

**UNIVERSIDAD FERMÍN TORO
VICE-RECTORADO ACADÉMICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO MECÁNICO**

**PROPUESTA DE CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE FRENOS PARA EL
VEHÍCULO MONOPLAZA, BASADO EN LOS LINEAMIENTOS
PROPUESTOS POR SAE INTERNACIONAL
DEL EQUIPO FORMULA SAE EN LA
UNIVERSIDAD FERMÍN TORO**

**Autor: Br. Emilio J. Lima B.
Tutor: Ing. Diego Betancur**

CABUDARE, MARZO DEL 2014


**UNIVERSIDAD FERMÍN TORO
VICE-RECTORADO ACADÉMICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO MECÁNICO**

**PROPUESTA DE CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE FRENOS PARA EL
VEHÍCULO MONOPLAZA, BASADO EN LOS LINEAMIENTOS
PROPUESTOS POR SAE INTERNACIONAL
DEL EQUIPO FORMULA SAE EN LA
UNIVERSIDAD FERMÍN TORO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero en
Mantenimiento Mecánico**

**Autor: Br. Emilio J. Lima B.
Tutor: Ing. Diego Betancur**

CABUDARE, MARZO DEL 2014

	UNIVERSIDAD FERMÍN TORO VICE-RECTORADO ACADÉMICO	FORMA 010 DES	Versión 01
	TRABAJO DE GRADO	DIRECCIÓN DE ESCUELA	

4 Pág. 1/2

ACTA DE VEREDICTO

DECANATO: Ingeniería

ESCUELA

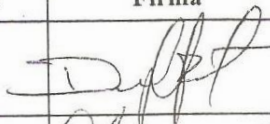
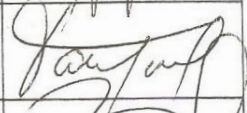

Mantenimiento Mecánico

Nosotros, miembros del Equipo de Discusión y Evaluación del Trabajo de Grado N° **023770**
 Titulado: **Propuesta de construcción del Sistema de frenos para el vehículo monoplaza, basado
 En los lineamientos propuestos por SAE Internacional del equipo Formula SAE de la Universidad
 Fermín Toro**

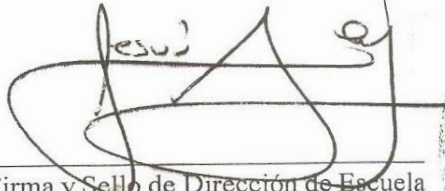
presentado por el (la) estudiante: **Emilio José Lima Bullones** titular de
 la cédula de identidad N° **20.469.097** como requisito para optar al grado académico de
Ingeniero en Mantenimiento Mecánico lapso **2013-4** hacemos constar que hoy
07 de marzo de 2014 a las **2: 00 pm,** se realizó la discusión oral y pública del
 Trabajo de Grado, de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Trabajo de Grado de esta Universidad.
 Este Equipo de Discusión y Evaluación emite el siguiente veredicto:

El Trabajo de Grado obtuvo la calificación de: 20 puntos / 20

De acuerdo a lo establecido en el artículo N° 34 del Reglamento de Trabajo de Grado el presente trabajo ha
 obtenido la mención: Honorífica

Condición	Cédula de Identidad	Firma
Jurado (Tutor) ING. DIEGO BETANCUR	24.156.551	
Jurado 1 ING. DANIEL DUQUE	3.308.379	
Jurado 2 ING. RAMON RINCONES	3.610.547	

Firma y Sello de Dirección de Escuela







ACTA DE VEREDICTO

Artículo 42: La Universidad Fermín Toro podrá otorgar dos menciones: a) mención honorífica y b) mención publicación.

PARÁGRAFO PRIMERO: Se entiende por mención honorífica, el reconocimiento al trabajo desarrollado por el estudiante-investigador, por el esmero y dedicación especial y extraordinaria, demostrado durante el proceso de construcción de su Trabajo de Grado. Este reconocimiento podrá ser otorgado por los miembros del Equipo de Discusión y Evaluación, por decisión unánime durante el proceso de evaluación.

PARÁGRAFO SEGUNDO: Se entiende por mención publicación, el reconocimiento que se otorga al Trabajo de Grado presentado por el estudiante-investigador, como producción intelectual de demostrada creatividad e innovación; por su originalidad y aporte significativo para la Universidad, comunidad u organización; en el ámbito local, nacional e internacional y que implica la publicación del mismo en cualquier medio de divulgación.

PARÁGRAFO TERCERO: la mención publicación podrá ser solicitada ante el Consejo de Escuela de cada Facultad, por parte del Equipo de Discusión y Evaluación de forma unánime. Cada Escuela emitirá un informe, aprobado en Consejo de Escuela, sobre las solicitudes de publicaciones, ante el Consejo de Facultad para su decisión definitiva. El Consejo de Facultad remitirá a la Secretaría General para su publicación en el formato y medio que la Universidad destine para ello.

PARÁGRAFO CUARTO: Para otorgar dichas menciones la calificación obtenida no deberá ser menor de veinte (20) puntos.

REGLAMENTO ESTUDIANTIL

CAPÍTULO XI DE LOS RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN

Artículo 75: El rendimiento académico del estudiante en cada asignatura o actividad académica afin, será expresada con la escala numérica de 0 a 20 puntos, ambos inclusive. La correspondencia entre los objetivos logrados y la calificación será determinada y verificada por el área correspondiente y establecida dentro de la planificación curricular de las asignaturas. La siguiente tabla da la relación entre las escalas del 0 al 100 y del 0 al 20

PORCENTAJE DE OBJETIVOS (%)	CALIFICACION	EXPRESION CUALITATIVA
97-100	20	EXCELENTE
93-96	19	SOBRESALIENTE
89-92	18	
85-88	17	DISTINGUIDO
80-84	16	
75-79	15	BUENO
70-74	14	
65-69	13	SUFICIENTE
60-64	12	
55-59	11	DEFICIENTE
50-54	10	
45-49	09	DEFICIENTE
40-44	08	
35-39	07	
30-34	06	
25-29	05	
20-24	04	MUY DEFICIENTE
14-19	03	
07-13	02	
02-06	01	
0-01	0	

DEDICATORIA

A la vida misma, llena de todas esas creencias que tiene diferentes orígenes y nombres, en mi caso Dios, para otros Ala, algunos lo llaman Buda y otros Ciencia.

A sus creaciones más destacadas, los seres humanos, seres colaboradores en nuestro crecimiento como personas, como lo son en primer lugar mis padres, mi familia y mis amigos.

Y a todos aquellos que por añadidura me han complementado como un nuevo ser, que forma parte de esta sociedad como lo son, profesores, maestros, ídolos, compañeros, conocidos y rivales.

A mi país, a mis raíces, a mi cultura y a la sociedad.

A todos ellos les dedico la primera de muchas obras intelectuales que a lo largo de mi vida luchare por desarrollar.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios en primer lugar, por haberme dado vida, paz, sabiduría, paciencia, amor y muchas otras bendiciones que me han complementado como persona y me han logrado a alcanzar cada una de las metas y etapas propuestas, por haberme puesto en mi camino a tantas personas maravillosas y a otras aunque no lo sean igual colaboración en la forja de mi personalidad de mi carácter y de mi pensamiento.

Agradezco a mis Padres, artífices de este ser que hoy se encuentra en el cumplimiento de una de sus metas propuestas, mis ejes, mis bases, mi orgullo, mi ejemplo, mi primeros amores, en fin todo honor y toda gloria a ellos, que de alguna u otra manera siempre han encontrado la manera de estar a mi lado en todas las etapas de mi vida.

Agradezco a mi Familia, con sanguínea y a la que de alguna manera aunque no se lleva en la sangre se ganaron espacios especiales en nuestro corazón y en nuestro ser, empezando por mis abuelas y abuelos, la abuela Trina y la abuela Lola, más muestra de amor y cariño acompañado de cuidados que me brindaron ambas no pude haber tenido ninguna mejor, a mis abuelos Emelio y Felipe, hombres forjadores de mis padres, a mis Tías múltiples madres que dios me mando, mi Tía Nancy mi madre que se hizo cargo de todo lo que hoy me hace un buen hombre, mi Tía Zoila madre que me abrió las puertas de su hogar para vivir como otro de sus hijos, mi Tía Raquel madre que nunca estuvo ocupada para ayudarme y brindarme todo lo que pude necesitar

forjándome como ser útil y responsable de esta sociedad, mi Tío Manolo, Tío Pedro y Tía Linda, padres que aunque la distancia siempre fue grande nunca se ausentaron sus cariños, sus cuidados y su atención, a mi Tío Luis padre que me dio un lugar en su familia y me crio como a uno más de sus hijos enseñándome e inculcándome lo importante que implica ser “Un buen ciudadano”.

Agradezco a mis primos que se convirtieron en hermanos para mí y siempre estuvieron ahí para mí brindándome su ayuda su amor y cariño, Manuel Alberto hermano y figura paternal que me brindo miles de conocimientos acerca de la vida y me ayudo a convertirme en el hombre que soy hoy, María Couri hermana que no solamente me enseñó lo importante de siempre tener un sonrisa en el rostro si no que aprendí de ella siempre demostrar nuestras más sinceras muestras de cariño a todas esas personas que queremos, María Gabriela hermana de pelea pero de reconciliación constante no creo que haya podido tener mejor ejemplo de vida con hermanos que la que tuve junto a ella, con todas esas peleas pero siempre recordando lo importante que era la reconciliación, Pedro Antonio hermano menor que algún día espero poder brindarle todos los conocimientos y experiencias que me brindaron mis hermanos mayores a mí, Pedro Felipe hermano adquirido por la vida, compañero de fiestas y desastres, de alegrías y tristezas y de muchas partes de la vida que no hubiesen sido igual sin su compañía y ahora la de su hijo Fabián Felipe que espero brindarle todos los conocimientos y experiencias que algún día llegue a necesitar.

A mis amigos, empezando por mi pareja sentimental actual, Carmaylin

Barrientos mejor amiga y mejor compañera, la mejor jugadora de mi equipo mi mano derecha y mi compañera de guerras y batallas, acompañante en los buenos momentos y en los peores momentos a ella le agradezco por todo el amor y el cariño que me ha brindado y por ayudarme a ser un mejor hombre, agradezco a mis amigos de buenos momentos que son muchísimos, pero más aún le agradezco a los de los malos momentos que han sido bastante pocos, a todos aquellos compañeros y amigos durante todas las etapas de mi vida, y a estos de la última etapa que me acompañaron durante esta última etapa vivida quedándome corto pero pudiendo mencionar a, Jesús, Teto, Titina, Mariita, Katy, entre muchos otros que vivieron conmigo el día a día en las aulas de clases. Haciéndole un lugar especial a mis colegas y mis amigos que me acompañaron en la última etapa de mi carrera.

Adrián Lara, no solamente me quede con su coraje su fuerza y su valentía, sino con su espíritu de lucha y de artista marcial, que me enseñó que en esta vida no se aprende todo, porque hasta el décimo Dan no los dan solamente al morir. Galaor Buoli, no solo me quedo con sus enseñanzas de otras creencias y de la paz, también me quedo con forma de ser buen líder y de ser un trabajador del día a día. Keyli Padrón me enseñó que el parecer débil, no nos hace serlo y que adaptarnos a las diferencias y a las adversidades no hace salir victoriosos y darle un Touché a los que pensaban que no podríamos. Pausides Querales, me quedo con su meticulosidad sus ansias del perfeccionismo constante del que todo tiene que quedar en las medidas más exactas así como en las de su compañerismo y entrega en los proyectos y bueno de Martin Pacheco

me quedaron muchos aprendizajes de este amigo repentino que salió de la nada, pero sí de escoger se trata me quedo con su buen corazón, una excelente personalidad y una amistad extremadamente sincera con un conocimiento que no escatima en compartir.

A mis profesores, maestro y entrenadores que me brindaron conocimientos, compartieron experiencias y nos guiaron en nuestro día a día nutriendo nuestros conocimientos y dándonos las herramientas necesarias para convertirnos en los excelentes profesionales que ellos están seguros que podemos ser.

A todas aquellas personas que me han brindado su cariño y su apoyo y merecen que se les agradezca por haber estado en nuestra vida Papiro, Señora Fanny, Neida, Señora Ana, Señora Yuli, Señora Mayra, Señora Gisela, Señor Martin, Señor Carlos, Titi, Carlos Alberto, Luis Gerardo, Chua, Laura, entre muchas otras personas gracias.

ÍNDICE GENERAL

	p.
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
INDICE GENERAL.....	viii
LISTA DE CUADROS.....	xiii
LISTA DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO	
I EL PROBLEMA.....	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	12
Objetivo General.....	12
Objetivos Específicos.....	12
JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	12
ALCANCES Y LIMITACIONES.....	14
Alcances.....	14
Limitaciones.....	15
II MARCO TEÓRICO.....	16
ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
BASES TEÓRICAS.....	21
Normas SAE para Fórmula.....	21
Restricciones de la Norma SAE para el Sistema de Frenos.....	23
Restricciones de la Norma SAE para Fórmula: Bloqueo de las 4 Ruedas.....	23
Restricciones de la Norma SAE para Fórmula: Circuito Hidraulico.....	23
Restricciones de la Norma SAE para Fórmula: Luz de Freno.....	24
Evaluación del Sistema de Frenos.....	24
Evaluación del Sistema según Norma SAE para Fórmula:Prueba de Frenado.....	25

Evaluación del Sistema según Norma SAE para Fórmula:Prueba Autocross	25
Evaluación del Sistema según Norma SAE para Fórmula:Prueba Endurance	26
Sistema de Frenos	26
Fuerzas y Momentos que actuan en el proceso d Frenada	29
Condiciones Impuestas por la Adherencia	31
Reparto Optimo de Frenada	34
Mecanismo de Fricción	36
Componentes del Sistema de Frenado	41
Pedal de Freno	42
Distribuidor de Frenada.....	43
Bomba de Freno	46
Tubos y Conductos del Sistema	47
Pinza de Freno.....	49
Pastillas de Freno	52
El Disco de Freno.....	57
Liquido de Frenos	66
Neumaticos.....	68
Sistema Electrico.....	69
Calculos para el Diseño del Sistema de Frenos	70
Distribución de Pesos en el Vehículo	70
Efectos sobre el Vehículo causa de la Desaceleración.....	71
Efecto de la Transferencia de Peso sobre los Neumaticos	73
Par de Frenado.....	75
Calculo del Balance Optimo de Frenada.....	75
Dimensionamiento del Disco de Frenado	76
Fuerzas en el Pedal de Freno.....	77
Distribución de Presiones en la Bomba de Freno	79
Distribución de Presiones en el Interior de los Conductos	80

Fuerzas Lineales generadas en cada Pinzas de Freno	81
Fuerzas de Fricción contacto Disco Pastilla.....	82
Pares de Frenado generado por el contacto Disco Pastilla.....	83
Pares de Fuerza en cada uno de los Neumaticos.....	83
Desaceleración del Vehiculo.....	84
Distancia de Frenado.....	84
Bases Legales	85
Normas FSAE 2013 para el Objetivo de Diseño del Vehiculo.....	86
Definición de Terminos Basicos	88
III MARCO METODOLÓGICO	89
NATURALEZA DE LA INVESTIGACIÓN	89
TIPO DE INVESTIGACIÓN	89
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	90
POBLACIÓN Y MUESTRA	91
Población.....	91
Muestra.....	93
TÉCNICAS INSTRUMENTOS Y DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	93
Observación Directa.....	94
Entrevista No Estructurada	94
Revisión Bibliografica	94
FASES DE LA INVESTIGACIÓN	95
Fase I: Diagnóstico.....	95
Fase II: Factibilidad.....	96
Fase III: Propuesta.....	97
IV ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	99
FASES DE LA INVESTIGACIÓN	100
Fase I: Diagnóstico.....	100
Definir Especificaciones del Diseño del Sistema de Frenos.....	100
Definir Restricciones de Fórmula SAE correspondientes al del Sistema de Frenos.	103
Fase II: Factibilidad.....	105
Estudio Administrativo	105
Estudio Técnico-Operativo	106

Estudio Económico	108
Fase III: Propuesta.....	116
Crear los Conceptos de Diseños del Sistema de Frenos	117
Decidir el Concepto del Sistema de Frenos a Utilizar	120
Diseñar el Sistema de Frenos a Utilizar	121
Disco de Freno	122
Pinza de Freno o Caliper	123
Pastillas de Freno	124
Bombas de Freno	125
Pedal de Freno.....	126
Repartidor de Frenada.....	126
Conductos y Latiguillos	127
Calculos necesarios para completar el Diseño detallado del Concepto Seleccionado que mejor se adapte a las necesidades de Fórmula SAE UFT	129
Distribución de Pesos en el Vehículo	129
Efectos sobre el Vehículo causa de la Desaceleración.....	130
Efecto de la Transferencia de Peso sobre los Neumaticos	132
Par de Frenado.....	133
Calculo del Balance Optimo de Frenada.....	134
Dimensionamiento del Disco de Frenado	135
Fuerzas en el Pedal de Freno y Repartidor de Frenada.....	135
Distribución de Presiones en la Bomba de Freno	136
Distribución de Presiones en el Interior de los Conductos	137
Fuerzas Lineales generadas en cada Pinzas de Freno	138
Fuerzas de Fricción en el Disco de Freno	138
Pares de Frenado generado por el contacto Disco Pastilla.....	139
Pares de Fuerza en cada uno de los Neumaticos.....	139
Desaceleración del Vehiculo.....	140
Distancia de Frenado.....	140

Manual Operativo y Mantenimiento del Sistema de Frenos.....	144
V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	154
CONCLUSIONES	154
RECOMENDACIONES.....	155
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	156
ANEXOS	158

LISTA DE CUADROS

CUADRO	p.
1 Crecimiento de las Fuerzas aerodinamicas de rodadura y potencia necesaria que debe tener el Vehículo para Superarlas	30
2 Tabla de Coeficientes de Fricción del Acero.	40
3 Población Sujeto.....	92
4 Población Objeto.....	92
5 Presupuesto de elementos a comprar en Dólares.....	115
6 Presupuesto de elementos a comprar en Bolívares.....	116
7 Comparaciones de alternativas para la configuración del sistema de frenos.	120
8 Resultados de los cálculos necesarios para completar el diseño detallado del concepto seleccionado que mejor se adapta a las necesidades de Fórmula SAE UFT.....	142
9 Excesiva carrera del pedal.....	147
10 Pedal esponjoso.....	148
11 Hay que pisar muy fuerte el pedal para frenar.....	148
12 Disminuye la carrera del pedal.....	149
13 Se Bloquea una rueda.....	149
14 Pulsaciones del pedal de freno.....	150
15 Los frenos pierden eficacia en caliente.....	150
16 El vehículo oscila hacia un lado.....	151
17 Los frenos vibran.....	152
18 Los frenos chirrían.....	152

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS	p.
1 Principales Fuerzas en el Proceso de Frenado.....	28
2 Grafica que representa el Reparto Optimo de Frenada entre ambos ejes.....	35
3 Como actúa la Fricción	38
4 Componentes del Sistema de Frenos.....	42
5 Pedal y Relación del Pedal	43
6 Fuerzas en el Repartidor de Freno	44
7 Estructura del Repartidor de Freno.....	45
8 Funcionamiento del Repartidor de Frenada.....	46
9 Composición del Sistema de la Bomba de Freno.....	47
10 Latiguillo de Freno	49
11 Relación del Reparto de Caudales de calor generados en el Frenado.....	65
12 Porcentaje de agua en los Líquidos de Freno.....	68
13 Diagrama de Cuerpo Libre.....	72
14 Configuración de dos Discos Traseros Interiores.....	119
15 Configuración de Mono Disco Trasero acoplado a la carcasa de diferencial de autobloqueante.....	119
16 Configuración de un Disco para cada rueda Trasera del Vehículo.....	120
17 Imagen Real del Disco.....	122
18 Imagen Real de la Pinza o Caliper.....	123
19 Imagen Real de las Pastillas.....	124
20 Imagen Real de las Bombas de Freno.....	125
21 Imagen Real del Pedal.....	126
22 Imagen Real del Repartidor de Frenada.....	127
23 Imagen Real de los Conductos Flexibles.....	127
24 Imagen Real de los Conductos Rígidos.....	128
25 Cargas Resultantes en los Ejes.....	129

26 Dimensiones Variadas del Prototipo Vista Frontal.....130

**UNIVERSIDAD FERMÍN TORO
VICE-RECTORADO ACADÉMICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO MECÁNICO**

**PROPUESTA DE CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE FRENOS PARA EL
VEHÍCULO MONOPLAZA, BASADO EN LOS LINEAMIENTOS
PROPUESTOS POR SAE INTERNACIONAL
DEL EQUIPO FORMULA SAE EN LA
UNIVERSIDAD FERMÍN TORO**

Autor: Br. Emilio J. Lima B.
Tutor: Ing. Diego Betancour
Año: 2014

RESUMEN

El siguiente trabajo está enmarcado dentro del Eje Rector III: Identidad y multiculturalismo en un mundo globalizado; bajo la Línea de Investigación: Diseño, Rediseño y Optimización de máquinas, equipos y dispositivos que promuevan la creatividad tecnológica en el país, dicha investigación estaba basada en la modalidad de proyecto factible, sustentado en un estudio de campo y documental, con la propuesta del diseño de un sistema de frenos para el prototipo del vehículo que se encuentra desarrollando el equipo Fórmula SAE UFT, desglosándose en el planteamiento del problema, trazando unos objetivos para la culminación del proyecto, estableciendo sus alcances y limitaciones, apoyándose en teorías como la del diseño de elementos de máquinas la cual es parte integral del más extenso y general campo de diseño mecánico, estableciendo unas fases como lo son diagnóstico, factibilidad y propuesta del diseño del sistema de frenos, dando paso a paso las actividades a seguir para completar y cubrir cada uno de los aspecto que debe de cumplir el proyecto. Arrojando como resultado, las actividades a realizar, los materiales a elegir, los cálculos a ejecutar y las medidas a tomar para su construcción, cálculo, operación y mantenimiento del sistema en cuestión, además de arrojar las conclusiones y recomendaciones que da dicho estudio para futuras optimizaciones que podrían realizarse en el diseño del sistema de frenos.

Descriptores: Frenos, Elementos de máquina, Diseño, Fórmula SAE.

INTRODUCCIÓN

El diseño de elementos de máquinas es parte integral del más extenso y general campo de diseño mecánico, por lo tanto los diseñadores e ingenieros en muchas ocasiones se dedican a la creación de aparatos y sistemas que satisfagan necesidades específicas, en muchos de los casos típicos, los aparatos mecánicos comprenden piezas móviles que transmiten potencian y ejecutan pautas específicas de movimiento, imagine los numerosos campos en los que se puede usar el diseño mecánico, siendo uno de estos el diseño automotriz, el cual no es más que la composición de muchos sistemas que la dan vida a una de las industrias con más impacto y más demanda de los últimos años el cual es el principal transporte del ser humano. Uno de los sistemas principales del vehículo es el sistema de freno el cual es el encargado de la desaceleración parcial y total del vehículo, diseño que comprenderá el eje principal de este proyecto para el equipo de Fórmula SAE UFT.

La investigación desde el punto de vista metodológico, se bajó la modalidad de investigación de campo, siendo este un proyecto factible, el cual se ha estructurado los siguientes capítulos a saber:

El Capítulo I: está referido al Problema, aquí se desarrolló el planteamiento y formulación del problema de investigación, junto con los objetivos del estudio, éstos estarán clasificados en objetivo general y objetivos específicos, luego se aprecia la justificación e importancia y finalmente el alcance y limitación.

El Capítulo II: este capítulo se halla conformado por el Marco Teórico destacando los antecedentes relacionados con la investigación, las bases teóricas, orientadas a dar marco y referencia a los temas relacionados como: las Normas de SAE para la categoría Fórmula y el Sistema de frenos.

El Capítulo III: describe el Marco Metodológico utilizado, incluye: naturaleza y tipo de investigación, población y muestra de estudio, las técnicas e instrumentos para la recolección de información y se plantean cada una de las fases a utilizar para el cumplimiento de los objetivos de la investigación, siendo estas, la fase de diagnóstico, factibilidad y propuesta.

El Capítulo IV: se presenta el análisis de resultados con respecto a cada una de las fases de la investigación, en atención a los objetivos establecidos.

El Capítulo V: se referencian las conclusiones y recomendaciones en atención a los objetivos logrados así como sus referencias bibliográficas consultadas y los anexos que incluyen planos y especificaciones utilizados en el proyecto.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

Planteamiento del Problema

A través de la historia el hombre ha buscado innovar, crear, reforzar, mejorar y diseñar entre otras muchas cosas, sistemas que le permitieran mejorar sus condiciones de vida y sus posibilidades de sobrevivir a cada una de las facetas que se le fueron presentando en su día a día, de todo este gran nido de sentimiento e ideas nació o se generó uno de los campos que forma parte de la vida actual, creador de imperios y monopolios, precursor de nuevas tecnologías y tendencias, siempre dotado de vanguardia e innovaciones. Todo esto a lo que hoy en día se puede llamar diseño automotriz, dentro de éste están los diferentes sistemas y subsistemas que componen un vehículo que funciona bajo el ciclo de combustión interna, entre los cuales se puede mencionar el de transmisión, suspensión, frenado entre otras. El estudio se centra en el diseño de un sistema de frenos, amparado en los criterios básicos de elementos de máquinas para su creación.

Bien se sabe que el diseño no es más que un proceso de configuración mental en la búsqueda de una solución en cualquier campo, aplicando esto al problema de la eficiencia del transporte y la necesidad de cada vez llegar más lejos en cortos tiempos, empezó a surgir una nueva industria, la industria automotriz y con esto el diseño automotriz, buscando cada vez perfeccionar no solamente de manera estética, sino en

las capacidades, el rendimiento, la comodidad, aspectos económicos, culturales, funcionales y hasta del mercado, hasta llegar a formar hoy en día una de las necesidades de primera mano, y van desde los transportes más estándares y convencionales, hasta verdaderas obras de arte y potencia, poniendo muchas veces la ingeniería y la creación al límite, generando competencias para demostrar la superioridad y la tecnología yendo juntas de la mano, impulsando cada vez más al hombre a sistemas totalmente novedosos. El desarrollo de ingeniería de diseño automotriz en el país se ve opacada, dado que no hay industrias que construyan vehículos de ningún tipo, por ello la base de este proyecto es la investigación y experimentación, generando archivos de diseño de referencia, para que en futuros proyectos se vaya mejorando y optimizando los diseños, para alcanzar un nivel mucho más privilegiado en desarrollo de ingeniería e industria automotriz en Venezuela.

Tal como se ha visto, se pueden tomar diferentes consideraciones a la hora de hablar del diseño o del diseño automotriz siendo más específicos todavía, basándose en grandes artistas y grandes precursores de este sector como Henry Ford el cual decía que *“A ningún hombre debe obligársele a hacer el trabajo que puede hacer una máquina”*, April Greiman decía también *“El diseño debe seducir, educar y, quizás lo más importante, provocar una respuesta emocional”*, con todas estas consideraciones vemos en la necesidad de tomar consideraciones de diseño como las que menciona Robert Mott en su libro *Diseño de Elementos de Maquinas*, abarcando cada uno los puntos a cubrir a la hora de plantearse cualquier diseño, además o con teorías como la de Faired en donde se verán los procedimientos y cálculos necesarios para poder tener

éxitos en el diseño, o teorías como la de Beer y Johnston en su libro *Mecánica de Materiales* donde se tomaran en cuenta los materiales a utilizar, por qué seleccionarlos y las cualidades y características que se adapten más al diseño garantizando un buen resultado y acabado de nuestro producto final.

Formula SAE es una competencia de diseño estudiantil organizada por la Sociedad de Ingenieros Automotrices, ésta tuvo origen en los Estados Unidos y con respecto a la competencia fue iniciada en 1978. En 1979 comienza como competencia de “Mini Baja” en la Universidad de Houston y se crea una variante llamada “Mini Indy” que consistía en construir un vehículo monoplaza tipo indy o formula en el que no se tenían tantas restricciones como en el “Baja” ya que se permitía modificar los motores, y los diferentes elementos que componían al vehículo creándose así la competencia Fórmula SAE en 1980; en esta competencia se buscaba que los estudiantes utilizaran su ingenio para crear cada componente del vehículo ya que en “Baja” solo se optimizaba el diseño de un chasis, sin embargo se logró restringir un poco a solo motores de 4 tiempos con una cilindrada máxima de 600cc por razones de seguridad.

Se puede recalcar que el concepto detrás de la competencia de Fórmula SAE es, que una compañía de manufactura ficticia proceda a contratar a un equipo de diseño estudiantil para que ellos se dediquen a desarrollar un pequeño vehículo de carreras estilo fórmula. El vehículo de carreras prototipo será evaluado por su potencial como un producto, las restricciones en el chasis y motor son limitadas así que el conocimiento, la creatividad e imaginación de los estudiantes son puestos a prueba llevándolos en muchos de los casos a innovar en cada uno de los aspecto que conforman

el vehículo monoplace. Los carros son construidos con el esfuerzo de un equipo en un período de un año y son llevados a la competencia anual con la finalidad de ser juzgados y comparados con aproximadamente 120 vehículos de otras universidades alrededor del mundo. Formula SAE promueve la excelencia en las carreras universitarias y en la ingeniería en conjunto con todos los aspectos de la industria automotriz incluyendo la investigación, diseño, manufactura, prueba, desarrollo, mercadeo y gerencia organizacional. Fórmula SAE toma estudiantes y los lleva afuera de las aulas de clases y los incentiva a usar todas las teorías aprendidas en los libros para experiencias de trabajo reales y de todas las competiciones de ingeniería, Fórmula SAE es por mucho la más larga y más competitiva de todas las presentadas por SAE en sus eventos anuales .

Al principio de la competencia, el vehículo es chequeado mediante un compendio de reglas, durante esta inspección técnica se podría destacar la capacidad de frenada, estabilidad del bólido y niveles de sonido; todos éstos son chequeados antes de que el vehículo le sea permitido competir en los eventos dinámicos. Los vehículos prototipos son juzgados en una serie de diferentes eventos y éstos además vienen acompañados por una escala de puntuaciones dada por Formula SAE en el cual de los 1000 puntos que son posibles ganar vienen divididos en los siguientes eventos; Evento de Diseño 150 pts, Evento de Costo y Análisis de Manufactura 100 pts. Evento de Presentación 75 pts, Aceleración 75 pts, Evento Skidpad (Prueba de Deslizamiento) 50 pts, Autocross (Prueba de 1 vuelta) 150 pts, Evento de consumo de gasolina 50 pts, Endurance (Prueba de Resistencia) 350.

Aparte de estos eventos, varios patrocinantes de la competencia proveen de

premios a el desarrollo de diseños más avanzados, por ejemplo, el mejor uso de combustible E-85, innovaciones en el uso de electrónica, reciclabilidad, resistencia a impactos entre otros, con esto también Fórmula SAE logra englobar todos los aspectos de negocios incluyendo investigación, diseño, manufactura, prueba, desarrollo, mercadeo, gerencia y movilización de fondos. Con esto se puede ver que Fórmula SAE toma a los estudiantes y los coloca fuera de las aulas de clases en el mundo real. Lo que conlleva a que grandes compañías tales como General Motors, Ford y Chrysler, puedan interactuar con los más de 1000 estudiantes de ingeniería. Esto ha logrado que equipos de trabajo que comprenden entre 2 y 30 miembros han sido capaces de probarse a ellos mismos, y tener la capacidad de producir un prototipo funcional obteniendo como resultado final una gran experiencia para los jóvenes ingenieros en un muy significativo proyecto ingenieril; así como la oportunidad de trabajar en un dedicado esfuerzo de grupo.

Hoy en día la competencia se ha expandido e incluye un gran número de eventos, solo en Estados Unidos se realizan dos eventos localizados en California y en Michigan, siendo este último el más reconocido a nivel mundial; aparte de estos existen otras locaciones para la competencia que a continuación se mencionan: Fórmula SAE Australasia, Fórmula SAE Brasil, Fórmula SAE Italia, Fórmula Student Inglaterra (UK), Fórmula Student Alemania, Fórmula SAE Japón entre otros premios y eventos alrededor del mundo. También cabe destacar que en el año 2006 se crea también una variación de la competencia en la que se utiliza el mismo prototipo de Formula SAE pero híbrido, funcionando en parte con gasolina y en parte con motores eléctricos

buscando desarrollar e innovar los bólidos, utilizando energías alternativas e impulsando así el desarrollo de energías limpias y renovables para el sector automotriz.

Bajo la designación de grupo de investigación, el equipo conformado por estudiantes de las distintas carreras de una prestigiosa universidad en el estado Lara en Venezuela, la Universidad Fermín Toro, busca la preparación completa, organizada y experimental de profesionales competitivos, que en un futuro cuenten con la experticia para poder solucionar problemas tanto en el campo laboral como en la vida cotidiana; esto dió origen a una organización de estudiantes que desarrollan el diseño de los sistemas y sub-sistemas y posterior construcción de un vehículo Fórmula SAE para competir a nivel internacional. El equipo se fundó a mediados del 2012 bajo la designación de Grupo de Investigación de la Universidad Fermín Toro teniendo en cuenta que los participantes estaban previamente familiarizados con el concepto de Formula SAE, ya que en años anteriores se estableció la idea de formalizar el grupo es por esto que el equipo de Fórmula SAE UFT expresa que:

Nosotros buscamos que el prototipo diseñado sea un carro de pista bajo la categoría de Fórmula de la organización SAE; actualmente nos encontramos en la etapa de diseño y estudio de factibilidad económica del primer prototipo para la posterior construcción del mismo y lograr llevarlo a competir en Michigan en Mayo del 2014. (p.8)

Continuando con lo mencionado anteriormente se cuenta con algunas herramientas de fabricación como dobladoras de tubos construidas por estudiantes de la universidad específicamente para este proyecto y máquinas de soldadura de última generación, también lo acompaña la misión del grupo la cual es innovar en el diseño y

construcción de vehículos Fórmula SAE y participar cada año formando profesionales integrales altamente competitivos.

El grupo de Fórmula SAE de la Universidad Fermín Toro tiene como visión posicionar al equipo, a su institución y al país en los niveles más altos de cada competencia de Formula SAE, desarrollando mediante el ingenio las herramientas necesarias tanto para el estudio, diseño y construcción de cada vehículo contribuyendo con la formación profesional e integral de los estudiantes pertenecientes a éste equipo, fomentando la constancia y responsabilidad para que en un futuro posean todas las herramientas para ser los más competitivos.

Además dentro de los objetivos planteados se planea la utilización de los conocimientos adquiridos en la universidad para diseñar y construir un vehículo monoplace bajo los niveles establecidos por la categoría Fórmula SAE, con la finalidad de llevar el nombre de la Universidad Fermín Toro por primera vez a la competencia Fórmula SAE International realizada en Michigan (Estados Unidos), todo esto también junto con los patrocinantes que representarán y dejar el nombre del país y la institución entre los primeros lugares de la competencia, además de dar continuidad al proyecto de investigación para seguir desarrollando prototipos de esta categoría y poder aportar conocimientos de diseño automotriz, organización a nivel estratégico-gerencial tanto a los estudiantes de esta universidad como al estado Lara y Venezuela.

El proyecto desarrollado por el Grupo de Investigación Formula SAE UFT busca establecer relación con empresas nacionales e internacionales, para crear convenios en los que se les brinde a éstas la oportunidad de participar en el desarrollo y construcción

del prototipo Fórmula SAE de la Universidad Fermín Toro, el cual se planea promover a nivel nacional e internacional como uno de los mejores y hacerlo competir entre más de 160 universidades a nivel mundial que participan en la competencia. Respaldo en teorías no solamente del ámbito internacional sino también guiado por trabajos nacionales y regionales de los que se pueden mencionar, Castellano, J (2009) Diseño de un sistema de frenos para un monoplace tipo Formula SAE, o también encontramos a Herrera y León (2007) Optimización del sistema de frenos de un vehículo tipo Fórmula SAE y por último Ciadro (2012) Diseño y cálculo de frenado para un prototipo Formula Student.

Continuando con lo antes mencionado Fórmula SAE UFT no es un término nuevo ni desconocido dentro de las instalaciones de la universidad es todo lo contrario ya que hace varios años este nombre ya había resonado entre los pasillos y aulas de clases de la casa de estudio, pero cabe destacar que éste nunca contó con un sistema de información; ya que hasta hace poco fue que se retomó nuevamente el proyecto, éste tuvo sus inicios en el año 2008 pero al no haberse podido dar las condiciones idóneas para la culminación de la formalización del grupo y el apoyo de la universidad, por diferentes motivos se tuvo que desvanecer y los pocos integrantes que permanecieron no lograron sostener las grandes vacantes que quedaron, al no poderse culminar la inicialización del proyecto, pocas tesis e información quedaron de este primer grupo como lo fue un trabajo de grado, de modalidad proyecto factible el cual habla de un sistema de frenos para un prototipo de vehículo Fórmula SAE.

Por lo mencionado anteriormente se ve en la necesidad de fundamentar esta investigación bajo la modalidad de proyecto factible, buscando no solamente innovar sino también mejorar y perfeccionar el ya existente trabajo de grado acerca de un sistema de frenos para un prototipo Fórmula SAE UFT, ya que este en estos momentos es inválido y solamente puede usarse como referencia y guía, ya que todos los años cambia la norma, se ve en la necesidad de replantear este trabajo sobre un sistema de frenos no solamente adaptado a las nuevas normas, propuestas por Fórmula SAE, sino también que vaya de la mano con los demás trabajos de investigación que se están realizando para la construcción del vehículo monoplaza y además de eso innovar la propuesta ya anteriormente realizada, mejorándola y aplicándole nuevos conocimientos, y propuestas innovadoras buscando el mejor desempeño del sistema ya antes mencionado. También con la finalidad de seguir extendiendo la base de datos del grupo de investigación para que futuras generaciones cuenten con bastante información acerca de la construcción del vehículo para garantizar así también una evolución cada vez mayor del proyecto.

A continuación, en la siguiente parte del estudio se procederá a plantear las siguientes interrogantes, las cuales serán respondidas con el respectivo desarrollo de esta investigación: ¿Podrá el sistema de frenos cubrir los requisitos mínimos para aprobar las normas de seguridad impuestas por Fórmula SAE? ¿Cómo saber si el proyecto en verdad es viable?, ¿Qué teorías se utilizan para estudiar el funcionamiento y diseño del sistema de frenos seleccionado?

Objetivos de la investigación

Objetivo General

Proponer la construcción del sistema de frenos para el vehículo monoplace, basado en los lineamientos propuestos por SAE internacional, para equipo Fórmula SAE de la Universidad Fermín toro.

Objetivos Específicos

1. Determinar el tipo del sistema de frenos a utilizar, adaptado a las normas vigentes de formula SAE.
2. Determinar los costos y materiales del proyecto para determinar su viabilidad, dentro de una factibilidad técnica, operativa y económica.
3. Elaborar la propuesta del diseño del sistema de frenos para el vehículo monoplace del equipo Formula SAE UFT en la Universidad Fermín Toro, basado en teorías de diseño de máquinas y software de diseño y simulación.

Justificación e Importancia

Esta investigación se realiza con varias finalidades entre una de las que se puede destacar es la de brindarle al grupo de investigación Fórmula SAE más investigaciones que colaboren con la idea de consolidar una base solidad acerca de la construcción de uno de los principales sistemas que conforman el prototipo monoplace, basándose en las teorías necesarias para su construcción y garantizando sus respectivas normas de seguridad, este mejora vendrá dada por esta propuesta, con el respectivo análisis que permita su buena construcción.

El interés por el sector automotriz y los automóviles es el nacimiento de la pasión por formar parte del grupo de investigación Fórmula SAE UFT, y éste ha sido el gran motor que impulsa la motivación para realizar este ambicioso proyecto, el cual surge con la idea y la ilusión de participar en una de las competencias más exigentes y más privilegiadas a nivel mundial en el mundo de la ingeniería, específicamente en la del sector automotriz. Así como poner a prueba la inteligencia y los conocimientos de ingeniería obtenidos a lo largo de toda la carrera y en la vida universitaria, y representar al país para demostrar que en Venezuela hay talento para realizar este tipo de proyectos buscando no solamente lograr metas personales sino también el aprender a trabajar en equipo, sirviendo este como puente hacia una mejor vida laboral futura.

Esta investigación se le puede dar un enfoque diferente de tal manera que si se quiere ver desde el enfoque social, busca a contribuir con la formación de futuros ingenieros a innovar en el sector automotriz venezolano, ya que este tipo de proyectos impulsan la mano de obra y el conocimiento de la ingeniería a nivel nacional, dándole nacimiento a empresas automotrices y enriqueciendo el parque automotriz en el país proyectando a Venezuela como futura potencia en el sector automovilístico. Además de impulsar la generación y creación de nuevas tecnologías en muchas de las áreas existente más enfocado al punto del proyecto se recalca el ámbito automotor beneficiando a la comunidad con sistemas de transportes más eficientes, vehículos

particulares más económicos y carros no solamente dependientes de combustibles fósiles sino también ecológicos y alimentados por energías alternas. La presente investigación se encuentra enmarcada dentro del Eje Rector III: Identidad y multiculturalismo en un mundo globalizado; de la Línea de Investigación: Diseño, Rediseño y Optimización de máquinas, equipos y dispositivos que promuevan la creatividad tecnológica en el país.

Alcance y Limitaciones

Según el Manual de Presentación de Trabajos de Grado de la Universidad Fermín Toro (2001), ambos se refieren a “la proyección de la investigación, el para qué y para quién. Deben estar en relación con los objetivos y los resultados.” (p. 7). Más adelante se señalan que ambos son obstáculos relevantes de la investigación, no del investigador.

Alcance

La finalidad de este trabajo de investigación se puede expresar como la propuesta para la elaboración de un sistema de frenos para el prototipo de vehículo monoplaza del equipo Fórmula SAE UFT. Para que no solamente destaque en la competencia, sino también garantizar las mejores prestaciones posibles para el sistema a diseñar y construir, sino yendo más allá y trabajando para colocar en alto el nombre del equipo y el de la universidad sino también el del país y destacando por encima de todo el esfuerzo y el gran trabajo en equipo que se busca obtener con esta propuesta, también pretende dejar el siguiente trabajo como una parte más de la base de datos en el grupo

de investigación para las futuras generaciones del equipo con la finalidad de que siga siendo analizada y mejorada en el futuro correspondientemente sea el caso, garantizando la competitividad del vehículo año tras año cumpliendo con la regla vigente.

Limitaciones

Cumpliendo con las normas establecidas en el manual de normas para la presentación del trabajo de grado de la Universidad Fermín Toro (2000), “Las limitaciones por su parte, son obstáculos o restricciones enfrentadas en cualquiera de las etapas del desarrollo de la investigación, que sea relevante para los resultados.” (p.7). Con relación de lo anterior expuesto podemos concluir que mi propuesta no presenta ninguna limitación u obstáculos para su desarrollo, logrando llevarse a cabo satisfactoriamente.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

Antecedentes de la Investigación

Para la realización de este trabajo fue necesario trabajar, con teorías, estudios y trabajos ya antes elaborados, con el fin de ayudar al buen entendimiento del equipo que se está desarrollando, por lo tanto a continuación se presentan los antecedentes de esta investigación.

Como primera mención se encuentra el trabajo de Cruz y Mesías (2013) trabajo presentado para obtener el título de Ingeniero Automotriz en la Escuela Politécnica del Ejercito en Latacunga, Ecuador, este trabajo trata acerca del: **“Diseño, construcción e implementación de sistemas de suspensión, dirección y frenos del vehículo de competencia Fórmula SAE 2012 La Escuela Politécnica del Ejército”**, asumió el reto de participar en una competencia de diseño automotriz, esta competencia se desarrolló en Alemania, país donde provienen algunas de las marcas más reconocidas en el mercado automotriz nacional e internacional, este certamen es avalado por la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) fue necesario emprender un proceso de diseño e innovación de los sistemas del vehículo, por lo que se ha optado por desarrollar este tema, para tener una base de diseño, conociendo la importancia de esta competencia y la necesidad de tener un prototipo muy competitivo.

La iniciativa fue tomada con el afán de poner a prueba el nivel de competencia de la industria automotriz en su país en cuanto a diseño se refiere. El desarrollo de la ingeniería de diseño automotriz en el país se ve opacada, dado que no hay industrias que construyan vehículos de ningún tipo, por ello la base de este proyecto es la investigación y experimentación, generando archivos de diseño de referencia, para que en futuros proyectos se vaya mejorando y optimizando los diseños, para alcanzar un sitio mucho más privilegiado en desarrollo de ingeniería e industria automotriz en el Ecuador. Este trabajo ayudó a la investigación en la determinación del sistema de frenos que más se adapta a las exigencias requeridas por el vehículo a ser construido por Fórmula SAE UFT.

También se puede mencionar a Ciadro, E. (2012) presentado como proyecto de fin de carrera para optar al título de Ingeniera Mecánica, en la Universidad III de Madrid, ubicada en Madrid, España, la cual habla sobre el: **“Diseño y cálculo de frenado para un prototipo Fórmula Student”** el presente proyecto se centra en el estudio, cálculo y diseño del sistema de frenado de un prototipo Formula Student, más comúnmente conocido como Fórmula SAE (F-SAE) se trató de diseñar un sistema de frenado atendiendo a criterios de máxima fiabilidad y altas prestaciones. Para ello se debió de cumplir la normativa impuesta por la organización de la competición además de realizar ciertas consideraciones particulares para adaptar al máximo este sistema a la comodidad y seguridad del piloto. Para llevarlo a cabo, se creyó conveniente definir y resumir la propia competición así como la normativa que la rige en lo referente al sistema de frenado.

Posteriormente se pasó a un análisis exhaustivo de los dos puntos claves a los cuales se deben atender a la hora de realizar el diseño de un sistema de frenado. En primer lugar, se analizará la dinámica de la frenada de un vehículo convencional tipo turismo. A continuación se llevará a cabo un recorrido por los elementos que lo componen además de realizar un estudio de su funcionamiento. Todo ello con el objetivo de poder comparar este tipo de sistema con el de un Formula SAE. Así se podrá adaptar, de la mejor manera posible, estos elementos a las especificaciones que requerirá el vehículo de competición. El estudio de los componentes del sistema de frenado fue enfocado hacia los sistemas de freno de disco, debido a su perfecta y óptima utilización como solución al problema. Con ello, se ha profundizado en el mecanismo de fricción entre disco y pastilla y se han desarrollado aspectos fundamentales del comportamiento del mismo como pueden ser el desgaste, el agrietamiento o la fatiga térmica. De este trabajo se obtuvo los criterios y consideraciones acerca del comportamiento de algunos de los subsistemas del estudio como lo son el disco y las pastillas de freno, aportando el desgaste y comportamientos térmicos considerables a la hora del diseño.

Así mismo Castellano, J. (2009) presentado como requisito para optar al título de Ingeniero en Mantenimiento Mecánico, en la Universidad Fermín Toro ubicada en Cabudare, estado Lara, dicho estudio se trata del **“Diseño de un sistema de frenos para un monoplaza tipo Formula SAE”**, el cual menciona cada uno de los aspectos que conforman el sistema de frenos, y elabora una propuesta para su elaboración basándose en la regla de la SAE Internacional 2009, mencionando todas las

restricciones y condiciones fijadas por la regla y adaptando así su sistema de frenos a esta. Este trabajo aportó información acerca de la estructura que debe de llevar el trabajo de proyecto factible en la Universidad Fermín Toro, y como debe estar organizado, de manera que ayudará a que el presente trabajo se encuentre enmarcado dentro de la norma establecida por la universidad.

También se encuentran a Herrera y León (2007) presentado como requisito para obtener el título de ingeniero Mecánico en la Universidad Central, ubicada en Caracas, el cual trata acerca de la: **“Optimización del sistema de frenos de un vehículo tipo Fórmula SAE”** el trabajo se realizó con fin de estudiar el sistema de frenos, instalado en el vehículo prototipo SAE-UCV que participó en la competencia dentro de la categoría Fórmula organizada por SAE anualmente. De allí se planteó realizar el rediseño del Sistema de Frenos para un vehículo tipo Fórmula SAE, optimizando los principales elementos que conforman el sistema: Disco, bomba (Cilindro Maestro), caliper. Por normativa de la competencia Formula SAE cada vehículo debe estar equipado con dos sistemas independientes de frenado para asegurar que al menos dos de las cuatro ruedas del vehículo se bloqueen. Optimizar el sistema de frenos para una competencia de este tipo significa ofrecer un diseño sencillo que cumpla con todas las exigencias mecánicas y térmicas a las que es sometido el vehículo durante los varios eventos dentro de la competencia. Para ello se realizaron análisis de esfuerzos así como análisis térmicos de los diferentes elementos constructivos, evaluación de costos, disponibilidad de materiales en el mercado, procesos de manufactura y métodos de ensamble, obteniéndose como resultado una mejora del diseño original, traducida en

versatilidad, fácil manejo y seguridad, así como una mejor resistencia mecánica y Transferencia de calor. De igual forma se obtuvo el modelo matemático que mejor representa el ciclo térmico al cual está sometido el Disco de Freno durante las condiciones más críticas dentro de la competencia. Este trabajo aportó una tabla y una metodología para la transferencia de calor y las consideraciones térmicas a tomar para brindar una mejor resistencia mecánica en el disco de freno.

Por último se puede mencionar Rodríguez (2006) trabajo presentado para la obtención del título en ingeniero Industrial, en la Universidad Pontificia Comillas, en Madrid, España, el cual trataba del tema: **“Diseño, cálculo y construcción/adaptación del sistema de frenado para un prototipo de Fórmula SAE”** en cual menciona El presente proyecto se centra, a título genérico y coincidiendo con el objetivo del mismo, en el diseño, cálculo, construcción/adaptación de un sistema de frenos para un prototipo de vehículo tipo monoplace, atendiendo a criterios de máxima fiabilidad, altas prestaciones y viabilidad económica, con la finalidad de participar en la prestigiosa competición Formula Student, para ello, en un primer momento, se creyó conveniente realizar un estudio profundo del fenómeno del “mecanismo de la frenada” analizando los conceptos fundamentales relacionados con el frenado de los vehículos convencionales, y especialmente centrándonos en los aspectos relacionados con el reparto óptimo de frenada y con el proceso de deceleración.

Así posteriormente se realizó un rápido recorrido por los elementos que componen los sistemas de freno utilizados actualmente en la industria de la automotriz,

enfocando inmediatamente dicha tarea hacia el estudio de los sistemas de freno mediante disco, debido a su perfecta y óptima utilización como solución al proyecto. De esta forma se profundizó en el mecanismo de fricción entre disco y pastilla, y se tocó aspectos tan determinantes en su funcionamiento como son el desgaste y agrietamiento, fatiga térmica, estrés mecánico y temperatura de régimen, aportando al presente trabajo la organización y estructura de los cálculos a aplicar para obtener el funcionamiento correcto y ajuste del sistema de frenos para el monoplaza en construcción.

Bases Teóricas

En el siguiente segmento se procederá a mencionar acerca de las bases teóricas en las que se encuentra sustentado este trabajo, indicando las partes en las cuales se encuentra dividido, también será explicado su sistema de variables sus dimensiones e indicadores correspondientes los cuales nos servirán para su medición, evaluación y sustento teórico de este trabajo de investigación el cual cuenta con dos variables la primera es llamada Norma SAE para Fórmula, siendo ésta (*variable independiente*), mientras que la segunda se implanta como sistema de frenos (*variable dependiente*).

Norma SAE para Fórmula

Fórmula SAE es una competencia de ingeniería para estudiantes miembros de la SAE (Society of Automotive Engineers) que tiene como objetivo concebir, diseñar, fabricar y competir con autos de tipo fórmula. La primera competición empezó a

gestarse en 1979 cuando Mark Marshek, docente de la Universidad de Houston, contactara con el Departamento de Relaciones Educativas de la SAE un año antes. El concepto original era una evolución de la BAJA SAE, en la que el tipo de vehículo a construir por los estudiantes es similar a un car-cross. Sin embargo, esta competición limitaba mucho la libertad (motor proporcionado por la organización sin posibilidad de modificarlo) y la nueva competición debía darles mayor margen para diseñar el monoplaza.

Así se llega a 1981, año en que se organiza en la Universidad de Texas en Austin la primera edición de la Formula SAE. Participan 6 equipos y un total de 40 alumnos. Esta competición ha ido creciendo y desde 1998 también se celebra en Warwickshire una edición británica conocida como Formula Student. Aquel año participaron cuatro equipos y 40 alumnos. Actualmente se celebran competiciones en numerosos países como Alemania, Japón, Brasil, Australia, entre otros. Todas ellas utilizan la misma normativa original basada en la Fórmula SAE y llegan a albergar hasta 120 equipos y más de 2.000 estudiantes. Los resultados de las competiciones son recogidos y puntúan en el ranking mundial de las competiciones Fórmula SAE y Fórmula Student.

Una restricción es una limitación que se imparte para algún caso, por ejemplo cuando se quiere referir a algún impedimento a la hora de realizar alguna tarea, como ser la concreción de algún proyecto o trabajo o tan solo querer expresarnos. Por otro

lado, la norma SAE se encarga de impartir información para ofrecer un parámetro estándar como medida de seguridad y con el motivo de brindar al estudiante la posibilidad de expandir sus conocimientos e imaginación en el diseño y formación del proyecto como ejemplo se encuentran las Normas ISO, (1998) las cuales indican lo siguiente:

Las normas son un modelo, un patrón, ejemplo o criterio a seguir. Una norma es una fórmula que tiene valor de regla y tiene por finalidad definir las características que debe poseer un objeto y los productos que han de tener una compatibilidad para ser usados a nivel internacional.

Restricciones de la Norma SAE para el Sistema de Frenos

En la norma se hacen ciertas aclaraciones en donde se restringen y se obligan ciertos tipos de elementos que conformarán el sistema de frenos entre los que se puede hacer referencia:

Restricciones de la Norma SAE para Fórmula: Bloqueo de las 4 Ruedas

Donde en la norma Formula SAE (2013) se cita que “El sistema de freno debe ser capaz de bloquear los cuatro (4) ruedas durante el ensayo”

Restricciones de la Norma SAE para Fórmula: Circuitos Hidráulicos

Dos circuitos Hidráulicos, en donde la norma hace énfasis en:

Se debe tener dos (2) circuitos hidráulicos independientes, que en el caso de una fuga o falla en cualquier punto del sistema, la potencia de frenado efectiva se mantiene en un mínimo de dos (2) ruedas. Cada circuito

hidráulico debe tener su propia reserva de fluido, ya sea por el uso de depósitos separados o por el uso de un depósito de estilo OEM embalsada.

Restricciones de la Norma SAE para Fórmula: Luz de Frenos

La norma es bastante clara y específica a lo que a la luz de frenos se refiere; ya que esta especifica que “El vehículo debe estar equipado con una luz de freno de color rojo. La luz de freno en sí tiene que tener un fondo negro y una forma redonda rectangular, triangular o cerca de una superficie brillante mínima de 15cm²” p.57

Evaluación del Sistema de Frenos

La evaluación es el método empleado para medir el desempeño de alguien o algo, para así conocer las características de progreso y capacidad que puede lograr el mismo, para financiar la información se encuentra Macario, B. (s.f.) expresando que la “Evaluación es el acto que consiste en emitir un juicio de valor, a partir de un conjunto de formaciones sobre la evolución o los resultados de un alumno, con el fin de tomar una decisión” (p.5). El objeto de la competición es evaluar y simular una situación real en la cual una empresa de competición contrata a estos ingenieros para desarrollar un prototipo, los compradores hipotéticos serían corredores amateur, por lo tanto el bólido debe por ello satisfacer unas prestaciones elevadas en aceleración, frenada, y estabilidad, pero también debe ser fácil de mantener, barato, y fiable, otros factores como la estética y el confort se valoran, igualmente que el precio máximo para el

vehículo es de 21.000 euros y la victoria es para el equipo que mejor logre superar todos estos requisitos.

Evaluación del Sistema Según la Norma SAE para Fórmula: Prueba de Frenado

Esta etapa es una de las pruebas de mayor puntuación en la competencia, en ella se evalúa la capacidad del vehículo para frenar y bloquear las cuatro ruedas al mismo tiempo sin deslizar, siendo una de las pruebas de seguridad más importantes y más exigentes de la competencia, ésta se efectúa haciendo acelerar el vehículo en una distancia de 100 metros y obligándole a frenar bruscamente en la cual no puede derrapar ni deslizar, así como tampoco salirse del área predeterminada del área de frenado que debe de tener.

Evaluación del Sistema Según la Norma SAE para Fórmula: Prueba Autocross

La Norma SAE, (2013) indica que el objetivo del evento de autocross es “Evaluar la maniobrabilidad del vehículo y cualidades de manejo en un curso apretado sin el estorbo de automóviles de competencia. El curso de autocross combinará las características de rendimiento de la aceleración, el frenado, y en las curvas en un solo evento” (p. 10). Consiste en un circuito corto de aproximadamente un km de longitud. En esta oportunidad hay un sólo carro en pista, se evalúa el desempeño general del vehículo y los resultados definen la posición de salida para la próxima prueba a evaluar, la prueba de resistencia. Además carga con una puntuación nada más que de 100 puntos, en ésta es importante la calibración de los frenos para que no fallen ni

provoquen algún accidente por su mal ajuste en las curvas y zonas de frenado de la pista.

Evaluación del Sistema Según la Norma SAE para Fórmula: Prueba Endurance

La Norma SAE, (2013) establece que “El evento de resistencia está diseñado para evaluar el rendimiento general y poner a prueba la durabilidad y la fiabilidad del coche”. Es la prueba de más peso en toda la competencia (representa casi el 40% de los puntos), siendo estos 350 puntos. Se evalúa sobre un circuito de un km de longitud en el que se realizan 22 vueltas, haciendo cambio de piloto en la vuelta número 11. Ésta es la prueba más difícil de superar, ya que el carro no puede desprender ninguna pieza ni derramar ningún fluido. Esto implicaría la descalificación inmediata del carro en dicha evaluación, aquí es esencial el material del que están hechos los discos, y el buen funcionamiento de las pastillas y de todo el sistema, ya que en la prueba de resistencia es realmente importante que cada uno de los componentes del sistema funcione y no presenten fallas por desgaste.

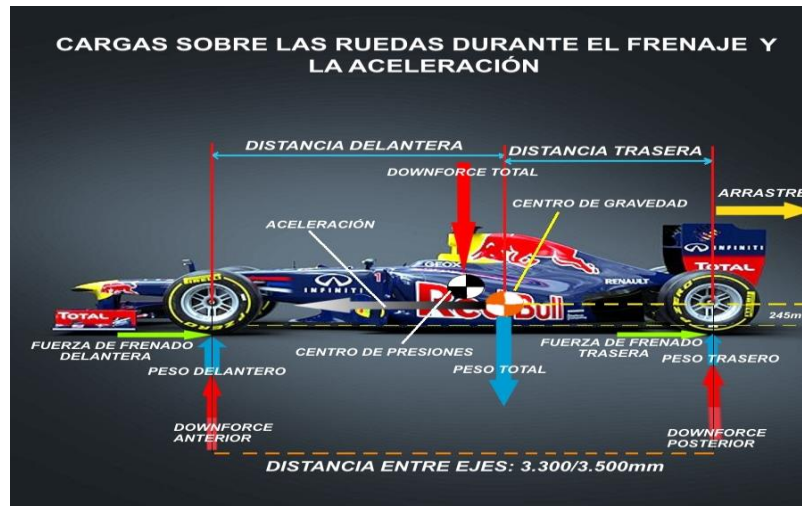
Sistema de Frenos

Un freno se puede definir como un dispositivo utilizado para detener o disminuir el movimiento de algún cuerpo el cual generalmente tiende a ser un eje, árbol o tambor. Los frenos en su esencia son los encargados o de otra manera son los transformadores de energía, por lo cual pueden ser entendidos como una máquina por ser, la que transforman la energía cinética de un cuerpo en calor o trabajo y en este sentido pueden

visualizarse como extractores de energía, siendo estos factores realmente relevantes he importantes formando uno de los principales sistemas que conforman cualquier máquina en este caso un automóvil, esto da pie a que se consideren y analicen los diferentes factores que lo conforman.

Según Gulf (s.f). “Uno de los sistemas fundamentales de todo vehículo automóvil es el que le confiere la capacidad a reducir su velocidad incluso llegando a detenerlo sí así lo decide el conductor dicho sistema es el sistema de freno” (p.1). El principio de funcionamiento de un sistema de frenado es la reducción de la energía cinética y/o potencial para transformarla en energía calorífica, con esta transformación de energía se consigue la reducción de la velocidad del vehículo. En este capítulo se pretende analizar los conceptos fundamentales relacionados con el frenado de los vehículos y especialmente los relacionados con el reparto óptimo de frenada y con el proceso de deceleración, consideramos los vehículos como cuerpos rígidos, no dotados, por tanto, de suspensiones. Así mismo, se considerará que el movimiento se produce en línea recta y sin acciones laterales, por lo que el análisis de los esfuerzos y movimientos asociados al proceso se estudiarán a lo largo de este capítulo. Así como el reparto de cargas sobre el eje en un vehículo moderno parado, es aproximadamente de solo 55% del peso total en el eje delantero, y del 45% sobre el eje trasero según Gulf en la primera página del *Manual Técnico de la Pastilla de Freno*. Evidentemente, este reparto estático de cargas se modifica en condiciones dinámicas según las aceleraciones o deceleraciones a que se ve sometido el vehículo y las principales

fuerzas en juego en el proceso de frenado del vehículo que este va sufriendo y que se muestran a continuación.



Fuente: Formula1.com

Figura 1

Principales fuerzas en el proceso de frenado del vehículo

Según Gulf (s.f) se puede mencionar que en un diagrama, la inercia del vehículo al frenar genera una fuerza (F_i) que actúa sobre el centro de gravedad del vehículo y que normalmente, al estar este punto situado a mayor altura que el eje de las ruedas, genera un par de cabeceo en el vehículo que modifica el reparto de cargas sobre los ejes. Aunque dicho reparto de cargas dinámicas durante la frenada depende de otros factores tales como el reparto de cargas estáticas, alturas del centro de gravedad y otros, se puede estimar que en un vehículo tipo dicho reparto de masas en una situación dinámica es el 75 % sobre el delantero y un 25 % sobre el eje trasero, esta situación supone que tanto el dimensionamiento de los frenos delanteros y trasero así, como las

características del material de fricción de las pastillas o zapatas, han de tener distintas dimensiones y/o coeficientes para evitar el bloqueo de las ruedas traseras y de producirse el bloqueo del eje trasero, la estabilidad direccional del vehículo quedaría enormemente comprometida y en dicha situación el coche tendería a girar sobre su eje, como se verá más adelante con mayor detalle.

Fuerzas y Momentos que Actúan en el Proceso de Frenado

A continuación se verá los diferentes esfuerzos que intervienen durante el proceso de frenado, algunos de ellos nos podrían parecer irrelevantes, pero veremos que son de vital importancia dependiendo del tipo de conducción que realicemos:

1. Fuerza de frenado: Como se puede apreciar Gulf (s.f.), en su segundo capítulo explica que las principales fuerzas retardadoras del vehículo en el proceso de frenado son las que se desarrollan en la superficie de las ruedas como consecuencia de su contacto con la calzada, al serles aplicados pares que se oponen a su movimiento, es decir, las fuerzas de frenado, la fuerza de frenado máxima así como la fuerza de tracción máxima tienen dos límites. En ambos casos el impuesto por el “neumático - suelo”. En lo relativo a las fuerzas de frenado, existe el otro límite impuesto es el que tiene el sistema de freno y en lo referente a las fuerzas de tracción máxima el que impone la potencia del motor. El límite crítico es el impuesto por la adherencia existente entre el neumático y el suelo. Cuando se rebasa este límite, en el caso del sistema de freno, se produce el bloqueo de las ruedas que deslizan sobre el pavimento, produciéndose efectos nefastos que más adelante se comentaran.

2. Resistencia a la rodadura: Continuando con lo que menciona Gulf (s.f.) en la

página 3 del *Manual Técnico para las Pastillas de Frenos*, “la resistencia a la rodadura así como la resistencia aerodinámica del vehículo intervienen como fuerzas retardadoras en el proceso de frenado”, aunque su influencia es pequeña frente a la fuerza de frenado, pero aun así ayudan durante el proceso de deceleración. La resistencia a la rodadura, fundamentalmente está compuesta por la fricción neumático – suelo y las pérdidas mecánicas en el sistema de transmisiones. Su valor es generalmente pequeño en comparación con las otras fuerzas en juego. El valor de la resistencia a la rodadura crece casi proporcionalmente a la velocidad.

3. Acciones aerodinámicas: En las siguientes páginas del “Manual Técnico de las Pastillas de Frenos” se hace hincapié en que las fuerzas aerodinámicas al avance solo tienen interés como fuerzas retardadoras a altas velocidades ya que su valor aumenta con el cuadrado de la velocidad que el vehículo lleve. Es decir que cuando se duplica la velocidad de un vehículo, por ejemplo de 80 Km. /h a 160 Km./h la resistencia aerodinámica al avance, por ejemplo 40 Kg. se multiplica por cuatro siendo necesario un empuje de 160 Kg. A velocidades moderadas o bajas pueden despreciarse frente al valor de la fuerza de frenado. Se pudiera hacer una tabla donde se aprecie cómo crecen las fuerzas aerodinámicas y de rodadura así como la potencia necesaria que debe tener el vehículo para superarlas.

Cuadro 1

Crecimiento de las fuerzas aerodinámicas, de rodadura y potencia necesaria que debe tener el vehículo para superarlas

Velocidad (Km/h)	Resistencia Aerodinámica (Kg)	Resistencia a la Rodadura (Kg)	Resistencia Total (Kg)	Potencia necesaria (CV)
40	5,3	10,0	15,3	2,3
80	21,6	14,0	35,6	10,7
120	48,6	19,0	67,6	30,6
160	86,4	26,0	112,4	67,9
200	135,0	32,0	167,0	126,2

Esta tabla ha sido confeccionada con las dimensiones de un vehículo de tamaño medio.

Fuente: Gulf (s.f)

4. Resistencia del motor y transmisión: Para esta parte Gulf (s.f.) hace referencia en “La resistencia que ofrece el motor constituye, en muchos casos, un factor importante en el proceso de frenado” (p.3) es por esto que se debe considerar que la potencia, como el par resistente, que ofrece el motor en procesos de frenado en los que permanece conectado a las ruedas a través de la transmisión, es importante cuando gira a un gran número de revoluciones y disminuye con la velocidad, hasta hacerse pequeño en el último intervalo de un proceso de frenado, en bajadas prolongadas, especialmente si se trata de vehículos pesados, la retención efectuada por el motor es de suma importancia para preservar los elementos de fricción de los frenos del calentamiento y consiguientes desgastes elevados, si la deceleración con la que deseamos frenar es lo suficientemente fuerte, y el motor se encuentra embragado, las exigencias requeridas por el sistema de freno son mucho mayores que si desembragásemos el motor para realizar la frenada, evidentemente, este efecto de frenado es mayor en los motores diesel con relaciones de compresión del orden de 20:1 que en motores de gasolina en los cuales está establecido en valores de compresión de 9:1.

Condiciones impuestas por adherencia

En el “Manual Técnico para las Pastillas de Frenos” (p.4). Gulf hace referencia que:

El bloqueo de las ruedas de un eje produce efectos negativos, ya que en una situación de bloqueo, el coeficiente de fricción entre el neumático y la calzada adquiere un valor inferior al de máxima adherencia ($\mu=0,75$, para vehículos convencionales), lo cual produce el deslizamiento del neumático sobre la calzada. (Pag. 3)

En consecuencia, cuando las ruedas se bloquean, disminuye el valor de la fuerza

de frenado respecto a la máxima fuerza potencial que puede obtenerse en condiciones de rodadura previas al bloqueo de las ruedas, ya que el coeficiente de fricción rueda suelo cae a valores muy bajos del orden de $\mu=0,2$, o inferior en pavimentos mojados.

El efecto anterior, aun siendo de gran interés, no es el más importante. El bloqueo de las ruedas supone la superación de la adherencia neumático – suelo en la dirección longitudinal, razón por la cual, la interacción entre ambos elementos será incapaz de ofrecer una resistencia que equilibre una posible fuerza lateral, por muy pequeña que sea. Como, por otra parte, resulta en la práctica imposible que se produzca una situación exenta de todo esfuerzo lateral el vehículo podrá experimentar un desplazamiento lateral (viento, reparto de carga, etc.) cuyo efecto es diferente según sea el eje cuyas ruedas se bloquean. Si el eje que se bloquea es el trasero la adherencia de las ruedas de dicho eje con el suelo disminuye fuertemente como se ha visto antes, por lo que cualquier inestabilidad puede provocar el giro del vehículo sobre su eje haciendo perder totalmente la estabilidad direccional.

Es decir, si en una situación de conducción normal si tiramos con violencia del freno de mano, hasta llegar a bloquear los neumáticos, el vehículo tenderá a derrapar de la parte trasera hasta situarse a contra dirección. Si las ruedas que se bloquean son las del eje delantero, las fuerzas de inercia aplicadas al centro de gravedad y las de rozamiento o adherencia en las ruedas, proporcionan un momento de guiñada que disminuye con el valor de la perturbación lateral. Esto provoca que el sistema sea estable, es decir, las fuerzas tienden a hacer que el vehículo recupere su posición longitudinal. En esta situación se origina una cierta pérdida de control direccional,

menos grave, en términos generales, que la inestabilidad provocada por el bloqueo del eje trasero y el vehículo, tiende en principio a seguir una trayectoria recta sin obedecer a la dirección del mismo, de lo anterior se deducen algunas conclusiones importantes:

a) El bloqueo de las ruedas del eje trasero de un vehículo de dos ejes produce una gran inestabilidad direccional de carácter irreversible.

b) El bloqueo de las ruedas del eje delantero de un vehículo de dos ejes puede producir pérdida de control direccional.

c) De todo lo anterior se puede concluir que tanto en el diseño del sistema de frenos, como en la conducción, debe de actuarse de tal forma que se eviten tanto el bloqueo de las ruedas delanteras como traseras. En frenadas bruscas, especialmente en condiciones de baja adherencia, puede llegarse al bloqueo y será probable que las ruedas de ambos ejes no alcancen al mismo tiempo el bloqueo. En este caso, resulta menos desfavorable que el bloqueo se produzca antes en las ruedas delanteras. Por esto se añaden al sistema elementos que limiten la frenada en el eje trasero para que no se produzca su bloqueo antes que en el eje delantero.

d) El bloqueo hace disminuir el coeficiente normal de adherencia ($\mu = 0,7$), pasando al valor de rozamiento en deslizamiento ($\mu = 0,2$), lo cual, en el mejor de los casos, si no se produjese alteración grave de la trayectoria, haría aumentar la distancia de frenado respecto a la condición óptima, es decir si se aprovechase al máximo la adherencia.

e) De esto modo se puede comprender que es fundamental un buen aprovechamiento de la adherencia disponible en cada eje ya que constituye un

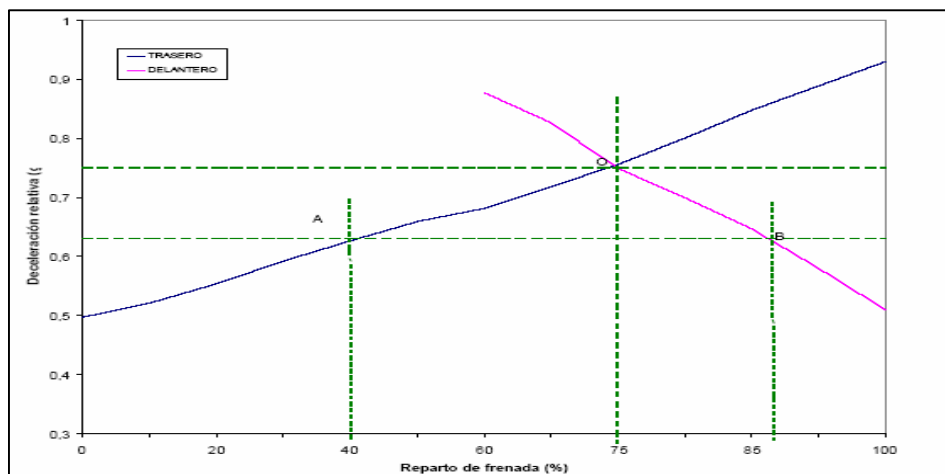
problema crítico en el frenado. Tal aprovechamiento será máximo si el esfuerzo transmitido por el sistema de freno a cada rueda es proporcional a la carga dinámica que soporta. Para optimizar la frenada y evitar el bloqueo de las ruedas se estudia el reparto óptimo de las fuerzas de frenado. Adicionalmente, algunos fabricantes especifican el material de fricción del freno del eje trasero con un coeficiente de fricción (μ) inferior al del eje delantero, otros, aceptan materiales de fricción de un mismo coeficiente, pero nunca que el freno trasero tenga un coeficiente de fricción superior al eje delantero en cualquier situación de presión en el circuito, velocidad o temperatura.

Reparto Óptimo de la Fuerza de Frenado

Gulf (s.f) considera que “Cuando el vehículo se encuentra estático, la masa del vehículo se reparte entre el eje delantero y el eje trasero, con valores que el diseño del vehículo ha provisto” (p. 6) por esto casi todos los vehículos comerciales de hoy en día, son ligeramente más pesados en la zona delantera que en la trasera. Ya que, no solo, el motor está ubicado en la parte delantera, sino que además al traccionar en ese mismo eje, caja de cambio, diferencial, las transmisiones, entre otros. Se encuentran en el eje delantero, el menor peso en el eje trasero implica que el diseño del reparto de fuerzas sea fundamental para no alcanzar el bloqueo de las ruedas traseras. Además como ya se ha comentado anteriormente, cuando se frena aparece un momento de cabeceo alrededor del centro de gravedad, que genera una transferencia de carga del eje trasero al eje delantero. Esto significa, que no solo el eje trasero es menos pesado

que el delantero, sino que además por dinámica vehicular en el eje trasero y siempre que se accione el freno, se va a descargar transfiriendo parte de esa carga al eje delantero.

El valor de la transferencia de carga que se produce al frenar del eje trasero al delantero, depende de la altura del centro de gravedad del vehículo y de la batalla del vehículo, es decir, de su distancia entre ejes, debido a todas estas variables, la fuerza frenante que se aplicará al eje delantero no es igual a la del eje trasero. Lo mismo debe decirse para las fuerzas que se aplican durante la aceleración. Si se hicieran los cálculos para saber qué porcentaje de la frenada debe de producirse en el eje delantero y cual en el eje trasero, considerando un coeficiente de fricción neumático – suelo de valor $\mu=0,8$, el reparto sería de un 0,75 % de la frenada en las ruedas delanteras; y 0,25 % en las ruedas traseras (Punto 0).



Fuente: Gulf (s.f)

Figura 2

Gráfica que representa el reparto óptimo de frenada entre ambos ejes.

Para un valor de adherencia entre el neumático y el suelo de valor $\mu = 0,80$ el (Punto 0) corresponde al frenado óptimo y, por tanto, a un reparto de esfuerzos de frenado como se ha descrito anteriormente. Si en el vehículo se estableciese un reparto de frenada con un 86% de frenada en el eje delantero y un 14% en el eje trasero (Punto B), se alcanzaría antes el bloqueo en las ruedas delanteras, consiguiéndose una deceleración máxima 0,62, muy por debajo del valor óptimo. Si por el contrario, el coeficiente de reparto de frenada se establece en un 40% en las ruedas delanteras y un 60% en las traseras (Punto A). Bloquearían antes las ruedas traseras y el límite de la deceleración quedaría establecido, también en un valor de 0,62 muy por debajo del valor óptimo y además con los perjuicios que provoca el bloqueo del eje trasero, visto anteriormente.

Como vemos la mejor solución es la presentada en el (Punto 0) con un reparto de frenada de un 75% en el eje delantero y un 25% en el trasero. Para que estos valores de reparto de frenada se mantengan dentro de la máxima adherencia consiguiendo así la mayor deceleración, los vehículos van equipados con reguladores de presión que consiguen la variación de la presión del circuito trasero para evitar el bloqueo de los neumáticos y las consecuencias negativas que ya se han comentado.

Mecanismo de Fricción

Retomando lo dicho por Gulf (s.f) que al frenar un vehículo lo que estamos consiguiendo por medio de la fricción entre dos materiales, es la transformación de

energía cinética y/o potencial (la que lleva el objeto por moverse o por encontrarse a una determinada altura) en energía calorífica, esta transformación de energía lo que provoca es un aumento de la temperatura global de todo el sistema, la transformación de la energía se produce en el contacto entre una parte fija que va anclada a la mangueta del vehículo (pinza de freno o caliper), y una parte móvil que gira solidaria con la rueda a la misma velocidad angular (el disco). Cuando accionamos el pedal del freno se presuriza el circuito y los émbolos de las pinzas empujan a las pastillas (elemento fijo) contra el disco (elemento móvil), en el contacto entre las pastillas y el disco es donde se produce la transformación de la energía, de ahí que las características de ambos elementos sean muy peculiares, ya que deben de soportar altas temperaturas sin desgastarse en exceso pero con un buen coeficiente de rozamiento para poder conseguir frenar el vehículo.

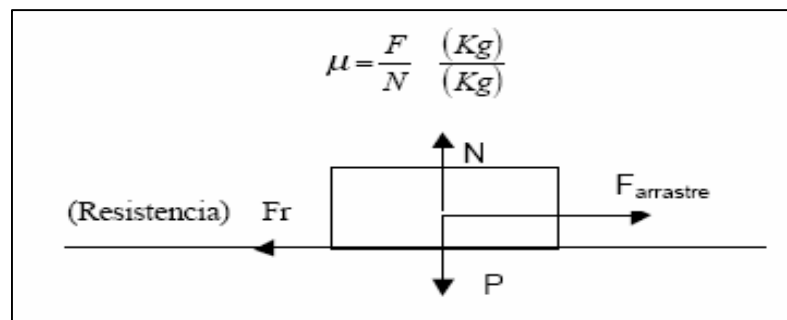
También, el coeficiente de rozamiento del material de fricción ha de ser lo más estable posible a distintas velocidades y a diferentes presiones en el sistema de freno de forma tal que el conductor pueda prever el resultado cuando trata de decelerar su vehículo, a todo esto Rodríguez, J. (2006) menciona que “En la interacción entre dos superficies aparecen diversos fenómenos cuyo conocimiento es de vital importancia” (p. 24), estos tres fenómenos fundamentales que aparecen son:

a) Fricción: Efecto que proviene de la existencia de fuerzas tangenciales que aparecen entre dos superficies sólidas en contacto cuando permanecen unidas por la

existencia de esfuerzos normales a las mismas.

b) Desgaste: Consiste en la desaparición de material de la superficie de un cuerpo como consecuencia de la interacción con otro cuerpo.

c) Adhesión: Capacidad para generar fuerzas normales entre dos superficies después de que han sido mantenidas juntas. Es decir, la capacidad de mantener dos cuerpos unidos por la generación anterior de fuerzas de unión entre ambos. Fricción es la resistencia al movimiento que existe cuando un objeto sólido se mueve tangencialmente con respecto a la superficie de otro sólido con el que está en movimiento, la fricción se expresa en términos relativos de fuerza, como el coeficiente entre la fuerza de fricción y la carga nominal a la superficie de contacto, suele representarse por μ , que es un coeficiente adimensional, es decir, carece de unidades ya que las dos fuerzas se miden en las mismas unidades.



Fuentes: Gulf (s.f)

Figura 3
Como actúa la fricción

Hay que distinguir entre dos situaciones:

1. Fuerza de fricción estática: La necesaria para iniciar el movimiento. Si la fuerza tangencial aplicada es menor a este valor, no existe movimiento y la fuerza de fricción es igual o mayor a la tangencial aplicada.

2. Fuerza de fricción cinética o dinámica: La necesaria para mantener el movimiento. De valor menor a la anterior. Las leyes fundamentales de la fricción son:

a) La fuerza de fricción es proporcional a la fuerza normal.

$$F = \mu \times N$$

F = Fuerza de Fricción

N = Fuerza Normal

b) La fuerza de fricción es independiente del área aparente de contacto (A_a), por esta razón objetos grandes y pequeños del mismo par de materiales, presentan el mismo coeficiente de fricción.

c) La fuerza de fricción teóricamente es independiente de la velocidad de deslizamiento (aunque no es así en la práctica debido a la sensibilidad de los materiales de fricción a la presión, a la velocidad y a la temperatura).

Los coeficientes de fricción típicos que presenta el acero cuando se desliza sobre otros materiales se encuentran en la siguiente tabla.

Cuadro 2
Tabla de los coeficientes fricción del acero

Material 1 Vs. Material 2		μ
Acero	Acero	0,62
Bronce	Acero	0,24
Grafito	Acero	0,10

Fuente: Gulf (s.f)

A escala microscópica, las superficies de los sólidos presentan cimas y valles, que podemos evaluar midiendo su rugosidad. Debido a esta rugosidad cuando dos superficies entran en contacto, no lo hacen en todo el área aparente de contacto (A_a), sino que el contacto se verificará solo en algunos puntos de estas rugosidades, a la suma de las áreas de los puntos en los que se verifica el contacto, la denominaremos área real de contacto (A_r). Esta área es independiente del área aparente de contacto, estos puntos de contactos son los encargados de soportar la carga normal y de generar la fuerza de fricción. Cuando la carga normal aumenta, el número de puntos en contacto aumenta, aumentando el área real de contacto a pesar de mantenerse invariable el área aparente. La fuerza de fricción es debida a varios efectos que suponen aportación de energía:

- a) Adhesión: principal componente de la fricción.
- b) Deformación.
- c) A la interacción entre asperezas.

La existencia de capas contaminantes entre el disco de freno y el material de fricción reduce considerablemente las fuerzas de fricción. La existencia de una fuerza de fricción hace aumentar el área real de contacto y aumenta el barrido de la capa intermedia (tercera capa), aumentando la adhesión respecto al simple contacto. Es

importante destacar que a altas velocidades de deslizamiento de una superficie contra la otra, se aumenta la temperatura debido a la fuerza de rozamiento entre ambos materiales que se oponen al movimiento con lo cual se produce una conversión de la energía cinética en calor (energía térmica) con el consiguiente aumento de la temperatura de ambas superficies.

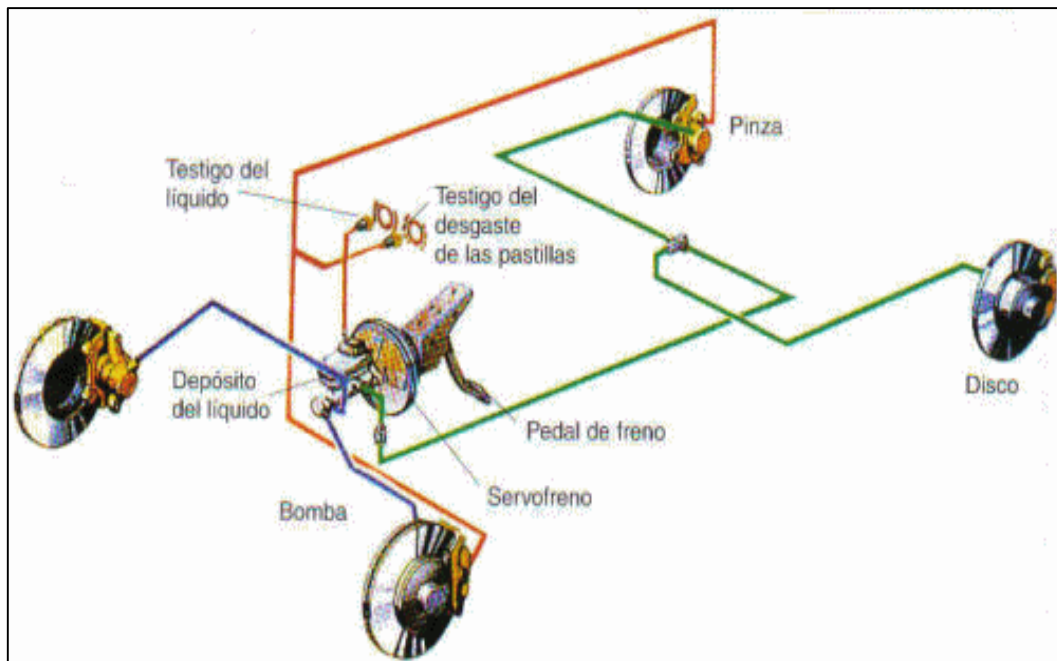
Componentes del Sistema de Frenos en el Automóvil

Ahora se realizará un recorrido por cada uno de los elementos que influyen en el fenómeno de la frenada que compondrán el sistema de frenado del prototipo Fórmula SAE para obtener , así, una visión de la importancia de cada uno de ellos para diseñarlo o adaptarlo de la forma más apropiada posible a nuestras exigencias. El sistema de frenado estará compuesto por los siguientes elementos que se irán estudiando a continuación:

1. Pedal de freno.
2. Distribuidor de frenada.
3. Bomba de freno.
4. Conductos del sistema hidráulico.
5. Pinza de freno.
6. Pastillas de freno
7. Disco de freno.

8. Neumáticos.

9. Sistema eléctrico



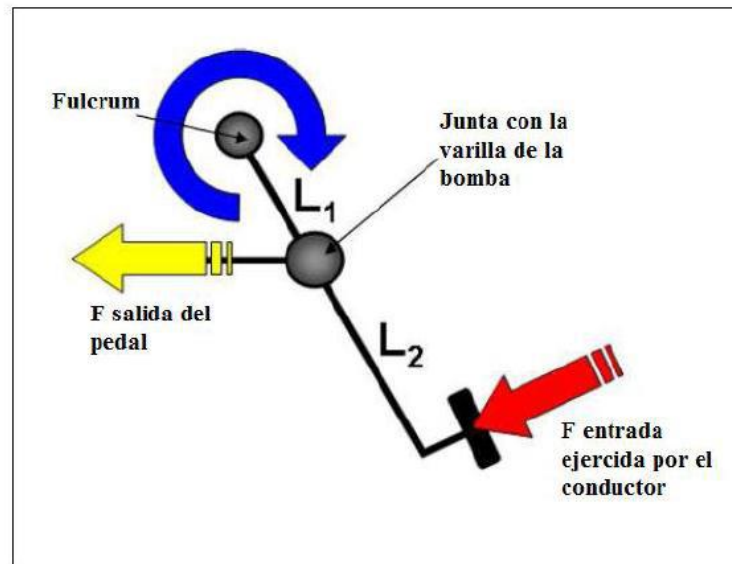
Fuente: Rodríguez, J. (2006)

Figura 4
Componentes del sistema de frenos

Pedal de freno

Se empieza por este elemento que será el encargado de multiplicar y potenciar la fuerza ejercida por el pie del conductor. Resulta lógico empezar por el pedal de freno, cuya función es la de multiplicar y potenciar la fuerza ejercida por el pie del conductor, este elemento será capaz de llevar a cabo dicha tarea mediante el fenómeno físico conocido como “palanca” caracterizado por un parámetro fundamental llamado relación de pedal. Puede parecer una buena idea aumentar la relación de pedal para así conseguir una fuerza de valor elevado sin que el conductor tuviera que hacer mucho

esfuerzo en el mismo, Cruz y Mesías (2013) recomiendan usar una relación 3:1 en la pedalera, pero esta puede variar dependiendo de las decisiones que mejores se adapten al diseño del Fórmula SAE UFT



Fuente: Cruz y Mesías (2013)

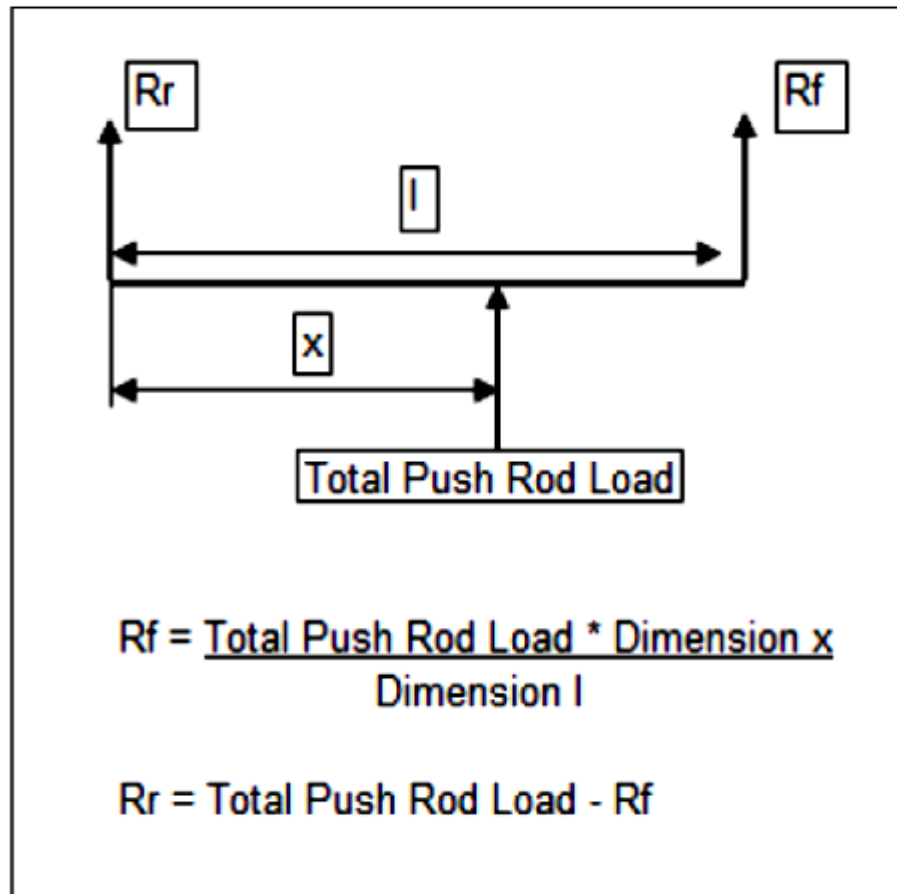
Figura 5

Pedal y relación del pedal

Distribuidor de Frenada

El distribuidor de frenada es un elemento de balance mediante el cual el conductor o un mecánico, puede regular la presión hidráulica para cada uno de los sistemas, mediante sus circuitos hidráulicos. De esta forma le permite regular la capacidad de la frenada en base a las condiciones del circuito en cada ocasión, existen varios tipos de repartidores de frenada disponibles en el mercado destinados al ajuste de la carga que se transmite a la salida del pedal a cada uno de los cilindros maestros, como la se piensa usar en el diseño dos discos delanteros y traseros entonces, una de

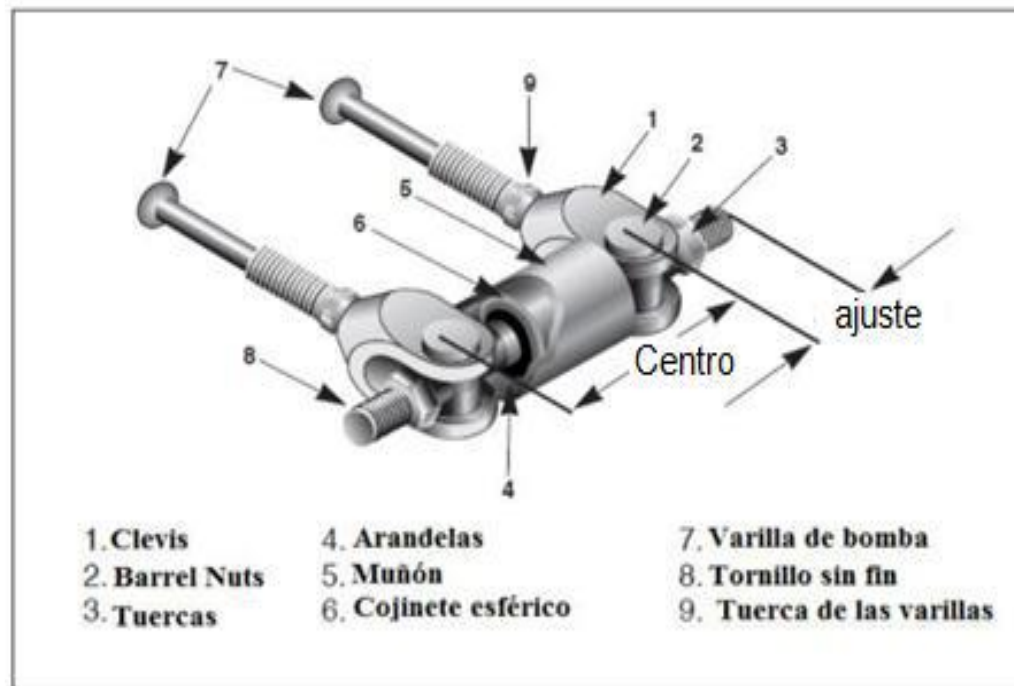
las bombas será la encargada de controlar el circuito delantero y otra del trasero. La mayoría de los sistemas de repartidor de frenada funcionan como una viga simple donde se varía la posición de entrada de la carga al cambiar la dimensión x .



Fuente: Cruz y Mesías (2013)

Figura 6
Fuerzas en el repartidor de frenada

En este caso, se muestra un repartidor de frenada, también llamado balance bar.



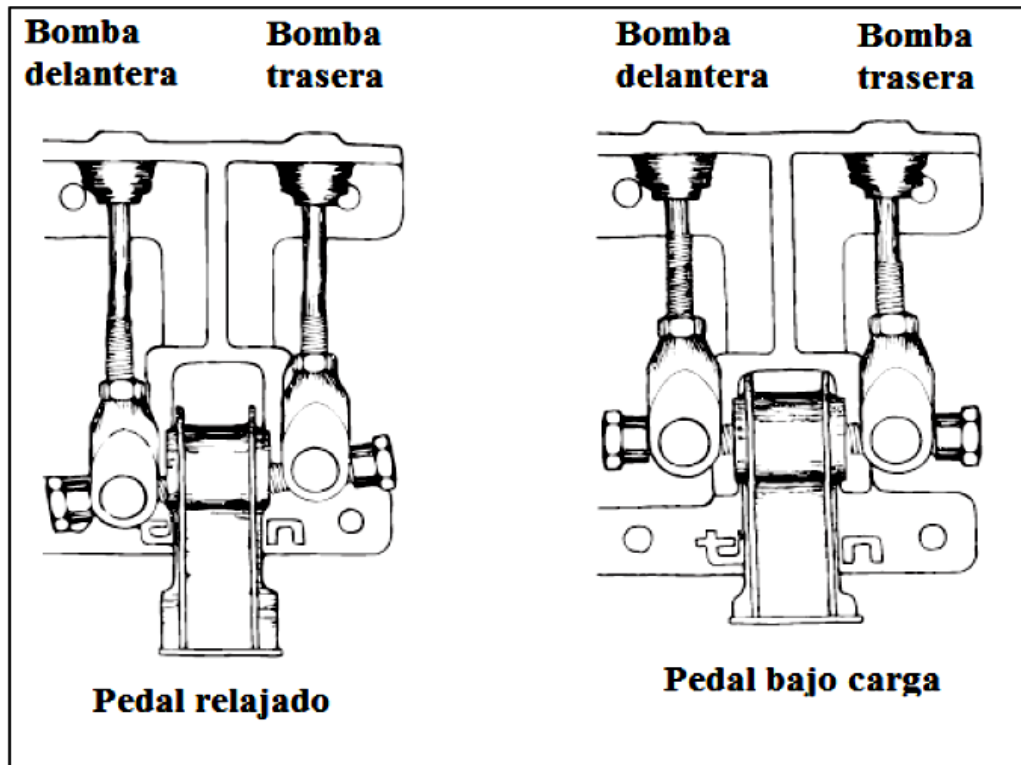
Fuente: Cruz y Mesías (2013)

Figura 7
Estructura del repartidor de frenada

Continuando con lo anteriormente mostrado, según lo mencionado por Cruz y Mesías (2013) se puede apreciar que el funcionamiento de este tipo de repartidos es bastante sencillo. Con el cable de ajuste, que iría conectado al tornillo sin fin, se puede regular la presión que mandará cada una de las bombas. Al girar la ruleta del cable de ajuste el tornillo sin fin irá girando, lo que provocará que el tornillo sin fin se cruce sobre su eje transversal como en la figura 7 y así ataca más o menos a cada una de las varillas de las bombas. Por ello, al pisar el pedal, como el eje del repartidor está cruzado, empujará más el pistón de una bomba que el de la otra y por lo tanto se mandará más presión a un tren del vehículo y menos al otro.

En la figura 8 se puede ver la situación del repartidor y las varillas de las bombas

con el repartidor ajustado para mandar más presión al tren delantero que al trasero.



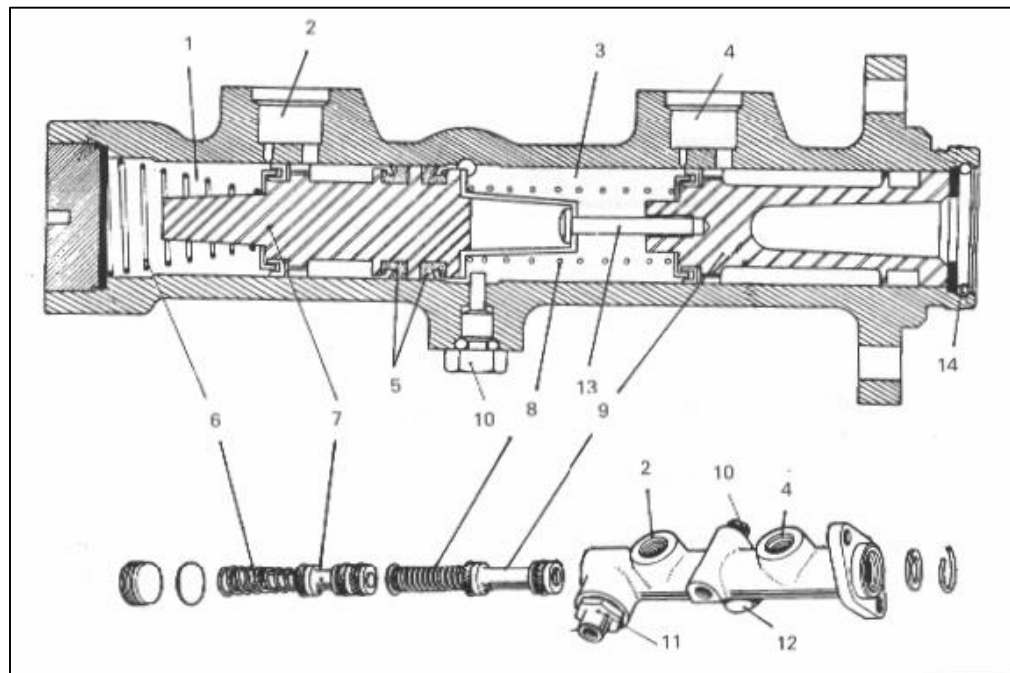
Fuente: Cruz y Mesías (2013)

Figura 8
Funcionamiento del repartidor de frenada

Bomba de Freno

La bomba de freno o cilindro principal, es el encargado de presurizar el líquido por todo el circuito hidráulico, como la legislación actual obliga a los fabricantes de vehículos a que estos vayan provistos de doble circuito de freno, las bombas de freno son de tipo tándem, el sistema tándem significa que la bomba dispone de dos pistones, colocados uno a continuación del otro, con los cuales se atiende al suministro del líquido a una presión igual para cada uno de los dos circuitos independientes

normalmente distribuciones según una “X”. Es decir, un circuito actúa sobre la rueda delantera izquierda y también sobre la trasera derecha mientras que el otro actúa sobre la rueda delantera derecha y la trasera izquierda como elemento de seguridad en el caso de problemas de pérdida de eficacia en uno de los dos circuitos.



Fuente: Gulf (s.f.)

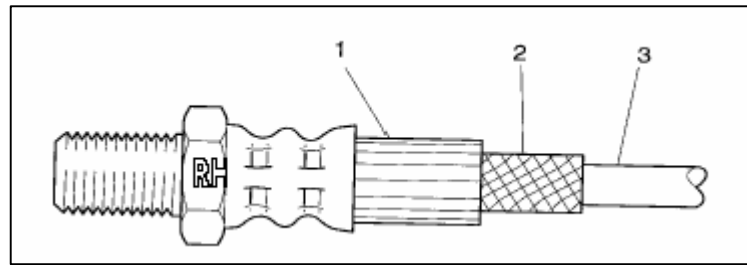
Figura 9
Composición del sistema de la bomba de freno

Tubos y Conductos del Sistema

Estos elementos son los encargados de transportar el líquido de frenos desde los depósitos situados en las bombas hasta cada una de las pinzas de freno del sistema. Por ello parece que realizan una función bastante sencilla, sin embargo, surge un problema relacionado con los mismos y es que poseen cierta conformidad. Por ello sería

conveniente aumentar la rigidez del material para reducir al mínimo esta conformidad. Sin embargo existe un problema para esta solución y es que estos conductos van a ser acoplados a otros elementos como a las pinzas de freno, que poseen cierta movilidad en su funcionamiento, por lo que se debe otorgar a los conductos y manguitos de freno cierta flexibilidad y consecuentemente aparecerá el fenómeno de la conformidad. Además deben de resistir la agresión medioambiental y otros agentes agresivos del entorno, los conductos normalmente son tubos de acero y muchas veces están recubiertas con polímero para resistir la corrosión; usualmente tienen un ánima nominal de 2,5 mm. y un diámetro externo de 4,5 mm, cada extremo de la tubería está carenado con carena individual o doble para que coincida con el componente en el que se coloca, y tiene montada una tuerca de tuberías macho o hembra según sea necesario.

Por consiguiente los tubos flexibles están contruidos en capas, de los que el revestimiento, ha de ser resistente al aceite mineral, y el externo a partículas duras y daños producido por piedras, agua, sal y demás contaminantes que puedan existir en la carretera. El producto que se utiliza es un polímero de mezcla de etileno propileno dieno (EPDM), se emplea tela de rayón de capas múltiples para las dos capas de refuerzo, que resisten la presión del tubo flexible. Los tubos flexibles de frenos están diseñados para funcionar a una presión de 100 bares, su presión de rotura es unas 5 veces mayor.



Fuente: Gulf (s.f.)

Figura 10
Latiguillo de freno

La membrana interior del tubo flexible ha de ser resistente al líquido de frenos. (3) El material empleado es EPDM ya que es muy poco permeable. El material de la capa interior es de rayón por presentar unas muy buenas cualidades de resistencia de presión interna (2). Algunos tubos flexibles tienen fundas de plástico o acero inoxidable enrollados alrededor de los mismos para dar protección adicional contra el doblado del tubo en otros componentes (1).

Pinza de Freno

Gulf (s.f) habla sobre lo que son las pinzas de frenos a partir de la página 15 y este dice que la pinza de freno es el elemento encargado de soportar las pastillas además de empujarlas contra el disco cuando se presuriza el sistema, la pinza es un elemento crítico del sistema de freno y está sometida a esfuerzos importantes durante el frenado tales como vibraciones, excesiva temperatura y otros elementos agresivos, existen diferentes tipos de caliper (pinzas) de freno según el sistema de freno y el fabricante. Sin embargo todas se basan en el hecho de que después de liberar la presión del circuito, permiten que la pastilla de freno, continúe en contacto con el disco de freno, de forma que en la próxima frenada, el efecto de esta sea inmediato sin necesitar un tiempo de

aproximación entre la pastilla y el disco de freno. Este contacto queda garantizado por los retenes del pistón del caliper, por el propio sistema hidráulico y lógicamente genera un efecto permanente de frenado (residual torque) cuyo valor es crítico para el buen funcionamiento del sistema. Pares residuales (residual torque) de frenado altos pueden provocar el calentamiento del sistema dando lugar a problemas que se describen más adelante.

1. Pinzas de pistón opuesto: El freno de disco de pinzas de pistón opuesto se fija en la brida de montaje mediante dos pernos y las pinzas están montadas por encima del disco que gira con el cubo de la rueda. Los cilindros a ambos lados de las pinzas fijas están equipados cada uno con una junta que se mantiene en una ranura angular en alojamiento del cilindro, los cilindros y pistones están protegidos contra la suciedad y agua con una cubierta anti polvo. Los conjuntos de pastillas están montados entre el pistón y el disco en la ranura de las pinzas y se mantienen en posición con pasadores, las pinzas para las ruedas traseras pueden llevar incorporados orificios de fijación para unir un freno de mano de tipo pinzas accionado mecánicamente que sirva como freno de estacionamiento.

Con los mencionado anteriormente, su principio de funcionamiento es simple, es decir, cuando se pisa el pedal el cilindro principal presuriza el líquido de frenos que empuja por igual a cada uno de los pistones de la pinza, que a su vez empujan a las pastillas contra el disco, la ventaja de este sistema es que ambas pastillas se empujan con la misma fuerza contra el disco. El esfuerzo de pedal aplicado está siempre

directamente relacionado con la fuerza de pistón (según una relación determinada por las dimensiones de los componentes), y por lo tanto con el grado de frenado. Cuando se suelta el pedal, la presión hidráulica que hay en el sistema de frenos disminuye, lo que hace que los pistones vuelvan a su posición original ayudado por la junta que existe entre los pistones y el cuerpo de la pinza (también responsable de la estanqueidad del conjunto). Al desgastarse el material de la pastilla, los pistones se deslizan más a través de la junta al frenar, con lo que compensa automáticamente el desgaste.

2. Pinzas deslizantes: Los frenos de disco de pinzas deslizantes se han diseñado para recuperar el espacio perdido por la instalación de las suspensiones tipo McPherson, que han restringido considerablemente el espacio disponible, ya que modifican el ángulo de caída de las ruedas. Este nuevo tipo de pinza está sustituyendo a la pinza de doble pistón por sus mejores ventajas como pueden ser: que el líquido de frenos se encuentra separado de la zona de disipación de calor, gran área y volumen de pastilla de freno con lo que se consigue mayor superficie de fricción para el frenado y al ser más anchas tienen mayor vida útil, peso menor, fuerza constante en las dos pastillas y par residual reducido debido a la retracción controlada de las pastillas. El cuerpo del freno, que no está expuesto a fuerzas centrífugas, se puede fabricar tanto en versión de aluminio de una sola pieza y en versión de dos piezas con el cuerpo de aluminio y un puente de hierro fundido dúctil. Para disipar mejor el calor la pieza de aluminio puede estar provisto de aletas de disipación, es decir, se aumenta la superficie de contacto entre el medio y la propia pinza.

El principio de funcionamiento es sencillo, al pisar el pedal del freno se actúa sobre el cilindro principal (que puede ir dotado de servo o no) aumentando la presión de todo el sistema. Esta presión al ser aplicada sobre el pistón empuja la pastilla de freno interior contra el disco, debido que la presión aplicada y el líquido encerrado actúan uniformemente en todas las direcciones, se ejerce simultáneamente una fuerza reactiva en el cuerpo. Esta fuerza desliza el cuerpo sobre los pernos de guía y tira de la pastilla exterior contra el disco. El esfuerzo de frenado por lo tanto es igual a ambos lados. El ajuste de la separación de la pastilla con el disco después de completar el proceso de frenado se consigue de manera similar al de las pinzas fijas, por medio de la deformación controlada de la junta del pistón, en este tipo de caliper, además de las comprobaciones rutinarias del pistón y sus elementos de estanqueidad, es muy importante verificar el buen deslizamiento de las guías del caliper para garantizar el reparto igual de esfuerzos sobre las dos pastillas de freno del caliper.

Pastillas de Freno

Para continuar se puede hacer mención a lo que nos dice el “Manual técnico de las pastillas de frenos” desde la página 21 que empieza la descripción de este elemento de la siguiente manera:

1. Composición: La obligatoriedad de eliminar el amianto supuso un cambio importante dentro de las formulaciones. El amianto era una fibra que constituía la base de cualquier formulación ya que era capaz de aportar las cualidades requeridas a

cualquier material de fricción. No obstante, aunque los primeros materiales “sin amianto” que aparecieron en el mercado eran de prestaciones y duración inferiores a los de “con amianto”, hoy en día los productos “sin amianto” han superados a aquellos en todos los requisitos exigibles a un material de fricción.

En la actualidad la mayoría de los fabricantes de fricción emplea en mayor o menor medida la base que a continuación se ofrece.

a) La Fibra: Las fibras son los elementos encargados de aglutinar y ligar el resto de los elementos. Es decir, las fibras son el “armazón” de las pastillas de freno, a través de sus múltiples ramificaciones van uniendo el resto de los elementos. Existen dos tipos principales de fibras las sintéticas y las minerales. Las más usuales en el campo de la fricción son: fibras de vidrio, fibras de aramida, lana de roca.

b) Las Cargas Minerales: Las cargas minerales son las encargadas de dar consistencia mecánica al conjunto, es decir, le aportan resistencia a la abrasión, resistencia a cortadura. Están encargadas también, de aportar resistencia a las altas temperaturas. Las más usuales son: barita, magnesita, talco, mica, carbonato, feldespatos y otros.

c) Componentes Metálicos: Se añaden en forma de polvo o viruta para conseguir homogeneizar el coeficiente de fricción así como la transferencia de calor de la pastilla al caliper. Los más usuales son, latón, cobre, bronce entre otros. No obstante una gran parte de los componentes metálicos usados en los materiales de fricción, tienen efectos nocivos sobre la salud por lo que se recomienda seguir estrictamente la legislación referente a los productos que contengan tales metales pesados.

d) Los Lubricantes o Modificadores de Coeficiente: Son los encargados de hacer variar el coeficiente de fricción normalmente a la baja, dependiendo del rango de temperatura de funcionamiento. Son empleados en forma de polvo suelen ser grafitos, cokes, sulfuros, antracitas, entre otros.

e) Los Materiales Orgánicos: Son los encargados de aglomerar el resto de los materiales. Cuando alcanzan una determinada temperatura fluyen y ligan el resto de componentes, hasta que se polimerizan. Las más importantes son las resinas fenólicas termoendurecibles, aunque también son empleados diferentes tipos de cauchos, ceras, aceites.

f) Los Abrasivos: Cumplen principalmente la misión de incrementar el coeficiente de fricción y también renuevan y limpian la superficie del disco permitiendo la formación de la capa intermedia o también conocida como tercera capa.

Composición del material de fricción

2. Características Básicas de las Pastillas de Freno

Los requerimientos básicos del material de fricción son los que establece la propia aplicación del producto. Los más relevantes son:

a) Presentar un coeficiente de fricción adecuado y estable a cualquier rango de temperatura y presión.

b) Mantener un equilibrio entre abrasión y resistencia al desgaste.

c) Una cierta compresibilidad, tanto en frío como en caliente, que haga que el

material absorba vibraciones e irregularidades de la otra superficie con la que entra en contacto.

d) Una buena resistencia al choque y al cizallamiento. A continuación vamos a ver los diferentes componentes que pueden llevar consigo las pastillas de freno.

3. Elementos de las Pastillas: las pastillas pueden estar compuestas por diferentes componentes entre lo que podemos destacar:

a) Underlayer (Cola): El “underlayer” es una capa de material cuya función es la de fijar el material de fricción en el soporte además de reducir la temperatura que llega al caliper. Esta capa de material tiene su propia formulación, ya que no tiene los requerimientos que del material de fricción se esperan sino que sus funciones son las de unir la capa de material de fricción al soporte además de variar la conductividad térmica del material de fricción para que el calor no pase a través de ella y no se caliente el líquido de frenos en el caso de materiales de fricción con una alta conductividad térmica. En definitiva, es un elemento añadido que puede implicar riesgos adicionales por lo que si puede ser evitado en el proceso, es conveniente evitar el tener que usar este elemento.

b) El soporte: es el elemento metálico cuya función es la de mantener el material de fricción en el porta pastillas de las pinzas. La característica principal es que debe de ser lo más plano posible para evitar que durante en proceso de prensado en caliente y posterior curado de las pastillas surjan fisuras entre el soporte y el material de fricción.

Los soportes son pintados con un barniz de alta resistencia para prevenir la corrosión con el paso del tiempo. La impregnación del soporte metálico con una resina de gran adherencia es una fase crítica del proceso de fabricación, ya que se debe de garantizar una correcta adherencia del material de fricción al soporte.

c) Antirruidos: Las láminas antirruído son accesorios cuya función principal es la de absorber las vibraciones que se producen en el contacto entre la pastilla y el disco, evitando la aparición de ruido. Existen diferentes materiales, como son láminas de fibra de vidrio, láminas metálicas, cada aplicación lleva definida un tipo de lámina diferente dependiendo del tipo de vehículo en el cual va montada la pastilla. La forma de fijarlas al soporte suele variar dependiendo del tipo de material de la lámina antirruído. Existen láminas que van pegadas por medio de una resina fenólica las cuales tienen que ser comprimidas contra el soporte sometido el conjunto a una temperatura de unos 150 °C. Otras láminas van remachadas a los tetones del soporte. Existe otra posibilidad de que la lámina vaya fijada al soporte por medio de patillas y embutida en dos tetones del soporte, para impedir su movimiento. Dichas láminas permiten aumentar la compresibilidad de la pastilla de freno en frío con el consiguiente efecto positivo sobre los chirridos sin aumentar sensiblemente la compresibilidad de la pastilla de freno en caliente que pudiera dar lugar a carreras del pedal excesivas.

d) Otros accesorios: Las pastillas para absorber las vibraciones a las que son sometidas en el caliper cuando se frena, llevan una serie de accesorios que se denominan muelles. Estos muelles están fabricados a partir de flejes. Este tipo de elementos depende de la geometría de la pastilla, del sistema de anclaje.

Existen otro tipo de muelles que van situados en el propio caliper pero cuya

función es la misma que los que van situados en las pastillas. En definitiva, permiten un leve movimiento de las pastillas cuando se encuentran frenando lo que hace que las vibraciones que se producen sean absorbidas.

Otro tipo de accesorios que van incluidas en las pastillas son los avisadores de desgaste. La función de estos elementos es la de alertar al usuario del vehículo de que sus pastillas están al límite de su vida útil y debe de ser sustituidas. Existen varios tipos:

Sonoros: Los avisadores sonoros son pequeños flejes que van alojados en los laterales del soporte, sobresalen unos dos milímetros de la superficie de fricción. Lo que produce que cuando la pastilla se ha desgastado y tan solo queda 2 mm de material de fricción este pequeño fleje roce contra el disco y se produzca un chirrido constante que avisa al conductor de que sus pastillas deben de ser sustituidas.

Luminosos: Los avisadores luminosos se componen de un cable conductor con una cabeza de polímero. Cuando este dispositivo va rozando con el disco, se debe a que a las pastillas solamente les quedan 3 mm. De superficie de fricción. El roce con el disco provoca su desgaste hasta que el cable llega a tener contacto con el disco, con lo cual hace masa, cerrando el circuito. Esto produce que se encienda un testigo en el cuadro que nos indica que debemos de pasar por el taller para cambiar las pastillas.

El Disco de Freno

Los discos de freno son la superficie contra la cual interactúan las pastillas para frenar el vehículo, debido a que el disco gira solidario con las ruedas. Ese rozamiento

entre discos y pastillas produce la transformación de energía cinética en energía calorífica, provocando una reducción de la velocidad. Los discos de freno no solo deben producir la transformación de energía sino que además deben conseguir que el calor producido sea transmitido a la atmósfera lo más rápidamente posible, ya que si no, las temperaturas a las que operaría el sistema serían muy elevadas llegando incluso al colapso del sistema.

El material escogido para fabricar los discos de freno es la fundición gris nodular de grafito laminar, ya que garantiza una estabilidad de las prestaciones durante el periodo de vida de los discos. Existen también, discos de materiales compuestos en matriz de carbono, usados en la alta competición y en los frenos de los aviones, aunque debido al alto coste que tienen son inviables para los vehículos comunes. En la actualidad se están desarrollando discos de freno en aluminio con una base de carburo de silicio, ya que su menor peso los hace muy atractivos, pero la mala disipación de calor que tienen los hacen inviables de momento, ya que necesitan un sobredimensionamiento importante que hacen que pierdan las ventajas del reducido peso.

La composición básica del material de los discos es una fundición gris nodular de grafito laminar, que contiene entre un 92% y un 93% de hierro. Además del hierro otros componentes básicos tales como el silicio, manganeso y otros garantizan la calidad de un elemento crítico en el frenado como es el disco. Existen gráficos donde se puede ver el porcentaje de los diferentes materiales que junto con el hierro, que

supone el 93% del total, el resto de materiales suponen entre el 7% y el 8% que resta de la composición total del disco.

1. Geometría del Disco de Freno: Si es verdad que algunos discos han sido y siguen siendo simples geometrías planas y circulares, su forma suele ser más compleja, compuesta de varias partes que corresponden a las distintas funciones desempeñadas. De esta forma podemos distinguir:

a) La banda: Es la superficie en la cual tiene lugar la acción de fricción entre las pastillas y el disco. Está dimensionada de forma que la potencia específica desarrollada no sea demasiado alta. Un valor de 230 watts por cm^2 de pista en una base para dimensionar el disco, pero dicho valor puede modificarse notablemente cuando el disco está muy ventilado, hasta llegar a 623 watts por cm^2 . Como se verá más adelante, por encima de dichos valores, pueden aparecer daños en el disco en forma de grietas o deformaciones, debido a la aparición del fenómeno de fatiga térmica.

b) Fijación: La fijación de los discos está situada en la parte central del mismo. Existe un agujero donde se aloja el buje, así como por la parte trasera un chaflán que debe de apoyarse perfectamente en la mangueta para que el ajuste del disco sea perfecto. Alrededor del agujero donde se aloja el buje, la fijación tiene un cierto número de agujero que permite el paso de los pernos de anclaje de la rueda. En la mayoría de los discos la fijación del disco se garantiza por unos agujeros de menor diámetro que fijan el disco.

c) La campana: La campana es el cilindro que une la banda, con el plano de fijación. En algunos casos en el interior de la campana se está aprovechando para montar un pequeño sistema de freno de tambor de accionamiento mecánico, con la finalidad de que sirva de freno de estacionamiento, esta técnica toma el nombre de “Drum-in-Hat”. El principio de funcionamiento de los frenos como ya se ha visto anteriormente se basa en que la energía cinética que lleva el vehículo debe de disiparse en forma de calor. Este calor se acumula principalmente en los discos. Pero lógicamente los discos no pueden almacenarlo infinitamente, sino que debe ser disipado a la atmósfera de una forma eficiente. La forma más sencilla es realizar una circulación de aire que, en contacto con el disco, se caliente y mantenga la temperatura del disco en valores razonables a efectos de su integridad.

Los discos deben de desempeñar dos funciones principales: mover el aire a su alrededor como lo haría un ventilador, y transmitir su energía a la atmósfera como lo hace un radiador. La forma circular del disco se presta mucho a esta doble función. Efectivamente, cuando gira el disco, pone en marcha la capa laminar de aire con la cual está en contacto. La parte más exterior del disco tiene velocidad lineal superior respecto a la parte que está cerca de la campana. Aquí, la presión dinámica que sufre el aire es más alta, ya que ésta varía con el cuadrado de la velocidad. De aquí deriva una aspiración del aire desde la parte central hasta la periferia, se crea el movimiento y el aire, desplazándose a la superficie del disco se calienta paulatinamente, lo que tiende a incrementar dicha circulación. Este mecanismo ya existe con los discos sólidos y es suficiente cuando las energías que han de trasladarse son reducidas o medianas, como

en el caso de los coches ligeros. Cuando la energía térmica disipada aumenta, las superficies de un disco sólido ya no son suficientes. Si se intentase aumentar su tamaño se tendría la limitación impuesta por el tamaño de la rueda por lo cual la solución adoptada por unanimidad es el disco ventilado que permite una mayor disipación térmica en el mismo espacio.

2. Tipos de Discos: El disco ventilado es la composición de dos pistas separadas por aletas en su interior. Estas aletas garantizan la cohesión del disco permitiendo el paso de aire por su interior. Gracias a estas aletas, el enfriamiento del disco no solo se produce en la superficie exterior del disco (como sucede en los discos sólidos) sino que además se produce su enfriamiento por el interior. La entrada de aire puede tener lugar por un lado u otro respecto de la campana, pero para que la ventilación sea eficaz se prefiere casi siempre el lado opuesto a esta. De hecho, la presencia de la rueda obstaculiza la introducción del aire exterior.

Este intercambio de energía depende en gran medida de la forma y la orientación de las aletas, como en una turbina, y su forma es un compromiso entre la eficacia y las dificultades de realización. El rendimiento de una turbina deriva de la relación entre la energía transmitida al gas y la energía que ha sido necesaria proporcionar para hacer girar la turbina. Este rendimiento mejora cuando las aletas están conformadas y no se oponen al desplazamiento del gas. Por eso, los discos que reciben notables cantidades de energía van dotados de aletas de este tipo, las cuales a una cierta velocidad de rotación, optimizan la velocidad de circulación. Sin embargo, hay un límite vinculado a la velocidad de traslado del calor del interior del metal hacia el gas.

Generalmente son radiales y por lo tanto la colocación de los discos en la rueda izquierda o derecha, no afecta a las propiedades autoventilantes. Sin embargo este segundo tipo de aletas están orientadas de tal forma que obligan a que esos discos sean montados en una rueda o en la otra, ya que no sería eficaz su ventilación si se intercambiara su ubicación.

De este modo y generalizando, cuanto mayor sea la velocidad que hay que reducir y/o menor es el tiempo de que se dispone para hacerlo, el trabajo que se ven sometidos los frenos resulta más crítico y en consecuencia puede decirse que la aportación de temperatura es también mayor. Por ello se necesitan frenos más grandes o provistos de aletas para los vehículos que o tienen mayor peso o pueden estar dotados de mayores velocidades punta sobre los que se debe actuar.

3. El Estrés Mecánico: Cuando el vehículo está en marcha, independientemente de las fases de frenado, el disco está sometido a escaso estrés mecánico. Bajo el efecto centrífugo debido a la rotación del disco crea un esfuerzo de tracción. Al frenar, el disco se ve solicitado por dos nuevas fuerzas. Ante todo, la fuerza de compresión, que deriva del apoyo de las pastillas perpendicularmente a la superficie del disco. Esta fuerza a su vez es el resultado de la aplicación de la presión del líquido de frenos en la superficie del pistón en la pinza. Por su parte dicha fuerza, aumentada con valores máximos de la presión (por ejemplo 80 bar.), crea a cargo de la fundición un esfuerzo de compresión de algunos newtons por mm², un valor muy reducido para este material, aunque sea en caliente. En cambio, en el disco ventilado, esta fuerza se ejerce solo en

la sección de las aletas, lo que puede llegar a duplicar o más el esfuerzo en ese punto. Esta fuerza también se aplica a la superficie comprendida entre las aletas y puede flexionarlas -normalmente de forma reversible- si el esfuerzo permanece dentro del límite elástico de la fundición. Hay que notar que el límite principal a una fuerte compresión está constituido por el material de fricción.

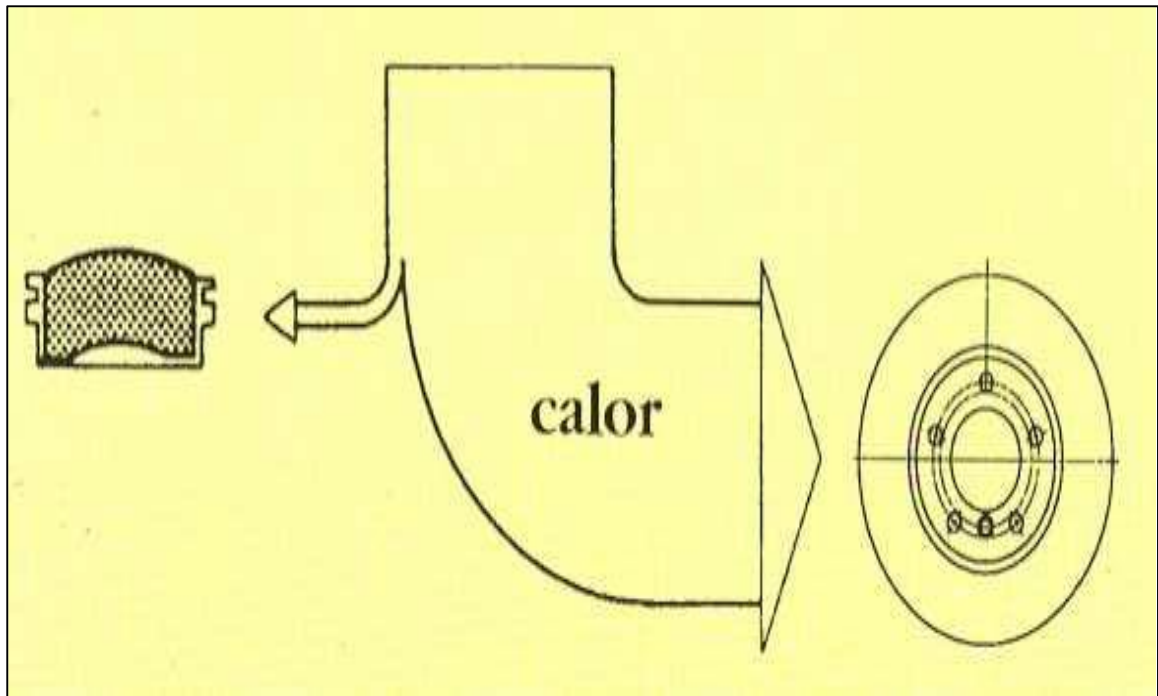
La fuerza frenante debido al roce de la pastilla contra la superficie del disco se traduce en la fundición en un esfuerzo de tracción. De hecho, la parte situada en contacto con la pastilla es frenada, es decir sufre una fuerza opuesta al movimiento rotatorio, mientras que la parte que no está en contacto con la pastilla se ve arrastrada hacia el sentido de la rotación del disco. Aunque se aplique todo el esfuerzo en el centro de empuje de la pastilla, se consiguen valores de esfuerzo de tracción del orden de 1-2 daN/mm², que hay que comparar con la resistencia a la tracción de la fundición, que equivale a un 200 MPa, es decir 20 daN/mm². Dado que dicho esfuerzo está repartido en toda la superficie de la pastilla, su valor es aún más reducido y bastante más lejano del límite de ruptura. Sin embargo, cabe destacar que este límite se reduce con la temperatura y en medida mucho más acentuada si existe un principio de figuración en la fundición. Entonces se pueden producir rupturas. La microfisuración que puede producirse después de largos periodos de funcionamiento está relacionada con este tipo de estrés repetido que se llama fatiga.

Así pues, existe un amplio margen entre el estrés mecánico aplicado al disco y los límites que, si se alcanzan, podrían provocar rupturas. Para completar la lista de los esfuerzos que se ejercen en el disco, hay que añadir algunas flexiones que pueden

producirse al frenar en las curvas y el estrés dinámico que se sufre cuando vibra el disco.

4. El Estrés Térmico: Toda la energía que pierde el vehículo al frenar (con el embrague desacoplado) se encuentra en forma de calor generado en el interfaz disco/pastillas. El caudal de calor aportado al principio del frenado es muy alto, ya que en el ejemplo es del orden de un centenar de kilowatts. Se trata de una potencia importante, como ejemplo se puede decir, que un usuario que desee disponer de una potencia idéntica en su instalación eléctrica, se vería obligado a equipar la red para una intensidad de 450 amperios a 220 voltios. En realidad, esta potencia se reduce linealmente hasta cero cuando la deceleración es constante. A pesar de ello, la energía total liberada para una rueda que equivale aproximadamente a unos veinte kilojoules permitiría llevar a la temperatura de ebullición poco más de un litro de agua en siete segundos. El calor se genera al entrar en contacto dos superficies: la pastilla y el disco. El aumento de la temperatura local es notable. No se puede medir fácilmente, pero se puede calcular por aproximación. Debido al notable gradiente de temperatura el calor se difunde en los dos materiales que están en contacto en función de su aptitud específica a dicha acción.

El reparto de los caudales depende de las características físico-químicas de los dos materiales, relativamente constante por lo que concierne a las fundiciones, pero en cambio bastante distintas por los materiales de roce. Sin embargo, se destaca que en la mayoría de los casos más del 80% del calor generado termina en el disco.



Fuente: Gulf (s.f)

Figura 11
Relación de reparto de caudales de calor generado en el frenado

Por eso, es preciso favorecer el enfrentamiento del disco. Ello es así mediante la circulación de aire debida al desplazamiento del vehículo, pero sobre todo al movimiento del aire que induce el vehículo. En función de la cantidad de calor máxima que ha de eliminarse, se recurrirá a varios medios que por otra parte harán más compleja la forma del disco. Se puede aumentar la superficie del intercambio, como ocurre en los discos ventilados. También se puede incrementar el caudal de aire, mejorando el rendimiento a través de la conformación de las aletas. La entrada del aire a través del lado en el que va fijada la rueda suele ser menos eficaz, ya que el centro está más alejado y la circulación mueve aire más caliente. Un excesivo aumento de la temperatura de la pastilla provoca un deterioro del material y también un aumento de

la temperatura del pistón y por tanto del líquido de los frenos. El excesivo aumento de la temperatura del disco también tiene numerosas consecuencias.

Puede ocurrir una transformación de la fundición con azulado de la superficie o una deformación permanente del disco. Por conducción, el calor se traslada hacia la campana. En este caso, la pista del disco se curva y se transforma en un cono, no encontrando la forma original al enfriarse. Por último, la campana está en contacto con la llanta, con un consiguiente recalentamiento del neumático.

Líquido de Frenos

El líquido de freno es el elemento que al ser presurizado por la bomba empuja los cilindros de las pinzas contra las pastillas, produciéndose así la acción de frenado, sus características son las que aseguran una correcta frenada, pero es un elemento que con el uso y el paso del tiempo se degrada y debe de ser sustituido.

Gulf (s.f) menciona que las características fundamentales del líquido de freno son las siguientes:

- a) Es incompresible (como todos los fluidos).
- b) Su punto de ebullición mínimo debe ser superior a los 230°C. Así conseguirá permanecer en estado líquido, sin entrar en ebullición, cuando las sollicitaciones de frenada sean muy exigentes.
- c) Debe de tener baja viscosidad para desplazarse rápidamente por el circuito.
- d) Debe de ser lubricante para que los elementos móviles del sistema de freno

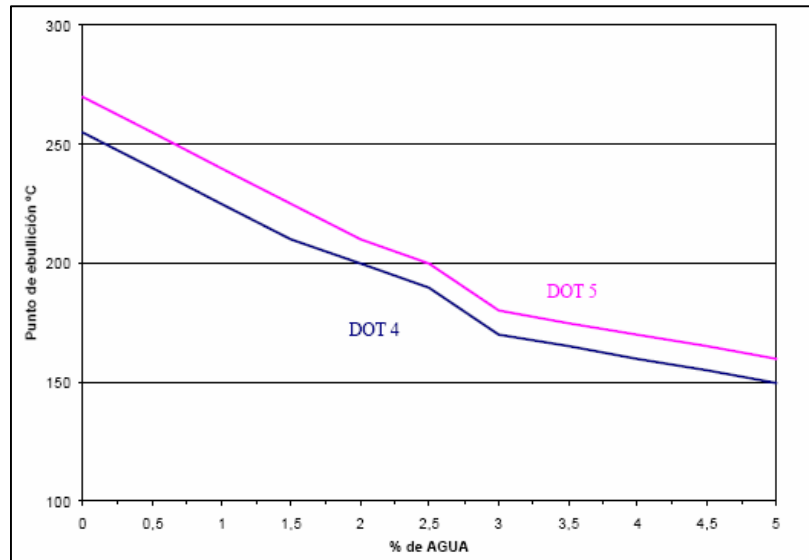
con los que se encuentra en contacto no se agarroten.

e) Debe de ser estable químicamente, para no corroer los elementos del sistema de freno con los que se encuentran en contacto.

En la actualidad, la mayoría de los líquidos de freno cumplen con todos los requisitos que le son demandados, pero como contrapartida y debido a la composición de elementos que tiene, posee una propiedad que obliga a que su sustitución sea necesaria cada 2 años o 70000 km. Esta propiedad es la propiedad higroscópica, es decir, tiene una gran capacidad de absorber agua.

En ambientes húmedos, bien pudiera ser necesario el proceder a su cambio antes de los plazos anteriormente indicados, se podría pensar que cuando existe agua en el sistema de frenos no tendría por qué modificar las cualidades del líquido, ya que es un fluido. Pero no es así ya que el agua aunque sea en estado líquido, corroe los elementos del sistema de frenos con los que está en contacto.

Aunque el problema principal de la existencia de agua en el sistema de freno es que cuando la temperatura del líquido supera los 100°C el agua se evapora transformándose en vapor de agua, un gas, que si es compresible, con lo cual el pedal ira al fondo, ya que toda la presión que se introduzca en el sistema servirá para comprimir ese vapor de agua y no para actuar sobre las pastillas de freno, además la existencia de agua en el sistema hace disminuir el punto de ebullición del líquido, los líquidos de freno se dividen en la actualidad en dos grupos dependiendo de las características que presenten, así en la actualidad se pueden comercializar dos calidades de líquido de freno.



Fuente: Gulf (s.f.)

Figura 12
Porcentaje de agua en los líquidos de frenos

1. DOT 4: Cuyo punto de ebullición es de 255°C. Empleado en sistemas de disco/tambor o disco/disco sin ABS.

2. DOT 5: Cuyo punto de ebullición es de 270°C. Debe ser el utilizado para vehículos de altas prestaciones y aquellos que vayan dotados de sistemas ABS.

Neumático

Según lo mencionado por Cruz y Mesías (2013) se puede ver que la dinámica de la frenada, es el fenómeno que se produce en cada una de las ruedas del vehículo y siguiendo las leyes de Newton de manera que la fuerza sea igual a la masa del vehículo por la aceleración o dicho de otra forma la aceleración o deceleración del vehículo es igual a la suma de las fuerzas que influyen sobre este entre su propia masa. También se debe recordar el movimiento de cabeceo que se genera en la frenada ocasionando una distribución de pesos diferente, siendo en el tren delantero mayor que en el trasero,

por lo que los frenos traseros son diseñados para generar fuerzas mucho más pequeñas que las generadas por los frenos delanteros.

Por todo ello, se puede barajar dos opciones para, a priori, disminuir la distancia de frenado. Estas son:

1. Cambiar el sistema de frenos para incrementar la fuerza entre el neumático y la calzada para una determinada fuerza en el pedal.
2. Presionar con mayor fuerza el pedal de freno.

Esto es cierto pero con restricciones. Se ha podido comprobar en algún vehículo que a medida que se aumenta la fuerza ejercida en el pedal de freno la desaceleración también aumenta hasta el punto en el que se bloquean que, como se vio antes, más allá de este punto la fuerza adicional aplicada en el freno no contribuirá a la frenada sino que el vehículo continuará desacelerando gobernado por el coeficiente de fricción entre los neumáticos y el camino.

Sistema Eléctrico

La normativa SAE dice que el prototipo debe tener un interruptor de seguridad en caso de que el pedal de freno llegue a su tope máximo, y este debe desconectar la bomba de combustible y la ignición, y el piloto no debe tener fácil acceso a él. Para el cumplimiento de esta norma, se ha utilizado un interruptor de parada de emergencia, instalado en el tope del pedal de freno, de esta manera cuando el pedal se vaya a tope, activara el interruptor y desconectará la inyección y la ignición lo que ocasionará que el motor se pare.

Además el prototipo debe tener una luz de freno muy visible para la seguridad para los eventos dinámicos de la competencia considerando que puede caer lluvia, para lo cual se ha hecho una muy simple instalación eléctrica para cumplir con esta normativa. Para esto puede ser utilizado un trompo de presión de freno, el mismo que sirve de interruptor de freno y va activar la luz de freno cuando haya un ligero incremento en la presión del sistema.

Cálculos para el diseño Sistema de Frenos

A continuación utilizando de apoyo los trabajos de Cruz y Mesías (2013) y de Rodríguez, J. (2006) se procederá a explicar cada uno de los cálculos necesarios, para cada uno de los elementos que componen el sistema de frenos.

Distribución de Pesos en el Vehículo

En condiciones de aceleración nula, el vehículo posee una distribución de pesos constante repartidos entre las cuatro ruedas del mismo y con un reparto diferente para cada eje. Siendo el valor de la masa correspondiente a cada eje conocida, se puede hallar el porcentaje de pesos para cada uno de los ejes en estático de la siguiente manera:

$$\text{Distribución de peso en el eje delantero} = \frac{Pd}{P} * 100 \quad \text{Ec.1}$$

$$\text{Distribución de peso en el eje trasero} = \frac{Pt}{P} * 100 \quad \text{Ec.2}$$

Donde:

P_d es la fuerza vertical en el eje delantero (peso soportado por el eje delantero).

P_t es la fuerza vertical en el eje trasero (peso soportado por el eje trasero).

P es la fuerza vertical total del vehículo (peso del vehículo).

Una vez conocida la distribución de pesos, se puede hallar la posición horizontal del centro de gravedad (CG), el cual está función de la geometría del vehículo:

$$CG_{d,x} = \frac{P_t}{P} * L \quad \text{Ec.3}$$

$$CG_{t,x} = \frac{P_d}{P} * L \quad \text{Ec.4}$$

Donde:

$CG_{d,x}$ es la distancia del centro de gravedad desde el eje delantero

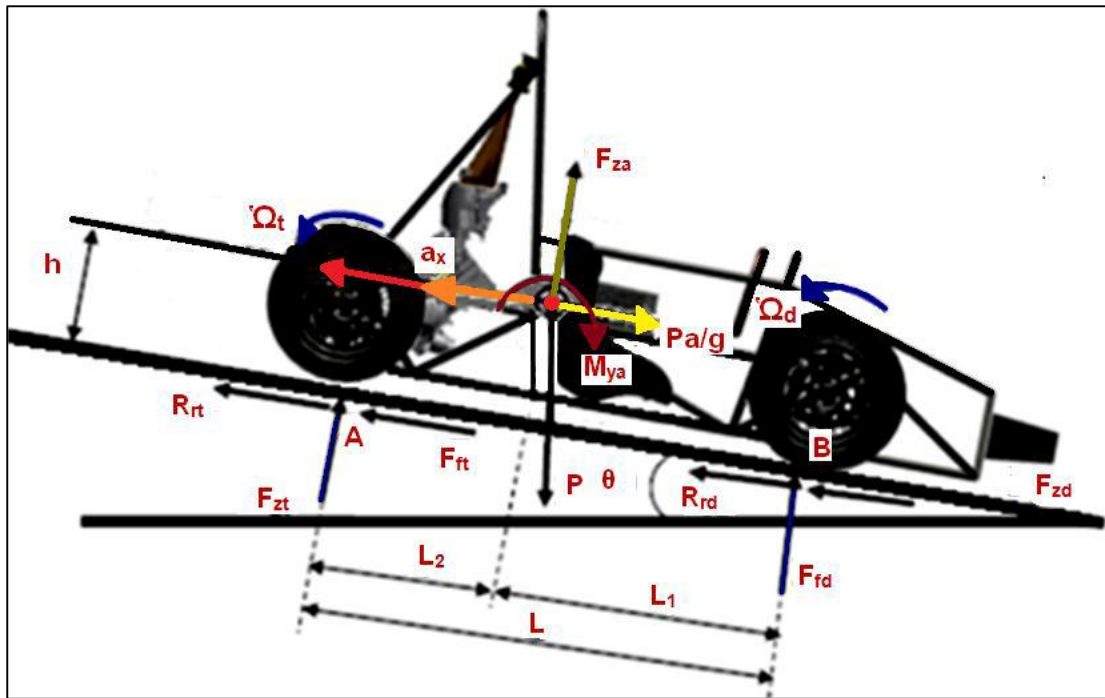
$CG_{t,x}$ es la distancia del centro de gravedad desde el eje trasero

L es la distancia entre ejes (wheelbase)

Evidentemente se tiene que cumplir lo siguiente:

$$CG_{d,x} + CG_{t,x} = L \quad \text{Ec.5}$$

Efectos sobre el Vehículo a causa de la Desaceleración



Fuente: Cruz y Mesías (2013)

Figura 13
Diagrama de Cuerpo Libre

Cuando se produce el fenómeno de la desaceleración, ocurre que la fuerza efectiva en cada rueda se ve modificada. Mientras que el peso total del vehículo, como es lógico, sigue siendo el mismo, la fuerza ejercida sobre el eje delantero aumentará mientras que la del eje trasero disminuirá en la misma medida.

Por lo que se puede calcular la transferencia de carga del eje trasero al delantero como:

$$TP = \left(\frac{a_v}{g}\right) * \left(\frac{h}{L}\right) * P \quad \text{Ec.6}$$

Donde:

TP es igual a la transferencia de peso

g es la aceleración de la gravedad

h es la altura del centro de gravedad al suelo

a_y es la desaceleración medida en gravedades

L es la distancia entre eje delantero y trasero “wheelbase”

P es igual al peso

Se calcula la distribución exacta de fuerza aplicada sobre cada uno de los ejes de la siguiente manera:

$$P_{d,d} = P_d + TP \quad \text{Ec.7}$$

$$P_{t,d} = P_t - TP \quad \text{Ec.8}$$

Donde:

$P_{d,d}$ es el peso en el eje delantero durante la desaceleración.

$P_{t,d}$ es el peso en el eje trasero durante la desaceleración.

TP es igual a la transferencia de peso

Como se mencionó, el peso total tiene que ser el mismo. Lo que se comprueba mediante:

$$P = P_{d,d} + P_{t,d} \quad \text{Ec.9}$$

Efecto de transferencia de pesos sobre los neumáticos

Al experimentar el vehículo la transferencia de carga anteriormente descrita, la capacidad de frenada se ve alterada. Con ello, se puede averiguar la máxima fuerza de frenada que cada uno de los ejes es capaz de producir por medio de los neumáticos de la siguiente manera:

$$F_{f,d} = \mu * P_d \quad \text{Ec.10}$$

$$F_{f,t} = \mu * P_t \quad \text{Ec.11}$$

Donde:

$F_{f,d}$ es la fuerza de frenado en el eje delantero

$F_{f,t}$ es la fuerza de frenado en el eje trasero

μ es el coeficiente de fricción máximo entre los neumáticos y el asfalto.

Observando las expresiones anteriores se puede determinar cómo a causa de esa transferencia de cargas, la capacidad de frenado del eje delantero se incrementa mientras que la del eje trasero disminuye. Referente a ello, se debe recalcar que se está suponiendo una adherencia constante de 1,6 durante la desaceleración, es decir, se está considerando que se aprovecha la máxima adherencia entre el neumático y el asfalto durante todo el proceso de frenado.

De esta manera se puede determinar la fuerza de frenado máxima que puede ejercer el monoplaza simplemente sumando las fuerzas de frenado que corresponden a cada uno de los ejes de la siguiente manera:

$$F_{\max} = F_{f,d} + F_{f,t} \quad \text{Ec.12}$$

Donde:

F_{\max} es la sumatoria de fuerzas del eje delantero y del eje trasero.

De esta forma, el par de frenado de oposición del vehículo se obtiene a través del radio de los neumáticos.

Par de Frenado

Se obtiene el par de frenado N de la siguiente manera:

$$N_d = F_{f,d} * R_d \quad \text{Ec.13}$$

$$N_t = F_{f,t} * R_t \quad \text{Ec.14}$$

Donde:

N_d es el par de frenado del eje delantero.

N_t es el par de frenado del eje trasero

R_d es el radio nominal del neumático delantero (brazo del momento)

R_t es el radio nominal del neumático trasero (brazo del momento)

El par de frenado es la sumatoria de los pares de frenado delantero y trasero.

$$N_{\max} = N_d + N_t \quad \text{Ec.15}$$

Calculo del Balance Optimo de Frenada

Para alcanzar el equilibrio óptimo de frenada, o alcanzar una eficacia del 100%, el cociente entre las fuerzas de frenado de cada eje entre las fuerzas verticales delanteras y traseras respectivamente, debe ser el mismo.

$$\frac{F_{fren,d}}{P_{d,d}} = \frac{F_{fren,t}}{P_{t,d}} \quad \text{Ec.16}$$

Donde:

$F_{fren,d}$ es la fuerza de frenado en el eje delantero.

$F_{fren,t}$ es la fuerza de frenado en el eje trasero.

$P_{d,d}$ es el peso en el eje delantero durante la desaceleración.

$P_{t,d}$ es el peso en el eje trasero durante la desaceleración.

En base a ello se puede concluir que el cociente de las fuerzas de frenado delanteras y traseras es un parámetro fijo basado en el dimensionamiento de los distintos componentes que forman el sistema de frenado, la relación entre las fuerzas verticales delanteras y traseras es una variable basada en la desaceleración y geometría del vehículo. Por lo que lleva a entender que dicha relación solo puede ser optimizada para una determinada desaceleración del vehículo y unas condiciones determinadas.

Dimensionamiento del Disco de Freno

Sin duda, el correcto dimensionamiento del disco de freno es de gran importancia para asegurar correcta eficiencia del sistema. Con los cálculos realizados

de par de frenada (N) y Fuerza (F) de frenado se puede determinar el diámetro del disco que se necesita para el prototipo.

$$D_{disco} = \frac{N_{max}}{F_{max}} \quad \text{Ec.17}$$

Donde:

D_{disco} es el diámetro del disco de freno

N_{max} es el par de frenado total

F_{max} es la fuerza de frenado total

Fuerzas en el Pedal de Freno y Repartidor de Frenada

El pedal de freno constituye el elemento mediante el cual el conductor ejerce una fuerza y esta se ve amplificada. De la estática elemental, se puede comprobar cómo el incremento de la fuerza aplicada por el conductor será igual a esta misma fuerza multiplicada por la relación de pedal, además de esto considerando que este según la normas de SAE para el sistema debe ser capaz de soportar los 2000N, estos serán tomados como la fuerza entrante al pedal para realizar los cálculos.

$$F_{s,p} = F_{e,p} \frac{L_2}{L_1} \quad \text{Ec.18}$$

Donde:

$F_{s,p}$ es igual a la fuerza de salida del pedal.

$F_{e,p}$ es igual a la fuerza de entrada del pedal.

L_1 es la distancia del centro de gravedad al eje delantero del monoplaza.

L_2 es la distancia del centro de gravedad al eje trasero del monoplaza.

Esta fuerza será repartida equitativamente a cada una de las bombas de freno si el repartidor de frenada se encuentra ajustado en el punto neutro, es decir, en posición de equilibrio. Debido al diseño del sistema se debe posicionar este elemento de tal forma que incremente la fuerza ejercida sobre el sistema hidráulico delantero ya que este es el que recibe mayor fuerza al momento de la desaceleración.

De esta manera, la fuerza a la salida del pedal que irá a cada una de las bombas será:

$$F_{s,rf,d} = (1 + \alpha) \frac{F_{s,p}}{2} \quad \text{Ec.19}$$

$$F_{s,rf,t} = (1 - \alpha) \frac{F_{s,p}}{2} \quad \text{Ec.20}$$

$$F_{s,rf} = F_{s,rf,d} + F_{s,rf,t} \quad \text{Ec.21}$$

Donde:

$F_{s,rf,d}$ es la fuerza a la salida del pedal con el repartidor ajustado hacia la bomba del circuito delantero, en el eje delantero.

$F_{s,rf,t}$ es la fuerza a la salida del pedal con el repartidor ajustado hacia la bomba del circuito delantero, en el eje trasero.

α es el porcentaje en el incremento o decremento del repartidor de frenada hacia un circuito.

Distribución de Presiones Generadas por las Bombas de Freno

La función que debe desarrollar cada bomba de freno es la de transformar la fuerza aplicada por el conductor en el pedal de freno en presión, la cual se transmitirá a través del sistema hidráulico, y se expresa en la siguiente ecuación.

$$F_{e,b} = F_{s,r f} \quad \text{Ec.22}$$

Donde:

$F_{e,b}$ es la fuerza lineal a la entrada de la bomba.

$F_{s,r f}$ es la fuerza a la salida del repartidor de frenada.

Para hallar la presión generada por la bomba de freno se supondrá que los líquidos son totalmente incompresibles y los conductos son infinitamente rígidos, con todo ello se tiene que la presión generada por la bomba de freno será:

$$P_{b,d} = \frac{F_{e,b,d}}{A_b} \quad \text{Ec.23}$$

$$P_{b,t} = \frac{F_{e,b,t}}{A_b} \quad \text{Ec.24}$$

$$P_b = P_{b,d} + P_{b,t} \quad \text{Ec.25}$$

Donde:

P_b , es la presión hidráulica generada por la bomba.

$P_{b,d}$ es la presión hidráulica generada por la bomba en el eje delantero.

$P_{b,t}$ es la presión hidráulica generada por la bomba en el eje trasero.

$F_{e,b,d}$ es la fuerza lineal a la entrada de la bomba en el eje delantero.

$F_{e,b,t}$ es la fuerza lineal a la entrada de la bomba en el eje trasero.

A_b es el área del pistón en la bomba

Distribución de Presiones en el Interior de los Conductos

La función del líquido de freno, los conductos y acoples es la de transmitir la presión obtenida de las bombas de freno a las pinzas de freno. Aunque, se trata de tubos flexibles, con lo que para realizar este cálculo, se debe suponer que el fluido es totalmente incompresible y los conductos infinitamente rígidos. Con ello, y considerando que no existe ningún tipo de pérdida, la presión que llegará a cada una de las pinzas con nuestras condiciones son:

$$P_{\text{pistón}} = P_b \quad \text{Ec.26}$$

$$P_{\text{pistón d}} = P_{b,d} \quad \text{Ec.27}$$

$$P_{\text{pistón t}} = P_{b,t} \quad \text{Ec.28}$$

Donde:

$P_{\text{pistón}}$ es la presión hidráulica transmitida a la pinza de freno.

$P_{\text{pistón d}}$ es la presión hidráulica transmitida a la pinza de freno del eje delantero.

$P_{\text{pistón t}}$ es la presión hidráulica transmitida a la pinza de freno del eje trasero

Fuerzas Lineales Generadas en cada Pinza de Freno

La función principal de la pinza de freno, es la de transformar la presión hidráulica que le llega desde las bombas a través de los conductos en un fuerza mecánica lineal. Con las siguientes expresiones se puede calcular la fuerza lineal que generará cada pinza al transformar esa presión hidráulica.

$$F_{\text{pinza d}} = n^{\circ}_{\text{pistones}} * P_{\text{pistón d}} * A_{\text{pistón d}} \quad \text{Ec.29}$$

$$F_{\text{pinza t}} = n^{\circ}_{\text{pistones}} * P_{\text{pistón t}} * A_{\text{pistón t}} \quad \text{Ec.30}$$

Donde:

$F_{\text{pinza d}}$ es la fuerza lineal generada por la pinza de freno en el eje delantero.

$F_{\text{pinza t}}$ es la fuerza lineal generada por la pinza de freno en el eje trasero.

$A_{\text{pistón d}}$ es el área efectiva del pistón de una de las caras de la pinza en el eje delantero.

$A_{\text{pistón t}}$ es el área efectiva del pistón de una de las caras de la pinza en el eje trasero.

$n^{\circ}_{\text{pistones}}$ es el número de pistones que posee por cara cada pinza.

Fuerzas de Fricción, contacto de Disco-Pastilla

La misión del contacto disco-pastilla es la de conseguir una fuerza de fricción que se oponga al sentido de rotación del disco. Esta fuerza se relaciona con la fuerza de mordaza generada por cada pinza de la siguiente manera:

$$F_{fricción\ d} = F_{pinza,d} * \mu_{pad,d} \quad Ec.31$$

$$F_{fricción\ t} = F_{pinza,t} * \mu_{pad,t} \quad Ec.32$$

Donde:

$F_{fricción}$ es la fuerza de fricción generada por cada pinza por la oposición a la rotación del disco producido por las pastillas de freno. Tomando en cuenta que subíndices se dividen de la siguiente manera el subíndice “d” se refiere al eje delantero y el subíndice “t” se refiere al eje trasero.

μ_{pad} es el coeficiente de fricción correspondiente a cada pastilla de freno.

Pares de Frenado Generado por el Contacto Disco-Pastilla

El disco constituye el principal elemento del sistema de frenado para disipar el calor del mismo. Pero además gracias a él se generará un esfuerzo de torsión en función de la fuerza de fricción obtenida de su contacto con la pastilla de freno, lo cual permitirá obtener el par de frenada que se necesita para detener el vehículo.

$$N_{frenado\ d} = 2 * F_{fricción\ d} * R_{ef,d} \quad Ec.33$$

$$N_{frenado\ t} = 2 * F_{fricción\ t} * R_{ef,t} \quad Ec.34$$

Donde:

$N_{frenado d}$ es el par de frenado generado por una de las pinzas delanteras.

$N_{frenado t}$ es el par de frenado generado por una de las pinzas traseras.

2 corresponde a las dos caras de fricción en cada conjunto Disco-Pastilla

R_{ef} corresponde al radio efectivo de cada disco de freno.

Pares de Fuerzas en cada uno de los Neumáticos

Asumiendo que existe una tracción adecuada (fricción) entre el neumático y la calzada que asegure la frenada, el neumático desarrollará un esfuerzo de oposición al de rotación generado previamente por la rueda. Dicho valor dependerá de las características del neumático, pero la fuerza de reacción generada como respuesta en la calzada se puede hallar del siguiente modo:

$$F_{neumático d} = \frac{N_{frenado,disco,d}}{R_{neumático}} \quad \text{Ec.35}$$

$$F_{neumático t} = \frac{N_{frenado,disco,t}}{R_{neumático}} \quad \text{Ec.36}$$

Donde:

$F_{neumático}$ es la fuerza de reacción entre en neumático y la calzada.

$R_{neumático}$ es el radio nominal del neumático.

Estos valores corresponden a la fuerza en una de las ruedas delanteras y en una de las ruedas traseras, sin embargo, el sistema de frenado está compuesto por varios

conjuntos disco-pinza de freno que actúan frenando las 4 ruedas, Delantera Derecha (DD) Delantera Izquierda (DI), Trasera Derecha (TD), Trasera Izquierda (TI) por lo que la fuerza total de reacción entre el vehículo y la calzada se hallará de la siguiente manera:

$$F_{total} = \Sigma F_{neumáticos, DD, DI, TD, TI} \quad \text{Ec.37}$$

Donde:

F_{total} = es la fuerza total de reacción entre el vehículo y la calzada.

Desaceleración del Vehículo

En base en la segunda ley de Newton, se puede hallar fácilmente la desaceleración del vehículo conociendo su masa y la fuerza de frenado total.

$$a_v = \frac{F_{total}}{m_v} \quad \text{Ec.38}$$

Donde:

a_v es la desaceleración del vehículo.

m_v es la masa del vehículo.

Distancia de Frenado

Una vez hechos los cálculos anteriores resulta muy interesante tener una idea de cómo se comportará el vehículo ante una situación de frenada. Con ello, si se integra la desaceleración hallada del vehículo se puede obtener la velocidad del mismo y

volviendo a integrar esta última expresión se puede determinar la distancia de frenada teórica del vehículo de la siguiente manera:

$$D_f = \frac{v_i^2}{2 * a_v} \quad \text{Ec.39}$$

Donde:

D_f es la distancia de frenado.

V_i es la velocidad inicial antes del frenado.

Bases Legales

La investigación corresponde el establecimiento en la regulación legislativa correspondiente para financiar la información del estudio realizado, por ejemplo las leyes implantadas por “La Constitución de la República Bolivariana de Venezuela” o en este caso la “Formula SAE Rules”, ya teniendo clarificado el asunto, se procede a continuación la descripción de dicha regulación para el mayor entendimiento de la misma.

La norma FSAE 2013 tiene como objetivo unos parámetros establecidos que desafían a equipos mediante un concurso, únicamente a alumnos universitarios estudiantes de pregrado y postgrado para concebir, diseñar, fabricar, desarrollar y competir con otros grupos, en el estilo del vehículo tipo fórmula. Para dar a los equipos la máxima flexibilidad en el diseño y la libertad de expresar su creatividad e imaginación, hay muy pocas restricciones en el diseño general del vehículo. El reto

para los equipos es desarrollar un vehículo que pueda competir con éxito en todos los acontecimientos descritos en el Reglamento FSAE. Las propias competiciones dan a los equipos la oportunidad de demostrar y probar tanto su creatividad como sus habilidades de ingeniería en comparación con los equipos de otras universidades de todo el mundo.

Norma FSAE 2013 para el objetivo de diseño del vehículo

Pág 5. A1.2 A los efectos de la competencia de Fórmula SAE, los equipos han de asumir que trabajan para una empresa de diseño que es el diseño, fabricación, prueba y demostración de un prototipo de vehículo para el fin de semana, el mercado de la competencia no profesional.

A1.2.1 El vehículo debe tener un rendimiento muy alto en términos de aceleración, frenado y manejo y ser suficientemente resistente para completar con éxito todos los eventos descritos en las normas de la Fórmula SAE y se mantiene a las competiciones de Fórmula SAE.

A1.2.4 Una vez que el vehículo ha sido completado y probado, su empresa de diseño tratará de "vender" el diseño de una "corporación" que está considerando la producción de un vehículo de competición. El reto para el equipo de diseño es el desarrollo de un prototipo de coche que mejor se adapte a los objetivos de diseño de vehículos FSAE y que se puede comercializar rentablemente.

Norma FSAE 2013: Inspección técnica

Pág 110. Artículo 2. El objetivo de la inspección técnica es determinar si el vehículo cumple con los requisitos y restricciones Reglas FSAE y si, considerada en su conjunto, satisface la intención de las Reglas.

S2.1.1 Para efectos de interpretación y control de la violación de la intención de una norma se considera una violación de la propia norma. (Ver la regla A3.6)

A3.6 Violaciones de Intención La violación de la intención de una regla se considerará una violación de la propia norma.

A3.6.1 Las preguntas sobre la intención o el sentido de la regla, puede dirigirse a la Comisión de Reglamento Formula SAE o por los organizadores de la competición individual, según corresponda.

S2.1.2 inspección técnica es una actividad no anotó.

Definición de Términos Básicos

Autocross: es una modalidad de automovilismo realizado en circuito de tierra disputado con turismos, monoplazas y buggys. La diferencia con el rallycross es que éste, se compite en circuitos con superficie mixta: pavimento y tierra.

Endurance o (Resistencia y capacidad): Una prueba de Endurance es una competencia contra reloj, para evaluar no solo la resistencia del vehículo durante la carrera, sino también el plan estratégico empleado como por el piloto.

Esfuerzo: Fuerza que tiende a deformar a un material por flexión, compresión, tracción, torsión o cizallamiento.

Flexión: Acción y efecto a doblarse de un cuerpo al cual está sometido a fuerzas perpendiculares a su eje transversal.

Skid Pad o (pista de derrape): es un área circular de pavimento plano que se utiliza para hacer varias pruebas de manejo de un coche. El uso más común de pista de derrape es la prueba de aceleración lateral, medida en g.

Torsión: es la sollicitación que se presenta cuando se aplica un momento sobre el eje longitudinal de un elemento constructivo o prisma mecánico.

Wheelbase: Distancia que existe desde el centro de la rueda delantera al centro de la rueda trasera, en algunos países se conoce como “batalla”.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Naturaleza de la Investigación

El presente proyecto se encuentra enmarcado bajo la modalidad de proyecto factible, según el Manual de Normas para la Presentación de Trabajo de Grado de la Universidad Fermín Toro, se define a un proyecto factible como: “Una propuesta basada en la factibilidad para la resolución de un problema dado. Puede apoyarse tanto en la investigación de campo como documental o un diseño de ambas modalidades” (p.6). Hallando sustento en la investigación de campo, descriptiva y documental. El estudio se centra en realiza una propuesta para, analizar, diseñar y construir un sistema de frenos que constituirá uno de los sistemas principales en el proyecto del vehículo monoplaza para el Grupo de Investigación Formula SAE UFT.

Tipo de Investigación

El tipo de investigación usada corresponde a una investigación de campo y documental, el cual se encuentra establecido por el manual para la elaboración de trabajo de grado de la Universidad Fermín Toro (2000), como una investigación que “emplea datos de fuentes primaria, ya que es el investigador quien los obtiene directamente, sin embargo, utiliza datos de fuentes secundarias en ciertas ocasiones y situaciones” (p. 5). Esta se encuentra sustentada en una investigación documental, debido a que “es el estudio de problemas con el propósito de ampliar y profundizar el

conocimiento de su naturaleza, con apoyo, principalmente, de trabajos previos, información y datos divulgados por medios, audiovisuales o electrónico”. (p. 6). Esta investigación la podemos enmarcar en carácter cualitativa, todo esto fue expresado por Tapia, M. (2000), en el que este menciona que una investigación de carácter cualitativa posee como características describir y explicar, centrándose en los aspectos susceptibles de cuantificar.

Diseño de Investigación

El diseño de la investigación según Hernández y Otros (2004) es transeccional descriptiva ya que “Los diseños de investigación transeccional recolectan datos en un solo momento, en un único tiempo” (p. 270), y es no experimental por:

En un estudio no experimental no se construye ninguna situación, sino que se observan situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente en la investigación por quien la realiza. En la investigación no experimental las variables independientes ocurren y no es posible manipularlas, no se tiene control directo sobre dichas variables ni se puede influir sobre ellas porque ya sucedieron, al igual que sus efectos” (p. 205).

El estudio se realizara en un solo período de tiempo, por esto se enmarca en este tipo de diseño. El autor, describe que los diseños de investigación transaccionales pueden ser exploratorios, descriptivos y correlacionales causales. Para el caso de la investigación es de tipo descriptivo debido a que el estudio debe recolectar y analizar información acerca de la variables, el sistema de frenos tomando encuesta las normas Fórmula SAE, Hernández y Otros (2004) explica: “Tiene como objetivo indagar la incidencia y los valores en que se manifiestan una o más variables o ubicar, categorizar

y proporcionar una visión de una comunidad, evento, contexto, fenómeno o una situación” (p.273).

Población y Muestra

Reguera, A. (2008) define que en una investigación, la población y muestra como “Conjunto de datos cuantificables pertenecientes a todo un sistema de estudio constituyen la población. La muestra está constituida por un subconjunto de la población, si ésta es representativa, permite inferir sobre el comportamiento de la población, con cierto margen de seguridad.” (p. 88). Su objetivo es delimitar los elementos de estudio, seleccionándolos por características similares para luego realizar el estudio con mayor facilidad, describiendo sus propiedades definiendo el tamaño de la muestra, a continuación se presenta la población y muestra a tomar del equipo FormulaSAE-UFT

Población

La población es un conjunto de individuos de la misma clase, limitadas por el estudio, según Tamayo y Tamayo (1997) la población se define como “la totalidad del fenómeno a estudiar donde las unidades de población poseen una característica común, la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación.” (p. 114). El Grupo de Investigación FormulaSAE-UFT posee una serie de asesores tanto legales como de diseño, este último grupo está integrado por profesores de la Universidad Fermín Toro en conjunto con personas gerentes o trabajadores de distintas empresas del sector

automotriz del estado Lara, y también otros miembros de otras universidades que participan en Fórmula SAE, por lo que fueron seleccionados como población. A continuación se presenta los cuadros 3 y 4 de los tipos de población.

Cuadro 3
Población Sujeto

Población Sujeto	Cantidad
Asesores Profesores	7
Asesores de Empresas	15
Asesores de FSAE	5

Fuente: FormulaSAE-UFT

Cuadro 4
Población Objeto

Población Objeto (Tipos de Sistemas de Frenos)
Discos de Frenos en los Cuatro Neumáticos
Disco de Frenos en Neumáticos Delanteros Mono Disco Interno Para Eje Trasero
Disco de Frenos en Neumáticos Delanteros Mono Disco Externo Para Eje Trasero

Fuente: Fórmula SAE-UFT

Muestra

La muestra es “el grupo de individuos que se toma de la población para estudiar un fenómeno estadístico” (p. 38) según Tamayo y Tamayo. Esto indica que de toda la población se deben seleccionar una cierta cantidad de elementos los cuales serán el objeto de estudio, para obtener la información directa de la investigación, en este caso están representados por los tipos de sistema de frenos mencionados anteriormente, tipo Discos en las Cuatro Ruedas, Discos en Ruedas Delanteras y Mono Disco interno para el eje trasero y Discos en las Ruedas delanteras y Mono disco externo para el eje trasero cuya función es la misma, pero cada una la cumple de diferente forma.

Técnicas Instrumentos y de Recolección de Datos

“La técnica es el procedimiento y el instrumento, la herramienta que utiliza el investigador para registrar y organizar posteriormente la información” (p. 71), mencionado por Pérez, A. (2009). Esto quiere decir que son todos aquellos métodos que se usan para recopilar información de las muestras y ser añadidos a la investigación. Permiten organizar la información de manera sistemática dependiendo de su método de obtención, pueden ser entrevistas estructuradas y no estructuradas, así como también observación directa e indirecta y finalmente revisión bibliográfica. Para la presente investigación se utilizaran la observación directa, entrevista no estructurada y revisión bibliográfica.

Observación Directa

Pérez, A. (2009) indica que la observación directa “Es aquella en la cual el investigador reconoce, estudia y analiza los hechos de manera libre. No utiliza ningún tipo de técnica” (p. 72). De lo mencionado anteriormente se nota la facilidad de uso, por lo que para Fórmula SAE-UFT será utilizada la observación directa para determinar las características del grupo, el avance de los diseños y de la construcción del prototipo monoplaza para la competencia del año 2014.

Entrevista No Estructurada

Permite la obtención de datos pero directamente de personas que se sabe poseen cierta información que se requiere documentar, Hernández y otros (2004) explica: “Las entrevistas abiertas o no estructuradas se fundamentan en una guía general con temas no específicos y el entrevistador tiene toda la flexibilidad para manejarla” (p. 455). Esta técnica será utilizada para recoger información del grupo de asesores con los que cuenta el Grupo de Investigación Fórmula SAE de la Universidad Fermín Toro, tanto los de empresas, como profesores e integrantes de otros grupos de Formula SAE.

Revisión Bibliográfica

“Comprender lo leído y extraer las ideas principales para el propósito, forma una parte importante para la investigación”. (p.63). Mencionado por Barray (1998) acerca de lo que es la revisión bibliográfica, por lo tanto se puede mencionar que es una

herramienta que permite ampliar los conocimientos del investigador a través de la lectura de información escrita como libros, informes, normas, data en internet acerca de todo lo referente a Formula SAE, la norma de restricciones que emiten cada año, datos de otros grupos de Formula SAE y otras propuestas de diseño.

Fases de la Investigación

En las fases de la investigación de este trabajo, se encuentran alineadas estrechamente con los objetivos específicos de la misma, lo cual permitirá dar cumplimiento a cabal con el objetivo general de la investigación. Así que cada uno de los objetivos específicos generará una fase correspondiente. Estas fases están conformadas por el diagnóstico, la factibilidad y la propuesta. A continuación se desarrollaran con mayor amplitud las actividades que se despliegan en cada fase:

Fase I: Diagnóstico

La fase siguiente, se basara en el diagnóstico, citando el primer objetivo de la investigación, se tiene que: *Determinar el tipo del sistema de frenos a utilizar, adaptado a las normas vigentes de formula SAE*, durante este proceso de diagnóstico, se desarrollan diferentes actividades las cuales permitirán el cumplimiento a este primer objetivo de la investigación basados en una teoría, como lo es la propuesta por Mott, R. (2004) en su libro *Diseño de Elementos de Maquinas*. Entre estas actividades se tienen:

1. Definir Especificaciones del Diseño del Sistema de Frenos

a) Definir las Funciones del Dispositivo de Frenada

b) Indicar los Requisitos del Sistema de Frenos

c) Definir los Criterios de Evaluación del Sistema de Frenos

2. Definir Restricciones de Fórmula SAE Correspondientes al Sistema de Frenos

a) Precisar las Restricciones que Afectan Directamente el Sistema de Frenos

Fase II: Factibilidad

Esta fase correspondiente a la factibilidad del proyecto, consiste en analizar acerca de si el proyecto es realmente factible por ello se cita el segundo objetivo específico de la investigación: *Examinar los costos y materiales del proyecto para determinar su viabilidad, dentro de una factibilidad técnica, operativa y económica.* La factibilidad del proyecto de investigación se podrá desarrollar a través de los siguientes estudios como lo son: El estudio administrativo, el estudio técnico-operativo y por último el estudio económico todo esto sustentado en el libro *Evaluación de Proyectos* de Baca, G. (2006). Para lograr este estudio de factibilidad del proyecto se generan las siguientes actividades:

1. Realizar Estudio Administrativo

a) Evaluar Organización del Equipo Formula SAE UFT de la Universidad

Fermín Toro

2. *Realizar Estudio Técnico-Operativo*

a) *Determinar los Recursos Materiales Disponibles en el Equipo FSAE-UFT*

b) *Determinar los Recursos Humanos Disponibles en el Equipo FSAE-UFT*

3. *Realizar Estudio Económico*

a) *Determinar los Costos de un Sistema de Frenos para Formula SAE-UFT*

b) *Determinar los Recursos Económicos Disponibles en el Equipo FSAE-UFT*

c) *Recopilar Catálogos Comerciales de Precios de los Posibles Componentes a*

Utilizar en el Sistema de Frenos.

Fase III: Propuesta

Esta fase está alineada con el último objetivo específico de la investigación, es *Elaborar la propuesta del diseño del sistema de frenos para el vehículo monoplaza del equipo Formula SAE UFT en la Universidad Fermín Toro, basado en teorías de diseño de máquinas y software de diseño y simulación.* Para lograr este objetivo que básicamente es la propuesta, se realizarán las siguientes actividades a seguir, basado en lo propuesto por Mott, R. (2004):

1. Crear los Conceptos de Diseños del Sistema de Frenos

a) *Proponer Conceptos de Diseños Alternativos del Sistema de Frenos*

b) *Evaluar Cada Alternativa Propuesta con Cada Criterio de Evaluación del*

Sistema de Frenos

2. Decidir el Concepto del Sistema de Frenos a Utilizar

a) Seleccionar el Concepto de Diseño Optimo que Mejor se Adapte a los Requerimientos por Formula SAE UFT

3. Diseñar el Sistema de Frenos a Utilizar

3.1 Cálculos necesarios para completar el Diseño Detallado del Concepto Seleccionado que Mejor se Adapta a las Necesidades de Formula SAE UFT

- a) Calcular la Distribución de pesos del Vehículo*
- b) Calcular los Efectos sobre el Vehículo a causa de la Desaceleración*
- c) Calcular los Efectos de la Transferencia de Pesos sobre los Neumáticos*
- d) Calcular el Par de Frenado*
- e) Calcular el Balance Optimo de Frenado*
- f) Dimensionamiento del Disco de Freno*
- g) Calcular la Fuerza en el Pedal de Freno y Repartidor de Frenada*
- h) Calcular la Distribución de Presiones Generadas por los Bombas de Freno.*
- i) Calcular la Distribución de Presiones en el Interior de los Conductos*
- j) Calcular las Fuerzas Lineales Generales en cada Pinza de Freno*
- k) Calcular las Fuerzas de Fricción, Contacto Disco-Pastilla*
- l) Calcular los Pares de Frenado Generado por el Contacto Disco-Pastillas*
- m) Calcular los Pares y Fuerzas de Frenado en cada uno de los Neumáticos*
- n) Calcular la Desaceleración del Vehículo*
- o) Calcular la Distancia de Frenado*

4. Crear un Manual Operativo y Mantenimiento del Sistema de Frenos

CAPITULO IV

ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para lograr la realización en esta etapa de la investigación, se procederá a realizar el respectivo análisis de los resultados de la investigación, todos estos resultados obtenidos mediante las técnicas de recolección de datos, ya anteriormente descritas en capítulos anteriores. Ya contando con las metodologías a seguir y habiendo implementado las técnicas de recolección de datos necesarias, se hace indispensable el análisis de los mismos, ya que estos datos en si no tienen ningún valor por si solos, hay que hacerlos hablar, extraer de ellos lo que realmente es necesario para la investigación y dar con los resultados que se quieren obtener, el cual es el propósito de este trabajo y apoyándose en lo dicho por Hurtado, L. y Toro, J. (2000) “El propósito del análisis es aplicar un conjunto de estrategias y técnicas que le permiten al investigador obtener el conocimiento que estaba buscando, a partir del adecuado tratamiento de los datos recogidos”. (p.181). Dejando claro los procedimientos a realizar en esta etapa de la investigación, se procederá a ejecutar el análisis e interpretación de los datos correspondientes obtenidos en las siguientes fases, alineadas estrechamente con los objetivos específicos de la investigación, lo cual permitirá dar cumplimiento a cabal con el objetivo general.

Fase I: Diagnostico

Observación Directa: utilizando esta técnica, se procedió a identificar los requerimientos básicos que debería de tener el sistema de frenos a diseñar, pero tuvieron que ser utilizadas otras técnicas como lo son la revisión bibliográfica y la entrevista no estructurada, para saber a detalle los requisitos necesarios para que este funcione de forma segura y óptima.

Revisión Bibliográfica: bajo esta técnica de recolección de datos, se procedió a leer, revisar, entender e interpretar cuales son los requisitos necesarios e indispensables a la hora de realizar un diseño de máquinas específicamente el de un Sistema de Frenos, basándose en teorías como la de Mott, R. (2004) en su libro *Diseño de Elementos de Maquinas* Cuarta Edición. El cual indica a partir de la página 11 hasta la página 15, los procedimientos a realizar paso a paso, describiendo las actividades a seguir, estas fueron adaptadas al objetivo general de la investigación y se obtuvieron las siguientes actividades:

1. Definir Especificaciones del Diseño del Sistema de Frenos

a) Definir las Funciones del Dispositivo de Frenada

La única y principal función del sistema de frenos, es la de desacelerar el vehículo de manera constante hasta lograr detenerlo por completo.

b) Indicar los Requisitos del Sistema de Frenos

Los requisitos básicos o estándares, para el diseño de un sistema de freno deben de incorporar los siguientes componentes: Un pedal de freno, discos de frenos, pinzas o calipers, pastillas de frenos, latiguillos o conductos de líquidos de freno, bombas con sus recipientes de líquidos y un repartidor de frenada.

c) Definir los Criterios de Evaluación del Sistema de Frenos

Para juzgar el valor de cada alternativa de diseño planteada es necesario establecer una serie de criterios y evaluaciones que permitan realizar la selección del sistema de frenos más óptimo como lo son:

Seguridad: el sistema debe funcionar de una manera óptima para garantizar así la seguridad del piloto y de cualquier persona que intervenga en su mantenimiento no exponiendo a situaciones peligrosas durante su uso o reparación.

Peso: Es importante que el diseño obtenido sea liviano y adaptado al vehículo, ya que un aumento en el peso del sistema podría afectar a otros sistemas que lo componen, como son la suspensión, dirección y transmisión.

Costo: Al igual que en el punto anterior, el costo es un punto de suma importancia ya que este tiene que estar adaptado a las necesidades del vehículo, ya que una sobredimensión del mismo podría influir en el costo del sistema y este a su vez en el costo final del vehículo.

Manufactura: la fabricación del mismo, debe de hacerse con materiales que no

solamente aguanten las cargas a los que será sometido, si no también adaptarse a los costos, para no sobrepasar los parámetros anteriormente definidos para el sistema.

Facilidad de Servicio o Reemplazo de sus Componentes: el sistema debe de estar diseñado de tal manera que sea fácil realizar cualquier mantenimiento y ser práctico a la hora de realizar la sustracción y adición de partes o elementos y componentes del sistema en caso de ser necesario.

Durabilidad: Es importante que las propiedades mecánicas del diseño final sean las indicadas, y así sea capaz de enfrentar todos los esfuerzos y altas temperaturas por las cuales será sometido.

Confiabilidad: Es importante que el diseño final sea capaz de soportar todos los esfuerzos al cual será sometido, con calidad en cuanto a su funcionalidad, es decir que el performance del sistema de frenos se mantenga constante durante el mayor tiempo posible.

Silencioso y con poca Vibración: es muy importante este factor en el diseño ya que por lo general sonidos agudos, constantes o vibraciones fuertes al momento de frenado, sirven para indicar fallas o que algún componente no está funcionando de una manera óptima, por lo tanto que el sistema tenga un comportamiento generalmente silencioso, sirve para garantizar que esté funcionando en una manera óptima, con todos sus componentes calibrados.

Uso Prudente de partes de Diseño Único, y de Componentes existentes en el Mercado: el sistema debe ser práctico, a la hora de su reparación, adaptación y calibración, por lo tanto el no abusar de diseños únicos que no se alineen con piezas, y componentes ya existentes dentro del mercado podría generar dificultades en algunas situaciones.

Estética: Aunque este no es un punto de mayor jerarquía en cuanto al diseño de una máquina, siempre es importante tratar de presentar un producto con una imagen práctica e innovadora.

2. Definir Restricciones de Fórmula SAE Correspondientes al Sistema de Frenos

Es importante recalcar las restricciones comprendidas en las normas de Fórmula SAE a la hora de realizar el diseño del sistema de frenos, ya que en muchas de esta condicionan a la cantidad de elementos a usar, o las restricciones del uso de otros alternativos por lo tanto la buena interpretación y cumplimiento de esta garantiza, lograr un diseño competitivo y enmarcado dentro de las normas para poder competir.

a) Precisar las Restricciones que Afectan Directamente el Sistema de Frenos

1. El prototipo deberá estar equipado de un sistema de frenos que actúe sobre las 4 ruedas y esté dirigido por un solo mecanismo de control.

2. El sistema de frenado debe tener 2 circuitos hidráulicos independientes de manera que en el caso de fuga o falla en cualquier punto del sistema, el poder efectivo

de frenado se mantenga al menos en 2 ruedas.

3. Cada circuito hidráulico debe tener su propia reserva de líquido, ya sea por la utilización de depósitos por separado o por el uso de un único depósito con separación interna.

4. Un único elemento de freno que actúe sobre un diferencial autoblocante es aceptable.

5. El sistema de frenos debe ser capaz de bloquear las 4 ruedas durante las pruebas que se especifiquen.

6. Los sistemas de freno por cable están prohibidos.

7. No se permite la utilización de conductos del sistema hidráulico de material plástico o sin blindaje de protección.

8. En la vista lateral, ninguna parte del sistema de frenos que se monte en la parte suspendida del vehículo puede proyectarse por debajo de la superficie inferior de la estructura o monocasco, según sea el caso.

9. El pedal de freno deberá estar diseñado para soportar una fuerza de 2000N sin ningún tipo de fallo del sistema de freno o de la caja de pedal. Esto puede ser probado con la fuerza máxima que puede ser ejercida por cualquier funcionario cuando esté sentado normalmente.

10. El pedal de freno debe ser fabricado de acero, aluminio o titanio.

11. En la prueba dinámica el sistema de frenos debe demostrar la capacidad de bloqueo de las 4 ruedas y detener el vehículo en línea recta al final de una carrera

de aceleración especificada por los inspectores de frenos.

12. Como medida de seguridad debe ser instalado en el prototipo un interruptor que sea accionado en el caso de alcanzar el tope del recorrido del pedal de freno. Este interruptor deberá cortar el encendido y la energía a cualquier surtidor de gasolina eléctrico.

13. La repetida actuación del interruptor no debe restaurar la energía de estos componentes, y debe ser diseñado de manera que el conductor no pueda restablecerla.

14. El interruptor debe ser implementado con componentes analógicos, y no mediante el recurso de reguladores lógicos programables, unidades de control del motor, o reguladores digitales de funcionamiento similar.

15. El vehículo debe estar equipado con una luz roja de freno de al menos 15 vatios, o equivalente, claramente visible desde la parte trasera. Si se utiliza una luz tipo LED, debe ser claramente visible en condiciones de intensa luz solar.

16. Esta luz debe ser montada entre la línea central de la rueda y el nivel de los hombros del conductor verticalmente y aproximadamente en la línea central del vehículo lateralmente.

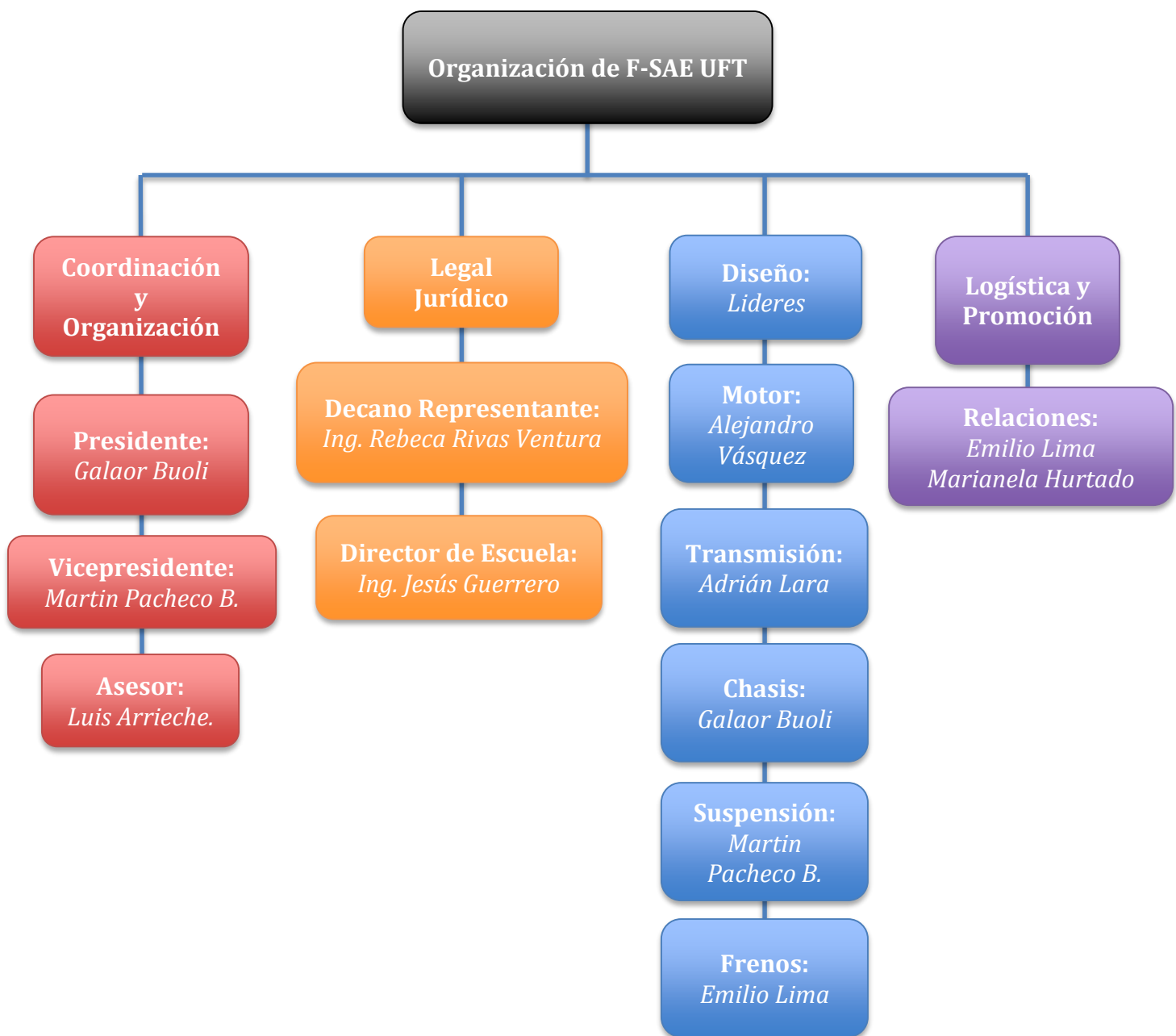
Fase II: Factibilidad

1. Realizar Estudio Administrativo

En el desarrollo de este estudio sólo implica la aplicación de una actividad, la cual radica en mostrar cual es la organización de la empresa, en este caso Fórmula SAE UFT

a) Organización del Equipo Formula SAE UFT de la Universidad Fermín

Toro



La organización de Fórmula SAE UFT está compuesto, por cuatro departamentos, organizados de manera tal que abarquen cada uno de los aspectos necesarios para la culminación y desarrollo óptimo del proyecto emulando a una empresa fabricante de vehículos.

2. Realizar Estudio Técnico-Operativo

Tomando en cuenta cada uno de los criterios que deben estudiarse en el desarrollo del proyecto se tienen las siguientes sub-actividades:

a) Determinar los Recursos Materiales Disponibles en el Equipo FSAE-UFT

Entre los recursos materiales con los que cuenta F-SAE UFT, se encuentran todos los equipos y maquinas disponibles en el laboratorio de procesos I y II, en los que se puede mencionar, tornos, fresadoras, prensas hidráulicas, horno de tratamiento térmico, herramientas manuales variadas, como seguetas, destornilladores, llaves entre otras herramientas. Además de algunos metales variados, que se tiene como chatarra o metales que pueden ser utilizados para algunas fabricaciones de piezas necesarias.

b) Determinar los Recursos Humanos Disponibles en el Equipo FSAE-UFT

Los recursos humanos que dispone el equipo de FSAE-UFT, son todos los integrantes de cada uno de los departamentos que conforman Fórmula SAE UFT, además de los asesores y profesores que forman parte de la Universidad Fermín Toro, entre todos los integrantes de cada uno de los departamentos se llega a contar con

alrededor de veinticinco estudiantes, los asesores suman otras cinco personas, y los profesores de la cada de estudio a su vez suman otras diez personas más que conforman en total al tren humano con el que cuenta el equipo para realizar cada una de las diversas actividades que se propongan para la culminación del proyecto y alcanzar los objetivos propuestos.

3. Realizar Estudio Económico

Esta parte del estudio es sumamente importante, ya que es aquí donde se plasma si el proyecto es viable económicamente para la empresa y para esto se plantean 3 sub-actividades para describir mejor el estudio económico a realiza.

a) Determinar los Costos de un Sistema de Frenos para Formula SAE-UFT

Para la determinación de los costos se utilizó varias técnicas de recolección de datos como lo son:

Observación Directa: esta se utilizó en tiendas y páginas de ventas de estos componentes logrando estimar la variación de precios que existen entre cada uno de los elementos y logrando generar un estimado de cuál podría ser el costo total del sistema de frenos.

Entrevista no Estructurada: esta técnica fue aplicada a otros equipos de Fórmula SAE, así como a asesores de SAE acerca, de cuáles eran los componentes y marcas

más recomendados para el ensamblaje del sistema, además de cuáles eran los medios más fáciles de adquirirlos a los costos más bajos posibles.

Revisión Bibliográficas: con esta técnica se procedió a revisar trabajos y tesis ya antes realizados donde recomendaban ciertos productos dando motivos y explicaciones del porqué de su uso en este tipo de vehículos, además de leer las marcas patrocinantes de las competencias SAE que ofrecen sus productos a bajos precios a los participantes.

b) Determinar los Recursos Económicos Disponibles en el Equipo FSAE-UFT

Para la determinación de los recursos económicos con los que cuenta Fórmula SAE UFT, solamente basto con usar la observación directa así como la entrevista no estructurada, brindando como información que Fórmula SAE UFT, no solamente cuenta con el apoyo económico en algunos casos de la casa de estudio la Universidad Fermín Toro, además de esto FSAE-UFT cuenta con patrocinantes, los cuales brindan recursos variados al equipo como son, fondos para compra de elementos, materiales y piezas necesarios para construcción, asesoramiento, espacios de trabajo, publicidad entre otros.

Continuando con lo ya antes mencionado de los recursos económicos con los que cuenta FSAE-UFT a esto se le suma las diferentes actividades que se plantean para la recaudación de fondos para el equipo, estas se pueden derivar en diferentes tipos de actividades gestionadas dentro de este y realizadas por todos las personas que forman parte y hacen vida dentro del equipo Fórmula SAE UFT, estos se organizan en

diferentes grupos, cuentan con su logística y permisos necesarios por partes de los representantes legales del grupo, para llevar a cabo cada una de estas actividades.

c) Recopilar Catálogos Comerciales de Precios de los Posibles Componentes a Utilizar en el Sistema de Frenos.

**TABLA DE PRECIOS DE LOS POSIBLES COMPONENTES
PARA EL SISTEMA DE FRENOS DE F-SAE UFT**

	Modelo	Código	Imagen	Precio Unitario	Fuente
Discos de Freno	AP-Racing	CP2866-211G4		97 \$	www.apracing.com
	Willwood	046-141		28,95 \$	www.willwood.com
	Willwood	04-1425		30,5 \$	www.willwood.com

	Willwood	160-2181		83,95 \$	www.willwood.com
	Empire Keawy	TX-200		550 Bsf	www.mercadolibre.com.ve
Pinzas de Frenos (Calipers)	AP-Racing	CP3696-6E0		150 \$	www.apracing.com
	Willwood	PS1		80,95 \$	www.willwood.com
	Willwood	120-9689		99,95 \$	www.willwood.com
	Empire Keawy	Rkv		1800 Bsf	www.mercadolibre.com.ve
	Ferodo 4003	FCP342 C		20 \$	www.apracing.com

Pastillas de Frenos	Empire Keawy	Rvk		189 Bsf	www.mercadolibre.com.ve
Bombas de Frenos	AP-Racing	CP-2326		130 \$	www.apracing.com
	Willwood	260-3372		66,95 \$	www.willwood.com
	Tilton	75-62		97,69 \$	www.tiltonracing.com
	Ford	Festiva		3400 Bsf	www.mercadolibre.com.ve
Liquido Frenos	AP-Racing	CP3600		42 \$	www.apracing.com
Repartidor de Frenada	AP-Racing	CP5500-9UNF		210 \$	www.apracing.com

Aunque componentes, como las tuberías, los conectores y la mano de obra no fueron colocados en la tabla, son elementos que en la mayoría pueden ser fabricados por lo tanto no se tiene un precio fijo establecido porque este puede variar según a mano de obra necesaria así como los materiales utilizados pero como estos están en un cambio constante en el país no se le asignara un precio fijo en estos momentos, pero basándose de forma general en el mercado actual se pueden designar alrededor de unos cuatro mil (4.000) a seis mil (6.000) bolívares para la fabricación e instalación de estos componentes.

A continuación será presentado un presupuesto, donde se visualizaran los componentes recomendados por autores como Rodriguez, J. (2006) y por Cruz y Mesías (2013), estos autores recomiendan los elementos descritos seguidamente por sus altas prestaciones, y por la calidad prestada por cada uno de los componentes así como también ser más accesibles por sus precios relativamente bajos, adaptándose no solamente a las necesidades del equipo Fórmula SAE UFT en termino de prestaciones si no también entrando dentro de las posibilidades de adquisición, basándose en los resultados del estudio económico realizado para el diseño de dicho sistema. En el siguiente aparatado serán mostrado unos cuadros y en estos se podrá apreciar los precios de cada uno de los componentes recomendados para su adquisición, por los autores ya antes mencionados para completar el diseño del sistema de frenos para el vehículo monoplaza del equipo Fórmula SAE UFT propuesto.

Resumen del Presupuesto

Un Sistema de frenos adaptado a un vehículo tipo monoplaza destinado a participar en la competición Fórmula SAE, desglosado de la siguiente manera

1. Dos (2) circuitos hidráulicos independientes.
2. Dos (2) discos delanteros independientes externos de Ø248mm fabricados en fundición gris, modelo CP2866-211G4 Ap-Racing.
3. Dos (2) discos traseros montado externos de Ø248mm fabricado en fundición gris, modelo CP2866-211G4 Ap-Racing.
4. Cuatro (4) pinzas de freno fijas de doble pistón de Ø48.3mm, modelo CP3696-6E0, Ap-Racing.
5. Repartidor de frenada ajustable, modelo CP5500-9UNF Ap-Racing.
6. Conjunto de pedal de freno realizado en aluminio modelo CP5500-7 Ap-Racing.
7. Latiguillos flexibles de trenzado de alambre de acero inoxidable y resida de Teflón.
8. Conducto rígido de aluminio y protección en poliamida de Ø4 mm interior.
9. Líquido de frenos AP600 Ap-Racing.
10. Dos Bombas de frenos modelo CP2623-91PRT115 Ap-Racing.
11. Ocho (8) Pastillas de frenos Ferodo 4003.
12. Mano de obra para su construcción.

El presupuesto estará dividido en dos cuadros, el cuadro 5 donde se encontraran todos elementos a comprar fuera del país a través de la página de los proveedores en dólares, y en el cuadro 6 se encontrará todos los elementos que serán comprados en el mercado nacional con bolívares.

Cuadro 5

Presupuesto de elementos a comprar en dólares

Presupuesto en Dólares			
Elemento	Precio Unitario USD	Cantidad	Precio Total
Disco de Freno Ap-Racing	97 USD	4	388 USD
Pinza de Frenos o Calipers Ap-Racing	80,95 USD	4	323,8 USD
Par de Pastillas de Freno Ferodo 4003	20 USD	4	80 USD
Bombas de Freno Ap-Racing	130 USD	2	260 USD
Líquido de Frenos Ap-Racing	42 USD	1	42 USD
Pedalera de Frenos Ap-Racing	240 USD	1	240 USD
Total presupuesto en dólares			1.333,8 USD

Fuente: Emilio Lima

Cuadro 6
Presupuesto de elementos a comprar en Bolívares

Presupuesto en Bolívares			
Elemento	Precio Unitario	Cantidad	Precio Total
Latiguillos o Mangueras Flexibles	310 Bs	4	1240 Bs
Metro de tubería de aluminio de 4mm	1200 Bs	2	2400 Bs
Mano de Obra y Materiales Varios	3000 Bs		3000 Bs
Total presupuesto en bolívares			6640 Bs

Fuente: Emilio Lima

Dando como resultado de los cuadros 5 y 6 donde son mostrados los presupuestos, unos precios accesibles entre los límites económicos manejados por el equipo Fórmula SAE UFT, con fondos provenientes de diversas actividades, donaciones y patrocinio.

Fase III: Propuesta

Para lograr completar esta fase, que se encuentra alineada con el último objetivo específico de la investigación, la cual es *Elaborar la propuesta del diseño del sistema*

de frenos para el vehículo monoplace del equipo Formula SAE UFT en la Universidad Fermín Toro, basado en teorías de diseño de máquinas y software de diseño y simulación. Para lograr este objetivo que básicamente es la propuesta, se realizarán las siguientes actividades a seguir, basado en lo propuesto por Mott, R. (2004):

1. Crear los Conceptos de Diseños del Sistema de Frenos

Para la creación de los conceptos de los diseños, que serán propuestos para el sistema de frenos se plantearon unas actividades que describirán las alternativas a de este y mostradas a continuación:

a) Proponer Conceptos de Diseños Alternativos del Sistema de Frenos

Como las normas de SAE son bastante específicas con respecto al uso de discos de frenos como tipo de frenos a utilizar durante sus competencias en todos los casos, como es lógico, cada equipo acopla en sus vehículos un único disco de freno independiente que actúe en cada una de las ruedas delanteras direccionales. Sin embargo, en cuanto al eje trasero se refiere, ya empiezan a surgir variaciones las cuales están divididas en varios caminos. Por un lado se puede optar por poner un sistema como en el eje delantero (montando un disco para cada rueda trasera del vehículo) y por otro lado, se tiene la opción de instalar un único disco como elemento frenante acoplado a la carcasa del diferencial autoblocante, o dos discos de frenos interiores

acoplados a un eje, por ello surge la duda de cuál sería la solución más conveniente a instalar en el prototipo, a continuación se muestran las diferentes configuraciones.



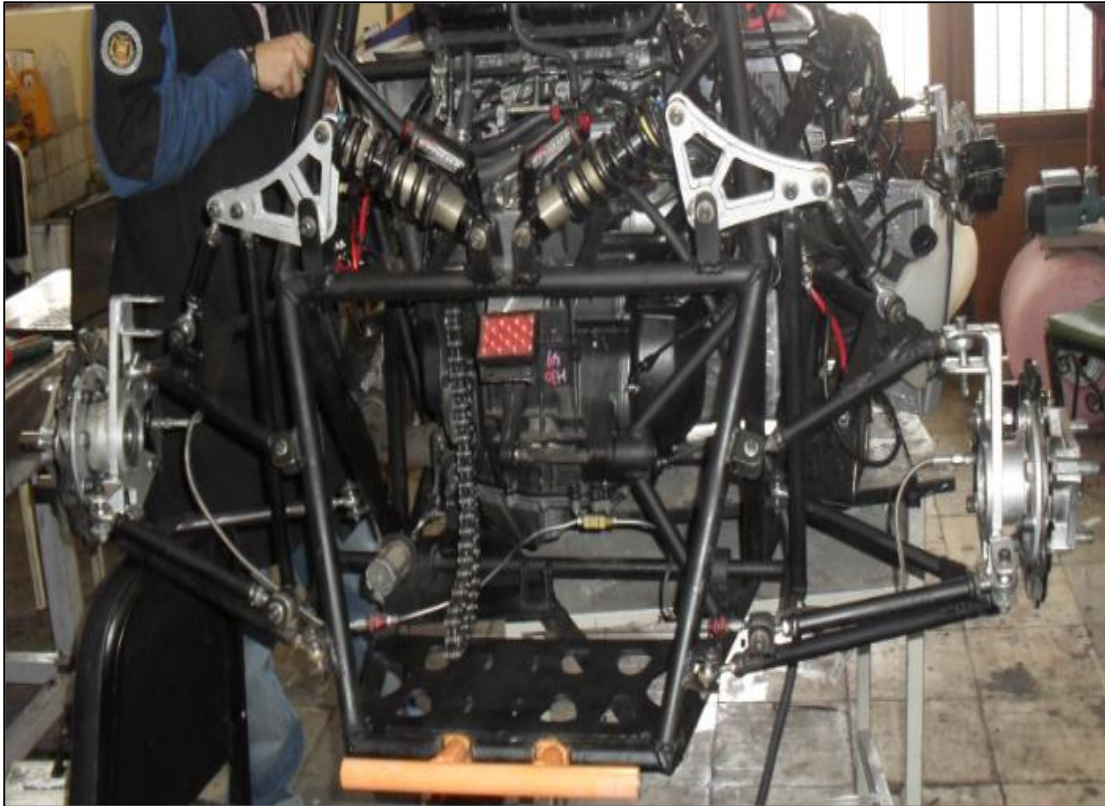
Fuente: Cruz y Mesías (2013)

Figura 14
Configuración de dos discos traseros interiores



Fuente: Cruz y Mesías (2013)

Figura 15
Configuración de mono disco trasero acoplado a la carcasa del diferencial autoblocante



Fuente: Cruz y Mesías (2013)

Figura 16

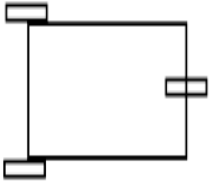
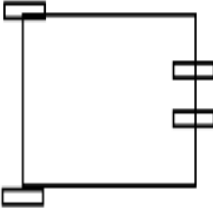
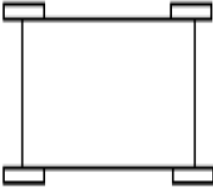
Configuración un disco para cada rueda trasera del vehículo

b) Evaluar Cada Alternativa Propuesta con Cada Criterio de Evaluación del Sistema de Frenos

Para la evaluación de cada alternativa se presentara el cuadro 5 donde se pueden apreciar las ventajas y desventaja de cada una de estas configuraciones, además de resaltar criterios de evaluación como lo son los costes, la seguridad, la conformidad entre otros.

Cuadro 7

Comparaciones de alternativas para la configuración del sistema de frenos

	TIPO DE SISTEMA	VENTAJAS	INCONVENIENTES
UN DISCO TRASERO		<ul style="list-style-type: none"> • Menor coste • Menor masa 	<ul style="list-style-type: none"> • Frenada menos estable • Esfuerzos en el diferencial • Diámetro de disco mayor
DOS DISCOS TRASEROS INTERIORES		<ul style="list-style-type: none"> • Frenada estable • Menor masa no suspendida • Diámetros de disco traseros menores • Mayor refrigeración 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor coste
DOS DISCOS TRASEROS EXTERNOS		<ul style="list-style-type: none"> • Mayor estabilidad de la frenada • Diámetros de disco traseros menores 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor coste • Aumento de las masas no suspendidas

Fuente: Cruz y Mesías (2013)

2. Decidir el Concepto del Sistema de Frenos a Utilizar

Ya habiendo explicado anteriormente las ventajas y desventajas de cada una de las configuraciones posibles para el diseño del sistema de frenos se procederá escoger uno de estos para el prototipo a diseñar de Fórmula SAE UFT.

b) Seleccionar el Concepto de Diseño Optimo que Mejor se Adapte a los Requerimientos por Formula SAE UFT

Para el prototipo del equipo Fórmula SAE UFT se optó por usar una configuración de discos traseros independientes para cada rueda, la razón por la cual se decidió usar en el eje trasero dos discos externos, es la facilidad que se tiene para implementar este sistema en el prototipo, manteniendo la misma geometría de mangueta o porta masa tanto para el eje trasero como para el eje delantero.

Además de la mayor eficiencia de frenado que esta disposición ofrece, aunque tiene un mayor coste, estos no son tan elevados como para descartar este tipo de configuración por lo tanto esta fue la escogida para implementarse en el diseño del sistema de frenos del equipo Fórmula SAE UFT.

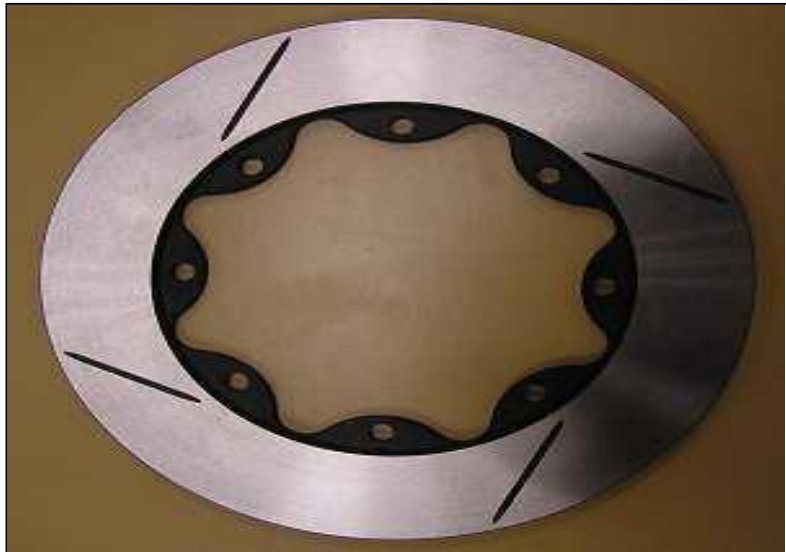
3. Diseñar el Sistema de Frenos a Utilizar

En esta actividad se procederá a realizar el diseño de frenos a utilizar, apoyados en las teorías de Cruz y Mesías (2013), de Rodríguez, J. (2006) y la base de datos que está generando el equipo Fórmula SAE UFT, por lo tanto procederá a utilizar los componentes recomendados por todos estos estudios, ya que estos fueron seleccionados por su óptimo desempeño y por contar con todas las especificaciones necesarias para realizar todos los cálculos necesarios para el diseño del sistema de frenos para el monoplaza.

Disco de Freno

Disco sólido de hierro fundido, modelo CP2866-211G4 diseñado y fabricado por AP-Racing con las siguientes características:

- a) Diámetro exterior: 248mm
- b) Diámetro efectivo: 208mm
- c) Diámetro interior: 162mm
- d) Espesor: 7mm
- e) Diámetro agujeros montaje: 8.45mm
- f) Número agujeros montaje: 8
- g) Temp. Máxima trabajo: 600 °C
- h) Peso: 1.5 Kg.



Fuente: Apracing.com (2014)

Figura 17
Imagen real del disco

Pinza de Frenos o Caliper

Pinza de doble pistón modelo CP3696-6E0 diseñado y fabricado por AP-Racing de las siguientes características y especificaciones técnicas:

Especificaciones técnicas:

- a) Tamaño pistón: 41.3mm x 2
- b) Área pistón: 267 mm²
- c) Diámetro disco (max/min): 267mm / 240mm
- d) Espesor disco: 7.1mm
- e) Peso (sin pastillas): 800g
- f) Roscas hidráulicas: 3/8" x 24 UNF
- g) Diámetro agujeros montaje: 10.15mm
- h) Distancia entre agujeros montaje: 88.9mm



Fuente: Apracing.com (2014)

Figura 18
Imagen Real de la Pinza o Caliper

Pastillas de Freno

Pastilla de freno modelo CP2195 fabricado por la empresa FERODO de las siguientes características:

- a) Material de fricción: 4003F
- b) Coeficiente fricción: 0.45
- c) Espesor material fricción: 10.5mm
- d) Altura material fricción: 38.4mm
- e) Área material fricción: 224 mm²
- f) Anchura pastillas: 59.3mm
- g) Altura pastilla: 51.1mm



Fuente: Apracing.com (2014)

Figura 19
Imagen Real de la Pastilla de Freno

Bombas de Freno

Bomba de freno modelo CP2623-91PRT115 diseñada y fabricada por AP-Racing de las siguientes características y especificaciones técnicas:

Especificaciones técnicas:

- a) Peso: 0.3 Kg.
- b) Movimiento completo: 25.4mm
- c) Diámetro pistón: 17.8mm
- d) Área efectiva del pistón de la bomba de freno: $248,85\text{mm}^2$.
- e) Longitud vástago: 115mm
- f) Distancia hasta el corte: 0.68 a 1.09mm
- g) Altura depósito: 96mm
- h) Diámetro depósito: 44mm
- i) Volumen: 75cm^3



Fuente: Apracing.com (2014)

Figura 20
Imagen Real de la Bomba

Pedal de Freno

Pedal de freno modelo CP5500-7 perteneciente a AP-Racing de las siguientes características:

- a) Material: Aluminio
- b) Relación del Pedal: 4.8:1



Fuente: Apracing.com (2014)

Figura 21
Imagen Real del Pedal

Repartidor de Frenada

Repartidor de frenada modelo CP5500-9 perteneciente a AP-Racing con las siguientes características:

- a) Material Acero tratado/Goma



Fuente: Apracing.com (2014)

Figura 22
Imagen Real del Repartidor de frenada

Conductos o Latiguillos

1. Conducto flexible: “411 Teflon Smooth Bore Hose” perteneciente James Lister & Sons bajo el código 4011-03, de las siguientes características:

- a) Material interior: Resina Teflon T62
- b) Material exterior: Trenzado de alambre
- c) Diámetro interior: 3.2mm
- d) Diámetro exterior: 6.4mm
- e) Presión de trabajo: 3000psi
- f) Presión mínima: 12psi
- g) Rango temperatura: -55°C a 232°C



Fuente: Jameslisterandsons.madeinthemidlands.com (2014)

Figura 23
Imagen Real de los Conductos Flexibles

2. Conducto rígido: “Coated aluminium tube” perteneciente a James Lister & Sons bajo el código LP060100150, de las siguientes características:

- a) Material interior: Aluminio (AlMn 1)
- b) Material exterior: Poliamida 12 (Pa12)
- c) Diámetro interior: 4 mm
- d) Diámetro exterior: 6 mm
- e) Presión de trabajo: 6335 psi
- f) Presión mínima: 12psi
- g) Rango temperatura: -40°C a 155°C
- h) Radio curvatura 7.8mm
- i) Peso: 38.1 g/m



Fuente: Jameslisterandsons.madeinthemidlands.com (2014)

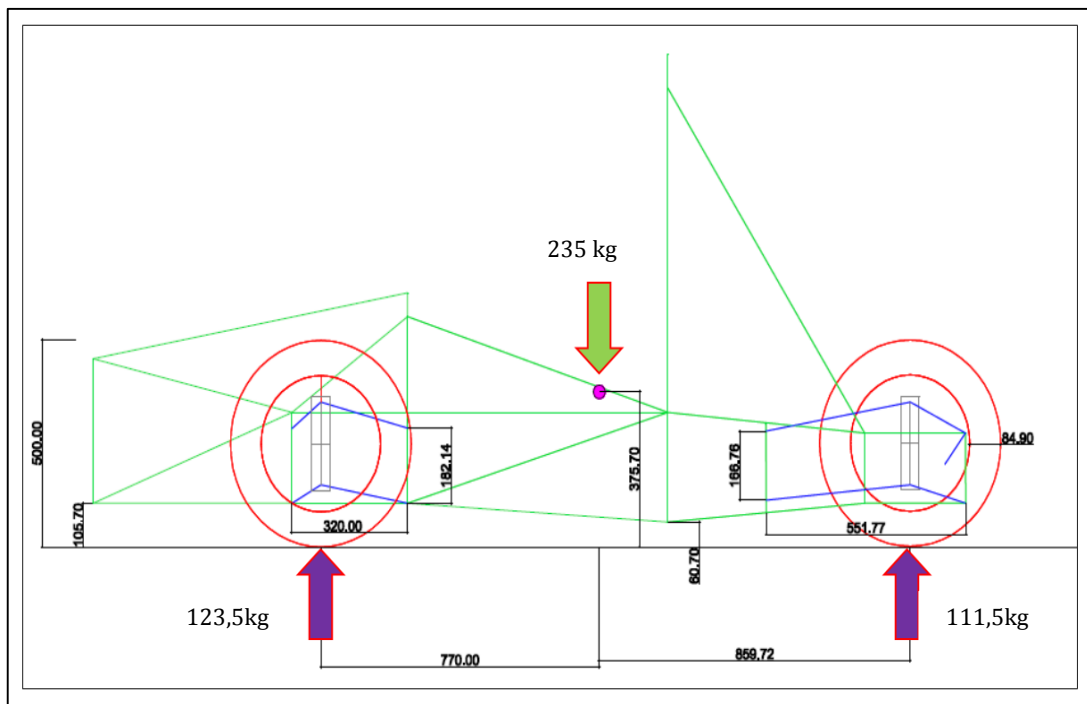
Figura 24
Imagen Real de los Conductos Rígidos

Continuando con lo anterior en donde fueron descritas las especificaciones técnicas, de los componentes ideales para el diseño del sistema de frenos se procederá a realizar los cálculos necesarios para cumplir con el objetivo.

3.1 Cálculos necesarios para completar el Diseño Detallado del Concepto Seleccionado que Mejor se Adapta a las Necesidades de Formula SAE UFT

Distribución de Pesos en el Vehículo

Mediante una entrevista no estructurada, al grupo de suspensión del equipo Fórmula SAE UFT, se pudieron obtener datos necesarios para la realización de los cálculos de la distribución de pesos en el vehículo.



Fuente: Fórmula SAE UFT Grupo Suspensión (2014)

Figura 25
Cargas Resultantes en los Ejes

$$\text{Distribución de peso en el eje delantero} = \frac{Pd}{P} * 100 \quad \text{Ec.1}$$

$$\text{Distribución de peso en el eje delantero} = \frac{123,5Kg}{235Kg} * 100 = 52,55\%$$

$$\text{Distribución de peso en el eje trasero} = \frac{Pt}{P} * 100 \quad \text{Ec.2}$$

$$\text{Distribución de peso en el eje trasero} = \frac{111,5Kg}{235Kg} * 100 = 47,45\%$$

Una vez conocida la distribución de pesos, se puede hallar la posición horizontal del centro de gravedad (CG), el cual está función de la geometría del vehículo:

$$CG_{d,x} = \frac{Pt}{P} * L \quad \text{Ec.3}$$

$$CG_{d,x} = \frac{111,5Kg}{235Kg} * 1629,72mm = 773,25mm$$

$$CG_{t,x} = \frac{Pd}{P} * L \quad \text{Ec.4}$$

$$CG_{t,x} = \frac{123,5Kg}{235Kg} * 1629,72mm = 856,47mm$$

Evidentemente se tiene que cumplir lo siguiente:

$$CG_{d,x} + CG_{t,x} = L \quad \text{Ec.5}$$

$$773,25mm + 856,47mm = 1629,72mm$$

Efectos sobre el Vehículo a causa de la Desaceleración

Cuando se produce el fenómeno de la desaceleración, ocurre que la fuerza efectiva en cada rueda se ve modificada. Mientras que el peso total del vehículo, como es lógico, sigue siendo el mismo, la fuerza ejercida sobre el eje delantero aumentará mientras que la del eje trasero disminuirá en la misma medida.

Por lo que se puede calcular la transferencia de carga del eje trasero al delantero como:

$$TP = \left(\frac{a_v}{g}\right) * \left(\frac{h}{L}\right) * P \quad \text{Ec.6}$$

$$TP = \left(\frac{(1,6 \text{ g}) * (9,8 \text{ m/s}^2)}{9,8 \text{ m/s}^2}\right) * \left(\frac{0,3757 \text{ m}}{1,62972 \text{ m}}\right) * 235 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = 849,46 \text{ N}$$

Se calcula la distribución exacta de fuerza aplicada sobre cada uno de los ejes de la siguiente manera:

$$P_{d,d} = P_d + TP \quad \text{Ec.7}$$

$$P_{d,d} = 123,5 \text{ kg} * (9,8 \text{ m/s}^2) + 849,46 \text{ N} = 2059,76 \text{ N}$$

$$P_{t,d} = P_t - TP \quad \text{Ec.8}$$

$$P_{t,d} = 111,5 \text{ kg} * (9,8 \text{ m/s}^2) - 849,46 \text{ N} = 243,24 \text{ N}$$

Como se mencionó, el peso total tiene que ser el mismo. Lo que se comprueba mediante:

$$P = P_{d,d} + P_{t,d} \quad \text{Ec.9}$$

$$P = 2059,76 \text{ N} + 243,24 \text{ N} = 2303 \text{ Kg} = \frac{2303 \text{ kg}}{9,8 \text{ m/s}^2} = 235 \text{ Kg}$$

Efecto de transferencia de pesos sobre los neumáticos

Al experimentar el vehículo la transferencia de carga anteriormente descrita, la capacidad de frenada se ve alterada. Con ello, se puede averiguar la máxima fuerza de frenada que cada uno de los ejes es capaz de producir por medio de los neumáticos de la siguiente manera:

$$F_{f,d} = \mu * P_{d,d} \tag{Ec.10}$$

$$F_{f,d} = 1,6 * 2059,76 \text{ N} = 3295,616 \text{ N}$$

$$F_{f,t} = \mu * P_{t,t} \tag{Ec.11}$$

$$F_{f,t} = 1,6 * 243,24 \text{ N} = 389,184 \text{ N}$$

Se debe recalcar que se está suponiendo una adherencia constante de 1,6 durante la desaceleración, es decir, se está considerando que se aprovecha la máxima adherencia entre el neumático y el asfalto durante todo el proceso de frenado. De esta manera se puede determinar la fuerza de frenado máxima que puede ejercer el monoplaza simplemente sumando las fuerzas de frenado que corresponden a cada uno de los ejes de la siguiente manera:

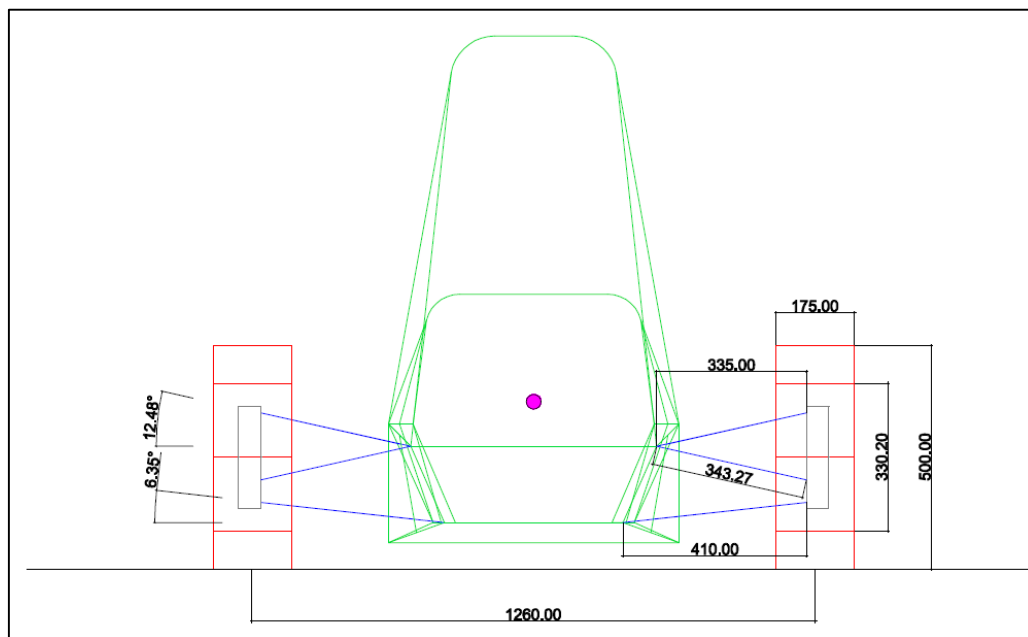
$$F_{\text{max}} = F_{f,d} + F_{f,t} \tag{Ec.12}$$

$$F_{\text{max}} = 3295,616 \text{ N} + 389,184 \text{ N} = 3684,8 \text{ N}$$

De esta forma, el par de frenado de oposición del vehículo se obtiene a través del radio de los neumáticos.

Par de Frenado

Para calcular el par de frenado era necesario conocer el Radio de los neumáticos inflados por lo tanto mediante una revisión bibliográfica a la base de datos de Fórmula SAE UFT se obtuvo la siguiente imagen donde muestra el diámetro de los neumáticos y de esta manera se obtiene el par de frenado N de la siguiente manera:



Fuente: Fórmula SAE UFT Grupo Suspensión (2014)

Figura 26

Dimensiones variadas del prototipo vista Frontal

$$N_d = F_{f,d} * R_d \quad \text{Ec.13}$$

$$N_d = 3295,616 \text{ N} * 0,25 \text{ m} = 823,904 \text{ N*m}$$

$$N_t = F_{f,t} * R_t \quad \text{Ec.14}$$

$$N_t = 389,184 \text{ N} * 0,25 \text{ m} = 97,296 \text{ N*m}$$

El par de frenado es la sumatoria de los pares de frenado delantero y trasero.

$$N_{\max} = N_d + N_t \quad \text{Ec.15}$$

$$N_{\max} = 823,904 \text{ N*m} + 97,296 \text{ N*m} = 921,2 \text{ N*m}$$

Cálculo del Balance Optimo de Frenada

Para alcanzar el equilibrio óptimo de frenada, o alcanzar una eficacia del 100%, el cociente entre las fuerzas de frenado de cada eje entre las fuerzas verticales delanteras y traseras respectivamente, debe ser el mismo.

$$\frac{F_{fren,d}}{P_{d,d}} = \frac{F_{fren,t}}{P_{t,d}} \quad \text{Ec.16}$$

$$\frac{3295,616 \text{ N}}{2059,76 \text{ N}} = \frac{389,184 \text{ N}}{243,24 \text{ N}}$$

$$1,6 = 1,6$$

Donde:

Con base a ello se puede concluir que el cociente de las fuerzas de frenado delanteras y traseras es un parámetro fijo basado en el dimensionamiento de los distintos componentes que forman el sistema de frenado, la relación entre las fuerzas verticales delanteras y traseras es una variable basada en la desaceleración y geometría del vehículo. Por lo que lleva a entender que dicha relación solo puede ser optimizada

para una determinada desaceleración del vehículo y unas condiciones determinadas.

Dimensionamiento del Disco de Freno

Sin duda, el correcto dimensionamiento del disco de freno es de gran importancia para asegurar correcta eficiencia del sistema. Con los cálculos realizados de par de frenada (N) y Fuerza (F) de frenado se puede determinar el diámetro del disco que se necesita para el prototipo.

$$D_{disco} = \frac{N_{max}}{F_{max}} \quad \text{Ec.17}$$

$$D_{disco} = \frac{921,2 \text{ N*m}}{3684,8 \text{ N}} = 0,25 \text{ m} = 250 \text{ mm}$$

Como en la mayoría de los catálogos, y específicamente en los componentes que se están tomando como referencia son de 248mm al ser una diferencia muy pequeña y despreciable y más fácil de adaptar al prototipo que tendrá un Rin 13, por espacio de tamaño se escogerán los ya antes mencionados por la diferencia despreciable que existe.

Fuerzas en el Pedal de Freno y Repartidor de Frenada

$$F_{s,p} = F_{e,p} * \frac{L_2}{L_1} \quad \text{Ec.18}$$

$$F_{s,p} = 2000 \text{ N} * \left(\frac{0,85972 \text{ m}}{0,77 \text{ m}} \right) = 2233,16 \text{ N}$$

Esta fuerza será repartida equitativamente a cada una de las bombas de freno si

el repartidor de frenada se encuentra ajustado en el punto neutro, es decir, en posición de equilibrio. Debido al diseño del sistema se debe posicionar este elemento de tal forma que incremente la fuerza ejercida sobre el sistema hidráulico delantero ya que este es el que recibe mayor fuerza al momento de la desaceleración.

De esta manera, la fuerza a la salida del pedal que irá a cada una de las bombas será, considerando que lo recomendable es que se aumente en un 30% el repartidor de frenada a la bomba que actuara en el eje delantero por ser el que recibe una mayor fuerza al momento de la desaceleración:

$$F_{s,rf,d} = (1 + \alpha) * \frac{F_{s,p}}{2} \quad \text{Ec.19}$$

$$F_{s,rf,d} = (1 + 0.30) * \frac{2233,16N}{2} = 1451,554 \text{ N}$$

$$F_{s,rf,t} = (1 - \alpha) * \frac{F_{s,p}}{2} \quad \text{Ec.20}$$

$$F_{s,rf,t} = (1 - 0.30) * \frac{2233,16N}{2} = 781,606 \text{ N}$$

$$F_{s,rf} = F_{s,rf,d} + F_{s,rf,t} \quad \text{Ec.21}$$

$$F_{s,rf} = 1451,554 \text{ N} + 781,606 \text{ N} = 2233,16 \text{ N}$$

Distribución de Presiones Generadas por las Bombas de Freno

La función que debe desarrollar cada bomba de freno es la de transformar la fuerza aplicada por el conductor en el pedal de freno en presión, la cual se transmitirá

a través del sistema hidráulico, y se expresa en la siguiente ecuación.

$$F_{e,b} = F_{s,rf} \quad \text{Ec.22}$$

$$F_{e,b} = 2233,16 \text{ N}$$

Para hallar la presión generada por la bomba de freno se supondrá que los líquidos son totalmente incompresibles y los conductos son infinitamente rígidos, con todo ello se tiene que la presión generada por la bomba de freno será:

$$P_{b,d} = \frac{F_{e,b,d}}{A_b} \quad \text{Ec.23}$$

$$P_{b,d} = \frac{F_{e,b,d}}{A_b} = \frac{1451,554 \text{ N}}{248,85 \text{ mm}^2} = 5,83 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{b,t} = \frac{F_{e,b,t}}{A_b} \quad \text{Ec.24}$$

$$P_{b,t} = \frac{F_{e,b,t}}{A_b} = \frac{781,606 \text{ N}}{248,85 \text{ mm}^2} = 3,14 \text{ N/mm}^2$$

$$P_b = P_{b,d} + P_{b,t} \quad \text{Ec.25}$$

$$P_b = 5,83 \text{ N/mm}^2 + 3,14 \text{ N/mm}^2 = 8,97 \text{ N/mm}^2$$

Distribución de Presiones en el Interior de los Conductos

La función del líquido de freno, los conductos y acoples es la de transmitir la presión obtenida de las bombas de freno a las pinzas de freno. Aunque, se trata de tubos flexibles, los usados para realizar este cálculo, se debe suponer que el fluido es

totalmente incompresible y los conductos infinitamente rígidos. Con ello, y considerando que no existe ningún tipo de pérdida, la presión que llegará a cada una de las pinzas con nuestras condiciones son:

$$P_{pistón} = P_b \quad \text{Ec.26}$$

$$P_{pistón} = 8,97 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{pistón d} = P_{b, d} \quad \text{Ec.27}$$

$$P_{pistón d} = 5,83 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{pistón t} = P_{b, t} \quad \text{Ec.28}$$

$$P_{pistón t} = 3,14 \text{ N/mm}^2$$

Fuerzas Lineales Generadas en cada Pinza de Freno

$$F_{pinza d} = n^{\circ}_{pistones} * P_{pistón d} * A_{pistón d} \quad \text{Ec.29}$$

$$F_{pinza d} = 2 * 5,83 \text{ N/mm}^2 * 267 \text{ mm}^2 = 3113,22 \text{ N}$$

$$F_{pinza t} = n^{\circ}_{pistones} * P_{pistón t} * A_{pistón t} \quad \text{Ec.30}$$

$$F_{pinza t} = 2 * 3,14 \text{ N/mm}^2 * 267 \text{ mm}^2 = 1676,76 \text{ N}$$

Fuerzas de Fricción, contacto de Disco-Pastilla

La misión del contacto disco-pastilla es la de conseguir una fuerza de fricción

que se oponga al sentido de rotación del disco. Esta fuerza se relaciona con la fuerza de mordaza generada por cada pinza de la siguiente manera:

$$F_{fricción\ d} = F_{pinza,d} * \mu_{pad,d} \quad \text{Ec.31}$$

$$F_{fricción\ d} = 3113,22\ N * 0,45 = 1400,949\ N$$

$$F_{fricción\ t} = F_{pinza,t} * \mu_{pad,t} \quad \text{Ec.32}$$

$$F_{fricción\ t} = 1676,76\ N * 0,45 = 754,542\ N$$

Pares de Frenado Generado por el Contacto Disco-Pastilla

$$N_{frenado\ d} = 2 * F_{fricción\ d} * R_{ef,d} \quad \text{Ec.33}$$

$$N_{frenado\ d} = 2 * 1400,949\ N * 0,104\ m = 291,397\ N$$

$$N_{frenado\ t} = 2 * F_{fricción\ t} * R_{ef,t} \quad \text{Ec.34}$$

$$N_{frenado\ t} = 2 * 754,542\ N * 0,104\ m = 156,944\ N$$

Pares de Fuerzas en cada uno de los Neumáticos

Asumiendo que existe una tracción adecuada (fricción) entre el neumático y la calzada que asegure la frenada, el neumático desarrollará un esfuerzo de oposición al de rotación generado previamente por la rueda. Dicho valor dependerá de las características del neumático, pero la fuerza de reacción generada como respuesta en la calzada se puede hallar del siguiente modo:

$$F_{neumático d} = \frac{N_{frenado,disco,d}}{R_{neumático}} \quad \text{Ec.35}$$

$$F_{neumático d} = \frac{291,397N}{0,25m} = 1165,588 N/m$$

$$F_{neumático t} = \frac{N_{frenado,disco,t}}{R_{neumático}} \quad \text{Ec.36}$$

$$F_{neumático d} = \frac{156,994N}{0,25m} = 627,976 N/m$$

$$F_{total} = \Sigma F_{neumáticos,DD,DI,TD,TI} \quad \text{Ec.37}$$

$$F_{total} = 2 * 1165,588 N/m * 2 * 627,976 N/m = 3587,128 N/m$$

Desaceleración del Vehículo

Con base en la segunda ley de Newton, se puede hallar fácilmente la desaceleración del vehículo conociendo su masa y la fuerza de frenado total.

$$a_v = \frac{F_{total}}{m_v} \quad \text{Ec.38}$$

$$a_v = \frac{3587,128N/m}{235 Kg} = 15,26m/s^2$$

$$a_v = \frac{15,26m/s^2}{9,81m/s^2} = 1,55 = 1,6$$

Distancia de Frenado

Una vez hechos los cálculos anteriores resulta muy interesante tener una idea

de cómo se comportará el vehículo ante una situación de frenada. Con ello, si se integra la desaceleración hallada del vehículo se puede obtener la velocidad del mismo y volviendo a integrar esta última expresión se puede determinar la distancia de frenada teórica, del vehículo de la siguiente manera, suponiendo una velocidad de 100 Km*h:

$$D_f = \frac{v_i^2}{2 * a_v} \quad \text{Ec.39}$$

$$D_f = \frac{(27,78m/s)^2}{2 * 15,26m/s^2} = 25,28m$$

Esta sería la distancia final de frenada, calculada con una fórmula de desaceleración de un cuerpo uniformemente, lo que en la vida real sería diferente, porque la desaceleración no es constante y varia, pero se podría decir que la distancia que se obtiene con esta ecuación ideal es la distancia máxima en la que el vehículo desaceleraría por completo con una desaceleración constante, en otras palabras esta es la distancia máxima recorrida por el vehículo si se intentara frenar a 100km/h.

A continuación se presentara un cuadro donde reflejara cada uno de los resultados de cada una de las ecuaciones resueltas para los cálculos necesarios para el diseño del sistema de frenos para el equipo Fórmula SAE UFT, para una mejor visualización apreciación de estos mismos.

Cuadro 8

Resultados de los Cálculos necesarios para completar el Diseño Detallado del Concepto Seleccionado que Mejor se Adapta a las Necesidades de Formula SAE UFT

Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad
Peso eje delantero	Pd	123,5	Kg
Peso eje Trasero	Pt	111,5	Kg
Distribución de peso en el eje delantero	Dpd	52,55	%
Distribución de peso en el eje trasero	Dpt	47,45	%
Centro de gravedad eje delantero	CG _{d,x}	773,25	mm
Centro de Gravedad eje trasero	CG _{t,x}	856,47	mm
Transferencia de peso en frenada	Tp	849,46	N
Peso eje delantero en frenado	Pd,d	2059,76	N
Peso eje trasero en frenado	Pd,t	243,24	N
Fuerza de frenado eje delantero	Ff,d	3295,616	N
Fuerza de frenado eje trasero	Ff,t	389,184	N
Fuerza máxima de frenado	Fmax	3684,8	N
Par de frenado eje delantero	Nd	823,904	N*m

Par de frenado eje trasero	N_t	97,296	$N \cdot m$
Par de Frenado	N_{max}	921,2	$N \cdot m$
Dimensionamiento del disco de freno	D_{disco}	250	mm
Fuerza de salida del pedal de freno	$F_{s,p}$	2233,16	N
Fuerza de salida del repartidor de frenada en el eje delantero	$F_{s,rf,d}$	1451,554	N
Fuerza de salida del repartidor de frenada en el eje trasero	$F_{s,rf,t}$	781,606	N
Fuerza de salida del repartidor de frenada	$F_{s,rf}$	2233,16	N
Fuerza de entrada a la bomba	$F_{e,b}$	2233,16	N
Presión Hidráulica bomba delantera	$P_{b,d}$	5,83	N/mm^2
Presión Hidráulica bomba trasera	$P_{b,t}$	3,14	N/mm^2
Presión hidráulica bomba	P_b	8,97	N/mm^2
Presión en el pistón	$P_{pistón}$	8,97	N/mm^2
Presión en el pistón delantero	$P_{pistón d}$	5,83	N/mm^2
Presión en el pistón trasero	$P_{pistón t}$	3,14	N/mm^2
Fuerza pinza delantera	F_{pinzad}	3113,22	N

Fuerza pinza trasera	$F_{pinza\ t}$	1676,76	N
Fuerza de fricción en las pastillas delanteras	$F_{fricción\ d}$	1400,949	N
Fuerza de fricción en las pastillas traseras	$F_{fricción\ t}$	754,542	N
Par de frenado generado por el contacto disco pastilla en el eje delantero	$N_{frenado\ d}$	291,397	N
Par de frenado generado por el contacto disco pastilla en el eje trasero	$N_{frenado\ t}$	156,944	N
Fuerzas en el neumático en el eje delantero	$F_{neumático\ d}$	1165,588	N/m
Fuerzas en el neumático en el eje trasero	$F_{neumático\ t}$	627,976	N/m
Fuerza total ejercida en los neumáticos	F_{total}	3587,128	N/m
Desaceleración del vehículo	α_v	1,6	g
Distancia de frenado	D_f	25,28	m

Fuente: Emilio Lima

4. Manual Operativo y Mantenimiento del Sistema de Frenos

A continuación serán mostrados el manual operativo y el manual de mantenimiento realizados para el diseño del sistema de frenos del equipo Fórmula SAE UFT.

Manual Operativo del Sistema de Frenos

Para la operación de dicho sistema, es requerido una única instrucción o paso el cual es necesario para lograr el funcionamiento del sistema y se muestra a continuación.

Paso 1: Coloque el pie sobre el pedal de freno y ejerza la presión adecuada con la pierna sobre este para lograr la desaceleración deseada o requerida, dependiendo si el caso requiere disminuir la velocidad o detener por completo el vehículo.

Manual de Mantenimiento del Sistema de Frenos

El sistema de frenado es fundamental para la seguridad del conductor, si bien su funcionamiento es un tanto complejo, su mantenimiento y revisión es realmente sencillo, esta tarea dará mayor tranquilidad y seguridad en, el mantenimiento de los frenos es simple:

Líquido de frenos: Un pequeño tambor transparente detrás de la pedalera contiene el líquido de frenos e indica su nivel, se debe de revisar el nivel en un terreno sin pendiente, si se observa que se encuentra por debajo del mínimo además de llenarlo será mejor cambiarlo todo, limpia todo el sistema, incluso los filtros de igual modo cuando el líquido tenga más de dos años.

Pastillas de freno: Son visibles detrás de la ruedas. Poseen una marca que indica cuál es el espesor mínimo que garantiza el frenado normal si la marca señala que ya se pasó el nivel máximo de desgaste, es recomendable su reemplazo por unas nuevas.

Disco de freno: Las pastillas rozan constantemente sobre un disco. Si el disco muestra marcas por donde transitan las pastillas, es porque está gastado y entonces se reduce la capacidad de frenado. Será el momento indicado para cambiarlo.

Pérdida de fluidos: Se observa debajo de las ruedas, si se visualiza pérdidas de líquido, podría indicar que hay fugas en el sistema de frenado, en caso de existir lo más recomendable es sustituir los elementos que estén causando esta pérdida de fluidos

Mangueras y conductos: Revisar todo el circuito por donde circula el líquido y verificar que no existan elementos dañados, la humedad podría indicar una pérdida.

Continuando con lo antes mencionado también se agregan unas tareas para un correcto mantenimiento de uno de los sistemas de seguridad más importantes.

1. Verificar de vez en cuando con un frenómetro el poder de frenado de cada una de las ruedas. Importante también fijarse en la eficacia del circuito.

2. Cambiar los discos de freno cada 3 o 4 cambios de pastillas.

3. Revisar cada cierto tiempo el estado de las pastillas de freno. Normalmente suelen durar 25.000 kilómetros, pero en ocasiones es necesario cambiarlas antes, y como el vehículo será de competición y expuesto a frenadas bruscas lo más seguro es que el replazo de estas sea en plazos cortos.

4. Mantener el buen nivel del líquido de frenos. Importante revisarlo y cambiarlo

cada 2 años o cada 50.000 kilómetros.

5. No modificar el sistema original de frenos. Hay que respetar los tiempos indicados por el fabricante.

Lo que a continuación se presenta en cuadros es un resumen de las averías más frecuentes, las posibles causas que las ha producido y cuál sería la solución más recomendable. Pero como se puede entender pueden existir averías aquí reflejadas que puedan estar producidas por diferentes causas, e incluso que existan soluciones más apropiadas que las que a continuación se analizan. En definitiva, sirva este apartado simplemente como guía para la posible localización y solución de las averías.

Cuadro 9
Excesiva carrera de pedal

Causas probables:	Soluciones
1.-Fugas en el circuito	1.-Revisar todo el circuito y reemplazar la parte dañada.
2.-Aire en el sistema	2.-Purgue el sistema y rellénelo.
3.-Líquido de freno inadecuado o contaminado.	3.-Lave el sistema con alcohol metílico y luego llénelo con líquido adecuado.
4.-Bajo nivel de líquido de frenos	4.-Llene el depósito de líquido de frenos y purgue el sistema.
5.-Pastillas muy desgastadas	5.-Sustituya las pastillas

Fuente: Gulf

Cuadro 10
Pedal esponjoso

Causas probables:	Soluciones
1.-Aire en el sistema hidráulico	1.-Elimine el aire purgando el sistema.
2.-Líquido inadecuado o contaminado con agua.	2.-Lave con alcohol metílico y use el líquido adecuado.
3.-El pistón del caliper agarrotado.	3.-Limpie el alojamiento del pistón y reemplace el retén y el guardapolvo.
4.-Latiguillo debilitado.	4.-Instale latiguillos nuevos.
5.-Pinza gripada.	5.-Sustituya la pinza.

Fuente: Emilio Lima

Cuadro 11
Hay que pisar muy fuerte el pedal para frenar

Causas probables:	Soluciones
1.-Las pastillas están impregnadas de grasa o líquido de frenos.	1.-Revise por donde se produce la pérdida y sustituya las pastillas.
2.-Desplazamiento del pistón del caliper gripado.	2.-Limpie la cámara del pistón y reemplace el retén y guardapolvos.
3.-Líquido inadecuado o poca cantidad del mismo.	3.-Lave el sistema con alcohol metílico, llénelo con líquido adecuado y púrguelo.
4.-Cilindro maestro o de rueda pegados.	4.-Revise todos los elementos hidráulicos y sustituya el agarrotado.
5.-El pedal de freno se atora en su	5.-Lubríquelo y compruebe el casquillo.

eje.	
6.-Pastillas cristalizadas.	6.-Instale pastillas nuevas.
7.-Discos dañados	7.-Reemplace los discos.

Fuente: Emilio Lima

Cuadro 12

Disminuye la carrera de pedal

Causas probables:	Soluciones
1.-Goma del cilindro maestro hinchada.	1.-Reemplace retenes y guardapolvos y lave el sistema. Llénelo con líquido nuevo.
2.-El pistón del cilindro principal no vuelve a su lugar.	2.-Repare el cilindro principal o sustitúyalo.
3.-Pistón del caliper pegado	3.-Limpie la cámara del pistón, lubrique y cambie el retén.

Fuente: Emilio Lima

Cuadro 13

Se bloquea una rueda

Causas probables:	Soluciones
1.-Rodamientos de rueda sueltos.	1.-Ajuste o sustituya los rodamientos.
2.-Se han hinchado las gomas de los cilindros de rueda o el retén del pistón del caliper.	2.-Reconstruya los cilindros / caliper. Utilice nuevos juegos de reparación.
3.-Se agarrotan los pistones en el cilindro de rueda.	3.-Reemplace los pistones.
4.-Obstrucción de alguna conducción.	4.-Reemplace la conducción obstruida.

5.-Pastilla defectuosa.	5.-Reemplácela por la pastilla especificada
6.-El cable del freno de mano se engancha.	6.-Lubríquelo y verifique el correcto funcionamiento del sistema.

Fuente: Emilio Lima

Cuadro 14
Pulsaciones del pedal de freno

Causas probables:	Soluciones
1.-Discos alabeados.	1.-Cambie los discos.
2.-Rodamientos de rueda gastados o sueltos.	2.-Reemplácelos
3.-Vibraciones en el pedal.	3.-Reemplace las pastillas y los discos, ya que este problema no se puede corregir de otra forma.

Fuente: Emilio Lima

Cuadro 15
Los frenos pierden eficacia en caliente

Causas probables:	Soluciones
1.-Pastilla de baja calidad.	1.-Reemplacela por unas de calidad contrastada.
2.-La pastilla hace mal contacto.	2.-Verifique la causa e instale pastillas nuevas.
3.-Disco muy delgado.	3.-Reemplace los discos.

Fuente: Emilio Lima

Cuadro 16
El vehículo oscila hacia un lado

Causas probables:	Soluciones
1.-Pastillas de un lado impregnadas de grasa o líquido.	1.-Cambie las pastillas del eje completo. Verifique posibles pérdidas de líquido.
2.-Los neumáticos no tienen la presión adecuada o presentan un desgaste desigual o un dibujo de diseño distinto.	2.-Hinche los neumáticos a la presión recomendada. Ponga neumáticos del mismo modelo en el eje delantero y el otro par con dibujo idéntico en el eje trasero.
3.-Pastillas cristalizadas.	3.-Sustituya las pastillas.
4.-Cilindro de la rueda bloqueado.	4.-Cambie el cilindro de rueda.
5.-Resortes de retorno sueltos o debilitados.	5.-Revise los resortes y reemplácelos.
6.-Una rueda se arrastra.	6.-Compruebe si hay una pastilla suelta y la causa.
7.-Dirección con holguras.	7.-Repárela y ajústela.
8.-Cotas de la dirección.	8.-Haga una alineación de dirección.
9.-Tubería hidráulica tapada o doblada.	9.-Repare o reemplace la tubería.
10.-Rótulas de dirección con holguras.	10.-Reemplace las rótulas de dirección.
11.-Discos en malas condiciones	11.-Sustitúyalos siempre por pareja.
12.-Amortiguadores en mal estado.	12.-Sustitúyalos.

Fuente: Emilio Lima

Cuadro 17

Los frenos vibran

Causas probables:	Soluciones
1.-Pastillas con grasa, líquido o polvo.	1.-Sustituir pastillas del eje completo.
2.-Resorte de retroceso roto o debilitado.	2.-Reemplácelo.
3.-Rodamientos de rueda sueltos.	3.-Reajústelos o reemplácelos.
4.-Discos alabeados.	4.-Cambie los discos, siempre por el eje.
5.-Ruedas desequilibradas.	5.-Equilibre las ruedas.
6.-Rotulas en mal estado.	6.-Sustitúyalas

Fuente: Emilio Lima

Cuadro 18

Los frenos chirrían

Causas probables:	Soluciones
1.-Lamina antirruido doblada, rota o fuera de su sitio.	1.-Sustituir las pastillas del eje completo.
2.-Partículas metálicas o polvo incrustado en las pastillas.	2.- Sustituir las pastillas del eje completo.
3.-Pastillas de baja calidad.	3.-Reemplace las pastillas por unas de calidad contrastada.
4.-Las pastillas rozan contra el caliper.	4.-Aplique lubricante en los apoyos de las pastillas con el caliper.
5.-Resortes de sujeción débiles o rotos.	5.-Reemplace las piezas defectuosas.
6.-Rodamientos de las ruedas sueltos.	6.-Verificar y sustituir en caso necesario.
7.-El pistón del caliper no retrocede correctamente.	7.-Repare el caliper.

8.-Discos en mal estado	8.-Sustituya los discos del eje completo.
9.-Pastillas muy desgastadas.	9.-Instale pastillas nuevas

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Se cumplió con el primer objetivo de la investigación, el cual apoyado en cada una de las teorías necesarias para la documentación del proyecto se identificaron cada uno de los elementos y componentes a usar en el sistema, además de su configuración adaptándose en total conformidad a las normas propuestas por Fórmula SAE, logrando así establecer las bases para el desarrollo de un sistema, competitivo y legal para la organización, además de construirse bajo los pasos propuestos en cada una de las teorías de diseño y elementos de máquinas usadas de apoyo.

2. Logrando dar cumplimiento al segundo objetivo propuesto de la investigación, se obtuvo, que el proyecto es factible de forma técnica, económica y operativa, ya que se cuentan con los recursos necesarios en el equipo Fórmula SAE UFT para el desarrollo del proyecto propuesto.

3. Se logró elaborar la propuesta del diseño del sistema de frenos para el vehículo monoplaza del equipo Formula SAE UFT en la Universidad Fermín Toro, basado en teorías de diseño y elementos de máquinas apoyados también con software de diseño *SolidWorks*, Se estableció la metodología a utilizar , en donde paso a paso no solamente se señalaron cada una de las fórmulas a utilizar; si no también se especificaron los elementos que se usaron como referencia para todos los cálculos y aspectos de diseños.

Así como sus especificaciones técnicas, en donde se logró no solamente tener un equilibrio en los cálculos adaptados a las dimensiones y a las necesidades del prototipo del vehículo de Fórmula SAE UFT, sino que también se plantearon catálogos de piezas tanto del mercado internacional como del nacional, además de proposición del diseño de muchas otras piezas y alternativas para su desarrollo de varias maneras, pero siempre recomendando la más idea. También se redactó un manual operativo y un manual de mantenimiento del sistema, donde se indican las fallas más comunes y sus soluciones.

Recomendaciones

1. Evaluar la adquisición de instrumentos de medición que permitan la obtención remota de datos del vehículo en pista y de esta manera obtener resultados más exactos al momento de realizar los análisis.
2. Es fundamental el estudio y desarrollo de materiales más ligeros como acero al cromo molibdeno el cual posee altas características mecánicas, para ocuparlos en nuevos proyectos con el fin de la reducción de peso, sabiendo que es un factor muy importante dentro de la performance del prototipo
3. Se considera necesario intentar reducir la cantidad de masas no suspendidas del propio vehículo, como podría ser, usando rines menos pesados hechos con materiales como la fibra de carbono, o llantas menos pesadas, así como también discos de freno, calipers y portamasas las livianos, lo cual contribuiría a una mejora sustancial de su comportamiento dinámico.

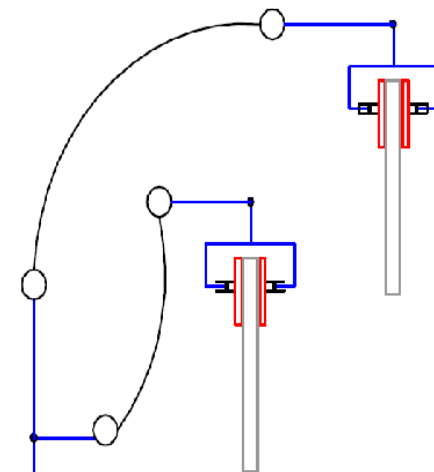
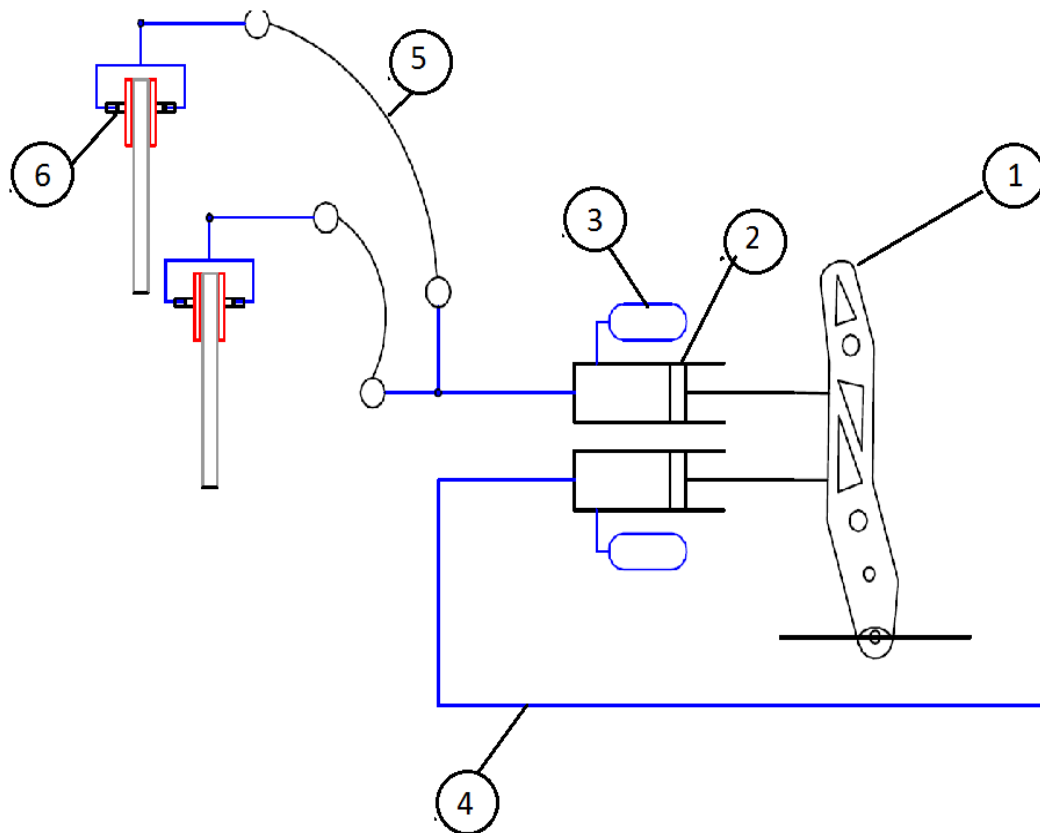
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AP-Racing.** (2014). [Página Web en línea] Disponible: <http://www.apracing.com>
[Consulta: 2014, Enero 28].
- Baca, G. (2006). **Evaluación de Proyectos.** Quinta Edición. Editorial McGrawHill Interamericana.
- Barray, H. (1998). **Introducción a la Metodología de la Investigación.** Editorial Gumed, S.A. México DF
- Beer, F y Johnston, R. (2004). **Mecánica de Materiales.** Tercera Edición. Editorial McGraw Hill Interamericana.
- Castellano, J. (2009). **Diseño de un Sistema de Frenos para un Monoplaza tipo Formula SAE.** Trabajo de Grado presentado para optar al título de Ingeniero en Mantenimiento Mecánico. Facultad de ingeniería. Universidad Fermín Toro. Cabudare (Venezuela).
- Ciadro, E (2012) **Diseño y cálculo de frenado para un prototipo Formula Student** proyecto de fin de carrera para optar al título de Ingeniera Mecánica, en la Universidad III de Madrid, Madrid (España).
- Cruz, G y Mesías, D. (2013). **Diseño, Construcción e Implementación de Sistemas de Suspensión, Dirección y Frenos del Vehículo de Competencia Formula SAE 2012.** Trabajo de Grado presentado para optar al título de Ingeniero Automotriz. Escuela Politécnica del Ejército. Latacunga (Ecuador).
- Diccionario de la Real Academia Española [RAE] Vigésima segunda Edición**
[Página Web en Línea] Disponible: <http://www.rae.es/rae.html> [Consulta: 2013, Mayo 19].
- Faires, V. (2006). **Diseño de Elementos de Maquinas.** Cuarta Edición. Editorial MS.
- Formula SAE Rules.** (2013). [Página Web en línea] Disponible: <http://students.sae.org/competitions/formulaseries/rules/2013fsaerules.pdf>
[Consulta: 2013, Abril 4].
- Gulf (s.f) **Manual Tecnico de las Pastillas de Frenos.** [Página Web en línea] Disponible: <http://www.museoseat.com/biblioteca/manuals%20varis/Manual%20tecnico%20opastillas%20freno.pdf> [Consulta: 2013, Julio 18].
- Hernández y Otros (2004) **Metodología de la Investigación.** 3ra Edición. Chile: Editorial Mc Graw Hill.

- Hernández, R. (2006). **Metodología de la investigación**, 4ta edición. Editorial McGraw Hill Interamericana. Iztapalapa México D.F
- Herrera, A. y León, I. (2007) **Optimización del sistema de frenos de un vehículo tipo Formula SAE** Trabajo de Grado presentado como requisito para obtener el título de ingeniero Mecánico en la Universidad Central, Caracas (Venezuela).
- James Lister and Sons.** (2014). [Página Web en línea] Disponible: <http://jameslisterandsons.madeinthemidlands.com> [Consulta: 2014, Enero 29].
- Macario, B. (s.f.) **Manual de evaluación del proceso de Enseñanza-aprendizaje por Competencias.** [Página Web en línea] Disponible: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/36/Manual_de_evaluacion_del_PEA_por_Competencias.PDF [Consulta: 2013, Julio 29].
- Manual CEAC del Automóvil.** Ediciones CEAC. (2004).
- Manual para Presentación de Trabajos de Grado.** Universidad Fermín Toro, Cabudare, Edo. Lara (2001).
- Mott, R. (2006). **Diseño de Elementos de Maquinas**, 4ta edición. Editorial Pearson Educación. México.
- Normas ISO** (1998) [Página Web en línea] Disponible: <http://www.ub.edu/geocrit/b3w-129.htm> [Consulta: 2013, Junio 3].
- Pérez, A. (2009). **Guía Metodológica para Proyectos de Investigación.** Caracas: Editorial FEDUPEL.
- Ramírez, T. (1999). **Como hacer un Proyecto de Investigación** .Editorial Panapo. Caracas (Venezuela).
- Reguera, A. (2008). **Metodología de la Investigación Lingüística.** Primera Edición.
- Rodríguez, J. (2006) **Diseño, cálculo y construcción/adaptación del sistema de frenado para un prototipo de Fórmula SAE** Trabajo de Grado presentado para la obtención del título en ingeniero Industrial, en la Universidad Pontificia Comillas, Madrid (España).
- Tamayo, M y Tamayo. (1998). **El proceso de Investigación Científica: Fundamentos de la Investigación.** Tercera Edición. Editorial Limusa-Wiley. México DF.
- Tapia, M. (2000). **Apuntes. Metodología de Investigación.** Adaptación para Ingeniería e Industrias. INACAP. Editorial Brujas (Argentina).
- Tilton.** (2014). [Página Web en línea] Disponible: <http://www.tiltonracing.com> [Consulta: 2014, Enero 28].

ANEXOS

ANEXO A
CIRCUITO HIDRÁHULICO

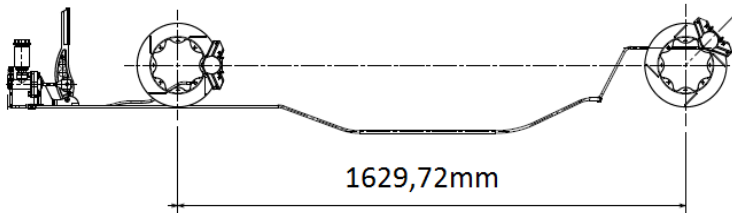


Número	Denominación
6	Piston Simple Efecto
5	Mangueras de Conexión
4	Lineas de Fluido
3	Recipiente de fluido
2	Piston Simple Efecto
1	Pedal

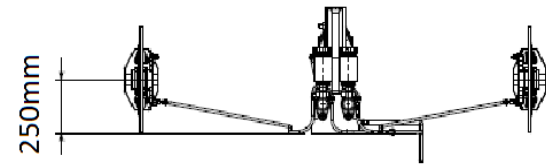
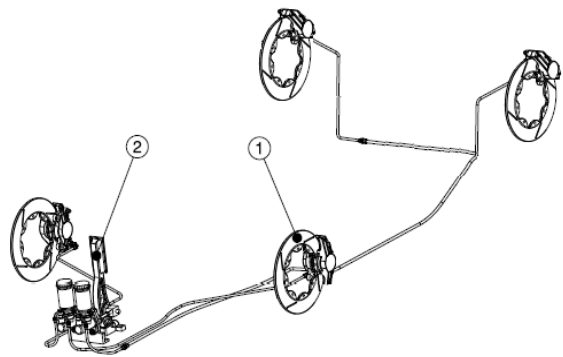
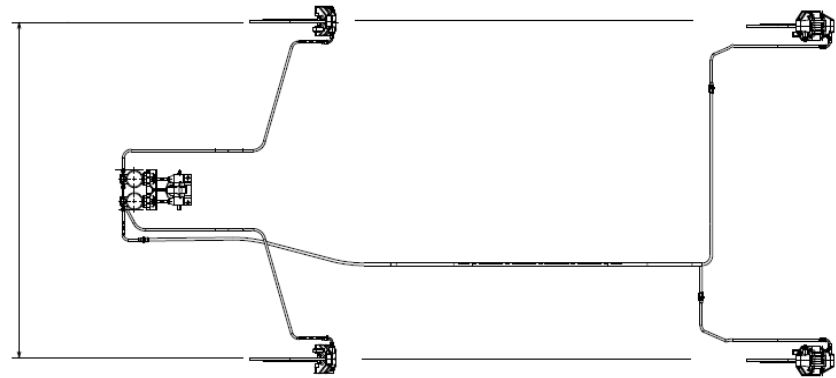


Emilio J. Lima B.
 TÍTULO
 Circuito Hidráulico

ANEXO B
SISTEMA DE FRENOS



1260mm

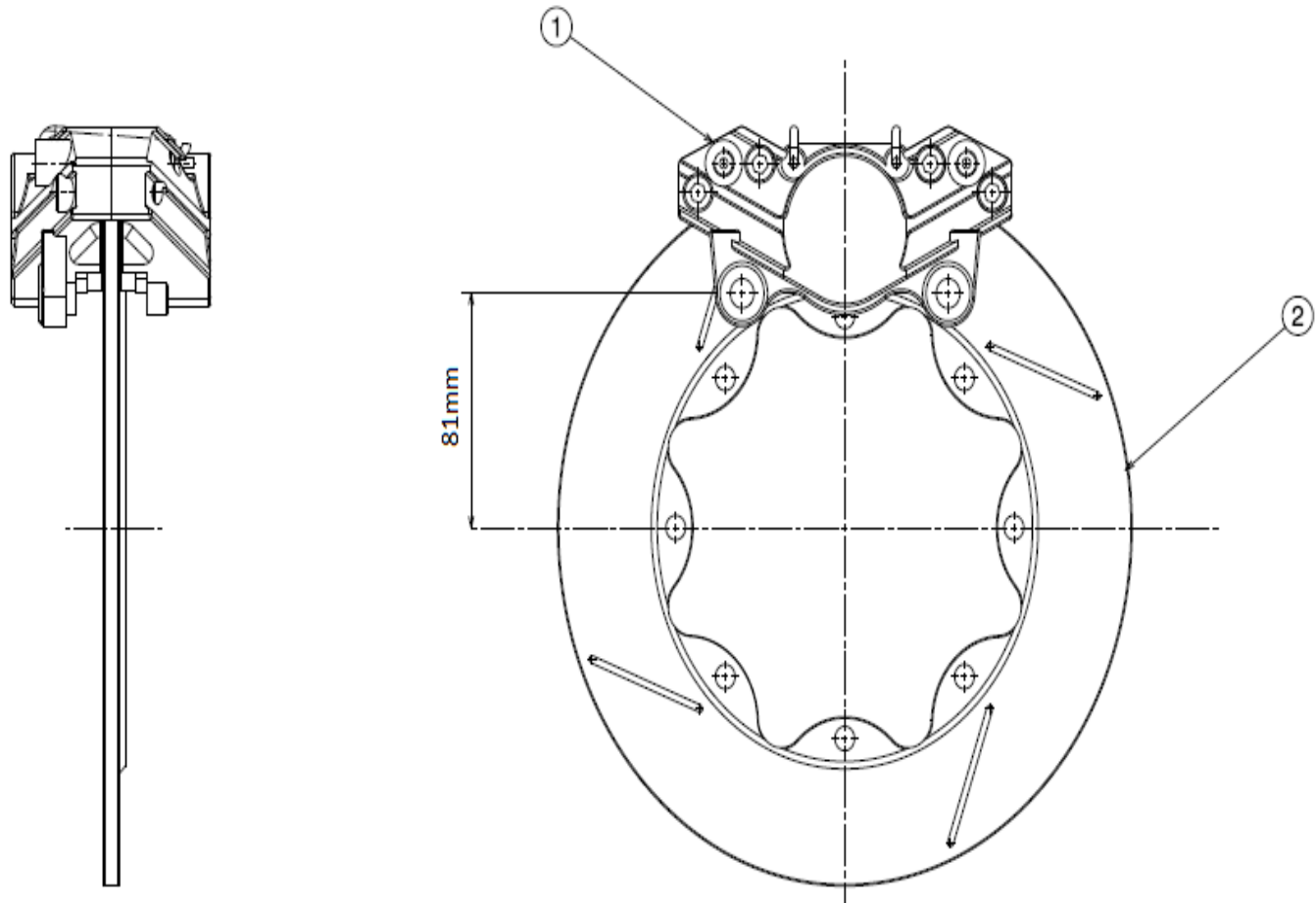


Número	Denominación
2	Conjunto pedal
1	Conjunto Disco-Pinza



Emilio J. Lima B.
TÍTULO
Sistema de Frenos

ANEXO C
CONJUNTO DISCO PINZA



Número	Denominación
2	Disco
1	Pinza o Caliper

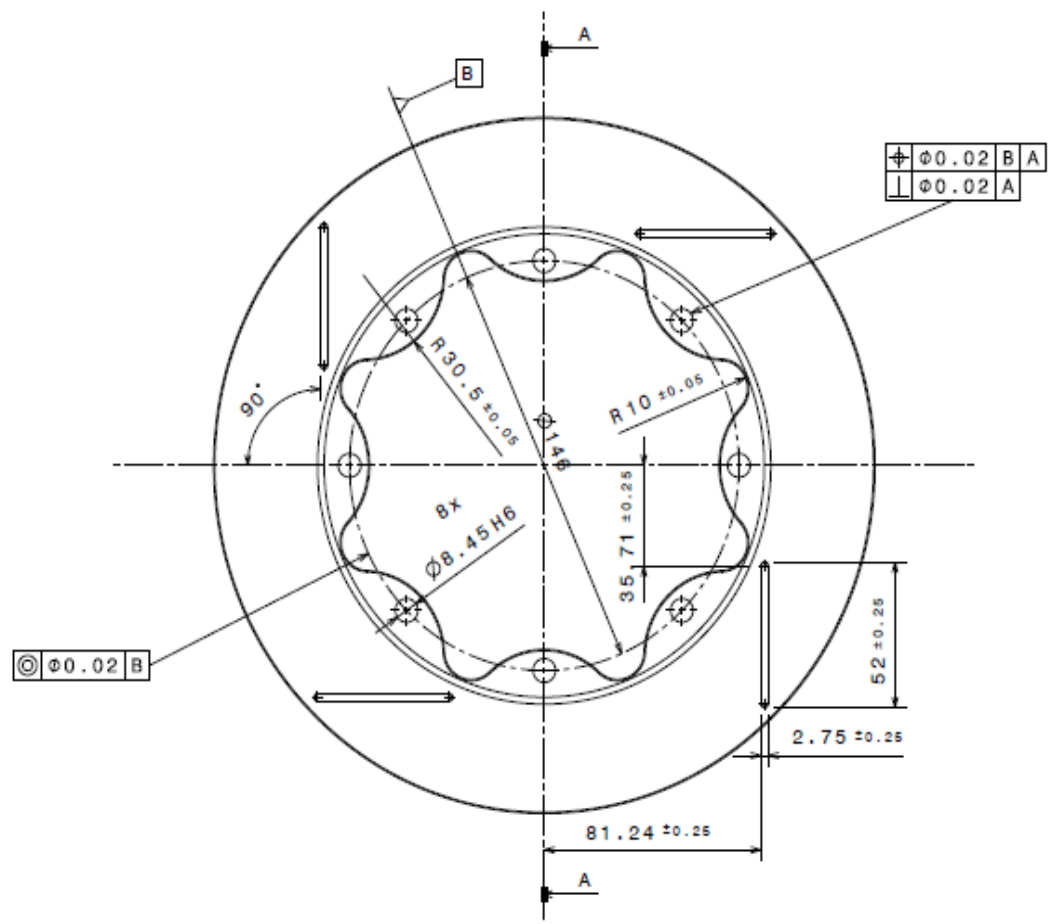
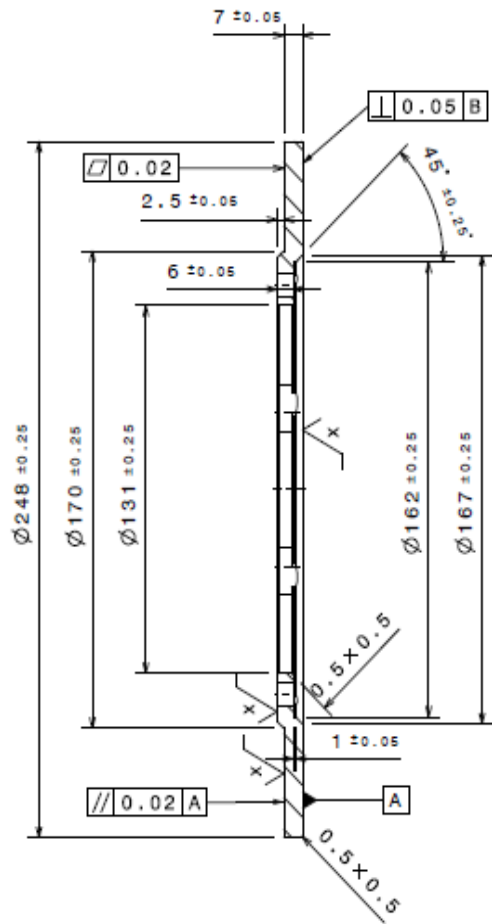


Emilio J. Lima B.

TÍTULO

Conjunto Disco Pinza

ANEXO D
DISCO DE FRENO

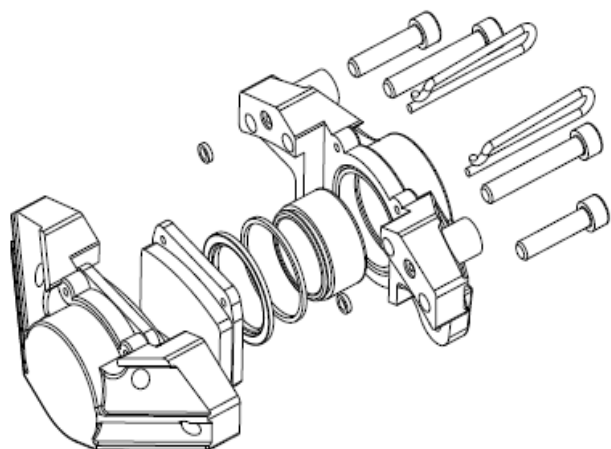
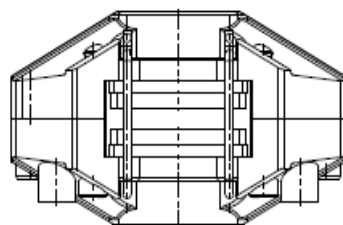
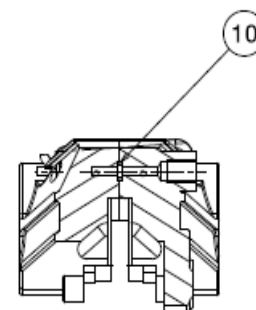
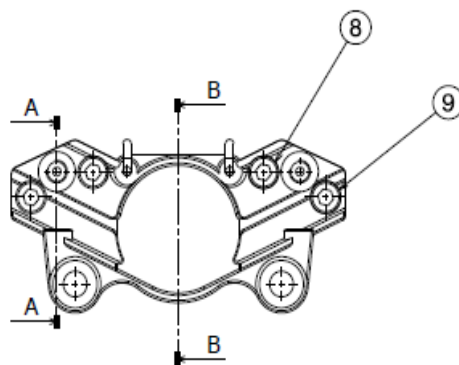
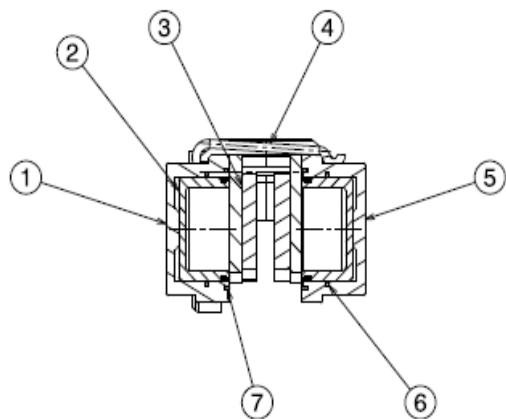


Emilio J. Lima B.

TÍTULO

Disco de Freno

ANEXO E
PINZA O CALIPER



Número	Denominación
10	Junta de unión
9	Tornillo cilíndrico M8x35
8	Tornillo cilíndrico M8x50
7	Guardapolvos
6	Retén
5	Cuerpo externo pinza
4	Pasador
3	Pastilla de freno
2	Cilindro D41.28mm
1	Cuerpo interno pinza

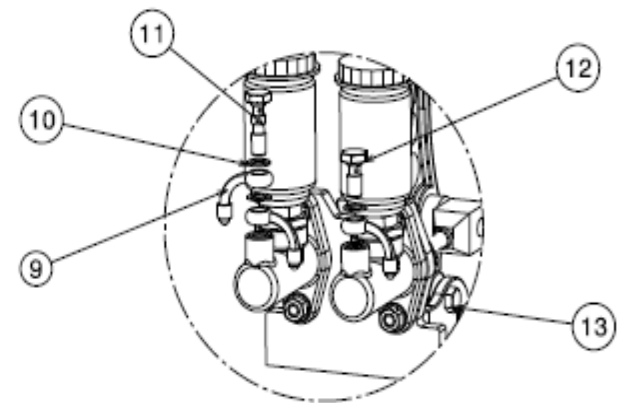
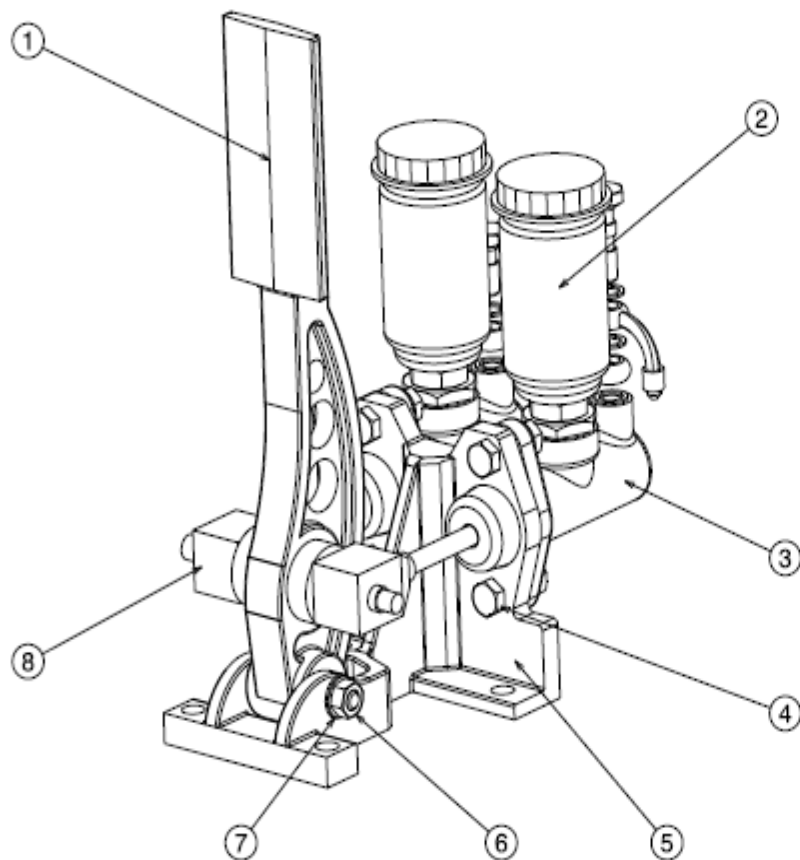


Emilio J. Lima B.

TÍTULO

Pinza o Caliper

ANEXO F
CONJUNTO PEDAL BOMBAS



Número	Denominación
13	Tornillo cilíndrico M8x55
12	Conector simple
11	Conector doble
10	Junta goma KL44517
9	Conector 90º
8	Repartidor de frenada
7	Arandela biselada 8
6	Tuerca hexagonal M8
5	Base pedal
4	Tornillo hexagonal M8x28
3	Bomba
2	Depósito
1	Pedal



Emilio J. Lima B.

TÍTULO Conjunto Pedal Bombas