



**Implementación de los sistemas de suspensión y frenado en el prototipo de
moto3 para la Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad
de las Fuerzas Armadas ESPE**

Secaira Barragan, Anthony Bryan

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz

Monografía, Previo a la obtención del título de Tecnólogo Superior en Mecánica
Automotriz

Ing. Jácome Guevara, Fausto Andrés, Mtr.

Latacunga, 09 de septiembre del 2021



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE TECNOLOGÍA SUPERIOR EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

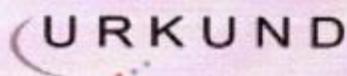
Certifico que la monografía, **“Implementación de los sistemas de suspensión y frenado en el prototipo de moto3 para la Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE”** fue realizado por el señor **Secaira Barragan, Anthony Bryan** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 09 de septiembre del 2021

Firma

Ing. Jácome Guevara, Fausto Andrés, Mtr.

C. C.: 1717579609



Urkund Analysis Result

Analysed Document: SECAIRA_BARRAGAN_ANTHONY_BRYAN_MICPROFESIONALIZANTE_NRI
(D112032513)
Submitted: 9/3/2021 4:11:00 PM
Submitted By: jc.altamiranoc@uta.edu.ec
Significance: 3 %

Sources included in the report:

<https://n9.cl/bu6r>
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/53582/VILAPLANA%20-%20An%C3%A1lisis%20y%20dise%C3%B1o%20del%20sistema%20de%20amortiguaci%C3%B3n%20delantero%20para%20el%20prototipo%20de%20motocic....pdf?sequence=1>
https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/16621/PFC_AARON_COLLANTES_GIL.pdf?sequence=1&isAllowed=y
https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/17190/PFC_%20ALBERTO_JARENO_NUNEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/151746/Diez%20-%20Dise%C3%B1o%20del%20sistema%20de%20frenado%20de%20una%20motocicleta%20para%20circulaci%C3%B3n%20en%20carretera.pdf?sequence=1>

Instances where selected sources appear:

21

Firma

Ing. Jácome Guevara, Fausto Andrés, Mtr.

C. C.: 1717579609



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE TECNOLOGÍA SUPERIOR EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Secaira Barragan, Anthony Bryan** con cédula de ciudadanía 1724220007, declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **"Implementación de los sistemas de suspensión y frenado en el prototipo de moto3 para la Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE"** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 09 de septiembre del 2021

Firma

Secaira Barragan, Anthony Bryan

C.C.: 1724220007



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE TECNOLOGÍA SUPERIOR EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Secaira Barragan, Anthony Bryan** con cédula de ciudadanía 1724220007, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: **Implementación de los sistemas de suspensión y frenado en el prototipo de moto3 para la Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Latacunga, 09 de septiembre del 2021

Firma

Secaira Barragan, Anthony Bryan

C.C.: 1724220007

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a mis padres Walter y Johanna quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mi familia por haber sido mi apoyo durante toda mi carrera universitaria y durante mi vida. A toda la gente especial que me acompañaron en este periodo, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano.

Al final deseo conceder esta tesis a todos mis amigos, por apoyarme cuando más los necesito, por alargar su mano en instantes difíciles y por el amor brindado, de verdad mil gracias.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a mis padres quienes, por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

A Paul Yungan, por ser el gran amigo que jamás tuve, por apoyarme en mis momentos difíciles, gracias infinitas por toda su ayuda y buena voluntad.

Así mismo, deseo expresar mi reconocimiento a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por confiar en mí, abrirme las puertas y permitirme realizar todo el proceso investigativo dentro de su establecimiento educativo.

Tabla de contenidos

Carátula.....	1
Certificación.....	2
Reporte de verificación.....	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Tabla de contenidos.....	8
Índice de figuras.....	11
Índice de tablas.....	15
Resumen.....	16
Abstract.....	17
Planteamiento del problema de investigación.....	18
Antecedentes.....	18
Planteamiento del problema.....	21
Justificación.....	22
Objetivos.....	22
<i>Objetivo General</i>	22
<i>Objetivos Específicos</i>	22
Alcance.....	23
Marco teórico.....	24
Conceptos Básicos De Una Moto3.....	24

Sistema de Suspensión.....	25
Suspensión Delantera	25
<i>Horquilla con pipa de dirección</i>	<i>30</i>
<i>Otros tipos de suspensiones</i>	<i>35</i>
Suspensiones por rueda empujada.....	35
Suspensión por rueda tirada.....	36
Horquillas girder.	37
Suspensión Trasera.....	37
Amortiguadores	43
Frenos.....	46
<i>Frenos de tambor</i>	<i>48</i>
<i>Frenos de disco.....</i>	<i>50</i>
<i>Tipos de discos de freno</i>	<i>54</i>
Discos de anclaje flotante.	54
Discos de freno con doble pinza de dos pistones.	55
Discos de freno con pinzas de cuatro pistones opuestos.....	56
Freno de disco con seis pistones opuestos.	57
Reglamento Técnico.....	59
<i>Suspensión delantera</i>	<i>59</i>
<i>Suspensión trasera</i>	<i>60</i>
<i>Frenos.</i>	<i>60</i>
Criterios de selección	62
Criterios Matemáticos.....	62

	10
<i>Datos de la motocicleta</i>	63
Cálculos de Implementación del Sistema de Frenado	63
Parámetros de Selección	68
<i>Sistema de suspensión.....</i>	68
<i>Sistema de frenado</i>	70
Descripción de la Solución Propuesta	70
Descripción de Tareas y Fases	73
<i>Diseño.....</i>	73
<i>Construcción</i>	75
Implementación del Sistema de Suspensión	78
Enllantaje.....	79
Implementación del Sistema de Frenado	84
Amortiguación	88
Pruebas	89
Pruebas en Pista.....	89
<i>Distancia de frenado</i>	89
Marco administrativo	95
Presupuesto	95
Conclusiones y recomendaciones	97
Conclusiones	97
Recomendaciones	98
Bibliografía.....	99
Anexos	101

Índice de figuras

Figura 1 <i>Motocicleta de la Categoría Moto3</i>	24
Figura 2 <i>Peugeot en Competición del Año 1904</i>	26
Figura 3 <i>Sistemas de Suspensión Delantera Empleados en la Primera Mitad del Siglo XX</i>	27
Figura 4 <i>Horquilla Tipo Girder</i>	28
Figura 5 <i>Horquilla Telescópica</i>	29
Figura 6 <i>Flexión Lateral de la Suspensión Delantera</i>	30
Figura 7 <i>Hundimiento de las Horquillas Telescópicas</i>	32
Figura 8 <i>Avance Constante en la Frenada</i>	33
Figura 9 <i>Avance Negativo</i>	34
Figura 10 <i>Fuerza Producida en un Bache</i>	35
Figura 11 <i>Sistema de Rueda Empujada</i>	36
Figura 12 <i>Sistema Por Rueda Tirada</i>	37
Figura 13 <i>Suspensión Trasera</i>	38
Figura 14 <i>Sillín de una Motocicleta Norton Dotado de Muelles</i>	39
Figura 15 <i>Suspensión Trasera de Tipo “Émbolo” en una BMW</i>	40
Figura 16 <i>Sistemas de Suspensión Trasera con Basculante y Doble Amortiguador en una Motocicleta Yamaha</i>	40

Figura 17 <i>Tipos más Usuales de Bastidores Empleados en Motocicletas. Modelos Dobles, Con Refuerzos Superiores, de Tipo Monobrazo y de Sección Variable.</i>	42
Figura 18 <i>Sistema de Doble Amortiguador Sobre Doble Basculante</i>	43
Figura 19 <i>Amortiguador Hidráulico</i>	44
Figura 20 <i>Amortiguador Hidráulico con Cámara Neumática de Tipo “De Carbón”</i>	45
Figura 21 <i>Amortiguador Hidráulico con Cámara Neumática y Depósito Hidráulico</i>	46
Figura 22 <i>Frenos Delantero y Trasero</i>	47
Figura 23 <i>Freno de Tambor de “Simple Leva” en una Motocicleta</i>	49
Figura 24 <i>Frenos de Disco</i>	51
Figura 25 <i>Partes del Disco de Freno</i>	51
Figura 26 <i>Sistema de Accionamiento Hidráulico de un Freno de Disco</i>	53
Figura 27 <i>Distintos Tipos de Bombas de Freno para el Tren Delantero y Trasero</i>	54
Figura 28 <i>Discos de Freno Dotado de Anclaje de Tipo “Flotante”</i>	55
Figura 29 <i>Freno de Disco con Pinza de Dos Pistones Paralelos</i>	56
Figura 30 <i>Freno de Disco con Pinzas de Cuatro Pistones Opuestos</i>	57
Figura 31 <i>Freno de Disco con Pinza de Seis Pistones Opuestos</i>	58
Figura 32 <i>Pinza Monoblock</i>	58
Figura 33 <i>Pinza Radial</i>	59
Figura 34 <i>Fuerzas Aplicadas en la Motocicleta</i>	66
Figura 35 <i>Suspensión Delantera de Barras Invertidas</i>	71

Figura 36 <i>Tren Delantero de la Suspensión Delantera</i>	72
Figura 37 <i>Rodamientos Superior e Inferior de Bolas de Dirección</i>	72
Figura 38 <i>Diseño en 2D de la Columna de Dirección</i>	74
Figura 39 <i>Diseño en 3D de la Columna de Dirección</i>	74
Figura 40 <i>Diseño de la Rosca</i>	75
Figura 41 <i>Mecanizado de la Columna de Dirección</i>	76
Figura 42 <i>Columna de Dirección con los Rodamientos</i>	77
Figura 43 <i>Rodamientos</i>	77
Figura 44 <i>Aro Delantero</i>	78
Figura 45 <i>Implementación de la Suspensión Delantera, Aro Delantero, Disco de Freno.</i>	79
Figura 46 <i>Desmontaje del Conjunto</i>	79
Figura 47 <i>Desmontaje del Conjunto</i>	80
Figura 48 <i>Montaje del Neumático en el Aro Nuevo</i>	80
Figura 49 <i>Inflado de la Llanta en el Aro Nuevo</i>	81
Figura 50 <i>Enllantaje del Aro Delantero</i>	81
Figura 51 <i>Suspensión Delantera montada con todos los complementos</i>	82
Figura 52 <i>Monoshock Posterior</i>	82
Figura 53 <i>Implementación del Sistema Delantero Conjuntamente con el Neumático</i>	83
Figura 54 <i>Montaje del Sistema de Suspensión</i>	84

Figura 55 <i>Disco de Freno Delantero de la Motocicleta</i>	84
Figura 56 <i>Mordaza Delantera</i>	85
Figura 57 <i>Cambio de la Mordaza Delantera</i>	85
Figura 58 <i>Mordaza Delantera y Bomba de Freno</i>	86
Figura 59 <i>Mordaza y Disco Delantero</i>	86
Figura 60 <i>Pastillas de Frenos Posteriores</i>	87
Figura 61 <i>Mordaza y Disco de Freno Posteriores</i>	87
Figura 62 <i>Montaje de los Sistemas de Suspensión y Frenado</i>	88
Figura 63 <i>Descripción Gráfica de la Prueba</i>	90
Figura 64 <i>Zona de Simulación</i>	91
Figura 65 <i>Piloto Realizando la Prueba de Frenado</i>	92
Figura 66 <i>Distancia de Frenado</i>	93

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Datos Técnicos de la Motocicleta</i>	63
Tabla 2 <i>Ventajas y Desventajas del Sistema Tradicional</i>	69
Tabla 3 <i>Ventajas y Desventajas del Sistema de Suspensión con Barras Invertidas</i>	69
Tabla 4 <i>Datos Obtenidos</i>	93
Tabla 5 <i>Penalizaciones</i>	90
Tabla 6 <i>Presupuesto</i>	95

Resumen

El presente proyecto de tesis describe el proceso completo de la implementación del sistema de suspensión y frenado en un prototipo de Moto3 con tecnología y recursos ecuatorianos. Se comienza con una breve explicación de la categoría de competición “Moto3”, seguido de una investigación exhaustiva de la historia, aplicaciones, funcionamiento y los tipos del sistema de suspensión y frenado. A continuación de hacer mención la normativa técnica para Moto3 que influye en la implementación de estos sistemas. La elección del sistema de suspensión y frenado se efectúa mediante una serie de criterios de selección, donde se analizan los criterios matemáticos y se calculan las fuerzas de la motocicleta durante su recorrido en pista, como lo es la distancia y la fuerza de frenado para posteriormente elegir los sistemas que cumplan con los requisitos de la motocicleta. Se realiza el proceso de diseño y construcción para incorporar el sistema de suspensión y frenado en el prototipo. Finalizando, con la simulación en pista de la prueba de frenado con la motocicleta terminada en su totalidad obteniendo resultados satisfactorios. Con este proyecto se deja un antecedente útil para cualquier estudiante o equipo que requieran participar en un certamen nacional o internacional, como de igual manera realizar un prototipo de motocicleta.

Palabras Clave:

- **MOTO3**
- **NORMATIVA TÉCNICA**
- **SISTEMA DE SUSPENSIÓN**
- **SISTEMA DE FRENADO**

Abstract

This thesis project describes the complete process of the implementation of the suspension and braking system in a Moto3 prototype with Ecuadorian technology and resources. It begins with a brief explanation of the "Moto3" competition category, followed by an exhaustive investigation of the history, applications, operation and types of the suspension and braking system. This is followed by a mention of the technical regulations for Moto3 that influence the implementation of these systems. The choice of the suspension and braking system is made through a series of selection criteria, where the mathematical criteria are analyzed and the forces of the motorcycle are calculated during its travel on the track, such as distance and braking force, in order to subsequently choose the systems that meet the requirements of the motorcycle. The design and construction process is carried out to incorporate the suspension and braking system in the prototype. Finally, with the simulation of the braking test on the track with the motorcycle finished in its entirety, obtaining satisfactory results. With this project we leave a useful background for any student or team that requires to participate in a national or international contest, as well as to make a motorcycle prototype.

Key words:

- **MOTO3**
- **TECHNICAL REGULATIONS**
- **SUSPENSION SYSTEM**
- **BRAKING SYSTEM**

Capítulo I

1. Planteamiento del problema de investigación

1.1. Antecedentes

El desarrollo y la investigación han logrado un gran éxito en el campo del estudio de las motocicletas desde sus inicios. A lo largo de los años, estos sistemas han evolucionado de manera diferente según los requisitos del tipo de motocicletas.

Las motocicletas si bien es cierto necesitan implementar en su estructura anclajes que permitan estabilidad entre la estructura principal y el terreno, por ello los sistemas de suspensión y frenado son incorporados debido a que en el piso por el cual transitan no es completamente homogéneo, proporcionando adherencia, control y confort.

Estos sistemas son uno de los ajustes más delicados en cuanto a motocicletas de competición. Si bien se tiene claro puede parecer un elemento totalmente sencillo, lo cierto es que cuenta con una complejidad única, aportando seguridad en las frenadas y detenciones y así, conservar la estabilidad, ofreciendo comodidad y seguridad a los ocupantes.

“En los primeros años, se vio la necesidad de diseñar la suspensión óptima para motocicletas, por lo cual se eligió un sistema simple que conectaba directamente los amortiguadores a puntos clave específicos en el basculante. Debido a la baja rigidez a la torsión de los primeros diseños del basculante, donde era común instalar dos amortiguadores, uno a cada lado del mismo. Para agregar rendimiento a estas

suspensiones, se instalan resortes continuos para endurecer cuando se comprimen.”
(Figuroa Hernandez & Hernandez Treviño, 2013)

“Durante los últimos 50 años, los cambios importantes en el mecanismo de articulación de la suspensión trasera y el basculante han recreado repetidamente los diversos sistemas, hasta que la compañía de motocicletas Yamaha en los años 70 creó una suspensión progresiva innovadora llamada “cantiléver”. El sistema consta de un único amortiguador que conecta el basculante al chasis mediante amortiguadores ocultos debajo del depósito.” (Figuroa Hernandez & Hernandez Treviño, 2013)

“En la década de los 80, Kawasaki equipó el modelo GP con un avanzado sistema de suspensión “PRO-LINK” que incorporaba un balancín que conectaba directamente el chasis y el amortiguador al basculante. Se avanza progresivamente en el recorrido de la suspensión obteniendo mejores características de rodadura.”
(Figuroa Hernandez & Hernandez Treviño, 2013)

El diseño y fabricación de los prototipos presentados deben atenerse a la normativa impuesta en el presente reglamento establecido, por ello los sistemas de suspensión son de libre configuración.

El reglamento de competición estipula que los requerimientos para la categoría de moto3, se permiten sistemas de suspensión delantera de cualquier tipo: horquilla convencional, horquilla invertida, telelever, duolever, basculante delantero, etc. Los amortiguadores del sistema de suspensión delantera no podrán montar botellas o depósitos exteriores, ya sean anexos al cuerpo principal o comunicados mediante latiguillos. Están prohibidos los amortiguadores de suspensión delantera de tipo “presurizado”, con cartuchos de precarga de aire/gas. En el caso de la suspensión

trasera está permitido la elección de cualquier tipo, podrá disponer de sistemas de ajuste mecánicos o hidráulicos, tales como regulación de precarga del muelle, regulación de compresión, extensión o rebote. (Lopez Carpes, 2020)

El sistema de frenado de la motocicleta tiene muchas implicaciones. La detección de vehículos es obligatoria y esta no debe alcanzar una velocidad de frenado superior a la aprobada.

“Cuando la primera motocicleta apareció principalmente funcionaban con frenos de cuchara, estos estaban conformados por medio de una zapata de caucho o cuero los que presionaban, a través de un sistema de palanca de varilla, contra el neumático, logrando crear fricción entre ambos elementos y, por tanto, decelerando la rotación de la rueda. Por lo general eran montados en las ruedas delanteras, y sobre la parte superior del neumático, accionados mediante una varilla, de igual manera accionada por una palanca en el manillar, generalmente montada en la parte derecha del mismo.” (Díez Berja, 2020)

“Ya que los problemas que se presentaban eran debido al desgaste, y a su vez a la dependencia del estado de la calzada de los frenos de cuchara, se vio la necesidad de desarrollar los frenos de zapata-zapata, o naturalmente conocidos como frenos de llanta. Estas pastillas (o almohadillas) generalmente de cuero o goma empleaban fuerzas de frenado, produciendo fricción sobre el aro o llanta de la rueda y, de esta forma se reduce la velocidad de rotación de la rueda.” (Díez Berja, 2020)

“Alrededor de la década de 1970, se vio la aparición de la primera motocicleta equipada con frenos de disco delanteros, pero gradualmente se utilizó en dos ruedas. Este sistema nació en el mundo de la automoción.” (Díez Berja, 2020)

“La capacidad de detenerse ante una falla en todas las condiciones es esencial, sobre todo en la época actual donde no sólo las velocidades alcanzadas son muy elevadas, sino que las características de trazado y piso de las vías de circulación permiten altos cruceros sin problemas aparentes. Sin embargo, los sistemas de frenos no han avanzado mucho a lo largo de los años y, en otros casos, los modelos con graves problemas de frenado eran comunes en el mercado. En la actualidad, tanto el público como los fabricantes son plenamente conscientes de la importancia de los frenos, y la frenada es uno de los puntos que se estudia cada vez más en detalle.”
(Arias Paz, 2003)

Cabe mencionar que para el sistema de frenado para Moto3 existen normativas que regulan su aplicación a este tipo de categorías, “Deberá utilizarse el conjunto de freno delantero (bomba, latiguillos y pinza). Por lo general está constituido por un sistema hidráulico que aplica presión en las pinzas de freno y por dos discos, donde deberá disponer de frenos traseros como delanteros. Está permitido la libre elección del tipo de pastillas y disco de freno y de igual manera la sustitución de los latiguillos de freno por otros de diferentes longitudes.” (Eulate Zayas & Arizcuren Galar, 2020)

1.2. Planteamiento del problema

El problema surge cuando al no existir información alguna dentro del país acerca de la implementación de sistemas de suspensión y frenado en motocicletas, se consideró la necesidad de desarrollar un prototipo de competición que logre saciar las necesidades de un certamen internacional, por ello servirá como investigación para el desarrollo de nuevos prototipos, así como también el comienzo de una industria con manufactura y producción ecuatoriana.

1.3. Justificación

La finalidad de este proyecto surge de la necesidad de dotar los sistemas de suspensión y frenado a un prototipo de Moto3, con el fin de aportar un conjunto adicional de beneficios al kit al mejorar la tracción y la estabilidad.

Está enfocado de manera en que los estudiantes de la carrera de tecnología superior en mecánica automotriz de la universidad de las fuerzas armadas ESPE tengan una guía investigación sobre las normativas especificadas en cuanto a las motocicletas de competición MotoStudent y Moto3, sobre todo a la implementación de estos sistemas tanto como la suspensión y frenado, es por ello se hace mención a las diferentes especificaciones existentes de acuerdo al requerimiento establecido.

Este estudio propone desarrollar tanto el enfoque teórico como práctico permitiendo plasmar el conocimiento adquirido en la formación universitaria para la construcción de un prototipo de Moto3.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Implementar el sistema de suspensión y frenado que serán implementados en el prototipo de moto3.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Investigar sobre los sistemas de suspensión y frenado que son aplicados en los prototipos de moto3.
- Seleccionar el sistema de suspensión y frenos en base al diseño del bastidor y basculante seleccionados.

- Implementar los sistemas de suspensión y frenado en el prototipo de moto3 y realizar pruebas de rodaje.

1.5. Alcance

Este proyecto parte de base de la implementación del sistema de suspensión y frenado de un prototipo de Moto 3 para la Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, teniendo en cuenta que se llevará a cabo la implementación según las normativas estipuladas por el reglamento de moto3.

En cuanto al sistema de suspensión se llegará a definir qué tipo de suspensión se implementará, a su vez se tendrá en cuenta las dimensiones del diámetro con el casquillo de la suspensión y el diámetro del bastidor, para su anclaje correcto.

Finalmente, para el anclaje del sistema de frenado se realizará la selección de los componentes adecuados para garantizar el frenado estipulado en moto3, para ello hay que tener en cuenta las normativas donde estipulan que cualquier sistema se puede utilizar.

El presupuesto requerido se dará dependiendo del costo y marca del sistema de suspensión y frenado, además, se realizará la modificación al eje de dirección del castillo para el correcto anclaje en el bastidor.

Capítulo II

2. Marco teórico

2.1. Conceptos Básicos De Una Moto3

Moto3 es una categoría de motocicleta de velocidad mundial. Es decir, una de las categorías más pequeñas. Esto implica el uso de un motor atmosférico de 4 Tiempos y 250cc, con dimensiones delimitadas y un peso mínimo de 95 kg (Lopez Carpes, 2020).

Figura 1.

Motocicleta de la Categoría Moto3



Nota. Aquí podemos ver el diseño de una Moto de competición de la categoría Moto3. Tomado de (Lopez Carpes, 2020)

Esta categoría sustituye en 2012 a la de 125cc y su organización viene determinada por la Federación Internacional de Motociclismo, al igual que ocurre con las otras categorías del campeonato (MotoGP y Moto2). Esta categoría nació a raíz del cambio normativo que prohibió las motocicletas de dos tiempos en la única categoría en que aún estaban activas, reemplazando por motocicletas de cuatro tiempos como en Moto2 y MotoGP (MOTOGP, 2019).

2.2. Sistema de Suspensión

El sistema de suspensión de la moto cumple con la función de aislar al piloto y al cuerpo principal de la máquina de aquellos defectos que se pueden presentar en la carretera. Mejorando así el confort del piloto tanto como la fiabilidad y longevidad de la motocicleta. Sin embargo, para mejorar el rendimiento en competición del conjunto motriz, si requiere conseguir un control y un agarre a la carretera las ruedas deben mantener un contacto lo más estrecho posible con el suelo (Figueroa Hernandez & Hernandez Treviño, 2013).

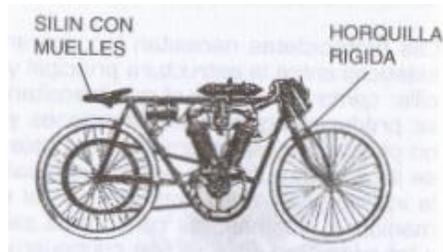
2.3. Suspensión Delantera

Inicialmente las motocicletas no dispusieron de suspensión, pronto sin embargo se vio la necesidad de dotar a la rueda delantera de suspensión para mejorar el control y la direccionalidad de la motocicleta en aquellos terrenos en los que el piso era irregular; pronto sin embargo se vio la necesidad de implementar elementos elásticos sobre las horquillas iniciales (Arias Paz, 2003).

Para evitar estos efectos, se intercala un mecanismo entre las ruedas, los cuales deben estar en contacto totalmente estable con el suelo y el bastidor. Formando un conjunto de mecanismos denominados “suspensión”, manteniendo ese estado a la mayoría de la motocicleta (Arias Paz, 2003).

Figura 2.

Peugeot en Competición del Año 1904.



Nota. Aquí se representa los primeros inicios de la suspensión delantera. Tomado de (Arias Paz, 2003)

Durante la segunda guerra mundial las suspensiones delanteras no se ajustaron a la forma similar a la que hoy en día se conoce. Existían muchos sistemas que en aquellos tiempos eran empleadas por las diferentes firmas. Como se puede distinguir, los elementos elásticos podían estar formados por muelles o ballestas, no disponiendo en la práctica totalidad de freno a la oscilación de los muelles. En los años 40 las de paralelogramo deformable eran las más empleadas (Arias Paz, 2003).

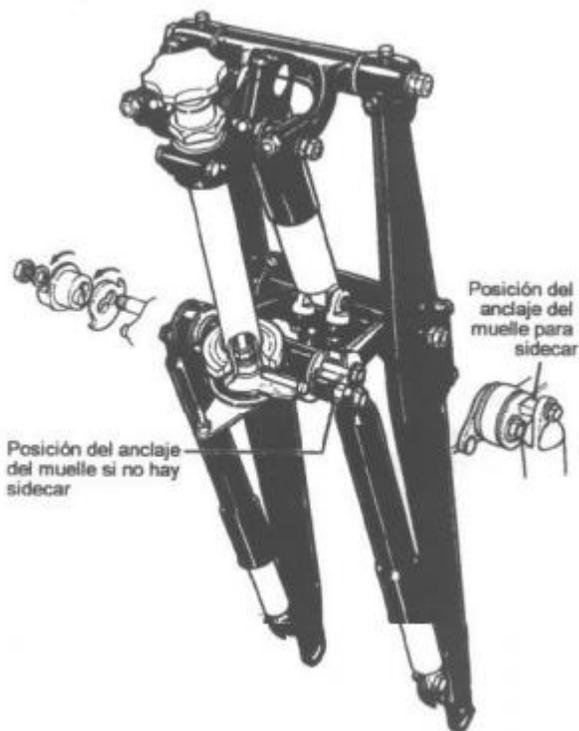
Figura 3

Sistemas de Suspensión Delantera Empleados en la Primera Mitad del Siglo XX.



Nota. Aquí se ve la evolución del sistema de suspensión delantera. Tomado de (Arias Paz, 2003)

Sin embargo, todos los modelos que han existido de suspensión delantera, se dieron a la aprobación a un número bajo de modelos para lo cual serían fabricados en serie, entre ellos la horquilla tipo girde que fue la primera. Durante los primeros años 50, la horquilla telescópica fue notablemente estableciéndose por lo que presentaba una mejora con respecto a la conducción, a diferencia a las girders sin amortiguación o con amortiguación mediante fricción (Vilaplana Ragüés, 2015).

Figura 4*Horquilla Tipo Girder*

Nota. Aquí se puede observar el sistema de suspensión delantera tipo Girder. Tomado de (Vilaplana Ragüés, 2015)

En el año 1935 la marca BMW tuvo el gran paso al equipar por primera vez en una moto de serie la horquilla telescópica, convirtiéndose prácticamente en el único utilizado en motos de serie, e imprescindible en las de carácter deportivo (Arias Paz, 2003).

Esta horquilla está formada por dos brazos unidas a la pipa de dirección con la rueda, ya que están unificadas entre la tija y en el eje de la rueda. Estos brazos están compuestos por dos tubos de distintos diámetros, por ejemplo, la barra (fork tube) llamado así ya que cuenta con un diámetro menor, este es introducido en el otro

llamado botella (fork slide) logrando variar así, el espacio entre los elementos unidos. El mecanismo de suspensión está compuesto por un resorte en el interior de cada brazo que se llegara a estirar al máximo en cada compresión. Al introducir aceite hidráulico en la parte inferior a modo de amortiguador, esto logrará que se minimicen las oscilaciones propias de un muelle. Dependiendo de la disposición de estos componentes se dirá que la horquilla es convencional o invertida. En la convencional, las barras están unidas a las tijas y las botellas al eje (COLLANTES GIL, 2012).

Figura 5

Horquilla Telescópica



Nota. Aquí se representa la horquilla telescópica. Tomado de (COLLANTES GIL, 2012)

Existen gran variedad de tipos de suspensiones delanteras que se han querido desarrollar, lo cual se pueden separar en dos grandes grupos:

- En este grupo está incluida la horquilla telescópica, las suspensiones por rueda tirada y las horquillas tipo girder. Estos requieren una pipa de dirección convencional para definir el eje de dirección y que usan horquillas.

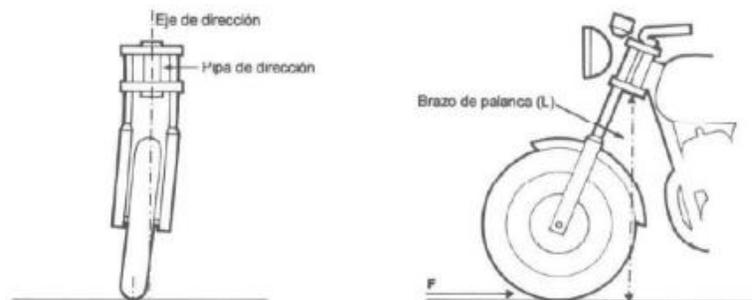
- Existe una amplia variedad de diseños en este grupo, donde destaca los sistemas llamados hub-center. Son aquellos en los que el chasis no cuenta con pipa de dirección.

2.3.1. Horquilla con pipa de dirección

La característica de este tipo es que tanto como el sistema de suspensión y dirección, se montan y giran alrededor de una pipa de dirección. La figura 6 muestra cómo cualquier flexión lateral de las barras de la horquilla permite que la huella de contacto del neumático se mueva alejándose del eje de dirección. Existen un sin número de problemas provenientes de la horquilla telescópica al ser empleada, ya que viene dado por la posibilidad de desplazamiento lateral de la huella de contacto. Sin duda otro inconveniente que se presenta es el gran brazo de palanca que existe sobre la pipa de dirección, especialmente al frenar. Esto viene dado a que las fuerzas son muy elevadas por lo tanto la resistencia del chasis debe ser robusto y pesado (Vilaplana Ragüés, 2015).

Figura 6

Flexión Lateral de la Suspensión Delantera



Nota. Representación de la flexión lateral de las horquillas telescópicas. Tomado de (Vilaplana Ragüés, 2015)

En cuanto a la estructura de la horquilla telescópica tradicional (Vilaplana Ragüés, 2015) argumenta que

“Está comprendida por un par de botellas de aluminio o acero en las que se ajustan unas barras hechas con tubo de acero cromado que se anclan en unas tijas situadas en la parte superior e inferior de la columna de dirección. Normalmente los muelles que montan son de un diámetro menor que el de las botellas y están metidos dentro de ellas. En el interior de las botellas se incorpora un sistema de amortiguación hidráulica y el aceite de amortiguación sirve también como lubricante.”

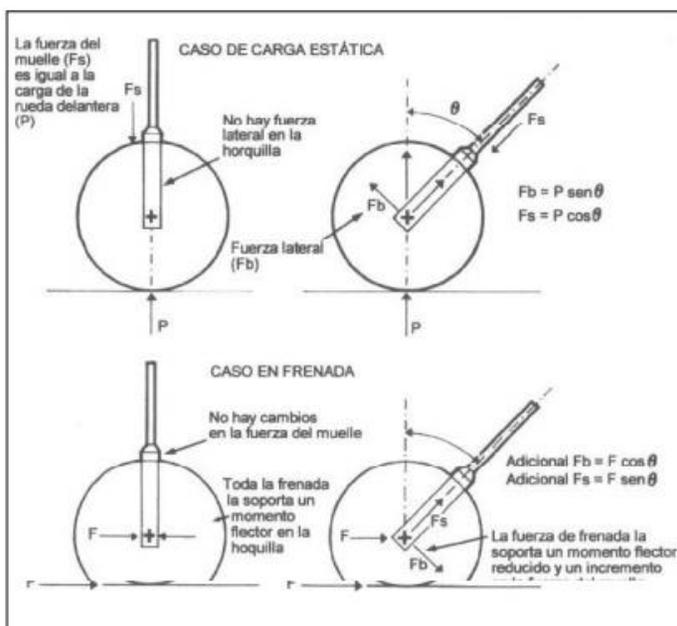
Hay que considerar los problemas que puede presentar la horquilla telescópica, algunos de estos son:

- Cuando la horquilla está totalmente extendida existe una sujeción mínima de las botellas, de forma que el efecto de la holgura existente aumenta considerablemente en la zona del eje de la rueda.
- Las barras se pueden mover de forma independiente excepto por el efecto de refuerzo del eje de la rueda en la parte inferior
- Si se consideran las cargas y los brazos de palanca que soportan, las barras tienen un diámetro muy pequeño (normalmente de unos 32-38mm).
- Este tipo de horquillas suelen estar sometidas a un gran hundimiento en las frenadas.
- Debido al ángulo de avance, aparecen cargas a flexión en las barras de la horquilla, debidas a cargas estáticas, dando lugar a un rozamiento al inicio del movimiento, que endurece la respuesta ante pequeños baches. Con un ángulo de avance normal, el simple hecho de soportar el peso de la motocicleta produce una fuerza que es perpendicular a la botella, dando

lugar a un incremento de la fricción y una reducción de sensibilidad ante baches pequeños.

Figura 7

Hundimiento de las Horquillas Telescópicas



Nota. Representación gráfica del hundimiento de las horquillas telescópicas en caso de estática y en frenada. Tomado de (Vilaplana Ragüés, 2015)

Debido a que la horquilla es relativamente flexible en casi todas las direcciones arrojan estas características.

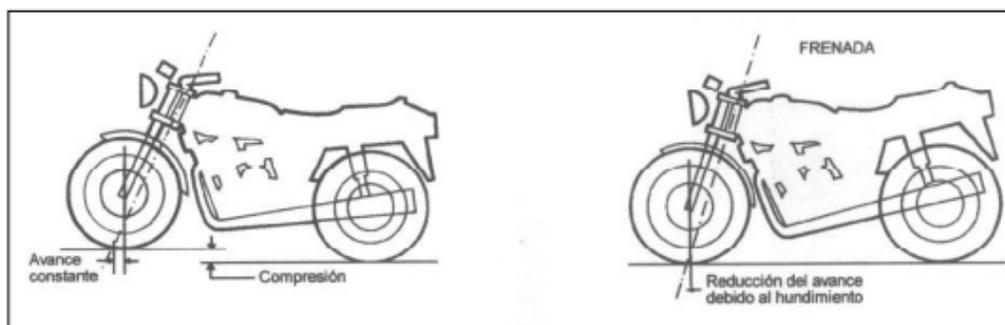
Al frenar, las horquillas telescópicas se hunden, y aun cuando este impacto se atribuye solamente a la transferencia de carga hacia la parte delantera, para un ángulo de lanzamiento regular. Una vez que se frena, el ángulo de avance provoca que parte de la fuerza de frenado se encuentre compensada por un aumento de la fuerza del muelle. Cabe mencionar que a lo largo de frenadas fuertes, la carga sobre la

suspensión puede llegar al triple que en la situación de la carga estática (Vilaplana Ragüés, 2015).

Se suele mencionar que el avance de las horquillas telescópicas se mantiene constante a lo largo del recorrido en cuanto al trayecto de la moto, esto supondría que el avance constante es algo apetecible y, como segundo punto, no existe ni una alteración en la postura del resto de la motocicleta a medida que la horquilla se comprime ya que cambia la elevación del suelo que está abajo de la rueda delantera. Esto se puede observar en la siguiente figura, donde se presenta cada una de las condiciones elementales para que el progreso logre quedar constante al comprimirse la horquilla (esquema de la izquierda). A la derecha se muestra la reducción del avance debido al hundimiento de la parte delantera al frenar (Vilaplana Ragüés, 2015).

Figura 8

Avance Constante en la Frenada



Nota. Aquí se puede representar el avance constante al momento de frenar la motocicleta. Tomado de (Vilaplana Ragüés, 2015)

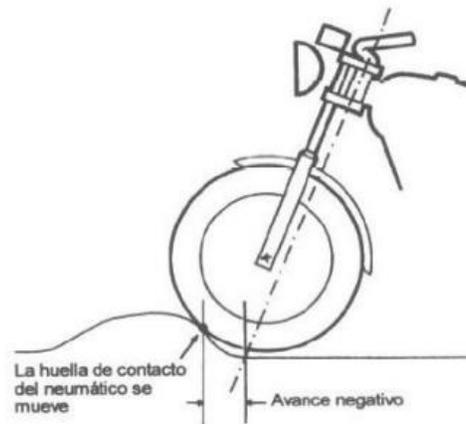
Normalmente la horquilla llega a comprimirse debido a dos factores:

- Llega a existir un hundimiento de la parte delantera al frenar (en cuyo caso existe una reducción del ángulo de lanzamiento y el avance disminuye)

- O ya sea el caso porque se alcanza un bache, provocando que la huella de contacto se mueva hacia delante, reduciendo de esta forma el avance pudiendo incluso llegar a hacerse negativo.

Figura 9

Avance Negativo



Nota. Aquí se puede ver el avance negativo al momento del contacto del neumático con el piso. Tomado de (Vilaplana Ragüés, 2015)

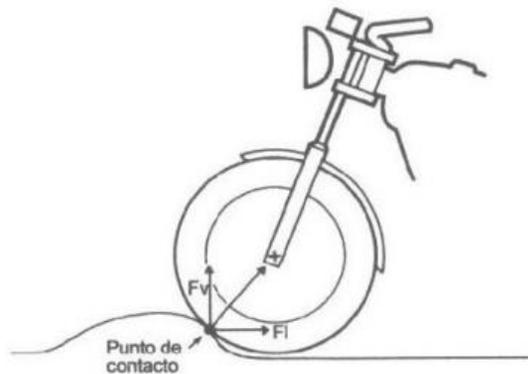
Esto sucede debido a que la rueda conforme va avanzando por el bache, el avance primero vuelve a su valor estático seguido de hacerse mayor de acuerdo a la huella de contacto se mueva hacia atrás, recuperando así el valor inicial sólo cuando la rueda recupera el nivel de la carretera. Concluyendo que es complejo que la horquilla telescópica (o de cualquier otro tipo) logre mantener el avance constante (Vilaplana Ragüés, 2015).

Los baches que se presentan en la carretera causan una fuerza longitudinal en las ruedas, aparte de la fuerza vertical. Por eso cuando la horquilla se comprime al momento de ser efectuado el movimiento hacia atrás de la rueda delantera, mejorando

la absorción de la fuerza tanto el confort como el control sobre la motocicleta (Vilaplana Ragüés, 2015).

Figura 10

Fuerza Producida en un Bache



Nota. Fuerzas producidas en un bache en pista. Tomado de (Vilaplana Ragüés, 2015)

2.3.2. Otros tipos de suspensiones

2.3.2.1. Suspensiones por rueda empujada.

Se basa en una estructura tubular o de acero estampado conectada con la columna de dirección a los brazos articulados, incorporando de igual manera anclajes para los amortiguadores. Los brazos articulados pueden ser independientes o tener forma de U alrededor de la parte trasera de la rueda (Vilaplana Ragüés, 2015).

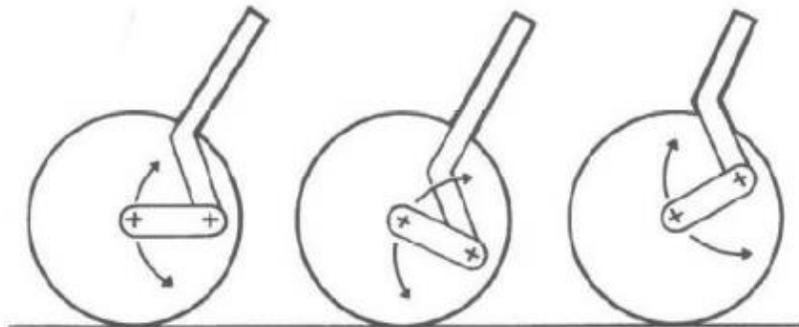
Beneficios de este tipo de horquilla:

- Mayor Rigidez
- Estabilidad y un mejor control
- Mayor sensibilidad ante baches pequeños debido a la reducción del rozamiento estático

La trayectoria que sigue la rueda en el recorrido de la suspensión depende de la altura relativa entre el eje del pivote del brazo articulado y el eje de la rueda. Debido a la trayectoria que sigue la rueda, que es curvilínea, estas horquillas no son adecuadas para los movimientos de las motocicletas (Vilaplana Ragüés, 2015).

Figura 11

Sistema de Rueda Empujada



Nota. Movimiento del sistema de rueda empujada. Tomado de (Vilaplana Ragüés, 2015)

2.3.2.2. Suspensión por rueda tirada.

Tiene la diferencia de que los brazos articulados se encuentran por delante del eje de la rueda, en vez de por detrás. La desventaja es que goza de una mayor inercia alrededor del eje de dirección, ya que la mayor parte de la masa está relativamente lejos del eje de la dirección (Vilaplana Ragüés, 2015).

Figura 12

Sistema Por Rueda Tirada



Nota. Eje de dirección del sistema por rueda tirada. Tomado de (Vilaplana Ragüés, 2015)

2.3.2.3. Horquillas girder.

En sus inicios este tipo de horquillas constaban de gran fama como las que hoy en día posee las telescópicas. Estructuralmente este tipo de horquillas es recomendable si llegan hacer bien diseñadas, pero su comportamiento estaba limitado debido a que se empleaban amortiguadores de fricción, muy toscos si se compara con los amortiguadores hidráulicos que actualmente se usan. Las articulaciones que permitían el movimiento de la suspensión eran muy cortas y sólo permitían movimientos de suspensión pequeños (Vilaplana Ragüés, 2015).

2.4. Suspensión Trasera

La suspensión trasera está unida al chasis con el basculante, donde su principal finalidad es la de mantener la rueda trasera en el suelo, para poder aplicar tanto el par motor como el par de frenada. Antiguamente solían utilizarse dos amortiguadores para conectar el chasis y el basculante, sin embargo, hoy en día la manera más factible de

implementar es con el sistema de monoamortiguador. Este sistema está compuesto de un único elemento de resorte – amortiguador el cual está formado por el cuerpo y el vástago. La función que realiza el cuerpo es parecida a la de las botellas en la suspensión delantera, por lo que se trata de la parte con más anchura del amortiguador. En su estructura consta de elementos de absorción y amortiguamiento como el caso de la horquilla. Finalmente se hace el uso de bieletas para la suspensión trasera que presenta la ventaja de proporcionar la desmultiplicación de recorrido con pequeñas variaciones de estas (COLLANTES GIL, 2012).

Figura 13

Suspensión Trasera



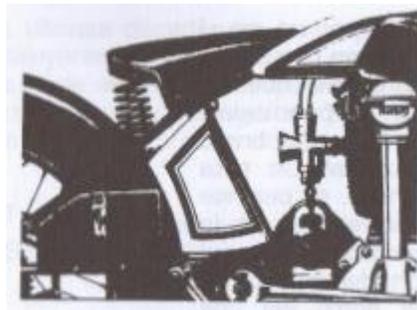
Nota. Amortiguador trasero. Tomado de (COLLANTES GIL, 2012)

Se vio la necesidad de aportar al tren trasero un anclaje elástico con el chasis. Aunque, la importancia de incorporar suspensión en esta rueda no era tal importancia que, en la delantera, debido a que la dirección se encontraba en esta, pronto sin embargo debido a una mayor comodidad y el aumento de las velocidades lo hicieron necesario. Por ello, a partir del primer cuarto de siglo, aquellos modelos de mayor cilindrada, y los demás con posterioridad, empezaron a equipar distintos sistemas de suspensión trasera (Arias Paz, 2003).

Debido a la transmisión secundaria que en aquellos momentos era utilizado este presentaba un gran problema. Los sistemas iniciales, tanto por correa como por cadena de eslabones, funcionaban inadecuadamente si se los sometía a tensiones, y la solución inicial constó en equipar al asiento de unos simples muelles que faciliten la amortiguación los choques de la rueda trasera (Arias Paz, 2003).

Figura 14

Sillín de una Motocicleta Norton Dotado de Muelles

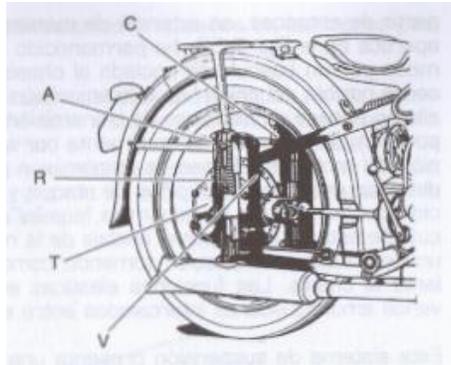


Nota. Evolución del sistema de suspensión trasero. Tomado de (Arias Paz, 2003)

Algo más tarde se incorporaron los sistemas en los cuales la rueda disponía de un mínimo desplazamiento vertical. De los diferentes sistemas que se impusieron en la época, el que más éxito y fama tuvo fue la suspensión trasera por émbolo. En este caso, se mantenía el chasis rígido pero la rueda trasera se encontraba sobrepuesta sobre un soporte deslizante que logra permitir un mínimo desplazamiento vertical, al estar fijado su eje sobre un rail en el que se intercalaba un muelle o amortiguador hidráulico (Arias Paz, 2003).

Figura 15

Suspensión Trasera de Tipo “Émbolo” en una BMW

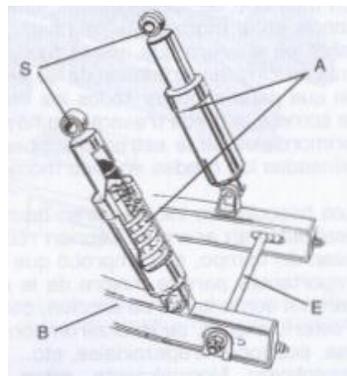


Nota. Partes del sistema trasero de tipo émbolo. Tomado de (Arias Paz, 2003)

Debido a que estos sistemas no eran lo suficientemente equilibrados, sus características presentaban que el recorrido de la rueda era muy pequeño, y en cuanto a su desplazamiento provocaba variaciones de tensión en la transmisión secundaria algo sumamente importante, ya que es del todo recto (Arias Paz, 2003).

Figura 16

Sistemas de Suspensión Trasera con Basculante y Doble Amortiguador en una Motocicleta Yamaha



Nota. Representación del sistema de suspensión trasera con basculante y doble amortiguador. Tomado de (Arias Paz, 2003)

Antes de la Segunda Guerra Mundial, se logró desarrollar un sistema que sería implementado definitivamente, el brazo basculante. El cual está compuesto por un basculante anclado al chasis en la parte trasera. Lo más cerca posible del origen de la transmisión secundaria o coincidente con ella en el caso de los sistemas de transmisión posterior de tipo rígido como es el caso de tipo cardan. Por cuestiones de la sencillez en diseño y de instalación del propio motor en caso de transmisión por cadena, existe una mínima distancia entre el eje de piñón de ataque y el del basculante.

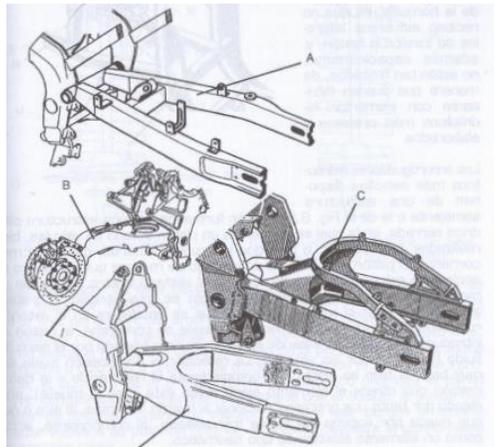
Este sistema presenta una serie de ventajas, como son:

- Suficientemente ligero
- Permite un gran recorrido de la rueda
- Compatible con cualquier transmisión secundaria

En este tipo de suspensiones se encuentran dos elementos sumamente importantes en la motocicleta, el basculante y los amortiguadores. El basculante es el brazo que consiste en la unión entre la rueda con el chasis y la dota de un movimiento circular alrededor de su eje. Debido al esfuerzo de torsión y flexión a la que está sometida esta pieza, debe ser muy robusta.

Figura 17

Tipos más Usuales de Bastidores Empleados en Motocicletas. Modelos Dobles, Con Refuerzos Superiores, de Tipo Monobrazo y de Sección Variable.



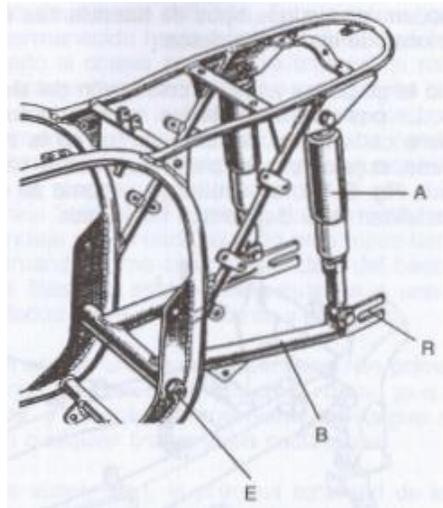
Nota. Representación de la evolución del basculante. Tomado de (Arias Paz, 2003)

Inicialmente los basculantes eran poco resistentes, normalmente fabricados en acero de sección redonda en escasos refuerzos. Después de varios años de estudio se comprobó que su rigidez era uno de los puntos más importantes para la mejora de la estabilidad a alta velocidad y comenzaron a aumentarse de sección, con perfiles cuadrados y rectangulares. Más adelante, se reforzaron con triangulaciones superiores e inferiores, secciones trapezoidales, etc. Un tipo especial de basculante es el llamado monobrazo. Normalmente, estas piezas están formadas por dos brazos, de manera que, conforme con el eje la rueda, logren formar una estructura cerrada.

Con el pasar de los años, la necesidad de dotar un elemento elástico ha ido variando. La manera más clásica ha sido instalar dos amortiguadores, uno sobre cada brazo basculante, cerca al anclaje de la rueda, sujetos por su parte superior al bastidor.

Figura 18

Sistema de Doble Amortiguador Sobre Doble Basculante



Nota. Aquí se puede ver los inicios del sistema de doble amortiguador y doble basculante. Tomado de (Arias Paz, 2003)

2.5. Amortiguadores

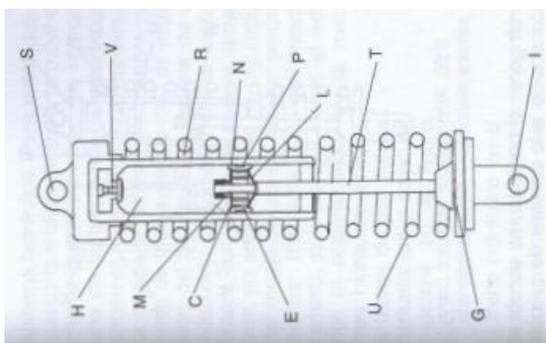
Los elementos elásticos del tren trasero forman un conjunto muelle – amortiguador. Como en la suspensión delantera, son sistemas que combinan el resorte, estructurado normalmente por un muelle helicoidal y un freno hidráulico, que puede trabajar de dos maneras tanto como en la carrera de extensión como en la de compresión. La ventaja que presentan los amortiguadores respecto de la horquilla, es que no reciben esfuerzos laterales de torsión o flexión, y, además, no están limitados, por lo que están fabricados con elementos hidráulicos más precisos y elaborados.

Los amortiguadores hidráulicos están formados por una estructura cilíndrica cerrada, en la cual se encuentra un pistón dotado de válvulas, ya sean realizadas con taladros, o ya sea el caso incorporadas con láminas, que es lo más común. El pistón está adherido a un vástago de manera que un cilindro se ancla a un extremo del

amortiguador, y el vástago al otro, formando un mecanismo telescópico. El funcionamiento es simple. El muelle helicoidal es el encargado de realizar el trabajo elástico, este se encuentra en la parte exterior, rodeando el amortiguador. Una vez el muelle llega a comprimirse, el pistón se introduce en el cilindro, estando este en movimiento frenado por el paso del fluido hidráulico por las válvulas. Debido a la retención de compresión llega a ser muy baja, si bien es cierto que complementa la resistencia a la deformación que presenta el elemento elástico (en caso del muelle), agregando por tanto una precarga suplemento al mismo. Por lo tanto, el aire o gas que queda por encima del aceite transvasado, al comprimirse, actúa como un elemento elástico de tipo neumático (Arias Paz, 2003)

Figura 19

Amortiguador Hidráulico



Nota. Partes del amortiguador hidráulico. Tomado de (Arias Paz, 2003)

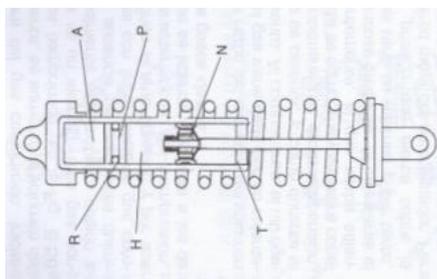
Como el amortiguador está del todo lleno de aceite, se necesita que el área de contacto entre el vástago y el amortiguador se mantenga del todo estanca. Para ello es instalado un retén de goma en el cuerpo del amortiguador que abraza al vástago (Arias Paz, 2003).

En la actualidad este tipo de amortiguadores están en el sector más sencillo, pero han sido reemplazados en aquellas motos que tienen mayor prestación. Por esto en lugar de tener un depósito donde se debería incorporar el líquido y luego salir, se interpone en la parte final del cilindro del amortiguador una pared móvil con los retenes que corresponden para eludir que el aceite pase a el área extrema. En otro lado de la pared móvil se implementa nitrógeno u otro gas a presión, por lo cual una vez el vástago se introduce, el incremento de presión del fluido hidráulico desplaza la pared móvil, comprimiendo el gas que, a la inversa del líquido si puede reducir de volumen. Una vez que el vástago vuelve a salir porque el amortiguador vuelve a su posición natural, la presión desplaza la pared hasta su postura original (Arias Paz, 2003).

Este tipo de amortiguadores llamados “de carbón”, en la actualidad es el más empleado con distintas variantes que se diferencian en la regulación de los elementos que lo componen, e incluso en la posición y la forma de la cámara de gas de presión (Arias Paz, 2003).

Figura 20

Amortiguador Hidráulico con Cámara Neumática de Tipo “De Carbón”

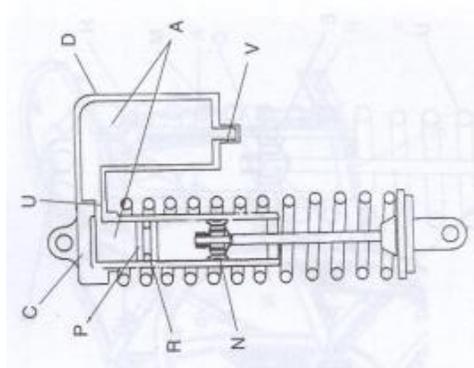


Nota. Imagen interna del amortiguador hidráulico con cámara neumática de tipo carbon.
Tomado de (Arias Paz, 2003)

Las modificaciones en este tipo de amortiguadores vienen dadas por la lucha contra la elevación de la temperatura del gas comprimido. Principalmente, se vio la necesidad de aumentar el volumen del gas comprimido. Este gas generalmente es nitrógeno, ya que presenta mayores características de compresión, a la que se asemejan a los gases iniciales, así mismo, a la ausencia de reacciones químicas con los materiales que componen el amortiguador (Arias Paz, 2003).

Figura 21

Amortiguador Hidráulico con Cámara Neumática y Depósito Hidráulico



Nota. Imagen interna del amortiguador hidráulico con cámara neumática y depósito hidráulico. Tomado de (Arias Paz, 2003)

2.6. Frenos

El sistema de frenos es el delegado a reducir la rapidez de la moto dependiendo del requerimiento del piloto. Este sistema está conformado por un circuito hidráulico que al activarse produce la deceleración de la motocicleta por medio de fricción. La función de frenada dependerá del área de fricción, tanto como el material de las pastillas, y de la fuerza aplicada por el sistema de accionamiento, a su vez de la distancia a partir del punto de aplicación de la fuerza al eje de giro de la rueda. Las motocicletas de gran premio de 250cc en la actualidad están implementadas con frenos

de disco, con dimensiones pequeñas (unos 120 mm de diámetro) en la rueda trasera, mientras que en la rueda delantera lleva un disco de dimensiones mayores (unos 300 mm de diámetro). Debido a que, en las frenadas, el que presenta mayor importancia es el freno delantero, debido a la transferencia de pesos del tren trasero al delantero (COLLANTES GIL, 2012).

Figura 22

Frenos Delantero y Trasero



Nota. Representación de la evolución del sistema de frenos. Tomado de (COLLANTES GIL, 2012)

A inicios de la primera motocicleta, en la época se utilizaban los frenos de cuchara, este sistema consistía en una zapata de caucho o cuero que llegaban a ser presionadas, mediante un sistema de palanca de varilla, contra el neumático, logrando conseguir una fricción entre ambos elementos y, por lo tanto, conseguir decelerar la rotación de la rueda. Estas eran montadas en las ruedas delanteras, especialmente en la parte superior del neumático, accionados mediante una varilla, a su vez por una palanca en el manillar, instalada usualmente en el lado derecho del mismo (Díez Berja, 2020).

Debido a que los frenos de cuchara presentaban problemas de desgaste u a su dependencia en la calzada, se vio la necesidad de desarrollar los frenos de zapata-

zapata, o comúnmente conocidos como frenos de llanta. Las fuerzas de frenado de este tipo de freno eran empleados mediante unas pastillas (o almohadillas), generalmente de cuero o goma, implementadas en la llanta, generando fricción sobre la rueda o llanta de la rueda, reduciendo notablemente la velocidad de rotación de dicha rueda. El funcionamiento de este sistema consistía en el apretar una palanca de accionamiento montada en el manillar, y mediante un sistema de cable y levas, se friccionaban las pastillas o zapatas con el aro de la rueda (Díez Berja, 2020).

2.6.1. Frenos de tambor

A principios del siglo XX, se dio inicio a la fabricación de frenos de tambor modernos, por su creador Louis Renault en el año 1902, donde se incorporaron en todo tipo de vehículos, incluidas las motocicletas. Este sistema consistía en un tambor giratorio que estaba acoplado al eje o rueda, girando de forma solidaria con este. A este tambor se le ejercía unas fuerzas de fricción a causa de unas zapatas que presionaban el interior de dicho tambor por lo tanto se lograba una disminución o detección de la marcha del vehículo. El accionamiento de este sistema era usualmente por un sistema de cables metálicos, o si fuera el caso por varillas, estos accionaban unas mordazas que lograban presionar el material de alta fricción contra el tambor. Primeramente, estos sistemas estaban formados por un sistema de 'simple leva', esta única leva era la que accionaba el conjunto logrando conseguir que una zapata ejerciera más presión que la opuesta, ya que una mordaza se apoyaba sobre el tambor en el sentido del giro de este y la otra en sentido contrario, obteniendo una distribución de presiones desigual (Díez Berja, 2020).

Por esta última razón, se desarrollaron los sistemas de 'doble y cuádruple leva'. Estos consistían en accionar las zapatas de tal forma que actuaran de la misma

manera, aplicando las fuerzas de frenado en el mismo sentido. De esta forma conseguimos una distribución de presiones iguales para ambas mordazas (Díez Berja, 2020).

Figura 23

Freno de Tambor de “Simple Leva” en una Motocicleta



Nota. Aquí se puede observar el freno de tambor de simple leva. Tomado de (Díez Berja, 2020)

Para un sistema de cuádruple leva el reparto de presiones podría ser uniforme para las dos zapatas enteras. Pese a lograr una mejor repartición de presiones, este sistema no se usó bastante. Tanto como el freno de tambor de ‘doble leva’ y el freno de tambor de ‘cuádruple leva’. Vemos que dichos sistemas por el momento no trabajan sobre el neumático o sobre la llanta de manera directa, sino que trabajan en un tambor solidario a la rueda. Dichos sistemas de frenos de tambor poseen la virtud de ser bastante efectivos, además de que no conllevan un coste alto y muestran una extensa duración. Cabe resaltar que ciertos vehículos estaban diseñados con un circuito hidráulico para el accionamiento del sistema de frenado, sin embargo, la más grande parte usaban el sistema mecánico (cables o varillas) dicho previamente (Díez Berja, 2020).

2.6.2. Frenos de disco

Ya alrededor del siglo pasado, a lo largo de los años 70, tenemos la posibilidad de observar la aparición de las primeras motocicletas provistas de frenos de disco, primordialmente en la parte delantera, pero se fueron incorporando en las dos ruedas progresivamente. El sistema de freno de disco se basa en un disco metálico, o 2, solidarios al buje de la llanta, que permanecen ‘mordidos’ por unas pastillas de fricción accionadas por unos pistones que ejercen presión sobre estas. Dichos pistones, paralelamente, permanecen accionados por presión hidráulica por medio de unos bombines sobre los que actúa el piloto (Díez Berja, 2020).

La potencia de frenado disponible incrementó de manera considerable gracias a la gran disipación de calor que se podía obtener con este sistema. Además, este sistema es capaz de autolimpiarse y las pastillas de fricción son capaces de adaptarse automáticamente, lo cual supuso mucha diferencia y desarrollo en relación a los frenos de tambor. Cabe resaltar que este sistema ocupa un lugar más limitado para una misma potencia de frenado (Díez Berja, 2020).

Al estar montados ‘al aire’ obtenemos mejor refrigeración y, por consiguiente, tenemos la posibilidad de absorber mayor energía y la transformación en calor se realiza y disipa de una manera más instantánea. La acción de frenado es más enérgica en los frenos de disco, lo cual se traduce en un menor tiempo de actuación y, consecuentemente, en una distancia de parada menor, lo cual supone contar con sistemas más seguros. En los discos de freno tenemos la posibilidad de descubrir diversos montajes, cada cual, con sus atributos, los cuales se verán en un apartado posteriormente. Los frenos de disco trabajan de manera axial al disco, consiguiendo un reparto de presiones uniforme. No obstante, una vez que el material de fricción se

desgasta estas presiones dejan de ser uniformes y se consigue un reparto desigual de esa presión, consiguiendo las más altas en el interior del disco (Díez Berja, 2020).

Figura 24

Frenos de Disco

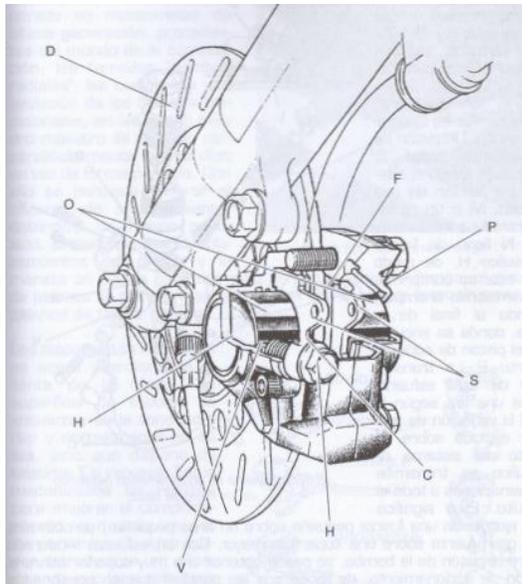


Nota. Sistema de frenos delantero de una motocicleta. Tomado de (Díez Berja, 2020)

El freno de disco está formado por:

Figura 25

Partes del Disco de Freno



Nota. Partes del disco de freno. Tomado de (Arias Paz, 2003)

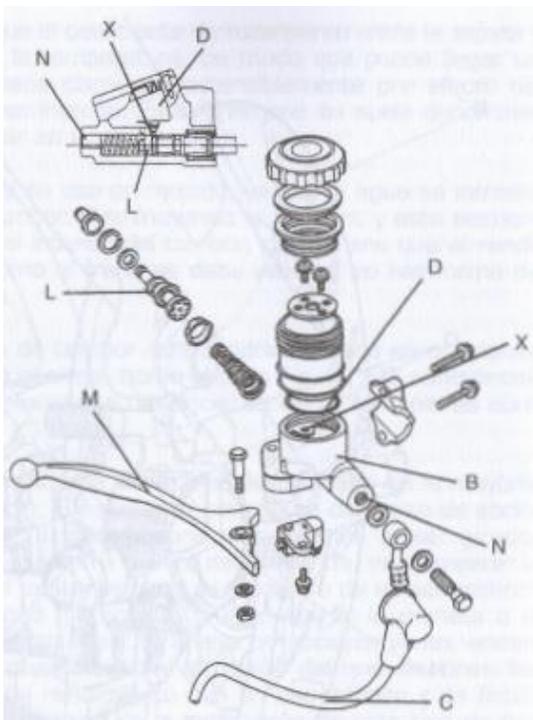
D: Disco de Freno	O: Cilindros Metálicos "Pistones"
P: Pinza de Freno	H: Sistema Hidráulico
S: Pastillas	V: Válvula
F: Forro de Fricción	

El sistema de accionamiento hidráulico es accionado por una bomba y una canalización llamada "latiguillo". La bomba tiene un funcionamiento totalmente sencillo. Un pistón de movimiento lineal, accionado desde el exterior por acción de una maneta o un pedal, este es introducido en un cilindro lleno de líquido hidráulico de modo que éste logra comprimirse, transmitiendo el empuje al final de la línea, donde está ubicado el pistón de accionamiento. La transmisión de esfuerzo viene dada por una ley, esto quiere decir que dependiendo de la variación de presión ejercida sobre un punto del sistema hidráulico se transmite sin variaciones a todo el circuito. Esto quiere decir que, al ejercer una fuerza pequeña sobre un área pequeña, se obtendrá una gran fuerza sobre una superficie mayor. Mediante un esfuerzo moderado sobre el pistón de la bomba, se logra obtener uno muy superior sobre el pistón de accionamiento, haciendo que las pastillas queden presionadas contra el disco con una gran fuerza (Arias Paz, 2003).

Además, la bomba dispone de un depósito suplementario de líquido, este impide que por cualquier causa el circuito se quede con el mínimo fluido de lo necesario. Al retornar a su posición inicial, la bomba abre la conexión con el depósito, mientras tanto, al ser iniciada, lo cierra, imposibilitando que el líquido se dirija al depósito en vez de presionar el circuito (Arias Paz, 2003).

Figura 26

Sistema de Accionamiento Hidráulico de un Freno de Disco



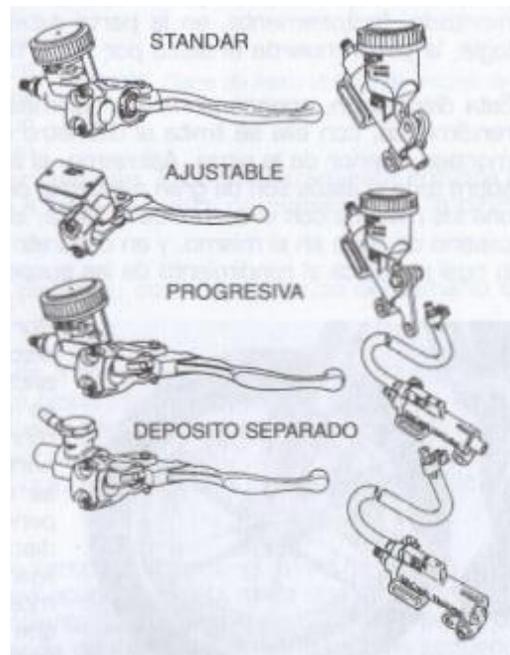
Nota. Partes del sistema de accionamiento hidráulico de un freno de disco. Tomado de (Díez Berja, 2020).

B: Bomba	H: Líquido Hidráulico
C: Latiguillo	P: Pistón de Accionamiento
L: Pistón de Movimiento Lineal	D: Depósito Suplementario de Líquido
M: Maneta o Pedal	X: Conexión

Existen una inmensidad de tipos de bombas, según tengan su funcionamiento lineal o progresivo, tengan el depósito integrado en la estructura o no. Habiendo tantas variaciones a nivel de detalle donde están incluidas posibilidades de regulación, distancia de la maneta del manillar y otra serie de accesorios (Arias Paz, 2003).

Figura 27

Distintos Tipos de Bombas de Freno para el Tren Delantero y Trasero



Nota. Representación de los distintos tipos de frenos para el tren delantero y trasero.

Tomado de (Arias Paz, 2003)

2.6.3. Tipos de discos de freno

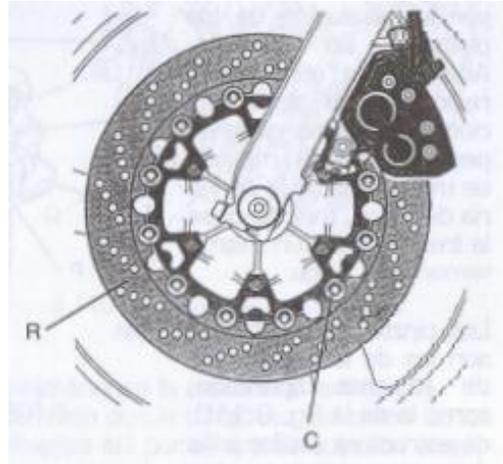
2.6.3.1. Discos de anclaje flotante.

Este tipo de discos normalmente están anclados de forma fija a la rueda, por ello puede ocasionar algunos problemas. Esto puede darse si el disco está doblado, con su giro producirá un roce en las pastillas, que tendrá a separarlas del disco, al mismo tiempo hará que provoque un cierto esfuerzo de frenada. En cuanto al disco tenga una cierta libertad de desplazamiento en el sentido de su eje, este podrá moverse, eliminado así el problema. Para que esto se produzca, la superficie del rozamiento del disco se instala independientemente en el anclaje sobre la llanta, intercalando unos cilindros donde estos están apoyados en ambas superficies permitiendo el desplazamiento de la

pista. Permitiendo realizar la superficie interior con materiales ligeros, disminuyendo en consideración su peso (Arias Paz, 2003).

Figura 28

Discos de Freno Dotado de Anclaje de Tipo “Flotante”



Nota. Discos de freno dotado de anclaje flotante. Tomado de (Arias Paz, 2003).

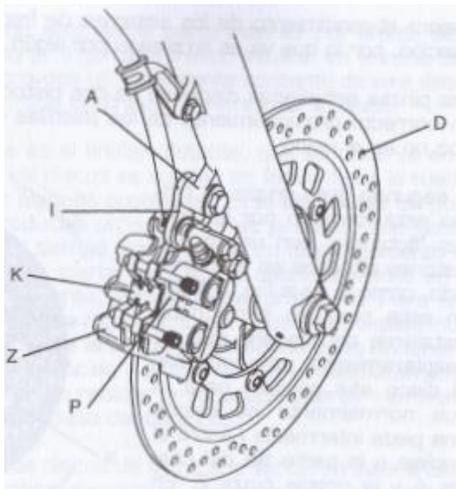
2.6.3.2. Discos de freno con doble pinza de dos pistones.

Este tipo de sistema debe instalarse de manera que su recorrido perpendicular al disco sea posible, normalmente se coloca una pieza intermedia entre el anclaje de la parte fija del chasis y la propia pinza (Arias Paz, 2003).

El desplazamiento del pistón provoca dos circunstancias, primero, el presionamiento de la pastilla que está situada contra el disco. De igual manera, un desplazamiento de la pista en sentido opuesto, originado por reacción. Esta acción provoca un desplazamiento haciendo accionar la segunda pastilla la cual está sujeta de manera fija a la pinza contra el disco de freno (Arias Paz, 2003).

Figura 29

Freno de Disco con Pinza de Dos Pistones Paralelos

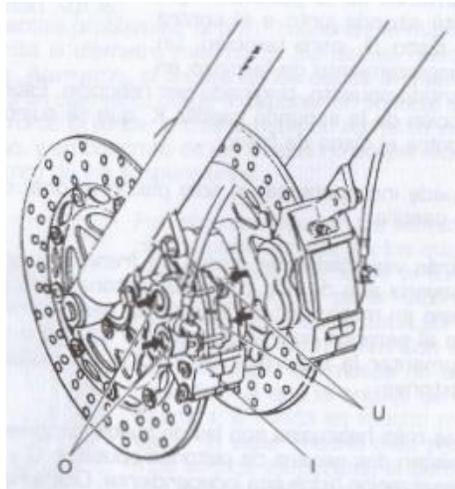


Nota. Imagen representativa del freno de disco con pinza de dos pistones paralelos.

Tomado de (Arias Paz, 2003).

2.6.3.3. Discos de freno con pinzas de cuatro pistones opuestos.

Básicamente son dos parejas de pistones opuestos, cada uno de ellos con su canalización hidráulica independiente, el tamaño de los pistones varía en cada pareja opuestos, siendo de un tamaño pequeño los que se encuentran en la parte de las pastillas donde el disco ataca en primer lugar, con el objetivo de modular la presión de la pastilla que en ese punto es arrastrada por el disco, del mismo modo que sucedía con las zapatas de los frenos de tambor. Aumentando la superficie de la pastilla, sin desaprovechar la presión por el montaje de los pistones en paralelo. Asimismo, se adiciona el radio efectivo de actuación, por lo que los pistones pueden ser anclados más cerca de la periferia del disco, logrando un mayor rendimiento de frenada (Arias Paz, 2003).

Figura 30*Freno de Disco con Pinzas de Cuatro Pistones Opuestos*

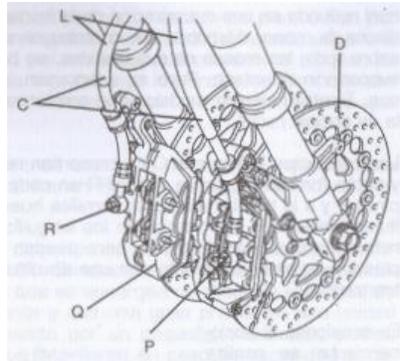
Nota. Imagen representativa del freno de disco con pinza de cuatro pistones opuestos.
Tomado de (Arias Paz, 2003).

2.6.3.4. Freno de disco con seis pistones opuestos.

Son de reciente aparición y su estructura se basa en las de cuatro pistones, pero aumentando la capacidad de frenada, al estar empleadas de unas pastillas de mayor tamaño. No consta de diferencias apreciables de fabricación, pero las pastillas pueden efectuarse de una sola pieza, o de varias, logrando un correcto alineamiento con respecto al disco (Arias Paz, 2003).

Figura 31

Freno de Disco con Pinza de Seis Pistones Opuestos



Nota. Imagen representativa del freno de disco con pinza de seis pistones opuestos.

Tomado de (Arias Paz, 2003).

En la actualidad, las motos de altas prestaciones superdeportivas, se ve la necesidad de emplear las llamadas “pinzas monoblock”. Proveen una gran dureza, al estar fabricadas de un solo elemento, amén de una mejor transmisión de presión, al no existir uniones entre conductos, en la que pueden componerse de escalones o rebabas, que lleguen a distorsionar la transmisión (Arias Paz, 2003).

Figura 32

Pinza Monoblock



Nota. Pinza monoblock. Tomado de (Arias Paz, 2003).

Las “pinzas radiales” al no estar tan comprometidas a torsiones consiguen un mejor acoplamiento de la pastilla del disco, mejorando la calidad de la frenada. Se llaman así por el tipo de sujeción empleada para su fijación a la horquilla (Arias Paz, 2003).

Figura 33

Pinza Radial



Nota. Pinza radial. Tomado de (Arias Paz, 2003).

2.7. Reglamento Técnico

A continuación, se expone la normativa técnica para moto3 que influye para la implementación del sistema de suspensión y frenado.

2.7.1. Suspensión delantera

La suspensión delantera consiste en una horquilla invertida la cual la organización no la proporciona, pero nos ofrece la posibilidad de una libre elección de la misma sin infringir las siguientes pautas.

- Está permitida la libre elección de los sistemas de suspensión delantera de cualquier tipo: horquilla convencional, horquilla invertida, telelever, duolever, basculante delantero, etc.
- Los amortiguadores del sistema de suspensión delantera no dispondrán de botellas o depósitos exteriores, ya sean anexos al cuerpo principal o comunicados mediante latiguillos.
- Los amortiguadores de suspensión delantera de tipo “presurizado” están totalmente prohibidos, con cartuchos de precarga de aire/gas.
- Por último, se podrá disponer de sistemas de ajuste mecánicos o hidráulicos, tales como regulación de precarga del muelle, regulación de compresión, extensión o rebote.

2.7.2. Suspensión trasera

En el caso de la suspensión 20 trasera está permitido la elección de cualquier tipo, podrá disponer de sistemas de ajuste mecánicos o hidráulicos, tales como regulación de precarga del muelle, regulación de compresión, extensión o rebote. (Lopez Carpes, 2020)

Este sistema permite un mejor control geométrico como de las propiedades de la constante del muelle. Consiguiendo así progresividad, regresividad o una combinación entre ambas mediante la regulación del link (Lopez Carpes, 2020).

2.7.3. Frenos

En la categoría Moto3, solo se permiten discos de freno de materiales ferrosos

La motocicleta deberá disponer tanto de freno delantero como de freno trasero. Deberá utilizarse el conjunto de freno delantero (bomba, latiguillos y pinza) proporcionado por la organización. Se permite la elección del tipo de pastillas y disco de freno y se permite la sustitución de los latiguillos de freno por otros de diferente longitud (Eulate Zayas & Arizcuren Galar, 2020)

Las motocicletas deben estar equipadas con protección de palanca de freno, destinada a proteger la (s) palanca (s) de freno del manillar para que no se activen accidentalmente en caso de colisión con otra máquina. La protección aceptable incluye que el carenado se extienda lo suficiente para cubrir la palanca de freno, visto desde el frente (FIM, 2021).

El reglamento estipulado por (FIM, 2021) menciona que “No se permiten los sistemas de frenos antibloqueo (ABS). Las entradas de frenado deben ser alimentadas y controladas únicamente por las entradas manuales del motociclista. Se permiten controles hidráulicos convencionales de mano / pie, como cilindro maestro / esclavo para los sistemas de frenado, pero no se permite ningún aumento o control de la presión de los frenos mediante sistemas electrónicos o mecánicos aparte de las entradas manuales directas del conductor. permitido. Específicamente, los sistemas de frenos diseñados para evitar que la rueda se bloquee cuando el motociclista aplica el freno están prohibido”.

Capítulo III

3. Criterios de selección

Para esta sección se desarrollarán los criterios matemáticos en cuanto al sistema de frenado de la motocicleta, para posteriormente analizar los resultados obtenidos con los datos técnicos y con la prueba de rodaje.

A su vez los parámetros de selección donde se analizarán las ventajas y desventajas dependiendo el tipo de sistema de suspensión a elegir, además, del sistema de frenado. Donde más adelante todos estos sistemas serán implementados uno tras otro en el prototipo.

Finalmente, efectuar y analizar los resultados de la prueba de rodaje teniendo en cuenta el reglamento estipulado por la normativa de moto3.

3.1. Criterios Matemáticos

En este apartado se calcularán las fuerzas que actúan en la motocicleta durante su recorrido en la pista. Los cálculos de estas fuerzas son necesarias ya que son las que se utilizarán para calcular la distancia y la fuerza de frenado de la motocicleta.

Antes que nada, se deberá tener en cuenta una serie de parámetros como el peso total de la moto, la distancia entre ejes, la velocidad máxima y el peso de ambas ruedas.

Para el coeficiente de rozamiento, se va a suponer que tanto el neumático delantero como el trasero van a tener datos distintos, ya que sus propiedades de

fabricación son distintas. Para el cálculo de las fuerzas aplicadas se tendrá en cuenta los siguientes datos:

3.1.1. Datos de la motocicleta

Tabla 1

Datos Técnicos de la Motocicleta

Datos Técnicos de la Motocicleta	
Masa total de la moto más el piloto	165 kg
Distancia entre ejes	1345 mm
Diámetro de disco de freno delantero	240 mm
Diámetro de disco de freno trasero	230 mm
Velocidad máxima permitida	120 km/h
Peso rueda delantera	53.945 kg
Peso de rueda trasera	64.934 kg
Rugosidad del piso	Asfalto
Coeficiente Dinámico Delantera	0.9
Coeficiente Dinámico Trasera	1.1

3.2. Cálculos de Implementación del Sistema de Frenado

- **Cálculo de porcentaje de distribución de pesos:**

En este caso vamos a analizar el porcentaje de la distribución de pesos en cada eje (delantero y trasero) para posteriormente calcular las fuerzas actuantes en la motocicleta.

$$\% \text{ eje delantero} = \frac{\text{peso eje delantero}}{\text{peso eje delantero} + \text{peso eje trasero}} * 100$$

$$\% \text{ eje delantero} = 45,378$$

$$\% \text{ eje trasero} = \frac{\text{peso eje delantero}}{\text{peso eje delantero} + \text{peso eje trasero}} * 100$$

$$\% \text{ eje trasero} = 54.622$$

Conociendo la distribución de pesos el reparto de los pesos en cada eje y conociendo que la moto más el piloto tienen un peso de 1618.65 N se calcula las fuerzas actuantes en la motocicleta.

- **Fuerza delantera Fr1:**

Como primer punto se analizará la frenada máxima en la rueda delantera, por lo que se considerará solamente el freno delantero. La fuerza de inercia (Fi) está opuesta al movimiento, por la frenada de la moto y se aplicará en el centro de gravedad, las reacciones de este peso serán NA y NB que serán aplicadas en la superficie de contacto con el neumático y el asfalto en sentido vertical positivo, además, del porcentaje (%) del eje delantero.

La fuerza de frenada (Fr1) está ubicada en la superficie de contacto entre el neumático delantero y el asfalto

$$Fr1 = \mu * Fi$$

$$Fr1 = 0.9 * 1618.65 \text{ N}$$

$$Fr1 = 1456.785 \text{ N}$$

- **Fuerza trasera Fr2:**

Cabe mencionar que al accionar el freno delantero durante una frenada fuerte es necesario accionar antes el freno trasero, ya que es primordial cargar el tren delantero antes de accionar el freno trasero para no llegar a bloquear la rueda delantera.

La fuerza de inercia (F_i) está opuesta al movimiento, por la frenada de la moto y se aplicará en el centro de gravedad, las reacciones de este peso serán N_A y N_B que serán aplicadas en la superficie de contacto con el neumático y el asfalto en sentido vertical positivo, además, del porcentaje (%) del eje trasero.

La fuerza de frenada (F_{r2}) está ubicada en la superficie de contacto entre el neumático trasero y el asfalto

Debido a que el peso es repartido al 50% entre ambos neumáticos, por lo visto que la frenada máxima del tren trasero está cargada con la mitad del peso.

$$N_a = \frac{p}{2}$$

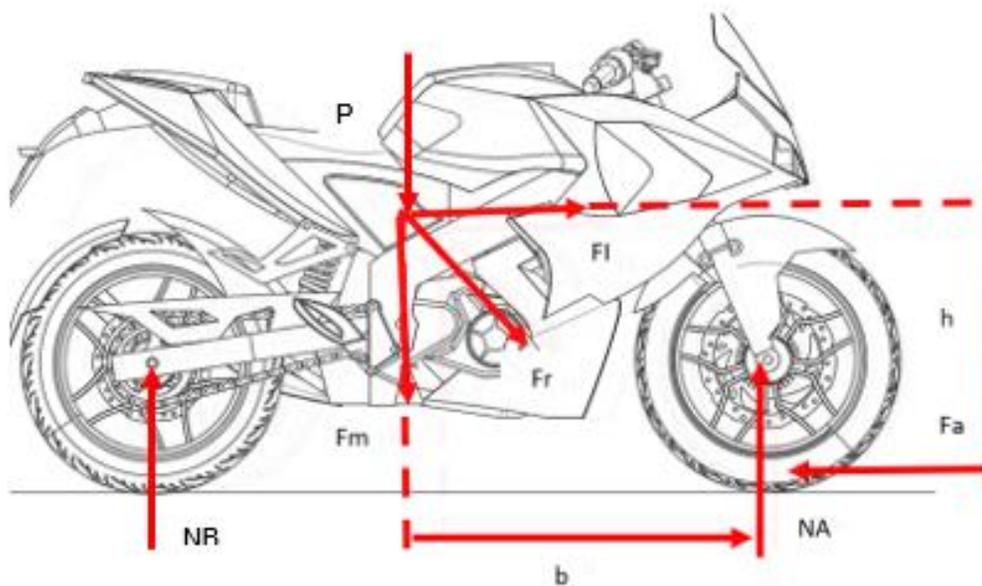
$$N_A = N_B = 809.325 \text{ N}$$

$$F_{r2} = \mu * N_B$$

$$F_{r1} = 890.26 \text{ N}$$

Figura 34

Fuerzas Aplicadas en la Motocicleta



A continuación, se calculan las fuerzas aplicadas en la motocicleta durante su recorrido en pista:

$$\sum Fy = 0$$

$$N_A = F_m$$

$$F_m = mxg = 1618.65 \text{ N}$$

$$\sum Ma = 0$$

$$N_B = 0$$

$$F_m \times b = FI \times h$$

$$FI = \frac{F_m \times b}{h} = \frac{1618.65 \times 0.6103}{0.538}$$

$$FI = 1836.174 \text{ N}$$

Se determina el valor de la aceleración para que la masa pueda levantar la motocicleta de la parte trasera

$$FI = mt \times a$$

$$a = \frac{FI}{mt} = \frac{1836.174}{165 \text{ kg}}$$

$$a = 11.128 \text{ m/s}^2$$

- **Fuerza resultante:**

Para calcular la fuerza resultante se deben sumar todas las fuerzas que, actúan sobre el cuerpo, donde se representa en la siguiente ecuación:

$$FR = \sqrt{Fm^2 + FI^2}$$

$$FR = 2447.77 \text{ N}$$

- **Tiempo de frenado:**

Para proceder a este cálculo es necesario conocer la velocidad máxima de la motocicleta y el peso total de esta misma, donde se representará en la siguiente ecuación

$$E = \frac{1}{2} mv^2$$

$$E = \frac{1}{2} 165 \text{ kg} \left(33.33 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2$$

$$E = 9.164810^4 \text{ Joule}$$

- **Distancia de frenado:**

Para calcular esta distancia se asume la velocidad máxima de la moto que oscila entre 33.33 m/s (120km/h), el cual será comparado previamente en la prueba de frenado.

A continuación, se expresa en la siguiente ecuación:

$$d = \frac{v^2}{2a}$$

$$d = \frac{(33.33 \text{ m/s})^2}{2(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})}$$

$$d = 56.62 \text{ m}$$

- **Fuerza de frenado:**

Finalmente, llegado a este punto se calcula la fuerza de frenado de la motocicleta, teniendo en cuenta el valor de la fuerza de inercia de esta misma

$$Ff = \frac{1836.17}{2}$$

$$Ff = 918.085 \text{ N}$$

3.3. Parámetros de Selección

3.3.1. Sistema de suspensión

Hay que tener en cuenta que para la elección del sistema de suspensión delantera está permitido la libre elección de los sistemas de suspensión delantera de

cualquier tipo: horquilla convencional, horquilla invertida, telelever, duolever, basculante delantero, etc.

Se puede elegir una gran variedad de tipos, pero entre las más accesibles y económicas dentro del país, se encuentran dos tipos, suspensión con sistema tradicional y suspensión con barras invertidas, el cual analizaremos sus ventajas y desventajas.

- **Sistema Tradicional**

Tabla 2

Ventajas y Desventajas del Sistema Tradicional

Ventajas	Desventajas
Sistema Sencillo	Poca Estabilidad
Bajo Coste	Pocas Opciones de Regulación
Bajo Mantenimiento	Poca Adaptabilidad a la Superficie

- **Suspensión con Barras Invertidas**

Tabla 3

Ventajas y Desventajas del Sistema de Suspensión con Barras Invertidas

Ventajas	Desventajas
Rigidez	Mantenimiento Profesional
Estabilidad	Fugas de aceite
Peso Suspendido Reducido	Alto coste
Niveles de Fricción de Puntuales Reducidos	

Conclusión: Una vez enumerado las ventajas y desventajas de estos sistemas de suspensión llegamos a la conclusión de que el sistema de barras invertidas se adapta mejor a nuestras necesidades, ya que al formar parte de las exigencias en cuanto a la normativa moto3 este es un sistema más sencillo, por lo que añade una mayor confort y adherencia al piloto

En cuanto a la suspensión trasera, se vio la necesidad de elegir el mismo componente de la marca "ENDURANCE", teniendo en cuenta el largo y peso de este mismo, luego se comprobará su correcto funcionamiento aprovechando todo el recorrido del amortiguador.

3.3.2. Sistema de frenado

Para la selección del sistema de frenado, hay que tener en cuenta el reglamento que claramente menciona que será de libre elección, siempre y cuando no cuenten con elementos eléctricos o electrónicos.

Para ello se tiene que tener en cuenta el modelo de las barras invertidas, donde hay que elegir las mordazas de la suspensión delantera.

3.4. Descripción de la Solución Propuesta

Antes que nada, hay que decidir qué modelo de suspensión delantera se requiere utilizar en el prototipo. Por ello se recurrió a un análisis de alternativas donde se estudió los diferentes sistemas de suspensión con sus ventajas y desventajas. De todas estas se decidió apostar por una suspensión delantera de barras invertidas que fácilmente se puede encontrar en el país. Se vio la importancia de elegir este sistema de suspensión por el alto rendimiento requerido, ya que cumple con las exigencias de

competición. Debido al alto coste de adquisición de las horquillas invertidas, se vio la necesidad de adquirir una suspensión económicamente accesible dentro del presupuesto.

Dentro del mercado, se decidió implementar la suspensión de barras invertidas con una longitud de 800mm. El cual encaja perfectamente con las medias de moto3 y a su vez a las normativas estipuladas en el reglamento.

Figura 35

Suspensión Delantera de Barras Invertidas



Además, para la implementación del tren delantero se realizará la fabricación de la columna de dirección en el torno el cual a su vez tendrá las medidas en el soporte del bastidor. Este componente tendrá los rodamientos y las medidas exactas del diseño a fabricar, debido a que el boceto del bastidor será fabricado desde cero. Este componente se construyó con acero al carbono AISI 1018 ya que es un material fácilmente manejable.

Figura 36

Tren Delantero de la Suspensión Delantera



Se vio la necesidad de adoptar los rodamientos originales. Donde en la parte inferior consta de un retén de bolas y una pista inferior de 29,91mm de diámetro interno, además, de la parte superior con un retén de bolas y una pista superior, con un diámetro interno de 29.9mm.

Figura 37

Rodamientos Superior e Inferior de Bolas de Dirección



3.5. Descripción de Tareas y Fases

En este apartado se procederá a la descripción de las diversas etapas y labores que se han realizado en este plan. Este plan se puede dividir en 2 etapas primordiales: diseño y construcción.

Para la implementación del sistema de suspensión tanto como delantero y posterior, se logrará incorporar una vez finalizada la fabricación del chasis en su totalidad. De igual manera hay que establecer que al momento de implementar la suspensión delantera este tenga las medidas exactas con el aro, las mordazas y el castillo. Caso contrario de que no sea así, se realizarán los diseños y/o modificaciones según sea requerido. Por ello hay que analizar los componentes, materiales y medidas para el diseño de la columna de dirección, los cuales serán fabricados y/o modificados por un tornero especialista en motociclismo.

Se debe tener en cuenta la distancia entre ejes que dependiendo la cilindrada del motor este oscila entre los 135,5m y de igual manera el ángulo de lanzamiento que normalmente varía entre los 22 y 30 grados.

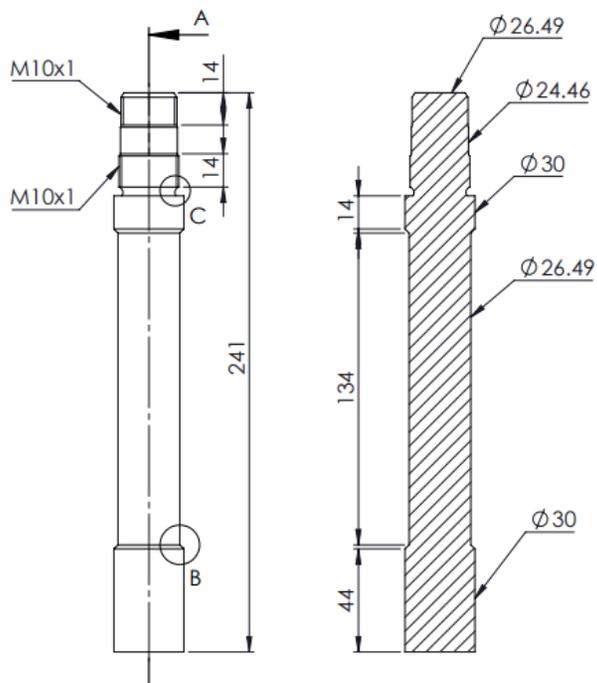
Por último, es necesario leer el reglamento FIM (Federación Internacional de Motociclismo) la cual está especialmente estipulada para moto3, para evitar incumplir cualquier normativa.

3.5.1. Diseño

Para fabricar la columna de dirección hay que realizar el diseño previo en 2D de este componente el cual se lo realizará en el programa de diseño CAD para ello contará con las siguientes medidas, basándonos en las medidas de los rodamientos de la moto.

Figura 38

Diseño en 2D de la Columna de Dirección



Por último, se diseña el modelado en 3D en el programa de diseño CAD, de igual manera elegir el material a fabricar en este caso acero al carbono AISI 108, ya que tiene buena maquinabilidad y alta resistencia.

Figura 39

Diseño en 3D de la Columna de Dirección



Figura 40

Diseño de la Rosca

**3.5.2. Construcción**

Antes de la fabricación se es necesario elegir el material a fabricar por ello se vio la necesidad de elegir acero al carbono AISI 1018, es un acero con bajo contenido de carbono que se caracteriza por una buena soldabilidad, buena maquinabilidad, alta resistencia y propiedades de impacto, ya sea en estado normalizado o forjado en caliente.

Aplicaciones:

- Para piezas de tornillos
- Ejes
- Pasadores
- Husillos
- Varillas

Una vez fabricado en su totalidad la columna de dirección se verificará que las medidas concuerden con el diseño, además, de inspeccionar que no exista anomalía alguna en cuanto a este componente y que los rodamientos encajen perfectamente.

Las operaciones establecidas para mecanizar la columna de dirección en el torno fueron:

- Refrentado de la cara frontal.
- Cilindrado a la superficie exterior del eje.
- Hilo de Rosca Tuerca de Regulación
- Hilo de Rosca Tuerca de Ajuste

Figura 41

Mecanizado de la Columna de Dirección



Figura 42

Columna de Dirección con los Rodamientos



Se deben incorporar los rodamientos para permitir el giro adecuado de la dirección de la moto.

Figura 43

Rodamientos



3.6. Implementación del Sistema de Suspensión

Debido a que la suspensión delantera contaba con dimensiones inferiores en cuanto a su anchura se presentó un gran inconveniente, esta suspensión no encajaba con el neumático delantero de la moto a trabajar por lo cual se optó por incorporar el aro 110/70 - R17 y el disco de un modelo diferente.

Figura 44

Aro Delantero



Finalmente, se realizó la implementación de todos los componentes en cuanto a la suspensión delantera. Cabe mencionar que hacía falta el enllantaje del neumático en el aro nuevo por ello se relatan los pasos para este proceso.

Figura 45

Implementación de la Suspensión Delantera, Aro Delanero, Disco de Freno.

**3.7. Enllantaje**

Para las llantas estas serán de libre elección, los únicos materiales permitidos pueden ser de acero, aluminio o magnesio. En el caso de los neumáticos (delantero y trasero) estos son proporcionados por la organización por lo que se decidió implementar aros de magnesio.

Figura 46

Desmontaje del Conjunto



Figura 47

Desmontaje del Conjunto

**Figura 48**

Montaje del Neumático en el Aro Nuevo



Teniendo en cuenta que el aro es R17 se debe verificar las libras de inflado de este mismo el cuál es de 32lb, además, de que la válvula de este aro era demasiado

pequeña por lo cual se procedió a retirarlo y realizar un agujero con un mayor diámetro con la ayuda de un taladro y broca para incorporar una válvula más grande.

Figura 49

Inflado de la Llanta en el Aro Nuevo



Figura 50

Enllantaje del Aro Delantero



Figura 51

Suspensión Delantera montada con todos los complementos



En el caso de la suspensión trasera tanto como el freno trasero se optó por incorporar el mismo componente, como lo es el monoshock.

Figura 52

Monoshock Posterior



Finalmente se hace la incorporación del sistema de suspensión (delantero y trasero). Para este proceso se debe tener en cuenta la regulación del perno ajuste de las barras ya que es primordial para la maniobrabilidad. Por ello se realiza un ajuste a pulso verificando que no quede muy apretado.

Figura 53

Implementación del Sistema Delantero Conjuntamente con el Neumático



Como se muestra a continuación se incorpora lo que es la suspensión trasera (monoshock) unida al bastidor conjuntamente con el basculante y el neumático trasero para que este quede totalmente estático.

Figura 54*Montaje del Sistema de Suspensión***3.8. Implementación del Sistema de Frenado**

Para la implementación del sistema de frenado como anteriormente se hizo mención fue necesario incorporar un disco de freno diferente debido a las medidas de la suspensión delantera. Este tipo de disco refrigerado por aire.

Figura 55*Disco de Freno Delantero de la Motocicleta*

Para el acople de la mordaza delantera después de realizar una búsqueda exhaustiva para el acople perfecto de este componente en las barras invertidas se optó

por implementar la mordaza delantera, el cual era necesario realizar una modificación para el acople de los pernos en la barra invertida.

Figura 56

Mordaza Delantera



Seguido de acoplar la bomba de freno a la mordaza delantera, por ello se necesitó un playo de presión para asegurar que el líquido de frenos no llegue a ser desperdiciado.

Figura 57

Cambio de la Mordaza Delantera



Figura 58*Mordaza Delantera y Bomba de Freno*

Finalmente se incorporan todos los complementos del sistema de frenado de la parte delantera. Para posteriormente realizar una purga de aire del sistema para un mayor agarre entre la pastilla y el disco de freno.

Figura 59*Mordaza y Disco Delantero*

Para la incorporación del sistema de frenado posterior se implementó un sistema totalmente eficiente, como lo son la mordaza y el disco de freno, conjuntamente con la palanca de freno y el depósito del líquido.

De igual manera se vio la necesidad de adquirir las pastillas de freno traseras de la marca "MOTORCYCLE", para una mayor eficiencia en cuanto al accionar del freno de la motocicleta.

Figura 60

Pastillas de Frenos Posteriores



Para finalizar se incorpora la mordaza trasera del sistema de frenado. El cual encajaba perfectamente con el basculante que anteriormente fue diseñado y fabricado.

Figura 61

Mordaza y Disco de Freno Posteriores



3.9. Amortiguación

Finalmente, se implementan todos los sistemas tanto como la suspensión (delantera y posterior) y el sistema de frenado, en el bastidor y basculante de la moto 3. Cabe mencionar que hay que tener en cuenta la distancia entre ejes 1.345m por ello había que regular la altura de las barras invertidas, seguido del ángulo de lanzamiento que oscilaba entre los 30 grados.

Figura 62

Montaje de los Sistemas de Suspensión y Frenado



Capítulo IV

4. Pruebas

4.1. Pruebas en Pista

Todas estas pruebas son realizadas en la competición, posterior a la calificación por parte de los jueces en las especificaciones técnicas, estas pruebas que según reza en el reglamento se consideran como pruebas dinámicas.

4.1.1. *Distancia de frenado*

Debido a que no se encontró dentro del reglamento FIM pruebas de frenado que se puedan realizar a la motocicleta, se decidió aplicar la prueba de frenado de MotoStudent, en el reglamento de la competición se denomina “MS2 TEST 1: BRAKE TEST” el cual está homologada para la categoría de moto3. (MotoStudent, 2020).

- a. La prueba de frenado consistirá en una evaluación de la distancia necesaria para detener la moto por completo a partir de una velocidad mínima de 80 km/h.
- b. La prueba se realizará a lo largo de una recta de 350m de longitud total.
- c. Se dispondrá de una longitud máxima de 200m para que la moto alcance una velocidad igual o superior a 80 km/h. La Organización dispondrá de un medidor de velocidad en ese punto para verificar que se está alcanzando esa velocidad.
- d. Al rebasar el punto de final de la recta de aceleración (Punto de speed trap) el piloto tendrá que intentar detener la moto en la mínima distancia posible.

- e. La distancia entre el punto descrito en el artículo anterior y la línea de comienzo de frenada será considerada la distancia de frenado calificable en esta prueba.
- f. La puntuación de la prueba de frenada se llevará a cabo una vez recogidas las distancias de frenada de todos los equipos.
- g. La evaluación de la prueba se realizará mediante una extrapolación con los resultados obtenidos.

Figura 63

Descripción Gráfica de la Prueba



Nota. Representación de la prueba de distancia de frenado en pista. Tomado de (MotoStudent, 2020)

- i. Si la velocidad de pasada por el punto de speed trap es inferior a 80 km/h se tomarán las siguientes penalizaciones, que serán añadidas a la distancia de frenada obtenida.

Tabla 4

Penalizaciones

Velocidad (km/h)	Penalización
79	+ 4 m
78	+ 6 m
77	+ 8 m

Velocidad (km/h)	Penalización
76	+ 10 m
75	+ 12 m
70-74	+ 20 m
<70	Medición Nula

Nota. Tabla de penalizaciones en caso de que la motocicleta no alcance la velocidad requerida. Tomado de (MotoStudent, 2020)

Para la simulación de esta prueba se efectuó en la ciudad de Quito en el sector Venecia 1, en una pista totalmente asfaltada con una longitud aproximada de 500m, que se adapta a las exigencias de la prueba de frenado.

Figura 64

Zona de Simulación



En la siguiente imagen se muestra el piloto realizando la prueba de distancia de frenado, iniciando desde el punto de partida hasta llegar a la distancia de 200m donde instantáneamente el piloto accionará el freno, y tendrá que frenar en la distancia mínima posible.

Figura 65

Piloto Realizando la Prueba de Frenado



La distancia de frenado se comprobó mediante una aplicación Android “Velocímetro GPS” donde arrojaba los siguientes datos:

Figura 66*Distancia de Frenado***Tabla 5***Datos Obtenidos*

Distancia de Frenado (m)	Speed (km/h)
54.4m	120km/h

Según los datos obtenidos durante la simulación de la prueba de rodaje podemos observar que el rango de distancia de frenado dio como resultado los 54.4m a una velocidad máxima de 120km/h (33.33 m/s).

Estos datos oscilan entre el rango de distancia que anteriormente fue calculado por lo que no varía en gran medida, esto podría deberse a la fuerza de rozamiento de la pista o al accionar del freno. Ya que el reglamento menciona que se debe frenar en la menor distancia posible durante los 150m.

$$d = \frac{v^2}{2a}$$

$$d = \frac{(33.33 \text{ m/s})^2}{2(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})}$$

$$d = 56.62 \text{ m}$$

Capítulo V

5. Marco administrativo

5.1. Presupuesto

Tabla 6

Presupuesto

Equipos y Sistemas	Coste	Materiales	Procesos	Total
Suspensión Invertida	\$ 150,00	\$ 20,00	\$ 15,00	\$ 185,00
Monoshock Trasero	\$ 50,00	\$ -	\$ -	\$ 50,00
Aro Trasero	\$ 70,00	\$ -	\$ -	\$ 70,00
Disco de Freno Trasero	\$ 80,00	\$ -	\$ -	\$ 80,00
Mordaza Trasera	\$ 35,00	\$ -	\$ -	\$ 35,00
Pistas de Dirección	\$ 7,14	\$ -	\$ 5,00	\$ 12,14
Aro Delantero	\$ 26,21	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 36,21
Enllantaje	\$ 3,00	\$ 2,00	\$ 1,00	\$ 6,00
Mordaza Delantera	\$ 14,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 24,00
Disco de Freno Delantero	\$ 7,23	\$ 0,66	\$ -	\$ 7,89
Eje de Rueda Delantero	\$ 1,21	\$ -	\$ -	\$ 1,21
Pastillas de Freno Posterior	\$ 6,00	\$ -	\$ -	\$ 6,00
Líquido de Frenos	\$ 3,00	\$ -	\$ -	\$ 3,00

Pintura	\$ 18,00	\$ -	\$ -	\$ 18,00
Timón de Dirección	\$ 7,25	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 17,25
Gastos Adicionales	\$ 70,00	\$ -	\$ -	\$ 70,00
Total de la Moto	\$ 548,04	\$ 37,66	\$ 36,00	\$ 621,70

Capítulo VI

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

- En la investigación realizada se pudo determinar que para la elección del sistema de suspensión es primordial elegir barras invertidas ya que cuentan con mayores ventajas de funcionamiento, de igual manera, se incorporó un sistema de frenado que encajaba perfectamente con las necesidades de adherencia en pista de la motocicleta.
- Se seleccionó el sistema de suspensión de barras invertidas por lo que era un sistema accesible dentro del país, además, de que este sistema cumple satisfactoriamente con las exigencias estipuladas por la normativa FIM de moto3.
- Los mecanismos seleccionados del sistema de frenado, fueron altamente eficaces para asegurar una conducción firme, donde efectivamente cumplía con las necesidades mencionadas en el reglamento técnico.
- Al momento de seleccionar el sistema de suspensión y freno se tuvo en cuenta el acople del bastidor y el basculante ya que encajaba perfectamente con el diseño propuesto.
- Según los cálculos realizados partiendo de los datos técnicos del prototipo se logró determinar la fuerza y la distancia de frenado que actuarían en la motocicleta durante su recorrido en pista.

6.2. Recomendaciones

- Es fundamental hacer una proyección previa de costos del plan para poder elegir sabiamente en cuanto a la selección de componentes, materiales y procesos de elaboración.
- Necesariamente se debe realizar una búsqueda exhaustiva previa del sistema de suspensión ya que para la realización de este proyecto hay que cumplir con altos estándares de exigencia.
- Para el estudio investigativo es necesario aplicar las normativas que estipulan en cualquier desarrollo.

Bibliografía

andrcarlmotogp. (2020). *características de moto3*. Tomado de

<https://sites.google.com/site/andrcarlmotogp/las-motos/caracteristicas-de-moto-3>

Arias Paz, M. (2003). Sistema de Suspensión. En M. Arias Paz, *Motocicletas* (págs.

571-572). Madrid: CE INVERSIORAS EDITORIALES DOSSAT 2000 S.L. .

COLLANTES GIL, A. (Octubre de 2012). *PRE-DISEÑO DE BASCULANTES Y SELECCIÓN PARA LA SUSPENSIÓN DE UNA MOTOCICLETA DE COMPETICIÓN*. Tomado de

<https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://e->

[archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/16621/PFC_AARON_COLLANTES_GI](https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/16621/PFC_AARON_COLLANTES_GIL.pdf)

[L.pdf](https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/16621/PFC_AARON_COLLANTES_GIL.pdf)

Díez Berja, J. (septiembre de 2020). *DISEÑO DEL SISTEMA DE FRENADO DE UNA MOTOCICLETA PARA CIRCULACIÓN EN CARRETERA*. Tomado de

<https://n9.cl/pp2d>

Eulate Zayas, C., & Arizcuren Galar, M. (2020). *FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO DE MOTO DE COMPETICIÓN DE CATEGORÍA MOTO 3*. Tomado de

<https://academica>

[e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/8847/578176.pdf?sequence=1&isAllo](https://academica.e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/8847/578176.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[wed=y](https://academica.e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/8847/578176.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Figuroa Hernandez, J., & Hernandez Treviño, J. (Octubre de 2013). *MODELADO Y*

ANÁLISIS DE LA SUSPENSIÓN TRASERA DE UNA MOTOCICLETA. Tomado

de

<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/12994/1943%202013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

FIM, W. C. (2021). *Reglamento del Gran Premio del Campeonato del Mundo de la FIM*. Tomado de 2021_FIM_Grand_Prix_World_Championship_Regulations-updated_18_June-3.en.es.pdf

Lopez Carpes, J. (2020). *Diseño y fabricación de un chasis de una motocicleta de competición*. Tomado de <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/6480/tfg-lop-dis.pdf?sequence=1>

Motogp. (2019). *El Doctor Dibujo*. Recuperado el 20 de julio de 2021, de <http://sisale.shoppingonline2021.com/category?name=moto%20gp%20bike%20s-ketch>

MOTOGP. (2019). *Mundial del Motociclismo*. Recuperado el 18 de agosto de 2002, de <http://a22.uca.es/tpi17/mon042/CATEGORIAS/categorias.html>

MotoStudent. (Marzo de 2020). *Reglamento de la Competición*. Tomado de http://www.motostudent.com/assets/files/MS1920_Regulations_V1_ESP.pdf

Vilaplana Ragüés, P. (2015). *Análisis y diseño del sistema de amortiguación competición pre-moto3*. Tomado de <https://n9.cl/bu6r>

Anexos