 2-3: Fuerzas generadas en el frenado del vehículo.

Fuente: Albornoz, J. 2011

Para ello:

$$M_v = 60 \text{ Kg}$$

$$M_c = 73 \text{ Kg}$$

Donde:

M_v = Masa del vehículo

M_c = Masa del conductor

$$M_{total} = M_v + M_c$$

$$M_{total} = 60 \text{ Kg} + 73 \text{ Kg}$$

$$M_{total} = 133 \text{ Kg}$$

Para obtener la fuerza de frenado que debe ejercer en las ruedas en una pendiente de 20%, para mantener el prototipo en reposo: (Figura 3-3)

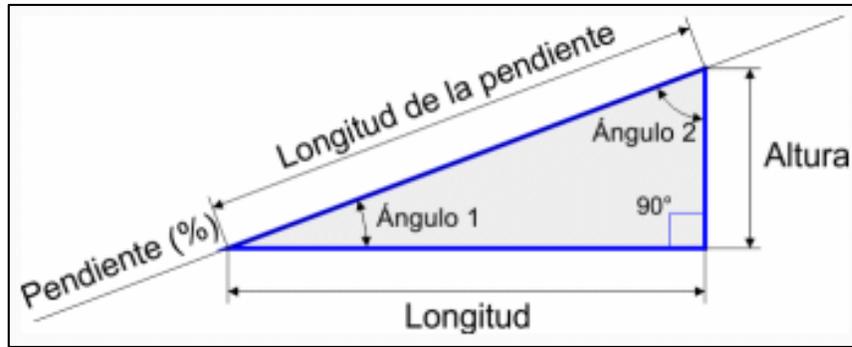


Figura 3-3: Prueba técnica, pendiente de 20%

Fuente: Calculartodo. 2010

$$Pendiente = 20\%$$

$$tang \theta = \frac{Altura}{Longitud}$$

$$Altura = 20 \text{ m}$$

$$\theta = tang^{-1} \frac{20 \text{ m}}{100 \text{ m}}$$

$$Longitud = 100 \text{ m}$$

$$\theta = 11,31^\circ$$

$$\Sigma F = m \cdot a$$

$$F_{frenado} = (133 \text{ kg}) \cdot (9,8 \text{ m/s}^2) \cdot (\text{sen } 11,31^\circ)$$

$$F_{frenado} = (133 \text{ kg}) \cdot (9,8 \text{ m/s}^2) \cdot (\text{sen } 11,31^\circ)$$

$$F_{frenado} = 255,619 \text{ N}$$

Obteniendo la fuerza de frenado que debe aplicarse a las ruedas del prototipo en una pendiente del 20% que se realiza como prueba técnica en la competencia.

Fuerza de frenado en pendiente del 20% = 255,619 N

Mediante la teoría del Principio de Pascal se puede conocer la fuerza que se debe ejercer en cada mordaza de freno para detener el movimiento de las ruedas.

Para ello se obtiene el diámetro del pistón del cilindro maestro como también el pistón de la mordaza de freno.

Diámetro del pistón del cilindro maestro = $\phi_1 = 7 \text{ mm}$

- Diámetro para la mordaza de dos pistones

Diámetro del pistón de la mordaza de freno = $\phi_2 = 25 \text{ mm}$

- Diámetro para la mordaza de cuatro pistones

Diámetro del pistón de la mordaza de freno = $\phi_3 = 17 \text{ mm}$ como existen dos pistones del mismo tamaño en la mordaza se tiene un diámetro total = $\phi_3 = 34 \text{ mm}$

$$A_1 = \frac{\pi * \phi_1^2}{4}$$

$$A_1 = \frac{\pi * (7 \text{ mm})^2}{4} = 38,485 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = \frac{\pi * \phi_2^2}{4}$$

$$A_2 = \frac{\pi * (25 \text{ mm})^2}{4} = 490,874 \text{ mm}^2$$

$$A_3 = \frac{\pi * \phi_3^2}{4}$$

$$A_3 = \frac{\pi * (34 \text{ mm})^2}{4} = 907,920 \text{ mm}^2$$

La relación entre los pistones es:

$$A_1 = \text{Area del pistón del cilindro maestro} = 38,485 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = \text{Area del pistón de la mordaza de freno (dos pistones)} = 490,874 \text{ mm}^2$$

$$A_3 = \text{Area del pistón de la mordaza de freno (cuatro pistones)} = 907,920 \text{ mm}^2$$

$$\text{Relación entre pistones} = \frac{A_2}{A_1}$$

$$\text{Relación entre pistones} = \frac{490,874 \text{ mm}^2}{38,485 \text{ mm}^2}$$

$$\text{Relación entre pistones} = 12,754$$

$$\text{Relación entre pistones} = \frac{A_3}{A_1}$$

$$\text{Relación entre pistones} = \frac{907,920 \text{ mm}^2}{38,485 \text{ mm}^2}$$

$$\text{Relación entre pistones} = 23,591$$

El valor de la fuerza que el conductor que va a ejercer sobre el pedal de freno se obtuvo los límites de aplicación de la fuerza de los trabajadores que se emplean en distintas condiciones mediante la norma EN 1005-3 que establece para realizar una actividad así mismo permite identificar situaciones de riesgo, como también el correcto uso de las maquinarias (DIEGO-MAS, 2019). El accionamiento del sistema es realizado manualmente en este caso por medio del pie producida por la fuerza en el tobillo debido al posicionamiento del piloto en el interior del prototipo y en su conducción, por lo que se seleccionó la fuerza de 250 N. (Gráfico 2-3)

Trabajo con el cuerpo completo de pie	Empujando		200 N	119 N
	Tirando		145 N	96 N
Trabajo con el pie sentado con apoyo del tronco	Acción de tobillo		250 N	154 N
	Acción de pierna		475 N	308 N

Gráfico 2-3: Fuerza ejercida por la acción del tobillo.

Fuente: Fuerzas - EN 1005-3. 2019

$$F_1 = 250 \text{ N}$$

Entonces:

$$F_2 = F_1 \left(\frac{A_2}{A_1} \right)$$

$$F_2 = 250 \text{ N} \left(\frac{490,874 \text{ mm}^2}{38,485 \text{ mm}^2} \right)$$

$$F_2 = 3188,736 \text{ N}$$

La fuerza de frenado que se genera en los pistones internos es de 3188,736 N, para mordazas de dos pistones.

$$F_3 = F_1 \left(\frac{A_3}{A_1} \right)$$

$$F_3 = 250 N \left(\frac{907,920 \text{ mm}^2}{38,485 \text{ mm}^2} \right)$$

$$F_3 = 5897,882 N$$

La fuerza de frenado que se genera en los pistones internos es de 5897,882 N, para mordazas de cuatro pistones.

El coeficiente de fricción es seleccionado por medio de la normativa INE 2185,2017 (NTE INEN 2185, 2017) ,que hace referencia al material de fricción en los frenos de los automotores. (Tabla 6-3)

Tabla 6-3: Código de clasificación de los materiales de fricción.

Letra del código	Coefficiente de fricción
C	$\mu \leq 0,15$
D	$0,15 < \mu \leq 0,25$
E	$0,25 < \mu \leq 0,35$
F	$0,35 < \mu \leq 0,45$
G	$0,45 < \mu \leq 0,55$
H	$\mu > 0,55$
Z	Sin clasificación

Fuente: INE 2185, 2017.

Se eligió la codificación con la letra E como coeficiente de fricción $\mu = 0,3$ que muestra un coeficiente de fricción estándar según la normativa.

$F_r =$ Fuerza de frenado

$\mu =$ Coeficiente de fricción

$$F_{f_1} = \mu * F_2 \text{ (mordaza 2 pistones)}$$

$$F_{f_2} = \mu * F_3 \text{ (mordaza 4 pistones)}$$

$$F_{f_1} = 0,3 * 3188,736 N$$

$$F_{f_2} = 0,3 * 5897,882 N$$

$$F_{f_1} = 956,601 N$$

$$F_{f_2} = 1769,365 N$$

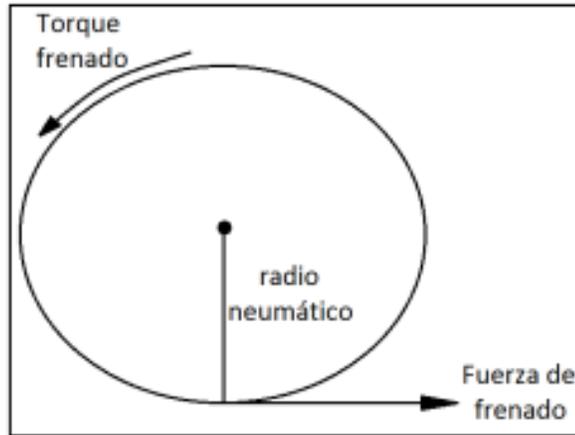


Figura 4-3: Torque de frenado

Fuente: Chamba, D. 2016

$T = \text{Torque de frenado}$

$r = \text{radio interno} = 0,08 \text{ m}$

$$T_1 = r * Ff_1$$

$$T_2 = r * Ff_2$$

$$T_1 = 0,08 \text{ m} * 956,601 \text{ N}$$

$$T_2 = 0,08 \text{ m} * 1769,365 \text{ N}$$

$$T_1 = 76,52 \text{ N}$$

$$T_2 = 141,549 \text{ N}$$

Para la fuerza de frenado de la mordaza:

$r = \text{radio de la rueda} = 20 \text{ in} = 0,508 \text{ m}$

$$Ff_{\text{mordaza delantera}} = \frac{T_1}{r_{\text{rueda}}}$$

$$Ff_{\text{mordaza delantera}} = \frac{76,52 \text{ N}}{0,508 \text{ m}}$$

$$Ff_{\text{mordaza delantera}} = 150,630 \text{ N}$$

- Como en la parte delantera tenemos una mordaza de freno (dos pistones) para cada rueda, entonces:

$$Ff_{mordazas\ delanteras} = 150,630\ N * 2 = 301,260\ N$$

La fuerza de frenado de las mordazas de dos pistones es 301,260 N siendo superior a la fuerza de frenado que se debe ejercer en la pendiente del 20% que es de 255,619 N, por lo que se puede asegurar que ejerciendo el frenado en las ruedas delanteras el vehículo permanecerá completamente estático.

$$Ff_{mordaza\ posterior} = \frac{T_1}{r_{rueda}}$$

$$Ff_{mordaza\ posterior} = \frac{141,549\ N}{0,508\ m}$$

$$Ff_{mordaza\ posterior} = 278,640\ N$$

- Como en la parte posterior tenemos una mordaza de freno (cuatro pistones) para una sola rueda, entonces:

$$Ff_{mordaza\ posterior} = 278,640\ N$$

La fuerza de frenado de la mordaza de cuatro pistones es 278,640 N siendo superior a la fuerza de frenado que se debe ejercer en la pendiente del 20% que es de 255,619 N, por lo que se puede asegurar que ejerciendo el frenado en la rueda posterior el vehículo permanecerá completamente estático. Lo que garantiza que en la revisión técnica que se realiza en la competencia para el sistema de freno individual del eje delantero y posterior va a superar satisfactoriamente.

Una vez asegurado que el sistema de freno hidráulico liviano que es utilizado comúnmente en las bicicletas va a responder favorablemente con las prestaciones del prototipo eléctrico monoplaza se puede seleccionar los elementos que componen el sistema de freno hidráulico:

➤ Freno de disco hidráulico.

La disposición de la palanca de freno ha sido un factor determinante para la selección del kit de freno, conociendo la distribución de la palanca de freno en conjunto con el cilindro maestro que puede encontrar en su distribución radial o lineal. (Figura 5-3)



Figura 5-3: Freno Hayes Stroker.

Realizado por: RCZ bike Shop. 2020

Los frenos seleccionados son los Hayes Stroker que es una de las marcas en la que presenta una configuración de palanca radial, donde incorpora el cilindro maestro perpendicularmente a la palanca de freno.

Se hizo la adquisición de dos kits de frenos Hayes Stroker delantero y posterior que básicamente se lo diferencia por la dimensión del latiguillo de freno. El kit de freno consta de la palanca, cilindro maestro de freno, latiguillos y mordaza de freno.

El peso del sistema de freno es de 281 gramos siendo el sistema de menor peso en comparación a los sistemas de freno utilizados en las motos que básicamente tienen el mismo principio, pero una gran diferencia entre sus pesos. (Figura 6-3)



Figura 6-3: Peso de kit de freno

Realizado por: Paredes, J. 2021

➤ Mordaza de freno.

La mordaza de freno que se implementó en el sistema de freno hidráulico para el prototipo, se utilizó para las ruedas delanteras mordazas con dos pistones, esto debido a que en la parte delantera existe dos lugares en los cuales se frenara el prototipo lo cual recompensa la fuerza de frenado en cada llanta.

Para la parte posterior únicamente se tiene un punto donde frenará el prototipo lo que exige que la fuerza de frenado en ese punto logre detener al vehículo monoplaza, lo cual se escogió para la rueda posterior una mordaza con cuatro pistones aumentando la fuerza de frenado con la finalidad de mantener una eficiente y segura respuesta en el freno. (Figura 7-3)



Figura 7-3: Mordaza de freno (cuatro pistones).

Realizado por: Paredes, J. 2021.

➤ Discos de freno

Evaluando los discos disponibles en el mercado se optó por adquirir el disco de freno Shimano SM-RT30 con diámetro de 160 mm, es uno de los elementos más utilizados en las bicicletas de ruta y montaña debido a su excepcional potencia de frenado en todas las condiciones de conducción y por su buena relación entre el peso y su capacidad de frenado. El sistema de acople entre el disco y las manzanas es “Center Lock” haciendo que la instalación sea de manera rápida y sencilla. facilitando la instalación de este elemento y ajustándose a los componentes del sistema de frenado y omitiendo incorporar acoples de mordaza que lo único que genera es aumentar el peso del sistema y del prototipo en sí. (Figura 8-3)



Figura 8-3: Disco de freno center lock de 160 mm.

Fuente: Daiscom. 2020

➤ Anclaje de mordaza de freno

El anclaje de mordaza de freno es una pieza existente en el mercado que se utiliza como soporte para colocar las mordazas de freno como también facilita incorporar discos de freno de mayor tamaño, se utilizan estos anclajes para aumentar la posición y así se ajuste al tamaño del disco. Se utilizó anclajes de 160 mm con respecto al disco que utilizamos, facilitando acoplar la mordaza de freno en cada una de las ruedas del prototipo. (Figura 9-3)



Figura 9-3: Anclaje de mordaza de freno.

Fuente: Argónbikes. 2021

3.3.3.3 *Concepto del diseño.*

El diseño preliminar para la estructura del pedal, frenos y mecanismo de actuación, se lo realizo mediante la herramienta CAD (Diseño asistido por computadora) específicamente en Solidworks, que es un software que ayuda al modelado mecánico de elementos ya sea en 2D y 3D.

Se consideraron tres aspectos importantes para la estructura del sistema de freno: el posicionamiento del pedal, la ubicación del cilindro maestro y el soporte donde irá sujeto el cilindro maestro. Tomando en cuenta la necesidad de implementar un sistema de freno individual tanto para las ruedas delanteras como para la rueda posterior, es decir existirá dos pedales para estos dos ejes del prototipo. Por lo que el dimensionamiento y colocación del sistema de freno debe ser preciso, ya que en un futuro se incorporará un acelerador lo cual se debe considerar el espacio necesario.

El posicionamiento del pedal y la manera de accionamiento abrió espacio a la ingeniería, ya que al no existir un elemento que permita acoplar de la palanca de freno de bicicleta a un pedal para su accionamiento. Se requirió necesariamente diseñar un pedal que pueda ajustarse correctamente con el cilindro maestro seleccionado, para posteriormente construirlo y maquinarlo con herramientas prácticas. Con ayuda de la palanca de freno existente en nuestro kit de freno se pudo tomar como base las dimensiones para que el ensamblaje del pedal conjuntamente con el cilindro ya que debe ser preciso y no entorpezca el funcionamiento. (Figura 10-3)



Figura 10-3: Diseño del pedal de freno.

Realizado por: Paredes, J. 2021

En segundo lugar, la ubicación del cilindro maestro se lo debe posicionar necesariamente de manera horizontal por la acción de la palanca de freno, como ya lo había mencionado anteriormente por su accionamiento radial. De esta manera se posiciona al cilindro maestro por detrás del pedal de freno de manera horizontal, el latiguillo de freno se encontrará en la parte inferior del cilindro maestro para dirigirse a las mordazas.

Por último, el diseño del soporte donde ira sujeta el cilindro maestro se debe realizar de tal manera que permita instalarse en el bastidor del prototipo y a su vez, su tamaño no implique complicaciones al momento de incorporar el acelerador. Comúnmente en las bicicletas el cilindro maestro del freno es acoplado a un volante de manera cilíndrica que está ubicado horizontalmente y ajustado por medio de unos pernos permitiendo controlar la ubicación del cilindro a conveniencia del conductor. En base a lo indicado se diseña un soporte de manera vertical que permita ubicar al cilindro maestro horizontalmente y a su vez permita controlar su ubicación. El soporte donde se incorpora el cilindro maestro en conjunto con el pedal de freno se diseñó con un diámetro de 22 cm similar a la dimensión que se utiliza en el volante de las bicicletas, con una distancia de 11 cm de alto, permitiendo ajustar la altura del pedal con un recorrido de 5 cm que a su vez evita posicionar al cilindro maestro por

debajo de la longitud indicada, ya que si se colocara en la parte inferior del soporte el latiguillo de freno o el cilindro maestro colisionarían con la base del prototipo. (Figura 11-3).

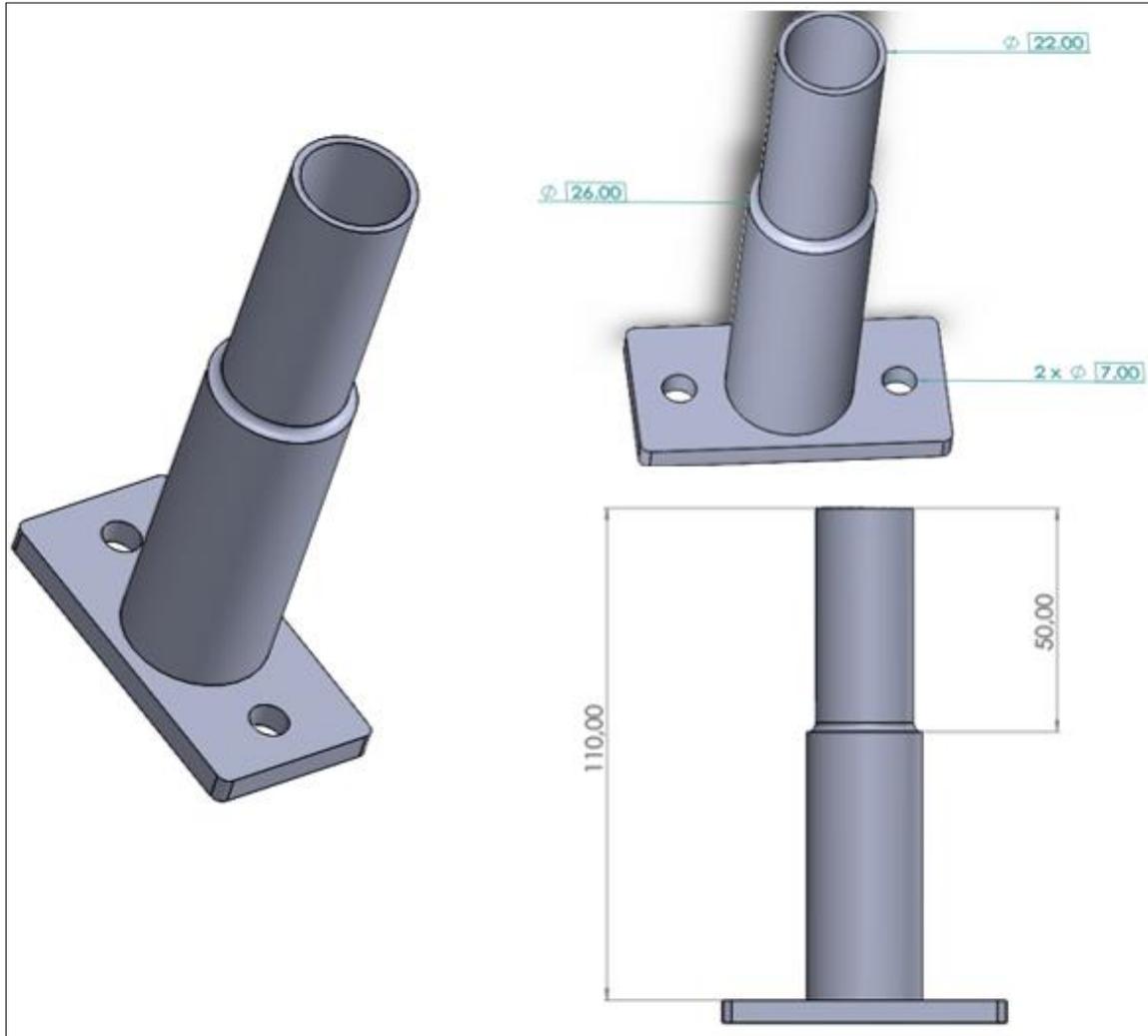


Figura 11-3: Diseño del soporte de freno.

Realizado por: Paredes, J. 2021

La instalación de las mordazas de freno en las ruedas del prototipo es un aspecto que hay que tenerlo en cuenta, sobre todo para acoplar a cada una de las mordazas de freno sin afectar el funcionamiento en el sistema de dirección y de los frenos en sí. El sistema de dirección está diseñada y construida por medio de una mangueta interna que permite el giro de las ruedas delanteras, en este caso para las

ruedas frontales debe diseñar un soporte que permita colocar el anclaje conjuntamente con la mordaza de freno (Figura 12-3). Al movilizar el volante el soporte debe girar al mismo tiempo que la rueda es por ello que la colocación del soporte debe ir en la mangueta permitiendo girar todos los elementos en conjunto. El diseño del soporte se lo realiza con la finalidad de instalar en el eje de la mangueta y evitar robustecer el sistema de dirección como también el sistema de freno. Se incorpora el soporte de 4 cm de alto y agujeros a 20° que ayude a posicionar al anclaje y la mordaza de freno de manera inclinada generando mayor superficie de frenado entre el disco y las pastillas de freno. (Figura 13-3).

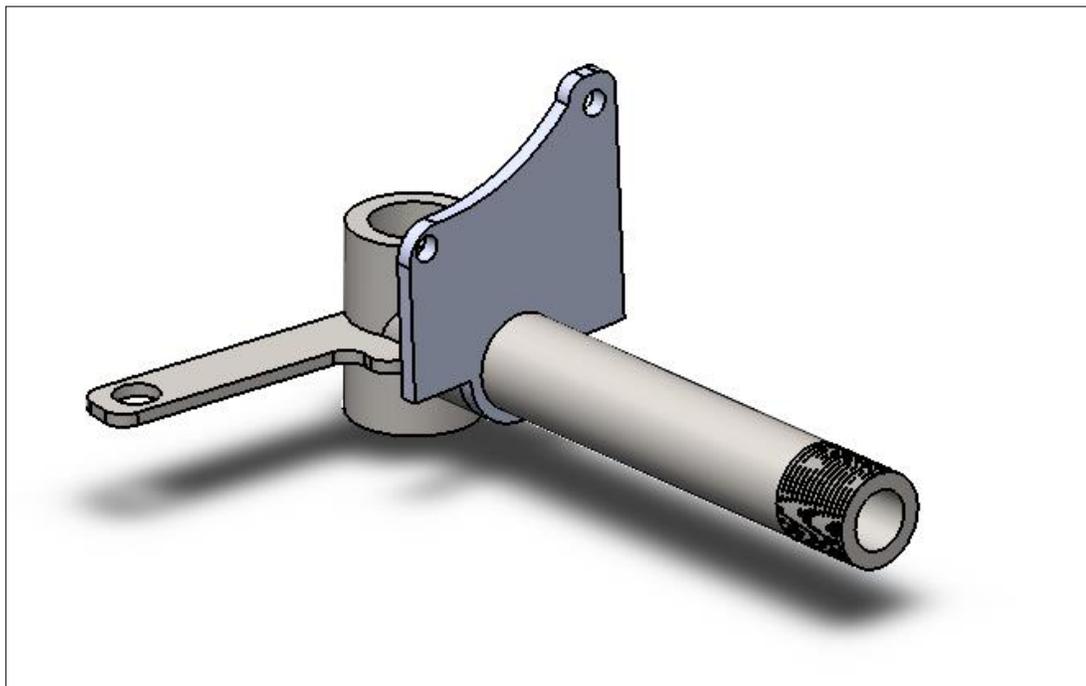


Figura 12-3: Diseño del soporte de mordaza delantera.

Realizado por: Paredes, J. 2021



Figura 13-3: Diseño del soporte de mordaza delantera junto a la rueda.

Realizado por: Paredes, J. 2021.

Para la rueda posterior del prototipo se debe diseñar un soporte que de igual manera sujete al adaptador para colocar la mordaza de freno, para este caso a diferencia de las ruedas delanteras donde el soporte va sujeto en la mangueta de dirección, el soporte para la rueda posterior debe ir colocado en el bastidor, por lo que se realiza un soporte tipo “L” empotrado en el bastidor del prototipo (Figura 14-3). La rueda posterior debe ir centrada en el eje, donde el soporte debe estar colocado a 7 cm del borde del bastidor y 4 cm de altura logrando posicionar al disco de freno en medio de la mordaza. (Figura 15-3).

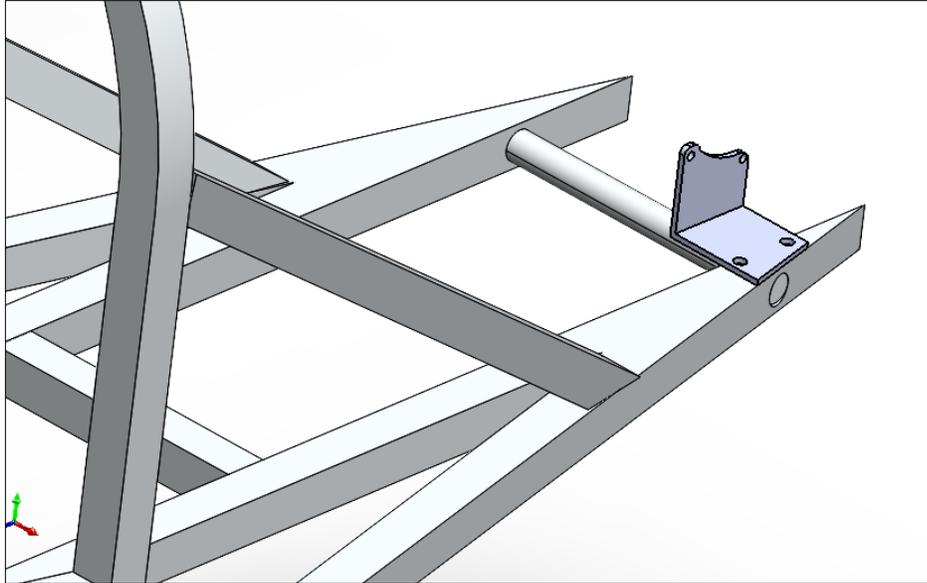


Figura 14-3: Diseño del soporte de mordaza posterior.

Realizado por: Paredes, J. 2021

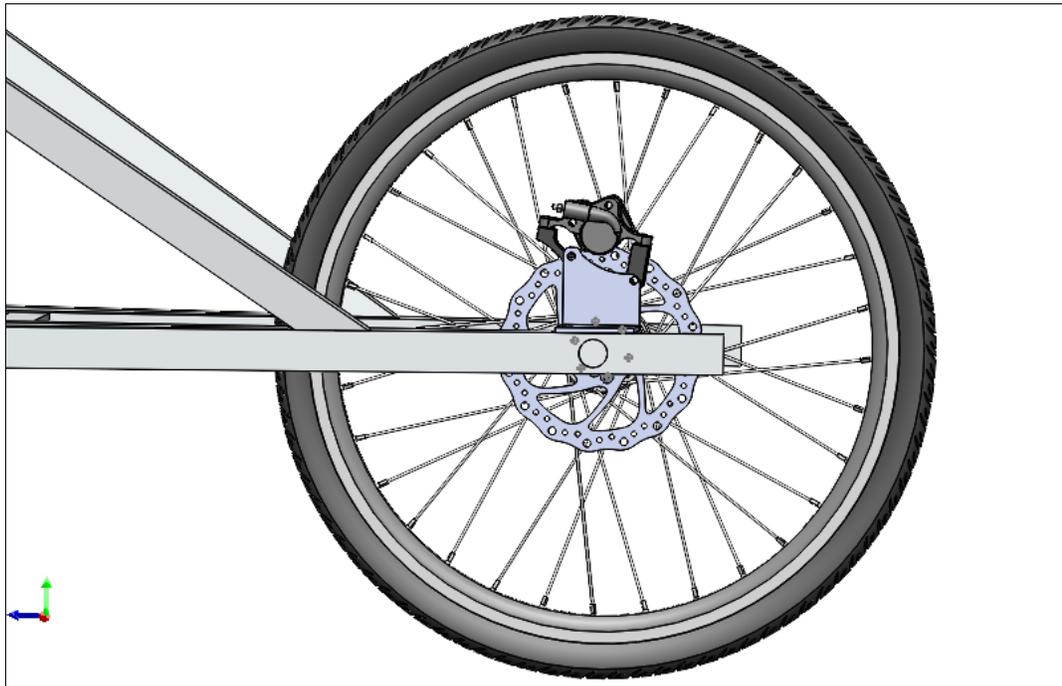


Figura 15-3: Diseño del soporte de mordaza posterior junto a la rueda.

Realizado por: Paredes, J. 2021

3.3.3.4 Diseño final.

El conjunto de accionamiento del sistema de freno se compone del pedal, cilindro maestro y el soporte donde está sujeto el cilindro maestro. El mismo concepto se utiliza para el sistema de freno delantero y posterior. (Figura 16-3).

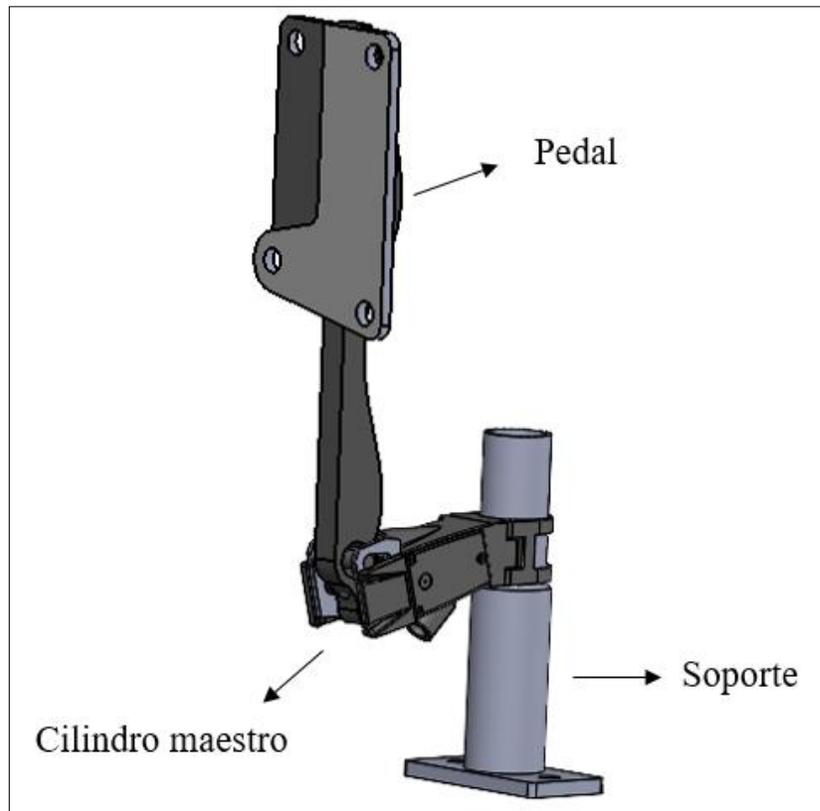


Figura 16-3: Conjunto de accionamiento.

Realizado por: Paredes, J. 2021

El soporte estará anclado a la base del bastidor del prototipo mediante pernos que permitirá fijar de manera más fácil y segura. Del mismo modo el cilindro maestro se asegurará al soporte de manera similar a como se asegura en un volante de bicicleta, evitando que se desplace al momento de frenar. El pedal se acoplará al cilindro maestro conectado directamente en el pistón del mismo. En el accionamiento del sistema de freno, el pie del conductor presionará el pedal de freno hacia la parte frontal del automóvil, desplazando consigo al pistón del cilindro maestro. Este desplazamiento del

pistón del cilindro maestro permite la activación de las mordazas de freno permitiendo que cierren las pastillas hacia el disco de freno y poder reducir y detener las ruedas del prototipo.

Con este diseño se puede ajustar la altura del pedal y cilindro maestro con respecto al soporte, y a su vez el ángulo del pedal en relación al cilindro maestro. Todo esto en beneficio del conductor para que la conducción sea mucho más cómoda.

Teniendo en cuenta que el prototipo consta de dos sistemas de freno tanto para el eje frontal como posterior, en el eje delantero se tiene dos ruedas por las que deben instalarse una mordaza de freno para cada una de ellas y ser accionadas desde un solo mando, se ha diseñado un acople que permita controlar la velocidad de las dos ruedas mediante un solo pedal. Un acople en forma de “T” que permita distribuir el fluido desde el pedal hacia las mordazas, sin que exista fuga de líquido o pérdida de presión. (Figura 17-3).



Figura 17-3: Sistema de freno para el eje frontal.

Realizado por: Paredes, J. 2021

El sistema de freno para el eje posterior del prototipo se lo realiza para una sola rueda donde solo existirá una mordaza de freno que será accionado por el pedal.

El diseño final del prototipo en conjunto con el sistema de freno permite evidenciar dimensión y colocación de cada uno de los componentes, evitando futuras complicaciones al incorporar el sistema de freno hidráulico en el prototipo y para posteriormente construir y ensamblar adecuadamente. (Figura 18-3).

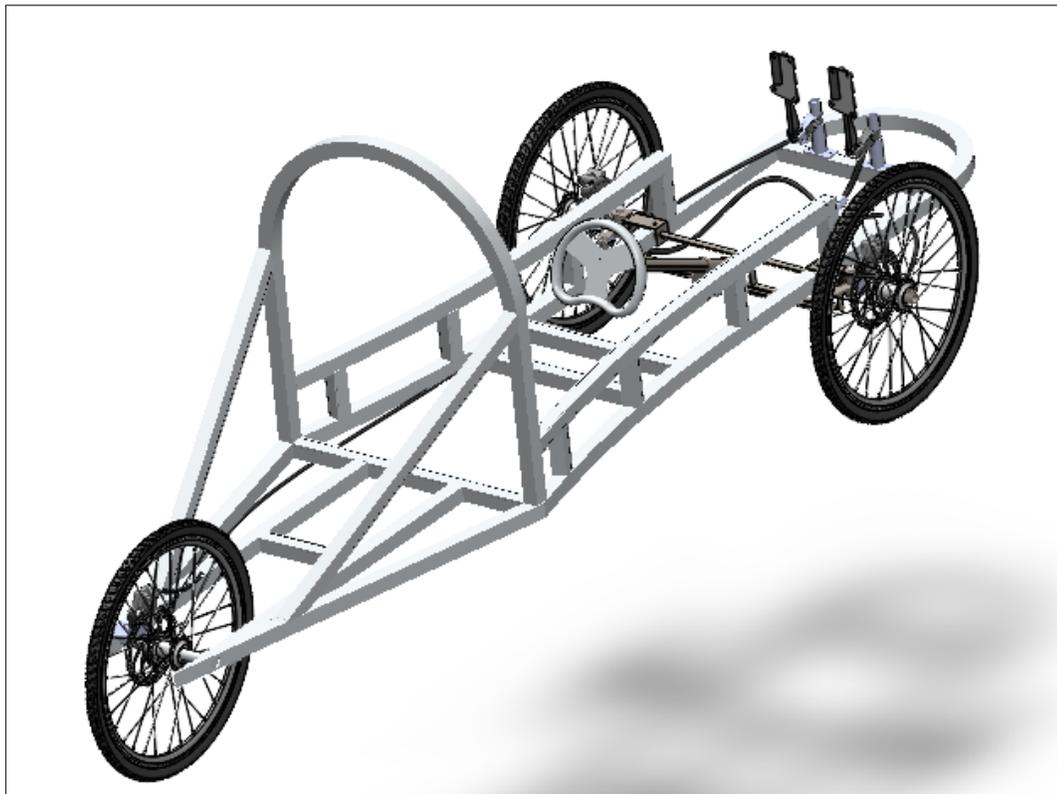


Figura 18-3: Ensamble final del sistema de freno.

Realizado por: Paredes, J. 2021

3.3.3.5 Construcción y ensamble del sistema de freno.

La construcción de los elementos que componen el sistema de freno se realiza con respecto a los diseños realizados previamente.

En la construcción del soporte donde ira colocado el cilindro maestro y el pedal de freno se realiza con las medidas establecidas previamente en el diseño del elemento, logrando que se acople correctamente con el bastidor del prototipo, utilizando pernos de $\frac{1}{4}$ in, permite fijar al soporte de tal manera que no se desplace o sea inseguro su colocación. El material con el que se realizó la construcción del soporte es de acero de transmisión debido a que debe soportar la fuerza ejercida en el pedal. (Figura 19-3)

Se realiza una perforación por toda la pieza, con el objetivo de reducir en su mayoría el peso del elemento, dando como resultado un valor de 280 gramos. (Figura 20-3)



Figura 19-3: Soporte de freno.

Realizado por: Paredes, J. 2021



Figura 20-3: Peso del soporte de freno.

Realizado por: Paredes, J. 2021

En la construcción del pedal de freno, se realizó con material de aluminio similar a la palanca de freno que se utiliza en las motocicletas. El aluminio es un material sumamente ligero y que nos ayuda a reducir el peso del pedal y no sobrecargar al cilindro maestro con un material que incremente su peso, es importante destacar que los agujeros donde irá acoplado el cilindro maestro deben coincidir perfectamente con los agujeros del pedal, caso contrario por geometría se dificultaría ensamblar estos dos elementos. Se realiza una superficie rectangular (5,5 x 9,5 cm) con la finalidad de aumentar el área de contacto del pie y el pedal similar a los pedales existentes en los vehículos. (Figura 21-3).

El pedal del freno tiene un peso total de 126 gramos que es sumamente ligero, esto se consigue al trabajar con material de aluminio que es una de sus mayores ventajas, sin embargo, requiere una solda especial para la unión de estos elementos en este caso se utilizó soldadura de gas inerte de tungsteno (solda TIG). Es importante destacar que el material de aluminio solamente puede soldarse con otro elemento que sea de su misma aleación caso contrario la unión de dos piezas de distinto material no se completaría con éxito. (Figura 22-3).



Figura 21-3: Construcción del pedal de freno.

Realizado por: Paredes, J. 2021



Figura 22-3: Peso del pedal de freno.

Realizado por: Paredes, J. 2021

Es necesario implementar un acople que permita distribuir el fluido hidráulico hacia las dos mordazas de las ruedas delanteras. En el mercado no se encuentra un acople que encaje perfectamente con los diámetros de los latiguillos de freno que es de 0,5 cm de diámetro, por lo que se debe fabricar este elemento. Se realiza una entrada donde el latiguillo de freno conectará el cilindro maestro y permita bidireccional el fluido hacia las mordazas de freno de las ruedas frontales. En el latiguillo se debe conectar una aguja “Oliva” que permite sellar y evitar derrame de líquido, todo esto en conjunto con la pieza que permita enroscar el latiguillo de freno con el acople en “T”. (Figura 23-3).



Figura 23-3: Acople tipo “T”

Realizado por: Paredes, J. 2021

En base al diseño y los aspectos mencionados anteriormente hay que tomarlos en cuenta para la construcción y colocación del soporte donde irá sujeto la mordaza de freno, se realiza un soporte mediante una placa de acero que permita sostener al anclaje y mordaza de freno, todo esto es soldado en conjunto con la mangueta del sistema de dirección, como ya lo habíamos mencionado en el diseño estos soportes que deben girar en conjunto con la mangueta. La placa de 3 mm de espesor con agujeros a 20° que permitan inclinar a la mordaza de freno y precisar con la altura del disco de freno con el ya seleccionado que es de 160 mm de diámetro.

La placa es de material de acero al igual que la mangueta de dirección en la parte frontal del prototipo permitiendo la unión de estos dos elementos, del mismo nos asegura que al momento de realizar la acción de frenado resista la fuerza que se genera en el instante de oponerse al movimiento de las ruedas. (Figura 24-3).



Figura 24-3: Soporte para las mordazas de freno delanteras.

Realizado por: Paredes, J. 2021

Tanto para las mordazas de las ruedas delanteras como para la rueda posterior se utiliza el mismo material que es el acero con el mismo espesor de 3 cm, a excepción de que el soporte del eje posterior va anclado mediante pernos de $\frac{1}{4}$ in en el bastidor del prototipo por lo mencionado anteriormente que no es posible soldar elementos de distinto material. (Figura 25-3).



Figura 25-3: Soporte para la mordaza de freno posterior.

Realizado por: Paredes, J. 2021

Para el ensamble del sistema de freno hidráulico de pedal tanto para el eje delantero y así también para el eje posterior se coloca el cilindro maestro en el soporte, con ayuda de una llave hexagonal de 4 mm, se ajusta de manera similar como se coloca en el volante de bicicleta, para nuestro caso se coloca el cilindro maestro de manera perpendicular al soporte y el latiguillo de freno en la parte inferior del cilindro. (Figura 26-3).



Figura 26-3: Ensamble del soporte y cilindro maestro.

Realizado por: Paredes, J. 2021

Para colocar el pedal de freno en el cilindro maestro se lo instala directamente en el embolo con una rosca que permita ajustar el alcance del pedal de freno, y para fijar al pedal se lo realiza con un perno pivote a la parte inferior del cilindro maestro.

El ensamble del conjunto que componen el soporte, cilindro maestro y pedal de freno permiten el accionamiento del sistema de freno hidráulico por lo que hay que realizarlo correctamente al igual que el ajuste de los pernos. (Figura 27-3).



Figura 27-3: Ensamble del accionamiento del sistema de freno.

Realizado por: Paredes, J. 2021

El sistema de freno hidráulico de pedales para el eje frontal y posterior se lo revisa minuciosamente previo a su instalación en el prototipo. Por lo que se verifica el dimensionamiento de los latiguillos de freno, cortando para posicionar adecuadamente en el prototipo y posteriormente purgar el sistema de freno hidráulico. (Figura 28-3).

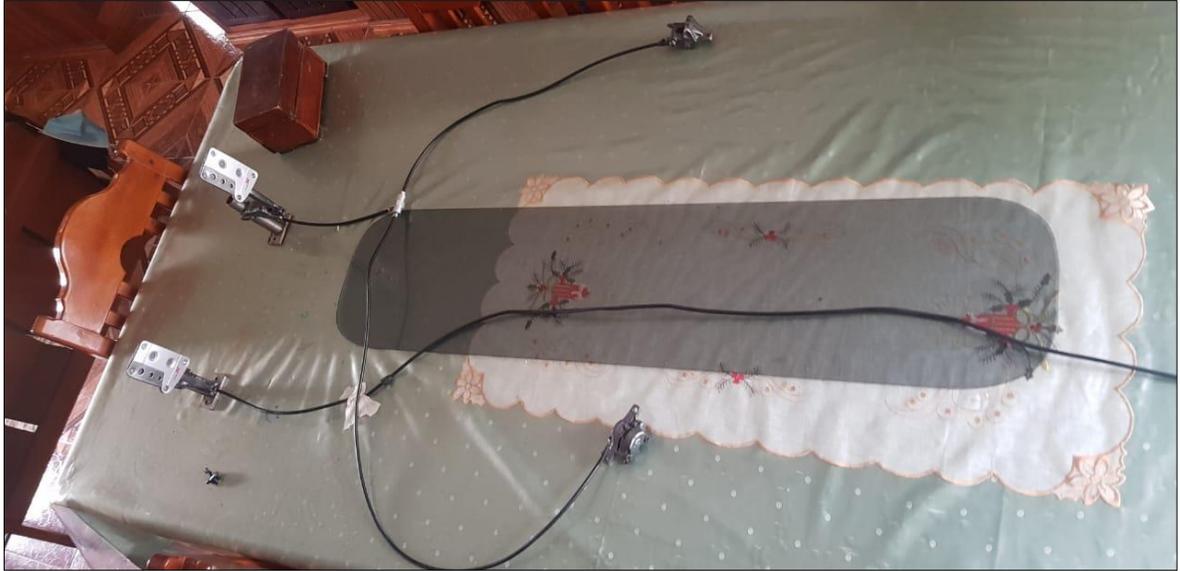


Figura 28-3: Sistema de freno hidráulico de pedales.

Realizado por: Paredes, J. 2021

Una vez verificado la dimensión de los latiguillos se realiza el purgado del sistema ya que el aire que se encuentra en el interior del sistema de freno hidráulico puede perjudicar el rendimiento del sistema, por lo que debe “purgar” y cargar con líquido de freno todo el sistema.

Para purgar el sistema de freno se utiliza líquido DOT 3 o DOT 4. Al llenarse con otro tipo de fluido hidráulico puede hacer que se deterioren las piezas de caucho y repercute en la fuerza de frenado.

El purgado se lo realiza principalmente colocando el tapón del depósito que se encuentra ubicado en el cilindro maestro de manera perpendicular, para evitar que exista derrame de fluido, se procede a colocar un envase para retener el fluido. Desde la mordaza de freno se ingresa una jeringa por donde ingresaremos todo el líquido hidráulico DOT 4, Al ingresar el fluido se debe presionar el pedal de freno y se puede visualizar en el depósito colocado en el cilindro maestro salir burbujas de aire del sistema, se continua con este proceso hasta verificar que ya no haya partículas de aire saliendo del cilindro maestro, se coloca nuevamente el tapón y con ayuda de una llave de 8 mm se cierra el tornillo de purga con $\frac{1}{4}$ de vuelta de la mordaza para mantener sellado todo el sistema hidráulico, se debe accionar rápidamente el pedal de freno de manera de bombeo con el objetivo de verificar su funcionamiento. Revisar si las pastillas de freno se cierran correctamente como también verificar que

el sistema de freno no exista fuga ni pérdida de líquido de freno en ningún punto del sistema. (Figura 29-3).

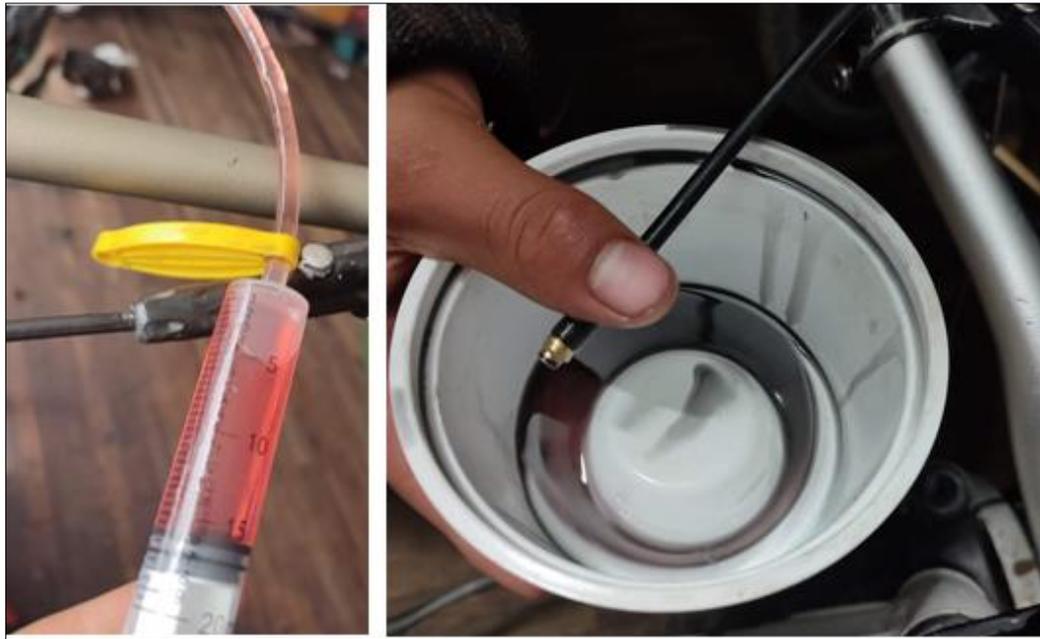


Figura 29-3: Purgado del sistema de freno.

Realizado por: Paredes, J. 2021

Logrando realizar con éxito el purgado y llenado de líquido hidráulico para el sistema de freno del eje frontal y posterior, se incorpora ya en el prototipo eléctrico monoplaza para su instalación y verificación del funcionamiento.

El bastidor del prototipo al ser construido de material de aluminio, al momento de realizar las perforaciones para colocar los soportes de pedal hay que trabajarlo cuidadosamente para evitar perjudicar la resistencia del bastidor.

El largo del latiguillo del freno de la rueda derecha e izquierda tienen una longitud de 65 cm y 110 cm respectivamente, desde el cilindro maestro hasta las mordazas de freno consiguiendo manipular adecuadamente sin riesgo a comprometer la instalación de los latiguillos de freno. (Figura 30-3).



Figura 30-3: Soporte del sistema de freno frontal.

Realizado por: Paredes, J. 2021

Los latiguillos de freno se colocan en la parte inferior del bastidor. (Figura 31-3).



Figura 31-3: Ensamble del sistema de freno frontal.

Realizado por: Paredes, J. 2021

El ensamble final del sistema de freno del eje frontal y posterior en el prototipo se lo coloca de manera que los latiguillos de freno no impidan la maniobrabilidad tanto del conductor como del prototipo eléctrico monoplace, por lo que se lo coloca por la parte inferior del bastidor de manera que no permanezcan sueltos o en contacto con algún otro elemento. (Figura 32-3).



Figura 32-3: Ensamble final del sistema de freno en el prototipo monoplace.

Realizado por: Paredes, J. 2021

3.3.3.6 Análisis y pruebas preliminares.

Al finalizar con el desarrollo del diseño y construcción del sistema de freno hidráulicos de pedales, se procede a realizar las pruebas de análisis y de campo. Con ayuda de las herramientas electrónicas en este caso con Ansys que facilita la simulación del funcionamiento de cualquier elemento expuestos a un entorno de trabajo real.

El conductor al realizar la acción de frenado ejerce una fuerza sobre el pedal para poder detener el prototipo, en estas circunstancias es importante que el pedal de freno no se doble ni mucho menos se rompa, caso contrario el funcionamiento del sistema de freno quedaría inservible poniendo en riesgo la seguridad del conductor. La geometría, el diseño y el material del pedal influyen en el análisis estimando los efectos causantes por la fuerza ejercida sobre el pedal. Mediante la investigación realizada anteriormente para los cálculos pertinentes se puede considerar la fuerza ejercida por el tobillo del conductor que tiene un valor de 250 N. Para este análisis se colocará la fuerza sobre la superficie del pedal y se ubicara un soporte fijo en el orificio de la parte inferior del pedal que es donde se situara el perno pivote que se sujetara con cilindro maestro.

Aplicando la carga simulando el efecto de frenado se considera el estudio en el eje “Y”, que es donde está ejerciendo la fuerza, se observa que la deformación es de 1,54 mm lo cual indica que la forma de la estructura del pedal va a deformarse en lo más mínimo, y esto se puede evidenciar en la placa del pedal donde la fuerza es aplicada directamente por que al realizar la acción de frenado no existe el riesgo que se deforme el pedal de freno. (Figura 33-3).

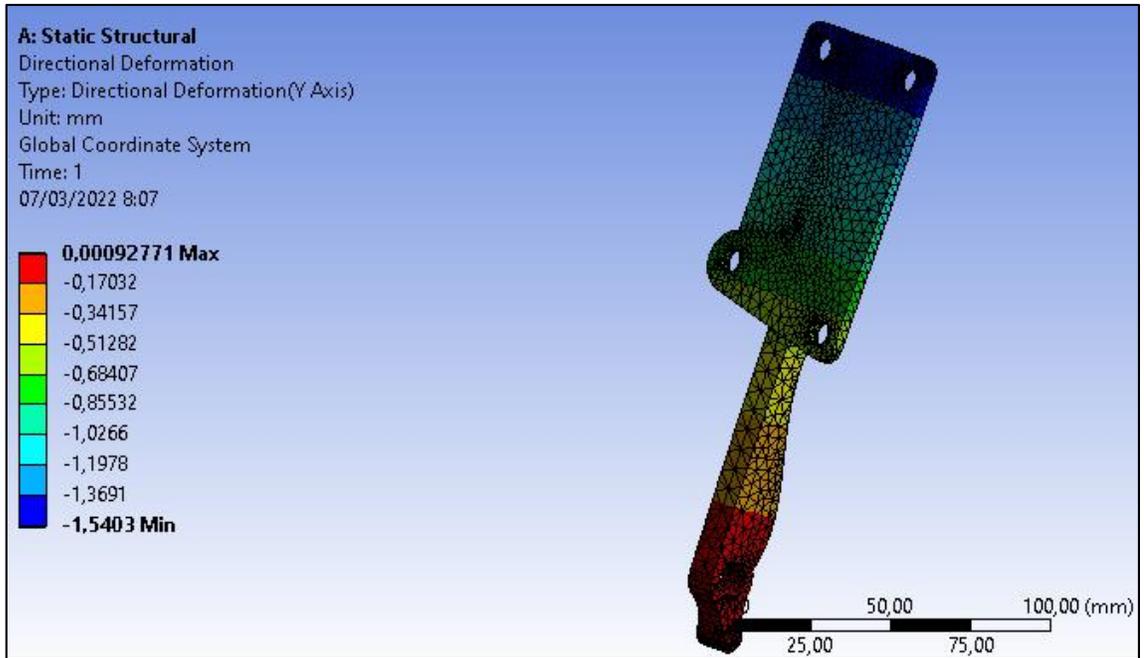


Figura 33-3: Análisis de carga en el pedal de freno.

Realizado por: Paredes, J. 2021

Mediante el análisis de esfuerzo de Von-Mises se puede decir que no existe puntos donde pueda existir una ruptura en ningún punto, sin embargo, en la unión entre el pedal y el cilindro maestro, debido a que en esa zona el ancho del elemento es de aproximadamente 1 cm y con un diámetro de 0,5 cm donde se encuentra el perno pivote. (Figura 34-3)

El factor de seguridad generado en el análisis tiene un valor de 1,034 logrando superar el valor de la unidad lo que indica seguridad ante los posibles fallos que el pedal de freno pudiese tener en su funcionamiento. (Figura 35-3)

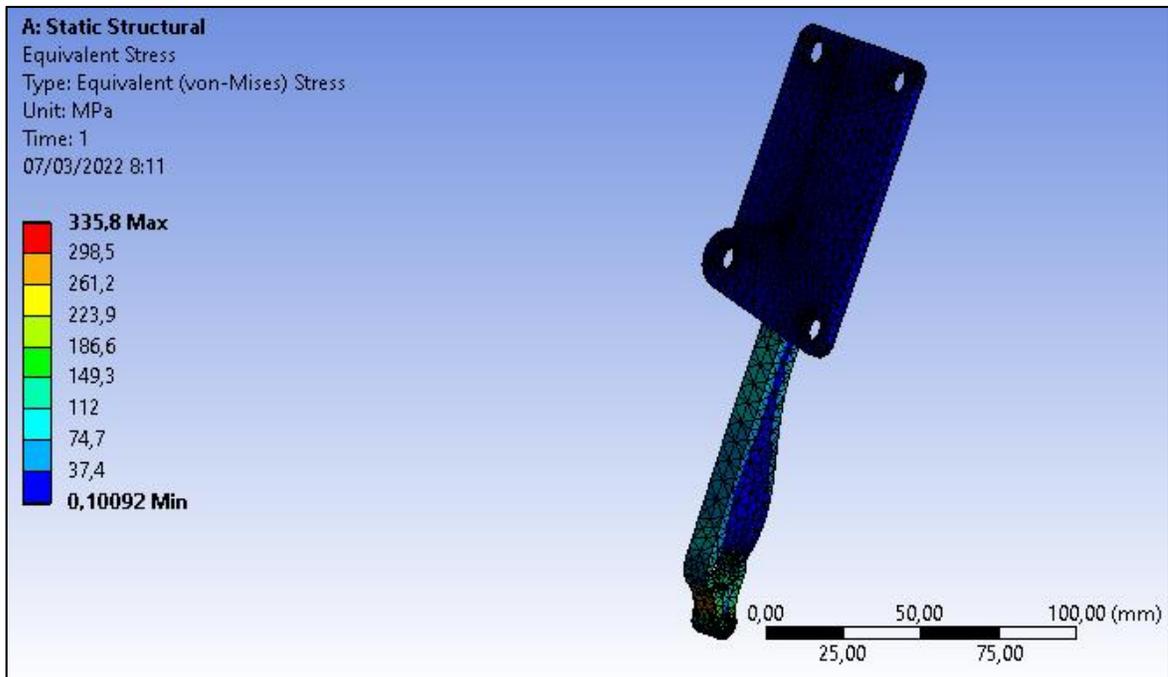


Figura 34-3: Análisis de esfuerzo de Von-Mises del pedal de freno.

Realizado por: Paredes, J. 2021

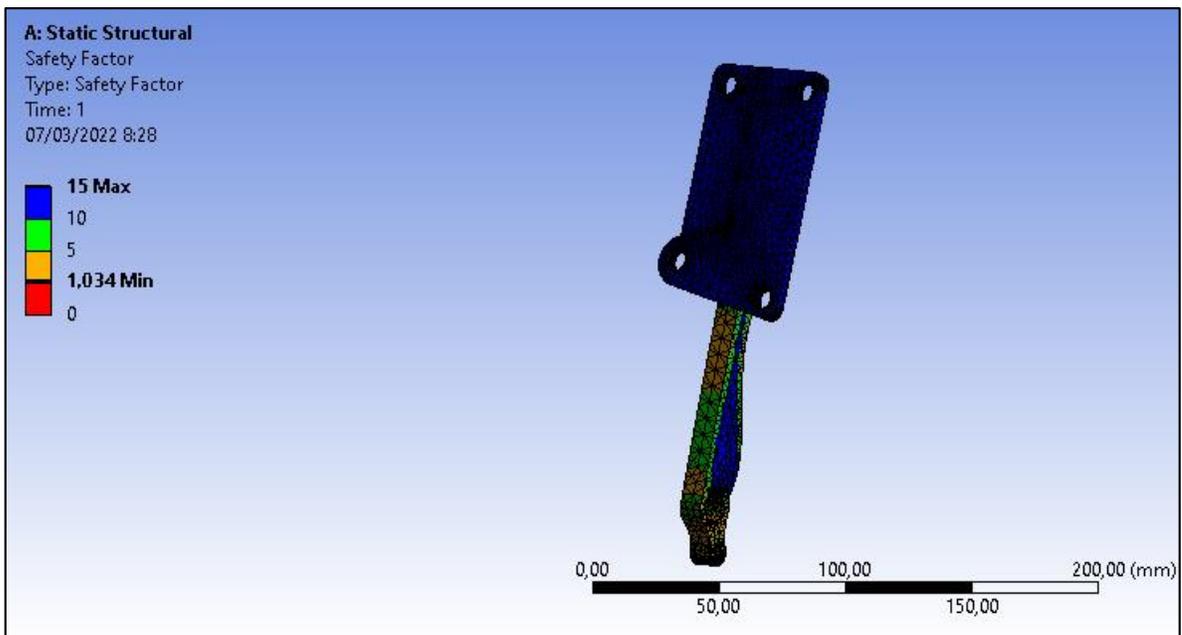


Figura 35-3: Análisis del factor de seguridad del pedal de freno.

Realizado por: Paredes, J. 2021

Del mismo modo para el soporte donde ira colocada el cilindro maestro y pedal de freno se realiza el análisis de carga con el valor de 250 N que se ejecuta en el pedal. El soporte fijo irá colocado en los orificios de la placa, es ahí donde ira sujeta el soporte con el bastidor mediante pernos de ¼ in. (Figura 36-3).

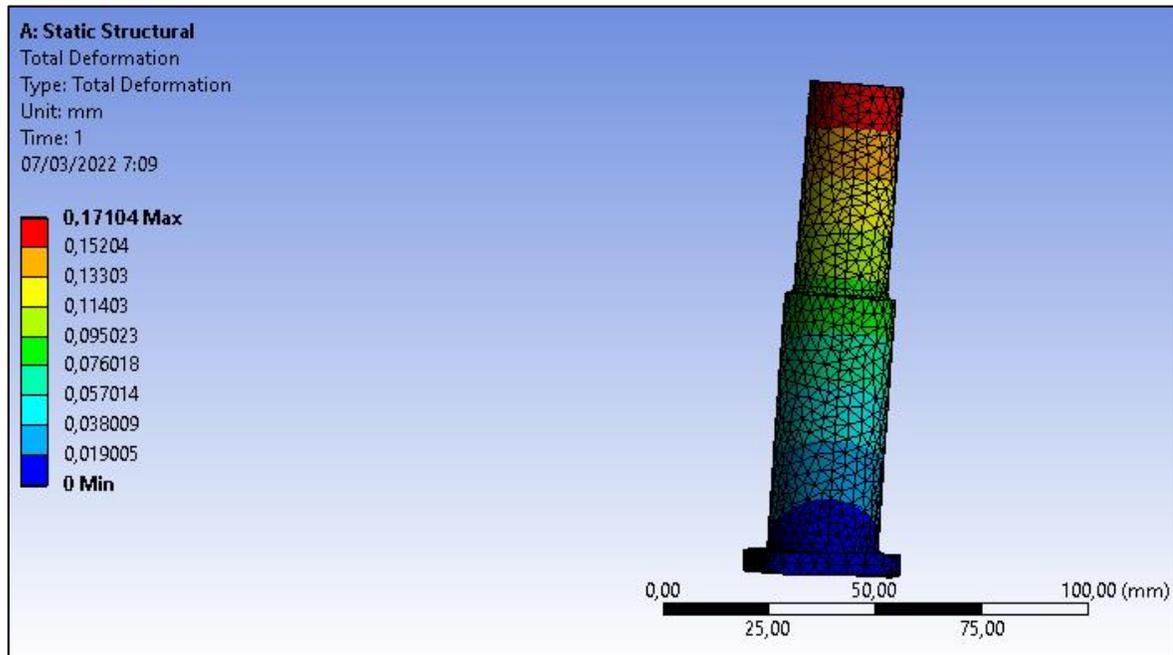


Figura 36-3: Análisis de carga del soporte de freno.

Realizado por: Paredes, J. 2021

Se puede observar que la elongación máxima generada es de 0,17 mm que se encuentra en la parte superior de la base del pedal que es donde mayormente se aplica la carga en este caso es la fuerza que va a ejercer el piloto, se puede determinar en la parte inferior del soporte una deformación completamente nula. Mediante el análisis de esfuerzo podemos visualizar que no existen puntos críticos en ningún lugar del elemento. Figura (37-3), tenemos un factor de seguridad de 1,614 obteniendo un resultado mayor a uno por lo que garantiza que el elemento

al estar sometido a la fuerza que genera el conductor va a funcionar correctamente y no existirá ruptura en ningún punto. (Figura 38-3)

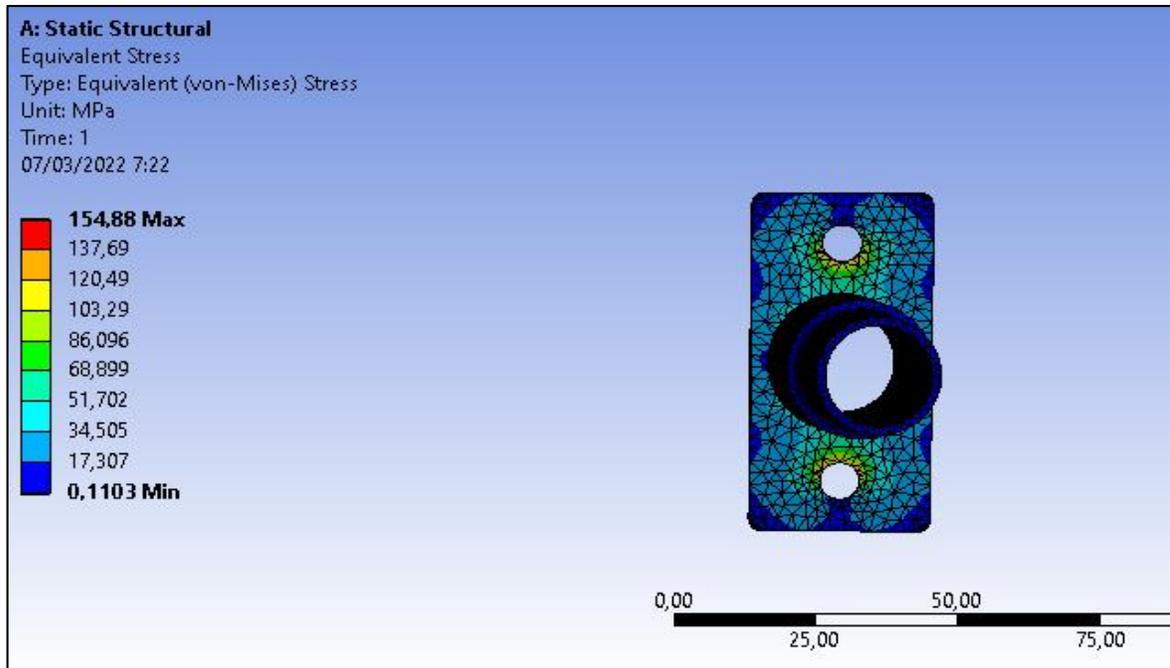


Figura 37-3: Análisis de esfuerzo de Von-Mises del soporte de freno.

Realizado por: Paredes, J. 2021

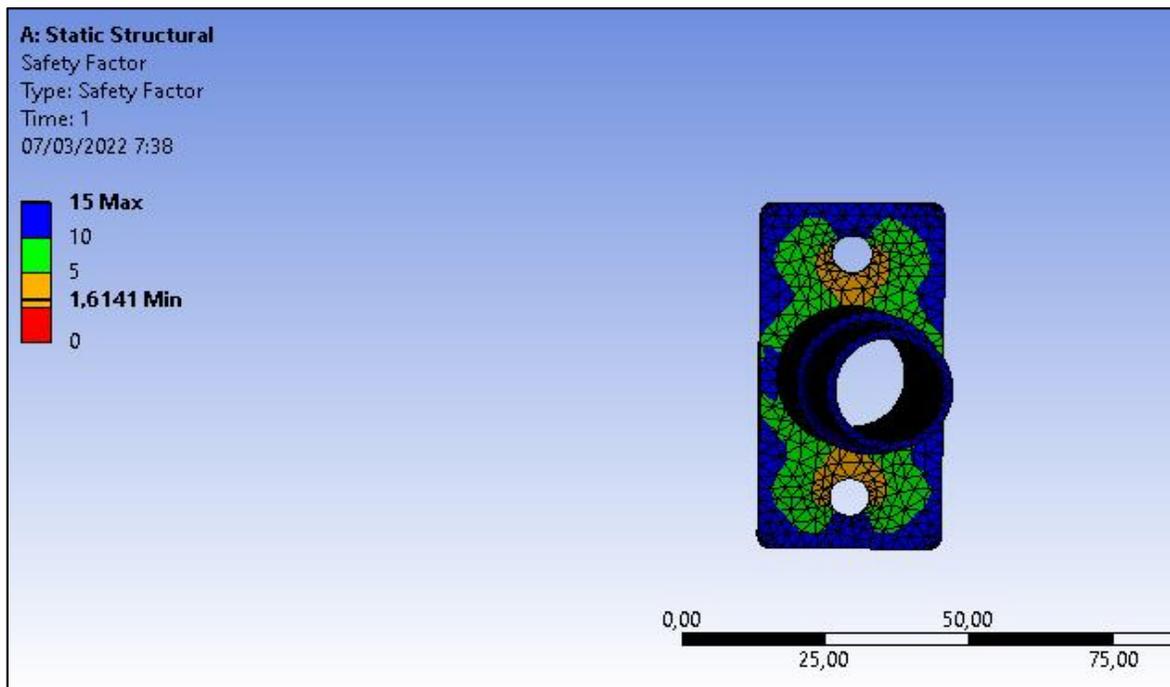


Figura 38-3: Análisis del factor de seguridad del soporte de freno.

Realizado por: Paredes, J. 2021

En el momento de la conducción se presentan diferentes situaciones de manejo, por ello el sistema de freno debe responder a las necesidades del conductor. La fuerza que aplica el piloto sobre el pedal no siempre será la misma, en ocasiones no se requerirá detener por completo al vehículo si no solo reducir la velocidad, por ende, la fuerza ejercida en el pedal será menor. Tomando como valor mínimo un valor de 150 N y un máximo de 310 N que es la fuerza que el piloto pueda ejercer sobre el pedal.

Entonces se evalúa la desaceleración del prototipo unipersonal con las diferentes fuerzas que se generan sobre el pedal de freno.

$$\text{Desaceleración } (a) = \frac{F}{m/g}$$

Masa total = 133 Kg

Gravedad = 9,81 m/s²

Tabla 7-3: Valores de fuerza y desaceleración.

Fuerza (N)	Desaceleración (m/s ²)
150	0,115
170	0,130
190	0,146
210	0,161
230	0,176
250	0,192
270	0,207
290	0,222
310	0,238

Realizado por: Paredes, J. 2021

Se asume que la mayor velocidad alcanzada por el motor eléctrico que se implementara en el prototipo es de 40 Km/h, para determinar la distancia de frenado evaluaremos el rendimiento del sistema de frenos hasta dicha velocidad.

Tomaremos el valor de la fuerza de 250 N.

$Fuerza = 250N$

$$Desaceleración (a) = \frac{250 N}{(133 Kg)/9,81 m/s^2}$$

$$Desaceleración (a) = 18,421 m/s^2$$

Distancia de frenado

$$Distancia de frenado (e) = \frac{V^2}{2 * a}$$

Tabla 8-3: Valores de velocidad y distancia de frenado.

Velocidad (Km/h)	Velocidad (m/s)	Distancia de frenado (m)
0	0,000	0,000
5	1,389	0,052
10	2,778	0,209
15	4,167	0,471
20	5,556	0,838
25	6,944	1,309
30	8,333	1,885
35	9,722	2,566
40	11,111	3,351

Realizado por: Paredes, J. 2021

Como prueba de campo se ha realizado similar a la prueba técnica de la competencia Shell Eco Marathon que consiste en colocar al prototipo en una pendiente de aproximadamente 20 %, donde señala que deben accionarse los sistemas de freno de los ejes frontal y posterior de manera individual de tal manera que el prototipo permanezca inmóvil. Toda esta prueba se debe realizar con el conductor en su interior. (Figura 39-3)



Figura 39-3: Prueba de campo en pendiente al 20%

Realizado por: Paredes, J. 2021

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1 Resultados obtenidos.

Los resultados se basan en el proceso metodológico, análisis de diseño y a las pruebas preliminares realizadas en el transcurso del trabajo.

Para seleccionar los materiales a utilizar se realizó cálculos de valores relevantes que justifiquen teóricamente el funcionamiento del sistema de freno en el prototipo eléctrico monoplaza. En base a la fuerza de frenado que se requiere para mantener al prototipo en reposo en una pendiente del 20%.

Se determinó los siguientes resultados de fuerzas de frenado frontal y posterior en los ejes del prototipo: (Tabla 1-4)

Tabla 1-4: Valores calculados del sistema de freno.

	Eje frontal	Eje posterior	Unidad
Fuerza de frenado pastillas - disco	3188,736	5897,882	N
Fuerza de frenado	956,601	1769,365	N
Torque de frenado	76,52	141,549	N
Fuerza de frenado en las mordazas	150,630	278,640	N
	301,260		

Realizado por: Paredes, J. 2021

Con el análisis realizado con ayuda del software Ansys se puede determinar tanto para el pedal como para el soporte del cilindro maestro que son capaces de soportar las cargas a las que se encuentran sometidas para detener el prototipo.

Tanto en deformación total del pedal y soporte del cilindro maestro es de 1,541 y 0,171 mm respectivamente por lo que la deformación va a ser en lo más mínimo determinado que no va a existir anomalías ni riesgos al someterse a las cargas de frenado. El análisis de esfuerzo no encontramos ningún punto crítico de las piezas construidas o donde se pueda generar una ruptura, en los soportes fijos que se han colocado existe esfuerzos generados, pero no capaces de dañar al elemento y su funcionamiento. Conocemos que todos los valores de factor de seguridad mayor o igual a uno se puede incorporar y funcionar correctamente sin poner en riesgo la seguridad del ocupante, verificamos que tanto para el pedal como soporte del cilindro maestro son mayores que uno. (Tabla 2-4)

Se verifico los resultados del análisis en la herramienta de Ansys, determinando lo siguiente:

Tabla 2-4: Valores analizados mediante Ansys.

Cargas analizadas	Pedal	Soporte de cilindro	Unidad
Deformación total	1,541	0,171	mm
Esfuerzo de Von-Mises	335,8	154,88	MPa
Factor de seguridad	1,034	1,6141	-

Realizado por: Paredes, J. 2021

Evaluando la desaceleración con respecto a la fuerza aplicada sobre el pedal, podemos determinar que a mayor fuerza ejercida la desaceleración también será mayor, siendo directamente proporcional la fuerza a la desaceleración permitiendo frenar adecuadamente en las diferentes circunstancias de manejo que se presenten al momento de conducir. (Gráfico 1-4)

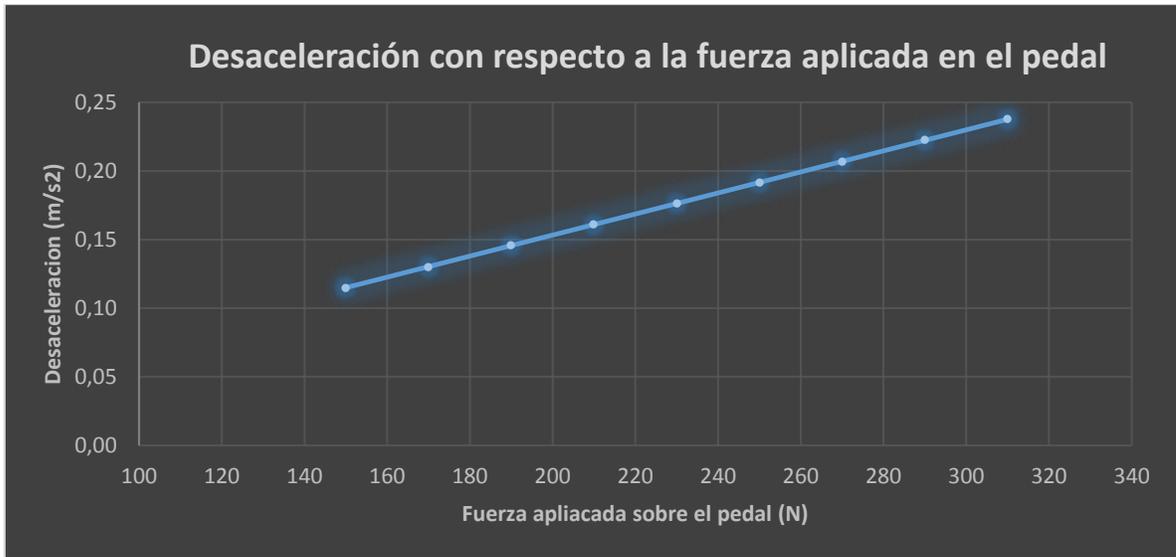


Gráfico 1-4: Desaceleración con respecto a la fuerza aplicada en el pedal.

Realizado por: Paredes, J. 2021

Conociendo la distancia de frenado se verifico el rendimiento del sistema en el vehículo mencionando que los valores de velocidad alcanzan máximo los 40 km/h, determinando una respuesta inmediata a la acción del frenado, se pudo establecer una distancia de 3,351 m a la respuesta de frenado a la velocidad de 40 Km/h un resultando favorablemente en el funcionamiento del sistema de freno hidráulico y a su vez garantiza la seguridad del piloto. (Gráfico 2-4). Es importante mencionar que existen factores externos que pueden cambiar la distancia de freno como pueden ser; el estado de los neumáticos, las condiciones de la calzada como también los elementos que componen el sistema de freno, prolongando la distancia sin embargo podemos certificar que el sistema de frenos hidráulicos de pedal cumple con las prestaciones requeridas en el prototipo eléctrico monoplaza.



Gráfico 2-4: Distancia de frenado con respecto a la velocidad.

Realizado por: Paredes, J. 2021

Fuerza de frenado requerido en la pendiente al 20% es de 255,619 N, en el eje frontal la fuerza en las mordazas en las dos ruedas es de 301,260 N mayor a la fuerza de la pendiente es decir que al accionar el sistema de freno en el eje frontal el prototipo frenara correctamente y lo mantendrá en reposo. El resultado de la fuerza en la mordaza posterior es de 278,640 N superior a la fuerza de frenado que se necesita en la pendiente por lo que ejecutando el freno en el eje posterior el prototipo se encontrara completamente inmóvil en la pendiente.

Los cálculos obtenidos teóricamente aseguran la aprobación del funcionamiento del sistema de freno hidráulico en una pendiente del 20%, para ello se corrobora verificando con un análisis de campo y con condiciones reales el funcionamiento del sistema.

En el sistema de freno del eje frontal el pedal está posicionado en el pie derecho del conductor que se puede visualizar (Figura 1-4), al presionar la fuerza de frenado es aplicado en las dos ruedas delanteras logrando con éxito mantener al prototipo detenido en la pendiente, garantizando que al realizar la acción de frenado el sistema sea capaz de frenar y detener al prototipo eléctrico monoplaza, y generando seguridad en el piloto.



Figura 1-4: Accionamiento del freno para el eje frontal.

Realizado por: Paredes, J. 2021

De igual manera en el accionamiento del sistema de freno para el eje posterior que se encuentra ubicado en el pie izquierdo del conductor, al ser presionado debe ser capaz de detener al prototipo como se muestra en la imagen (Figura 2-4), así mismo se consiguió que el vehículo permanezca sin movimiento en la ranfla asegurando el funcionamiento del sistema de freno hidráulico.



Figura 2-4: Accionamiento del freno para el eje posterior.

Realizado por: Paredes, J. 2021

CONCLUSIONES

- La información recopilada permitió conocer con mayor detalle los tipos de freno existentes, como también los componentes y su funcionamiento que permitieron ampliar el conocimiento, Se seleccionó el sistema de freno de disposición radial que logró implantarse adecuadamente a las necesidades que se requería tanto para el sistema de accionamiento del freno como para el prototipo eléctrico monoplaza en sí.
- El diseño del sistema de freno que se lo realizó mediante herramientas CAD específicamente en Solidworks, definieron varios parámetros como: El diseño del pedal de freno y su geometría para acoplarla al cilindro maestro, los soportes de accionamiento y mordazas de freno permitieron ajustar los componentes en beneficio del conductor. El dimensionamiento de los latiguillos de freno se pudo determinar en base al diseño del bastidor y sistema de dirección evitando sobredimensionar los latiguillos y su instalación sea complicada.
- La construcción del sistema de freno, se realizó en base a los diseños realizados en el software CAD previo a la fabricación, con ayuda de herramientas industriales como el torno donde se realizó varios componentes del sistema como el soporte y acople para direccionar el líquido hidráulico, como también soldadura eléctrica y soldadura TIG (Gas Inerte de Tungsteno) que permitió unir los elementos de acero y aluminio.
- Previo a la instalación del sistema de freno hidráulico de pedal se purgo de tal manera que se verifique su funcionalidad para incorporarlo en el prototipo ubicando principalmente el conjunto de accionamiento que es el soporte, cilindro maestro y pedal todo esto colocando de manera cómoda para la conducción del conductor. Del mismo modo se ubicó las mordazas de freno en los soportes para ir situando los latiguillos de freno por debajo del bastidor mejorando la estética y evitar ubicar latiguillos sueltos por todo el prototipo.
- La prueba de funcionamiento del sistema de freno hidráulico se realizó, ubicando al prototipo monoplaza en una pendiente de aproximadamente 20% y presionar al sistema de freno del eje delantero y verificar que el prototipo permanezca detenido en esa pendiente del mismo modo se realiza para el eje posterior, presionando el pedal el prototipo debe permanecer inmóvil, toda esta prueba se lo realiza con el conductor en el interior del prototipo simulando su conducción. Se pudo superar con éxito las pruebas realizadas tanto para el eje frontal como posterior garantizando la seguridad del conductor como también controlar la velocidad del prototipo adecuadamente.

RECOMENDACIONES

- El sistema de freno hidráulico es primordial no solo en prototipos sino también en los vehículos convencionales por lo que su estudio e investigación puedan ampliar el conocimiento para en un futuro aplicarlos en diferentes mecanismos.
- El diseño del sistema de freno hidráulico de pedal que se ha desarrollado en el trabajo ha permitido implementarse con éxito en el prototipo eléctrico monoplaça, por lo que su puede aplicar en futuros prototipos a desarrollarse, así mismo se puede aprovechar como ayuda didáctica facilitando el aprendizaje en los estudiantes de la carrera.
- La selección de los elementos y materiales es un factor fundamental para poder implementarlo en un prototipo eléctrico, ya que mientras menor sea el peso de los sistemas ya sea de dirección, transmisión o de frenado se está optimizando el consumo de energía del prototipo mejorando notablemente el rendimiento.
- El bastidor del prototipo al ser construido de material de aluminio, al momento de realizar las perforaciones para colocar los soportes de pedal hay que trabajarlo cuidadosamente para evitar perjudicar la resistencia del bastidor.
- La instalación y mantenimiento del sistema de freno hidráulico se debe realizar con las herramientas especiales para cada kit de freno, al igual de su purgado es recomendable realizarlo cada 6 meses para mantener al sistema de freno en perfecto estado de mantenimiento. Asegurarse también que el par de apriete sea el adecuado constantemente. Para los frenos Hayes Stroker utilizados se llenado y purgado se debe realizar con líquido de freno ya sea DOT 3 o DOT 4 caso contrario causaría daños a los elementos internos del sistema de freno hidráulico.

GLOSARIO

Bastidor: Es una estructura o armazón de distinto material en el cual se utiliza para sostener, fijar o soportar cualquier tipo de elemento. (Materia Efímera. 2019)

Center Lock: Sistema de instalación entre el disco de freno y la manzana de la rueda, por medio de un estriado y anillo de cierre que permite sujetar de manera más rápida y segura. (Shimano. 2021)

DOT: Departamento de transporte, quienes establecen las regulaciones con relación a las características de los líquidos de freno que se aplican en los automóviles, garantizando la calidad del producto. (Energiteca. 2019)

Hexalobular: Es un tipo de tornillo que se caracteriza por tener en su cabeza ranurada en forma estrellada con 6 puntas. (Esquivel, R. 2018)

Mangueta: Es un elemento el cual contiene un vástago que permite sujetar la rueda del vehículo y pueda girar libremente. (Renting Finders, 2021)

Purgado: Es el procedimiento por el cual se limpian cualquier burbuja de aire que se encuentran en el interior de un circuito hidráulico. (Helloauto. 2021)

Solidworks: Es una aplicación CAD (Diseño Asistido por Computadora) que ayuda en el modelado mecánico en 2D y 3D. (Solidbi. 2021)

BIBLIOGRAFIA

ALBORNOZ SALAZAR, José Luis. *Fuerzas desarrolladas en el frenado de vehículos* [En línea] Venezuela 2011. [Consulta: 20 julio 2021]. Disponible en: <http://creandoconciencia.org.ar/enciclopedia/accidentologia/la-fisica-de-la-colision/FUERZAS-DE-FRENADO.pdf>.

BORJA, Jaime Carlos; FENOLL, Jaime & SECO DE HERRERA, José. *Sistemas de Transmisión y frenado*. MacMillan - Iberia: SA, 2009. pp. 169-172.

CABRERIZO, Dulce María Andres; Bozal, Juan Luis Antón & PÉREZ, Javier Barrio. *Física y Química. 4 ESO*. España: Editex, 2008. pp. 63-64.

CHAMBA OCHOA, Jhefferson Daniel & JARAMILO RIVERA, Diego Fernando. Sistema de dirección y frenos para vehículo de competencia Shell Eco Marathon (Trabajo de titulación) (Licenciado). [En línea] Universidad del Azuay, Facultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz. Cuenca - Ecuador. 2016. pp. 73-79. [Consulta: 3 septiembre 2021]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6227>.

CRIADO OCAÑA, Elena. Diseño y cálculo del sistema de frenado para un prototipo formula student (Trabajo de titulación) (Licenciado). [En línea] Universidad Carlos III de Madrid. Leganés - España. 2012. pp. 3-5. [Consulta: 4 julio 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10016/14460>

CRO. *Central Recambio Origina*. [blog]. Barcelona: Carrer dels motros, 2017. [Consulta: 10 junio 2021]. Disponible en: <https://www.recambiooriginal.com/blog/recambios-originales/mecanica/los-ultimos-avances-sistemas-frenos/>.

DIEGO-MAS, Jose Antonio. Evaluación del riesgo por las fuerzas ejercidas en el puesto de trabajo o en la utilización de máquinas mediante la norma EN 1005-3 (Trabajo de investigación). [En línea] Universidad Politécnica de Valencia. Valencia - España. 2019. pp. 5-6. [Consulta: 10 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/fuerzas/fuerza-maxima-ayuda.php>

DIETSCHKE, Karl-Heinz. *Manual de la técnica del automovil*. 4ª ed. Alemania: Reverte 2005. pp. 793-795.

HEDRICK, Karl. Modelado del sistema de frenos, control y conmutación integrada de freno/acelerador Fase I (Trabajo de investigación). [En línea] UC Berkeley: Socios de California para

tecnología de transporte avanzada. California - Estados Unidos. 1997. pp. 3-5. [Consulta: 24 junio 2021]. Disponible en : <https://escholarship.org/uc/item/02b8f7q2>

HERNÁNDEZ GRANADOS, Lucia. *Presión hidrostática y Principio de Pascal* [blog]. Ixtlahuaco-Mexico, UAEH, 2017. [Consulta: 5 agosto 2021]. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/18336/optica.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

LUQUE, Pablo, ÁLVAREZ, Daniel and VERA, Carlos. *Ingeniería del Automóvil. Sistemas y comportamiento dinámico.* 2ª ed. Madrid - España : Paraninfo, 2004. pp. 459-462.

NTE INEN 2185. *Material de fricción para el sistema de frenos de automotores. Requisitos y metodos de ensayo. Parte 4 Materiales de fricción.*

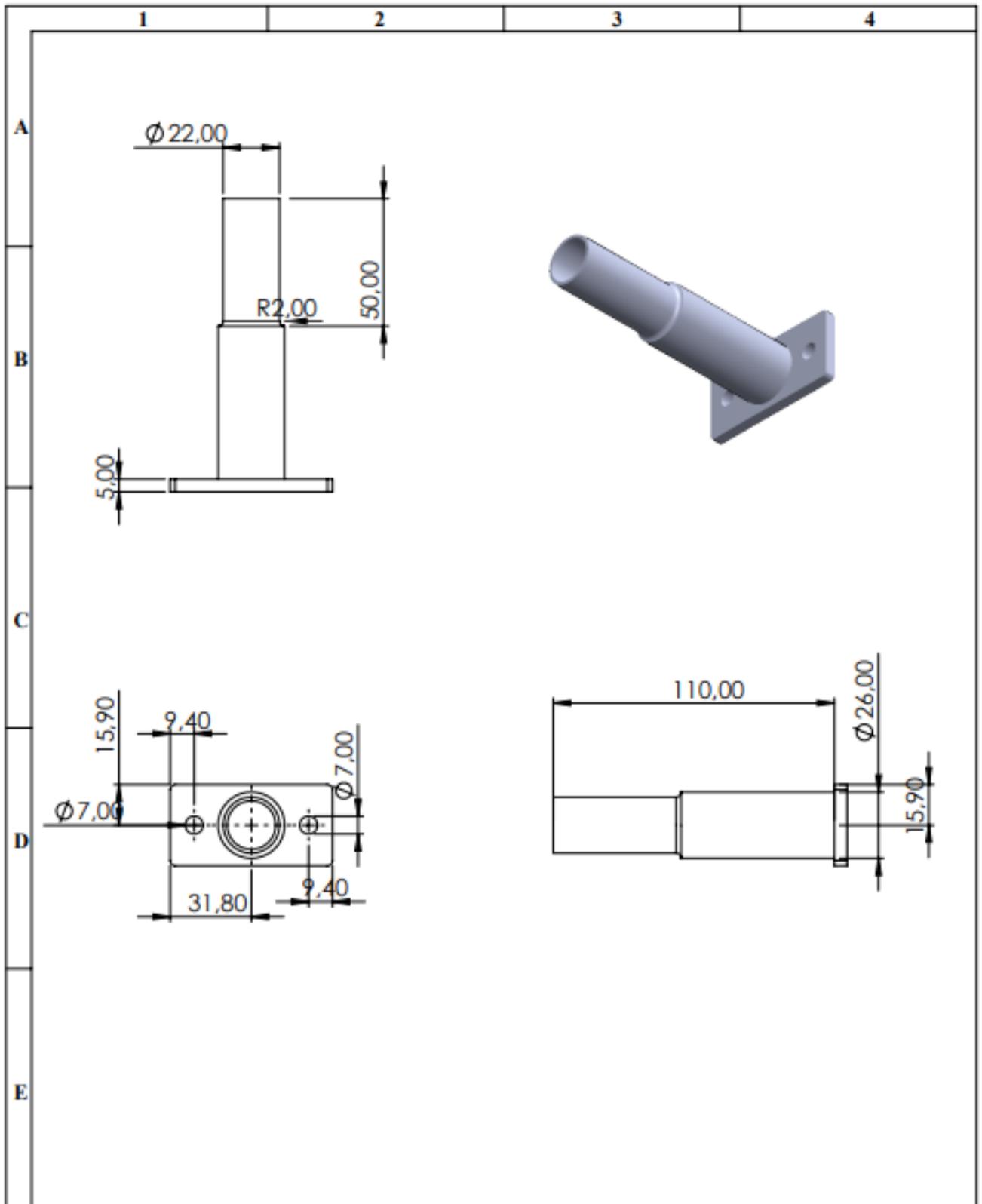
SAE INTERNATIONAL. *Fórmula SAE* [blog]. Estados Unidos: SAE , 2021. [Consulta: 3 julio 2021]. Disponible en: <https://www.sae.org/students>.

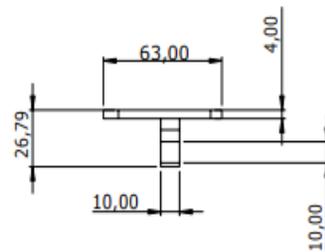
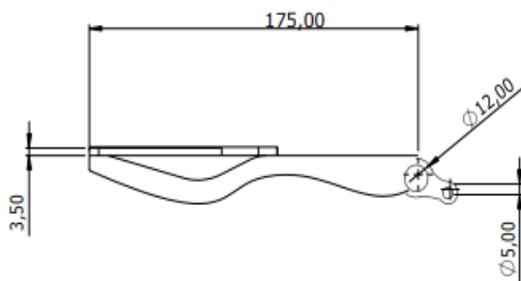
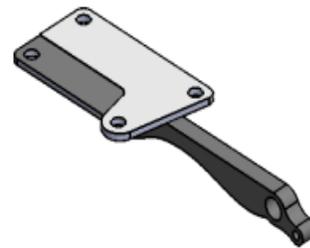
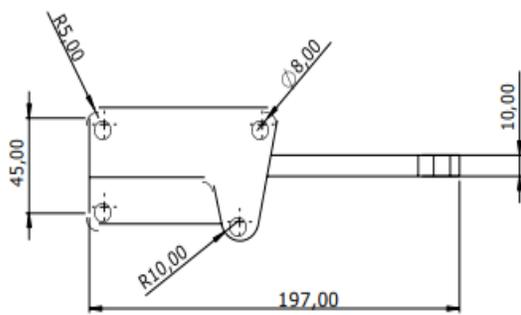
SHELL. *Make The Furute* [blog]. Estados Unidos de America, Programme, 2021. [Consulta: 3 julio 2021]. Disponible en: <https://www.makethefuture.shell/en-gb/shell-eco-marathon>.

SHIMANO. *Center Lock* [blog]. España: Shimano inc, 2021. [Consulta: 2 septiembre 2021]. Disponible en: <https://bike.shimano.com/es-ES/technologies/component/details/center-lock.html>.

SRAM. *Descaripción de los frenos de disco hidráulicos.* [blog]. Estados Unidos: SRAM ALL, 2013. [Consulta: 14 agosto 2021]. Disponible en: <https://www.sram.com/en/service>.

ANEXOS





N°. Lámina: 1 de 1	N°. Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: FM-CIA-2021	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ			
Email: Teléfonos:			Denominación: Pedal				
Datos	Nombre	Firma	Fecha	80	±0.3 [mm]	1:2	
Proyectó	Paredes J.		15/09/2021	ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE JULIO PAREDES			
Dibujó							
Material							



FACTURA

No.001-001-00000385

Número de Autorización:

0610202101010605551000120010010000003852058734411

Fecha y hora de Autorización:

06/10/2021 11:13:40

Ambiente: PRODUCCION

Emisión: NORMAL

Clave de Acceso:



0610202101010605551000120010010000003852058734411

Emisor: GUALLPA GUAMAN JOSELLINE ANDREA

RUC: 0106055510001

Matriz: AZUAY / CUENCA / TURI / S/N

Correo: joss.agg@hotmail.com

Teléfono: 0992820424

Obligado a llevar contabilidad: NO

Contribuyente Régimen Microempresas

Razón Social: GALO ARIEL CHASI IZA

Dirección: LATACUNGA

Fecha Emisión: 06/10/2021

RUC/CI: 0550120000

Teléfono: 0982227612

Correo: galoarielch@gmail.com

Código Principal	Cantidad	Descripción	Detalles Adicionales	Precio Unitario	Descuento	Total
125001	3.00	aro 20x1,75 alum negro D/P 32 h marca bike man		5.36	\$0.00	\$16.08
R20-186N	1.00	radio 20 186mm 14G NEGRO		8.92	\$0.00	\$8.92
T20-100W	3.00	tubo 20 williams valvula carro		3.57	\$0.00	\$10.71

Información Adicional

Descripción VENTA

Formas de pago

Otros con Utilización del Sistema Financiero \$40.00 0 días

Subtotal Sin Impuestos:	\$35.71
Subtotal 12%:	\$35.71
Subtotal 0%:	\$0.00
Subtotal No Objeto IVA:	\$0.00
Descuentos:	\$0.00
ICE:	\$0.00
IVA 12%:	\$4.29
Servicio %:	\$0.00
Valor Total:	\$40.00