



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**ANÁLISIS Y MODIFICACIÓN DEL SISTEMA DE FRENOS
PARA UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA EN CIRCUITO**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

JUAN CARLOS SIGCHA RODRIGUEZ

DIRECTOR: ING. JUAN CARLOS LUCERO

Quito, junio 2016

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2016
Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1719211227
APELLIDO Y NOMBRES:	SIGCHA RODRIGUEZ JUAN CARLOS
DIRECCIÓN:	PINAR ALTO
EMAIL:	<u>juanito.992009@hotmail.com</u>
TELÉFONO FIJO:	2261454
TELÉFONO MOVIL:	0995826415

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Análisis y modificación del sistema de frenos para un vehículo de competencia en circuito
AUTOR O AUTORES:	Juan Carlos Sigcha
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	23/05/2016
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Ing. Juan Carlos Lucero
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Automotriz
RESUMEN:	<p>En el proyecto, se describe el análisis que se realizó al vehículo Chevrolet Corsa Wind 1.3cm³, en el vehículo mencionado se realizaron diferentes tipos de pruebas dinámicas y térmicas al sistema de frenos con la finalidad de realizar una modificación al sistema antes mencionado, dichas pruebas sirvieron para evaluar el estado del sistema tanto estándar como modificado y evidenciar en que forma</p>

	<p>aumentan las prestaciones del mismo.</p> <p>Las pruebas se realizaron tanto en equipos de diagnóstico como en pista; el equipo utilizado fue un frenómetro automotriz con el que se pudo evidenciar la eficiencia del sistema de frenos; de igual forma el análisis en este equipo de diagnóstico sirvió para identificar el estado de varios elementos del sistema y así determinar si era pertinente cambiarlos. Se modificó los discos de freno reemplazándolos de ventilados a perforados; también se cambió la bomba principal con una que era capaz de enviar mayor presión al sistema y la fuerza de frenado sea óptima, a su vez también se sustituyó las cañerías que se encontraban obsoletas, se suplió el líquido de frenos existente por uno que soporte un punto de ebullición más alto y que evite formaciones de partículas de agua en el sistema y así tener una eficacia del sistema al 100%. De igual forma se optó por instalar pastillas de cerámica ya que se llegó a identificar que dichas pastillas soportan altas temperaturas sin cristalizarse y su coeficiente de fricción es mucho mayor que el de las pastillas comunes de carbono.</p> <p>Como punto final se realizaron las respectivas pruebas tanto en el equipo antes mencionado como en pista, evidenciando así el mejoramiento del sistema, principalmente aumentando la eficacia de un 76% a 82%, al igual que se redujo la distancia de parada de 51.22m a 47.71m, y la temperatura de los discos se redujo de 51.42 a 51.36 °C, datos tabulados y calculados a una velocidad de</p>
--	---

	100km/h comprobando la eficacia del sistema modificado para un vehículo de competencia en circuito.
PALABRAS CLAVES:	Frenos, Trucaje, Sistema de Frenos, Modificación sistema de Frenos.
ABSTRACT:	<p>In the project, the analysis was done to the vehicle Chevrolet Corsa Wind 1.3cm3 in the vehicle referred to different types of dynamic and thermal tests the braking system in order to make a modification to the above described system is performed, such tests they served to assess the status of both standard and modified system and demonstrate that way increase the performance thereof.</p> <p>The tests were conducted both in diagnostic equipment and track; the equipment used was an automotive brake tester with which could demonstrate the efficiency of the brake system; likewise, the analysis in this diagnostic equipment served to identify the status of various elements of the system and determine whether it was appropriate to change. replacing brake discs drilled vented to modified; the main pump with one that was able to send more pressure to the system and the braking force is optimal, in turn also changed pipes that were outdated also replaced, the liquid existing brakes are supplied by one that supports an point higher boiling and avoid formations of water particles in the system and thus have a system efficiency to 100%. Similarly we chose to install ceramic pellets as it became identified that said pellets at high temperatures without crystallizing and its coefficient of friction is much greater than</p>

	<p>the common carbon pads.</p> <p>As a final point the respective tests on both the computer and track above, thus demonstrating the improvement of the system were made, mainly by increasing the effectiveness of 76% to 82%, like stopping distance was reduced from 47.71 51.22m, and the disc temperature was reduced from 51.42 to 51.36 ° C, tabular data and calculated at a speed of 100km / h testing the effectiveness of the modified competition for a vehicle circuit system.</p>
KEYWORDS	Brakes, Trucage, Brake System, Brake System Modification.

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

f: 

JUAN CARLOS SIGCHA RODRÍGUEZ

CI: 1719211227

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **JUAN CARLOS SIGCHA RODRIGUEZ** CI 1719211227 autor/a del proyecto titulado: **Análisis y modificación del sistema de frenos para un vehículo de competencia en circuito** previo a la obtención del título de **INGENIERO AUTOMOTRIZ** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 07 De Junio del 2016

f:  _____
JUAN CARLOS SIGCHA RODRÍGUEZ

CI: 1719211227

DECLARACIÓN

Yo **JUAN CARLOS SIGCHA RODRIGUEZ**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

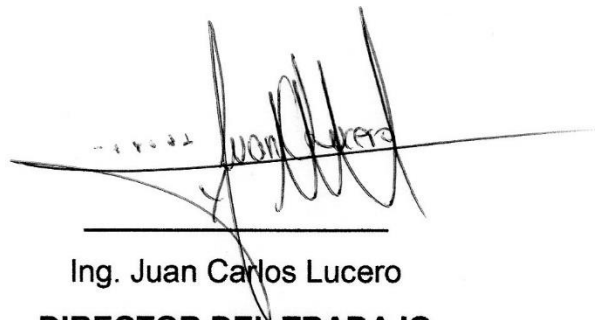
f: _____


JUAN CARLOS SIGCHA RODRÍGUEZ

CI: 1719211227

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Análisis y modificación del sistema de frenos para un vehículo de competencia en circuito**”, que, para aspirar al título de **Ingeniero Automotriz** fue desarrollado por **Juan Carlos Sigcha**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Juan Carlos Lucero', is written over a horizontal line. The signature is stylized with loops and a long horizontal stroke extending to the left.

Ing. Juan Carlos Lucero
DIRECTOR DEL TRABAJO
C.I.1715925606

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Carlos y Martha, pilar fundamental para poder culminar este proyecto, por ser las personas que me han dado todo y a quienes les debo cada uno de las metas cumplidas hasta el día de hoy. Papitos de la manera más especial les agradezco por todo el esfuerzo, valores, consejos que han sabido brindarme e inculcarme.

A Dios y la Virgen santísima por darme la fortaleza y la sabiduría para poder sobresalir de cada uno de los retos que me han puesto en mí camino.

A ti mi amada esposa, que con tu paciencia, y confianza depositada en mí has sido participe de este logro tan esperado. En especial, dedicarte a ti mi pequeña hija Montse, eres mi mayor inspiración para lograr todo lo que me proponga en la vida y por ti lucharé toda la vida para que sientas orgullo hacia mí.

Y como no, dedicar este trabajo a mis familiares y amigos que siempre han estado brindándome palabras de aliento para poder culminar con este proyecto.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer en primer lugar a Dios, mis padres, mi esposa y mi hija que son las personas más importantes en mi vida, por siempre contar con su apoyo en todos los ámbitos, y lo más importante por confiar siempre en mí.

Agradezco a mis docentes que me supieron brindar sus conocimientos a lo largo de mi carrera universitaria, en especial a mi tutor y asesores de tesis por brindarme su ayuda y conocimiento desinteresado en mi proyecto de titulación.

Por último a mis compañeros de tesis, ya que todos pusimos un grano de arena para salir victoriosos de esta propuesta y siempre nos dimos palabras de apoyo, pese a las adversidades que se nos presentó en el trayecto. Formando un excelente equipo de trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PÁGINA

RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 EL VEHÍCULO	3
2.1.1 SISTEMAS DEL VEHÍCULO	3
2.2 VEHÍCULOS DE COMPETENCIA	4
2.3 EL SISTEMA DE FRENOS	5
2.4 TIPOS DE SISTEMAS DE FRENO	6
2.4.1 FRENOS MECÁNICOS	6
2.4.2 FRENOS HIDRÁULICOS	7
2.4.3 FRENOS NEUMÁTICOS	7
2.4.4 FRENOS ELÉCTRICOS	8
2.5 MECANISMOS DE FRENADO	9
2.5.1 MECANISMOS CON FRENO DE TAMBOR	9
2.5.2 COMPONENTES DEL MECANISMO DE FRENOS DE TAMBOR	10
2.5.2.1 Bomba principal	10
2.5.2.2 Servofreno	11
2.5.2.3 Tambor	11
2.5.2.4 Zapatas de freno	12
2.5.2.5 Cilindros de freno (bombín)	12
2.5.2.6 Tuberías y latiguillos (cañerías)	13
2.5.2.7 Líquido de frenos	13
2.5.2.8 Tipos de líquidos de frenos	14

2.6	MECANISMO DE FRENOS DE DISCO	15
2.6.1	PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS DISCOS DE Freno	15
2.6.2	COMPONENTES DEL MECANISMO DE FRENOS DE DISCO	16
2.6.2.1	Pastillas de freno	17
2.6.2.2	Mordazas	18
2.6.2.3	Actuador hidráulico	19
2.7	TIPOS DE DISCOS DE Freno	19
2.7.1	DISCOS DE Freno MACIZOS	20
2.7.2	DISCOS DE Freno VENTILADOS	20
2.7.3	DISCOS DE Freno PERFORADOS	21
2.7.4	DISCOS DE Freno ESTRIADOS	22
2.7.5	DISCOS DE Freno CERÁMICOS	22
2.8	SISTEMA DE FRENOS ANTIBLOQUEO (ABS)	23
2.9	ESTUDIO DINÁMICO DEL PROCESO DE FRENADO	24
2.9.1	FUERZA DE FRENADO Y ADHERENCIA	25
2.9.2	FUERZA DE FRENADO EN EL PEDAL	27
2.9.3	REPARTO DE LA FUERZA DE FRENADO	27
2.9.4	TIEMPO DE FRENADO	29
2.9.5	EFICIENCIA DE FRENADO	30
2.9.6	DISTANCIA DE PARADA	30
2.10	ESTUDIO DE FACTORES TÉRMICOS EN EL PROCESO DE FRENADO	32
2.10.1	ENERGÍA DISIPADA POR LOS DISCOS DE Freno	32
2.10.2	POTENCIA DISIPADA POR EL SISTEMA DE FRENOS	33
2.10.3	INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LOS DISCOS DE Freno	33
2.10.4	PROBLEMAS A CAUSA DE LA TEMPERATURA EN EL SISTEMA DE FRENOS	35
2.10.4.1	Fading	35
2.10.4.1.1	Judder	35

2.11	MODIFICACIONES EN LOS SISTEMAS DE FRENO	36
2.12	ESTATUTOS Y LINEAMIENTOS FEDAK CIRCUITO.....	37
2.12.1	REGLAMENTO COPA TURISMO MECANICA NACIONAL 2016.....	38
2.12.2	LINEAMIENTO MODIFICACION SISTEMA DE FRENOS.....	38
3.	METODOLOGÍA.....	39
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
4.1	ANÁLISIS DEL SISTEMA DE FRENOS	43
4.2	VERIFICACIÓN DEL SISTEMA DE FRENOS	44
4.2.1	INSPECCIÓN DISCOS DE FRENO	44
4.2.2	DESMONTAJE SISTEMA DE FRENOS.....	46
4.2.3	MONTAJE SISTEMA DE FRENOS.....	46
4.2.4	VERIFICACIÓN BOMBA PRINCIPAL DE FRENO	47
4.3	CÁLCULO DINÁMICO DEL PROCESO DE FRENADO	49
4.3.1	FUERZA DE FRENADO.....	50
4.3.1.1	Cálculo previo a la modificación:.....	50
4.3.1.2	Cálculo esperado de la modificación:.....	51
4.3.2	FUERZA DE FRENADO EN EL PEDAL.....	51
4.3.2.1	Cálculo previo a la modificación:.....	51
4.3.2.2	Cálculo esperado de la modificación:.....	52
4.3.3	REPARTO DE LA FUERZA DE FRENADO	52
4.3.3.1	Para el sistema estándar:	52
4.3.3.2	Con el sistema modificado:	53
4.3.4	EFICIENCIA DE FRENADO	54
4.3.4.1	Cálculo de la eficiencia previa a la modificación:	54
4.3.4.2	Cálculo esperado de la modificación:.....	54
4.3.5	DISTANCIA DE PARADA.....	55
4.3.5.1	Cálculo previo a la modificación haciendo referencia a una distancia con una velocidad de 100km/h:	55

4.3.5.2	Cálculo esperado de la modificación:.....	56
4.3.6	TIEMPO DE FRENADO	57
4.3.6.1	Cálculo previo a la modificación:.....	58
4.3.6.2	Cálculo esperado de la modificación:.....	58
4.4	ANÁLISIS TÉRMICO DEL PROCESO DE FRENADO	59
4.4.1	ENERGÍA DISIPADA POR LOS DISCOS DE FRENO	59
4.1.1.1	Cálculo previo a la modificación:.....	59
4.1.1.2	Cálculo esperado de la modificación:.....	60
4.4.2	POTENCIA DISIPADA POR EL SISTEMA DE FRENOS	61
4.4.3	CÁLCULO TÉRMICO EN LOS DISCOS DE FRENO	62
4.5	MODIFICACIÓN SISTEMA DE FRENOS	63
4.5.1	IMPLEMENTACIÓN DISCOS PERFORADOS.....	63
4.5.2	IMPLEMENTACIÓN BOMBA DE FRENO PRINCIPAL	65
4.5.3	SELECCIÓN DE MATERIAL DE FRICCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE PASTILLAS CERÁMICAS	68
4.5.4	SUSTITUCIÓN LÍQUIDO DE FRENOS.....	70
4.6	PRUEBAS AL SISTEMA DE FRENOS.....	72
4.6.1	PRUEBAS EN EQUIPO DE DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE FRENOS (FRENÓMETRO).....	72
4.6.2	PRUEBAS EN PISTA.....	75
4.6.2.1	Distancia de parada.....	75
4.6.2.2	Temperatura en discos de freno	75
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
5.1	CONCLUSIONES	76
5.2	RECOMENDACIONES.....	77
	BIBLIOGRAFÍA.....	78
	ANEXOS	82

ÍNDICE DE TABLAS

PÁGINA

Tabla 1. Sistemas constitutivos del vehículo	4
Tabla 2. Valores de resistencia y dureza para los discos de freno de fundición	16
Tabla 3. Coeficiente de adherencia en función de la clase de pavimento y el estado de los neumáticos.....	26
Tabla 4. Valores de resistencia a la rodadura.....	27
Tabla 5. Propiedades termodinámicas de los componentes del sistema de frenos.	34
Tabla 6. Especificaciones técnicas del sistema de frenos Corsa Wind.	43
Tabla 7. Valores de peso del vehículo.....	50
Tabla 8. Valores ángulo de descenso.....	57
Tabla 9. Valores de tiempo de frenado a distintos ángulos de descenso...	59
Tabla 10. Comparación disco de freno ventilado-perforado.....	64
Tabla 11. Especificaciones y comparación costo beneficio pastillas de freno.	69
Tabla 12. Especificaciones pastilla de frenos de cerámica	70
Tabla 13. Datos de frenos última revisión técnica vehicular	72
Tabla 14. Datos sistema de frenos obtenidos en Frenómetro.....	73
Tabla 15. Valores de distancia de parada	75
Tabla 16. Valores de temperatura disco de freno.	76

ÍNDICE DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 1.	Vehículo autopropulsado	3
Figura 2.	Sistema de Frenos	5
Figura 3.	Sistema de frenos mecánico	6
Figura 4.	Sistema de frenos hidráulico	7
Figura 5.	Sistema de frenos neumático	8
Figura 6.	Sistema de frenos electromagnético	9
Figura 7.	Sistema de freno de tambor	10
Figura 8.	Bomba de freno principal	10
Figura 9.	Servofreno	11
Figura 10.	Tambor de freno	11
Figura 11.	Zapatillas de freno	12
Figura 12.	Cilindro de freno	12
Figura 13.	Canalizaciones de freno	13
Figura 14.	Líquido de frenos	14
Figura 15.	Líquidos de freno	14
Figura 16.	Freno de disco	15
Figura 17.	Pastilla de freno	18
Figura 18.	Mordaza de freno	18
Figura 19.	Actuador de freno hidráulico.	19
Figura 20.	Disco de freno macizo	20
Figura 21.	Disco de freno ventilado	21
Figura 22.	Disco de freno perforado	21
Figura 23.	Disco de freno estriado	22
Figura 24.	Disco de freno cerámico	23
Figura 25.	Sistema de frenos ABS	24
Figura 26.	Fuerzas desarrolladas por los frenos	25
Figura 27.	Reparto de fuerza de frenado	28
Figura 28.	Gráfica de distancia de parada en función de la velocidad del vehículo.	32

Figura 29. Disco de freno con desgaste y recalentamiento.	45
Figura 30. Medición de espesor de disco de freno N° 1	45
Figura 31. Medición de espesor de disco de freno N°2	45
Figura 32. Desmontaje de las cañerías de freno	47
Figura 33. Desmontaje sensor de depósito de líquido de frenos.	48
Figura 34. Elementos constitutivos de la bomba de freno	48
Figura 35. Interior bomba de freno	49
Figura 36. Discos de freno perforados originales para Corsa Wind.....	63
Figura 37. Disco perforado montado	64
Figura 38. Montaje mordaza de freno	65
Figura 39. Medición de diámetro interior	66
Figura 40. Comparación visual bomba de freno	66
Figura 41. Reservorio de líquido de frenos montado	67
Figura 42. Montaje de la bomba en el servofreno	67
Figura 43. Apriete pernos de sujeción de la bomba al servofreno	68
Figura 44. Ajuste cañerías de freno	68
Figura 45. Desmontaje de pastillas de freno	69
Figura 47. Pastillas de freno montadas	70
Figura 48. Grados de ebullición líquidos de freno.	71
Figura 49. Líquido de frenos DOT 5.1	71
Figura 50. Purga del sistema de frenos.....	72
Figura 51. Vehículo entrando a la etapa de pruebas en el Frenómetro	74
Figura 52. Vehículo sometido a la prueba en su eje delantero	74
Figura 53. Vehículo sometido a la prueba en su eje trasero.....	74

ÍNDICE DE ANEXOS

PÁGINA

ANEXO 1. Especificaciones técnicas vehículo.	82
ANEXO 2. Datos CORPAIRE 2015.	83
ANEXO 3. Discos de freno montados en el vehículo	84
ANEXO 4. Desmontaje y montaje sistema de frenos	85
ANEXO 5. Reglamento COPA TURISMO MECÁNICA NACIONAL 2016.	87
ANEXO 6. Prueba en frenómetro.	96
ANEXO 7. Pruebas en pista.	97
ANEXO 8. Dimensiones pastilla de frenos.....	99

RESUMEN

En el proyecto, se describe el análisis que se realizó al vehículo Chevrolet Corsa Wind 1.3cm³, en el vehículo se realizaron diferentes tipos de pruebas dinámicas y térmicas al sistema de frenos con la finalidad de realizar una modificación al sistema antes mencionado, dichas pruebas sirvieron para evaluar el estado del sistema tanto estándar como modificado y evidenciar en que forma aumentan las prestaciones del mismo.

Las pruebas se realizaron tanto en equipos de diagnóstico como en pista; el equipo utilizado fue un frenómetro, con el que se pudo evidenciar la eficiencia del sistema de frenos; de igual forma el análisis en este equipo de diagnóstico sirvió para identificar el estado de varios elementos del sistema y así determinar si era pertinente cambiarlos. Se modificó los discos de freno reemplazándolos de ventilados a perforados; se cambió la bomba principal con una que era capaz de enviar 21 bar de presión, a su vez también se sustituyó las cañerías que se encontraban obsoletas, se suplió el líquido de frenos existente por uno que soporte un punto de ebullición más alto y que evite formaciones de partículas de agua en el sistema y así tener una eficacia del sistema al 100%. De igual forma se optó por instalar pastillas de cerámica ya que se llegó a identificar que dichas pastillas soportan altas temperaturas y su coeficiente de fricción es mucho mayor que el de las pastillas comunes de carbono.

Como punto final se realizaron las respectivas pruebas tanto en el equipo antes mencionado como en pista, evidenciando así el mejoramiento del sistema, principalmente aumentando la eficacia de un 62% a 82%, al igual que se redujo la distancia de parada de 51.22m a 47.71m, el tiempo de frenado se redujo de 3.80s a 3.55s, también la temperatura de los discos se redujo de 119.4 a 67.88 °C, datos tabulados y calculados a una velocidad de 100km/h comprobando la eficacia del sistema modificado para un vehículo de competencia en circuito.

Palabras clave: modificación, trucaje, sistema de frenos, eficacia de frenado, fuerza de frenado.

ABSTRACT

In the project, the analysis was done to the vehicle Chevrolet Corsa Wind 1.3cm3 in the vehicle referred to different types of dynamic and thermal tests the braking system in order to make a modification to the above described system is performed, such tests they served to assess the status of both standard and modified system and demonstrate that way increase the performance thereof.

The tests were conducted both in diagnostic equipment and track; the equipment used was an automotive brake tester with which could demonstrate the efficiency of the brake system; likewise, the analysis in this diagnostic equipment served to identify the status of various elements of the system and determine whether it was appropriate to change. replacing brake discs drilled vented to modified; the main pump with one that was able to send more pressure to the system and the braking force is optimal, in turn also changed pipes that were outdated also replaced, the liquid existing brakes are supplied by one that supports an point higher boiling and avoid formations of water particles in the system and thus have a system efficiency to 100%. Similarly we chose to install ceramic pellets as it became identified that said pellets at high temperatures without crystallizing and its coefficient of friction is much greater than the common carbon pads.

As a final point the respective tests on both the computer and track above, thus demonstrating the improvement of the system were made, mainly by increasing the effectiveness of 62% to 82%, like stopping distance was reduced from 47.71 51.22ma m, the braking time is reduced from 3.80sa 3.55s, also the disc temperature was reduced from 119.4 to 67.88 ° C, tabular data and calculated at a speed of 100km / h testing the effectiveness of the modified system for a vehicle competition circuit.

Keywords: modification, faking, brakes, braking, braking force.

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo pretende responder las dudas acerca de cómo se debe modificar el sistema de frenos de una manera técnica con la finalidad de mejorar las prestaciones del mismo, debido a que cuando el vehículo es sometido a grandes exigencias los elementos constitutivos suelen sufrir daños por excesos de temperaturas y a su vez perder la eficiencia del sistema y aumentar el riesgo de sufrir un accidente puesto que las distancias y tiempos de frenado aumentarían.

Todas estas dudas quedan sustentadas mejorando el mecanismo de freno de discos ventilados por un sistema de discos perforados reduciendo la temperatura generada y a su vez mejorando la eficiencia del sistema y reduciendo tiempos de frenado. Elementos seleccionados realizando un análisis dinámico y térmico adecuado, siguiendo parámetros establecidos por el reglamento técnico al cual se rige el proyecto.

La función del sistema de frenos consiste en reducir la velocidad del vehículo o de parar el mismo totalmente. De igual forma, el sistema de frenos debe mantener el vehículo estacionado.

Los primeros sistemas de freno fueron creados según las especificaciones de los primeros vehículos, para lo cual se usaba un tambor accionado mecánicamente por el conductor pero con el paso de los años se fue modificando los sistemas de freno consecuentemente como se iban desarrollando los motores de los autos ya que cada vez podían alcanzar más velocidades por lo que era necesario crear otro tipo de sistema de frenos más eficiente y que su duración sea más prolongada.

El sistema de frenos es uno de los aspectos más importantes para analizar y modificar en un auto de competencia; ya que de ellos depende recortar tiempos en una competencia; es decir que es fundamental analizar los mecanismos donde se evalúa la factibilidad de tener discos de freno eficientes y en conjunto todas las partes que componen el sistema, para así en una prueba de circuito, disminuir los tiempos y distancias de frenado con el fin de evitar frenadas bruscas, constantes y recalentamientos excesivos. Los problemas que se ocasionan por el mal comportamiento del sistema de

frenos son fallas en la eficacia del frenado al momento de pisar el pedal de freno, es decir cuando se necesita detener el vehículo de una manera óptima así como fallas en sus partes constituyentes ya sea por material de fabricación inadecuado o de baja.

Los principales factores analizados para el correcto funcionamiento del sistema de frenos son la temperatura a la cual se someten los elementos del sistema así como cálculos de velocidades y un análisis minucioso de cálculo de fuerzas de frenado; con esto se evitó gastos excesivos por mantenimientos correctivos ya que lo ideal es realizar un mantenimiento preventivo de cada uno de los elementos con el fin de precautelar la vida útil de los mismos y ahorrar dinero en mantenimiento y refacciones. El planteamiento de este problema se da por la necesidad que implica tener una eficiencia en el frenado cuando el vehículo es conducido en pista. El análisis del sistema de frenos en el deporte del automovilismo profesional es de suma importancia dando lugar a un gran número de estudios de forma investigativa y experimental.

El objetivo general del proyecto es Analizar y modificar el sistema de frenos de un vehículo para competencia en circuito, realizando estudios previos en la dinámica y la termodinámica del vehículo para poder modificar el sistema delantero en particular, para mejorar el rendimiento del mismo cuando esté sometido a grandes exigencias.

A su vez como objetivos específicos: estudiar y analizar la termodinámica de los componentes del sistema de freno que son sometidos a altos requerimientos.

Investigar sobre los diferentes sistemas de frenos que existen en vehículos tipo turismo.

Analizar y calcular el trabajo de los componentes del sistema de freno que son sometidos a altos requerimientos.

Seleccionar y modificar los elementos necesarios para mejorar las prestaciones del sistema de frenos en un vehículo de competencia en circuito.

Efectuar pruebas de ruta, antes y después de la modificación para determinar las mejoras en eficiencia y características del sistema de frenos.

MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEÓRICO

2.1 EL VEHÍCULO

Es un conjunto de piezas, partes, mecanismos que ensamblados entre sí generan un movimiento por sí mismo para trasladarse vía terrestre, y así transportar personas o cargas, (figura 1) equipado con varios sistemas que aportan confort y seguridad al conductor y sus acompañantes en las diferentes condiciones de manejo que se presentan. Se excluyen de esta definición los ciclomotores, los tranvías y los vehículos para personas de movilidad reducida.

El automóvil ha supuesto un cambio radical en la forma y estilo de vida de las personas, tanto así que es prácticamente prescindir de él.



Figura 1. Vehículo autopropulsado
(Mercedes Benz, 2002)

2.1.1 SISTEMAS DEL VEHÍCULO

Un vehículo moderno está constituido por un gran número de sistemas, cada uno de los cuales desempeña una función concreta, llevando siempre una

relación con los demás sistemas, dichos sistemas a su vez permiten que el vehículo se desplace con o sin ocupantes adaptándose al piso y rodando a diferentes velocidades, como se puede observar en la figura 2.

Dichos sistemas se los puede evidenciar en la Tabla 1, mostrada a continuación.

Tabla 1. Sistemas constitutivos del vehículo

ESTRUCTURA METÁLICA	Carrocería y chasis
MOTOR	Distribución Encendido Alimentación Lubricación Refrigeración
DIRECCIÓN TRANSMISIÓN	Embrague Caja de velocidades Árbol de transmisión Mecanismo cono-corona
SUSPENSIÓN	
EQUIPO ELECTRICO- ELECTRÓNICO	Batería Sensores Actuadores Generador de energía Iluminación
FRENOS	
RUEDAS Y NEUMÁTICOS	

(Rueda Santander, 2010)

2.2 VEHÍCULOS DE COMPETENCIA

En el mundo del automovilismo tanto profesional como aficionado existen diferentes variantes en cuanto a las prestaciones que debe tener el vehículo para competencia, por la razón de que cada una de las competencias automovilísticas tienen sus propios estatutos y reglas en cuanto a las modificaciones que deben tener los vehículos, la finalidad de participar en una competencia con un vehículo preparado es la de completar la carrera en el menor tiempo posible, en nuestro país las modalidades para las cuales se prepara un vehículo son: Rally, Circuito, Rallycross, Cuarto de milla, Trepada de montaña, entre otras.

A estas competencias los profesionales y aficionados se orientan un poco siguiendo parámetros que se dan en la fórmula 1 que es la mayor expresión

del automovilismo a nivel mundial, en donde se puede observar las mejoras más actuales en cuanto a los sistemas del vehículo con la mejor tecnología de la actualidad.

2.3 EL SISTEMA DE FRENOS

El sistema de frenos es el encargado de reducir la velocidad del vehículo o de parar el mismo totalmente. De igual manera, el sistema de frenos debe mantener el vehículo estático cuando el mismo se encuentre estacionado.

Habitualmente el sistema de frenos se expone a esfuerzos máximos, los cuales se dan en proporción de acuerdo a la potencia que tenga el vehículo; mientras se da este proceso de frenado entre los componentes que se encuentran sometidos a dichos esfuerzos se pueden alcanzar temperaturas elevadas, esto particularmente entre las pastillas de freno y los discos. Por otra parte, la fuerza de frenado necesaria para ello se transmite mediante una alta presión a través del líquido de frenos.

En estos casos el conductor espera además de una seguridad al 100% un máximo confort de frenado, una buena respuesta de los frenos, capacidad de dosificación, ausencia de ruidos y un efecto siempre uniforme. Por otra parte los componentes del sistema de frenos se hallan expuestos permanentemente a influencias ambientales tales como: humedad, sal, polvo, suciedad (Orovio Astudillo, 2010) . En la figura 2 se puede observar el conjunto que forma parte del sistema de frenos hidráulico.

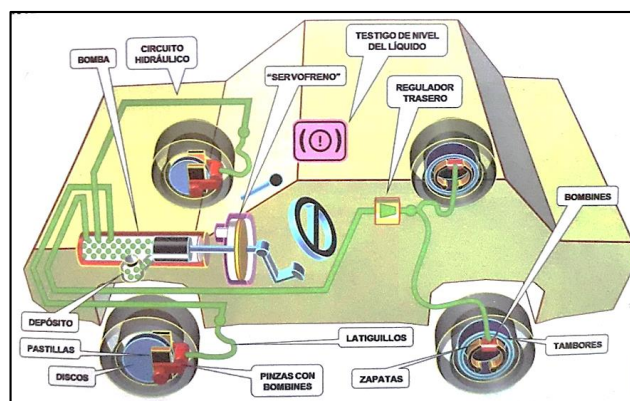


Figura 2. Sistema de Frenos
(Orovio, 2010.)

2.4 TIPOS DE SISTEMAS DE FRENO

Dentro del vehículo se puede encontrar cuatro tipos de freno los cuales se diferencian por su accionamiento; dichos tipos son:

- Frenos mecánicos
- Frenos hidráulicos
- Frenos neumáticos
- Frenos eléctricos (Rojas Leonardo, 2001).

2.4.1 FRENOS MECÁNICOS

Este tipo de frenos se caracteriza por que cuando es presionado el pedal de freno con la fuerza del pie, un cable es el encargado de transmitir la fuerza para frenar el vehículo, estos tipos de frenos dejaron de ser usados cuando la potencia de los motores empezó a aumentar y desarrollarse, figura 3, esto debido a que dichos motores poseían ya altas velocidades por lo que se requería de un gran esfuerzo físico para lograr detener un automóvil, por todas estas razones este sistema de frenos quedó básicamente obsoleto y se optó por desarrollar los tipos de frenos hidráulicos, puesto que con realizar un esfuerzo mucho menor se puede lograr una potencia de frenado mucho mayor y en un tiempo adecuado, es decir se puede detener el vehículo en distancias menores y tiempos cortos (Águeda, 2002).

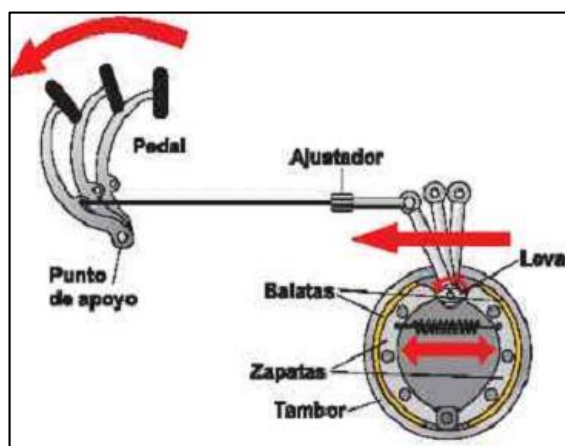


Figura 3. Sistema de frenos mecánico
(BOSCH, 2005)

2.4.2 FRENOS HIDRÁULICOS

En el tipo de frenos hidráulico en el instante cuando se presiona el freno del auto un cilindro conocido como cilindro maestro, contenido dentro de la bomba principal, que va colocada en la parte donde está el motor, es la que se encarga de enviar el líquido de frenos por presión a todas las cañerías, hasta llegar a los frenos ubicados en cada llanta y así de esta forma lograr frenar el vehículo; dicha acción es realizada en tiempos y distancias más cortas a diferencia de los antes mencionados frenos mecánicos. En la figura 4 se puede observar el mecanismo de accionamiento de frenos hidráulicos. Los frenos hidráulicos son una aplicación clara del principio de pascal en donde se ejerce una fuerza sobre un embolo pequeño y este a su vez la multiplica en un embolo más grande, generando mayor presión en el sistema, también puede cambiar la dirección y el sentido del fluido (Águeda, 2002).

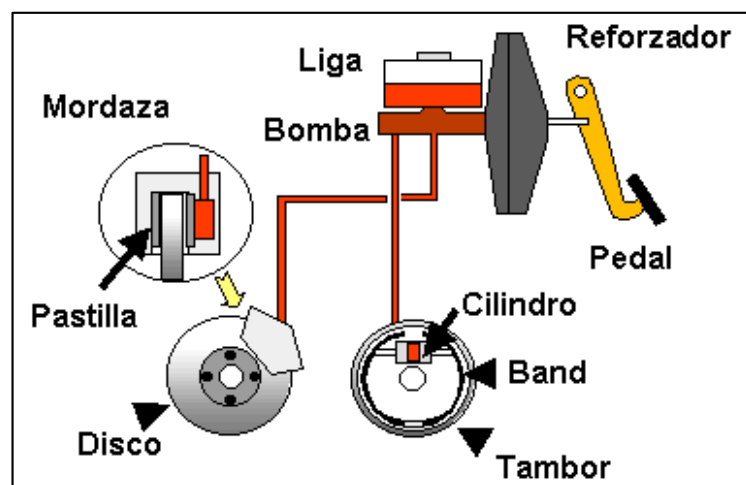


Figura 4. Sistema de frenos hidráulico
(Automoriz.net, 2016)

2.4.3 FRENOS NEUMÁTICOS

Este sistema emplea el aire comprimido como principal herramienta para accionar el conjunto de zapatas de cada tambor. Este tipo de frenos es utilizado por lo general en vehículos pesados como camiones, buses,

tráileres, etc. Los frenos neumáticos funcionan conjuntamente con los frenos hidráulicos, generando una presión superior a la generada en vehículos turismo por la razón de que se genera una gran cantidad de vacío. Se opta por utilizar este tipo de frenos en los autos pesados o de carga con el fin de que los frenos no se calienten en exceso y se pierda la eficiencia de frenado. Su funcionamiento se basa en que al accionar el freno, una válvula deja pasar el aire comprimido del depósito hacia las cámaras de freno de las campanas, las cuales, mediante levas de accionamiento, desplazan las zapatas y forros contra el tambor en su interior. Al soltar el pedal, la válvula corta el paso del aire a presión y permite a la vez que salga el aire acumulado en las tuberías y cámaras de freno. La acción de la bomba depende de la presión ejercida por el conductor sobre el pedal de freno. figura 5, Cabe recalcar que la acción de frenado de este sistema es mucho más rápido que el sistema hidráulico, por ende su utilización viene dada por la versatilidad y rapidez de respuesta del aire comprimido (Orozco José Luis, 2009).

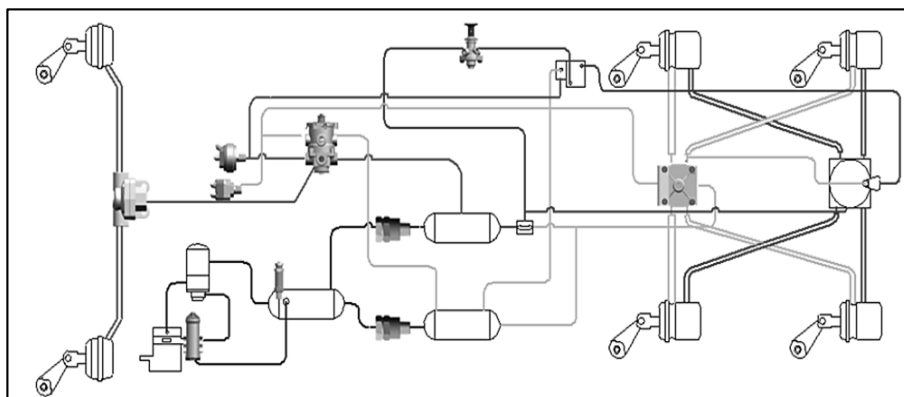


Figura 5. Sistema de frenos neumático
(Rueda Santander, 2010)

2.4.4 FRENOS ELÉCTRICOS

Este sistema se utiliza cuando un vehículo pesado circula por carreteras difíciles o accidentadas, la aplicación de los frenos se hace muy frecuente. Una utilización frecuente del sistema hace que disminuya peligrosamente la eficacia de frenado. Por esta razón para este tipo de vehículos se hace necesaria la implementación de un sistema auxiliar de frenos llamados

comúnmente ralentizadores, de los cuales el más utilizado es el electromagnético el cual va instalado en la transmisión, figura 6, Como el frenado se realiza únicamente por electromagnetismo, no existe contacto entre piezas y, por lo tanto, no hay rozamiento ni desgaste, de igual forma la cantidad de calor generada es disipada. La activación de este tipo de frenos se efectúa con un mando manual de varias posiciones, que permite enviar la corriente eléctrica a un número determinado de bobinas del estator, haciendo variar en función de ello el par resistente para el frenado (Alonso, 2010).

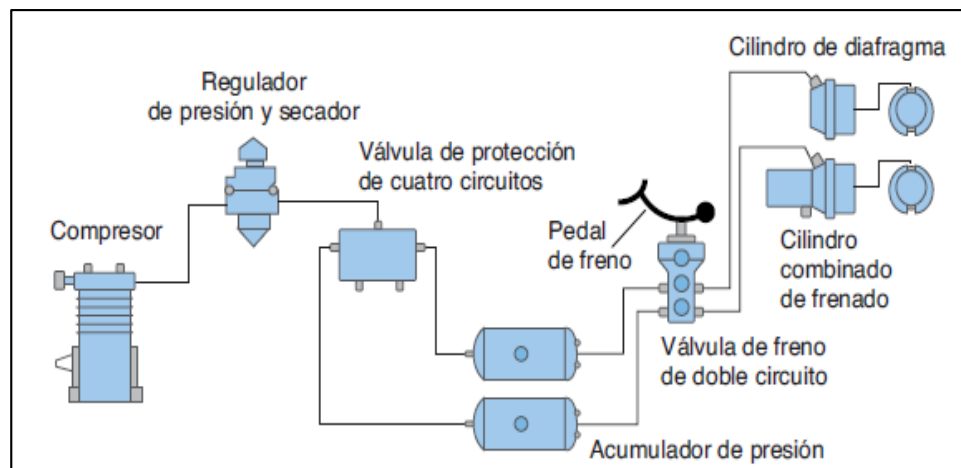


Figura 6. Sistema de frenos electromagnético (BOSCH, 2005)

2.5 MECANISMOS DE FRENADO

2.5.1 MECANISMOS CON FRENO DE TAMBOR

Es el tipo de mecanismo es uno de los más utilizados hasta la actualidad, se lo denomina también freno de zapatas interiores puesto que las zapatas que lo accionan están en su interior.

Este tipo de freno está constituido por dos partes la primera constituida por un tambor, que es el elemento que realiza movimiento y está en constante fricción, dicho elemento está montado sobre el buje de la rueda por medio de tornillos y tuercas, las cuales le envían el movimiento, y una especie de plato de freno llamado tambor, el cual es el elemento fijo sujeto al puente.

En la figura 7, se puede observar los elementos del freno de tambor.

En esta especie de plato van montados los elementos de fricción, y los mecanismos de accionamiento para el desplazamiento de las zapatas y así poder detener la parte posterior del vehículo y accionar el freno de estacionamiento. (CEAC, 2006).

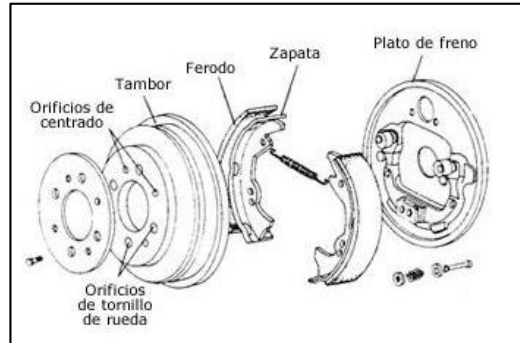


Figura 7. Sistema de freno de tambor
(Águeda, 2002)

2.5.2 COMPONENTES DEL MECANISMO DE FRENOS DE TAMBOR

2.5.2.1 Bomba principal

La bomba principal está situada delante del servofreno, es la encargada de transformar la fuerza mecánica en hidráulica generada cuando se presiona el pedal de freno, el movimiento de su cilindro interior genera presión y es el encargado de repartir la presión del líquido de frenos por los conductos que van hacia cada una de las ruedas del vehículo, como se puede observar en la figura 8, (Rueda Santander, 2010).

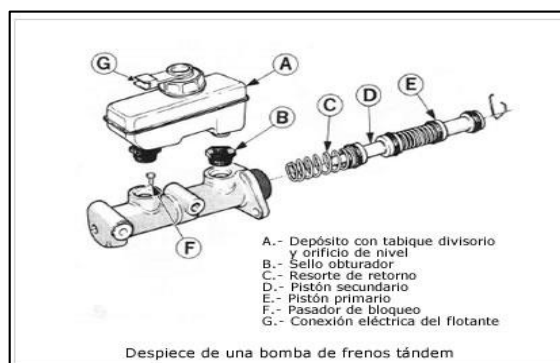


Figura 8. Bomba de freno principal
(BOSCH, 2005)

2.5.2.2 Servofreno

Es el elemento que ayuda al conductor en el proceso de frenado debido a que es el encargado de multiplicar la fuerza que se genera desde el pedal de freno ayudado por el vacío que se genera en el motor; esto dado en motores de ciclo Otto porque en motores diésel al no existir vacío se necesita de una bomba adicional para generarlo y que el servofreno cumpla su función. El servofreno se fue desarrollando conforme los autos fueron ganando potencia, peso y velocidad,(Arias-Paz, 2008). Como se ve en la figura 9 siguiente:

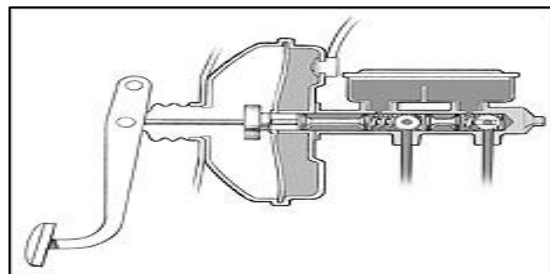


Figura 9. Servofreno
(CEAC, 2006)

2.5.2.3 Tambor

Es la parte externa del sistema el cual cubre a las zapatas y es el elemento que gira en conjunto con las ruedas. Este elemento es el que soporta altas temperaturas generadas por la fricción de los elementos y las ruedas. Generalmente su estructura es de hierro fundido por su alta resistencia al desgaste, como se observa en la figura 10 (Domínguez & Ferrer, 2012)..

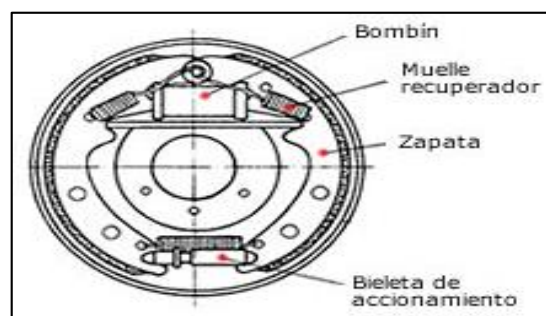


Figura 10. Tambor de freno
(Casado, 2012)

2.5.2.4 Zapatas de freno

Las zapatas tienen forma de media luna, están formadas por dos placas de acero soldadas y recubiertas en su parte exterior por los forros de freno, que son los encargados de efectuar el frenado por fricción con el tambor. Según el vehículo pueden ser zapatas remachadas o pegadas, como se visualiza en la figura 11 (CEAC, 2006).



Figura 11. Zapatas de freno
(Alonso, 2010)

2.5.2.5 Cilindros de freno (bombín)

Se lo conoce como bombín o cilindro maestro, se usa un cilindro para cada rueda posterior. Dos pistones son los que hacen que las zapatas se desplacen, uno en cada extremo del cilindro de freno. Cuando la presión hidráulica del cilindro maestro actúa, los pistones empujan las zapatas, forzándolas contra el tambor, figura 12. Cuando los frenos no se están aplicando, el pistón vuelve a la posición original por la fuerza de los resortes de retorno (BOSCH, 2005).



Figura 12. Cilindro de freno
(Águeda, 2002)

2.5.2.6 Tuberías y latiguillos (cañerías)

Las tuberías y los latiguillos son los encargados de conducir el líquido de frenos desde la bomba o principal hasta la entrada en los cilindros para su posterior multiplicación de fuerza (Bosch Robert, 2003).

Las cañerías o conductos de freno habitualmente en su estructura son de acero recubiertos de una capa de fosforo para resistir la corrosión, y comprenden todo el recorrido que el líquido de frenos realiza desde la salida de la bomba principal hasta las ruedas, específicamente junto a la suspensión del vehículo, en la figura 13 se observa la disposición de las cañerías en el sistema de frenos (Alonso, 2010).

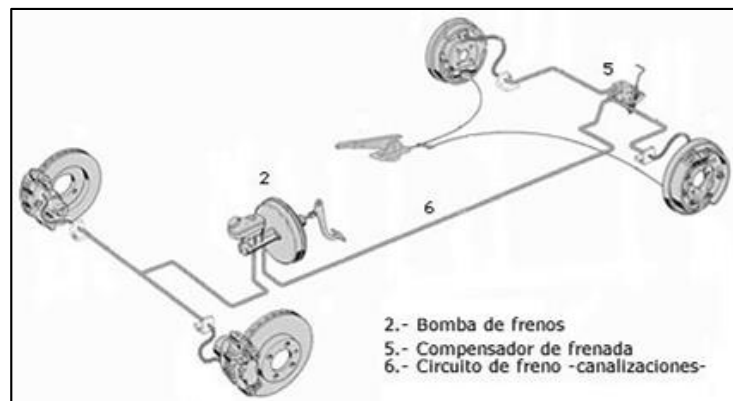


Figura 13. Canalizaciones de freno
(CEAC, 2006)

2.5.2.7 Líquido de frenos

El líquido de frenos es aquel componente del sistema de frenos que hace posible transformar la fuerza generada o producida al momento de pisar el pedal de freno en hidráulica, dicha fuerza repartida por cada una de las ruedas del vehículo, se reparte por cada una de las cañerías sin que haya aire o partículas de agua por el sistema; el líquido de frenos debe cumplir con características especiales según el tipo de vehículos, las cuales son las siguientes:

- Temperatura de ebullición alta.
- Temperatura de congelamiento baja.

- Contener propiedades anticongelantes.
- Contener propiedades anticorrosivas.
- Su viscosidad debe permanecer constante sea cual sea su temperatura de trabajo.
- Tiempo de vida útil prolongado se estima entre unos 60000 kilómetros (Conauto, 2015).



Figura 14. Líquido de frenos
(“ITACR.COM - Información Técnica Automotriz,” 2015.)

2.5.2.8 Tipos de líquidos de frenos

Existen diferentes tipos de líquidos de frenos en el mercado que por lo general se diferencian por la temperatura a la que alcanzan la ebullición; es decir, cuando el líquido empieza a alcanzar un estado gaseoso en base a un incremento en la temperatura. Se puede diferenciar líquidos de freno con intervalos de cambio más extendidos que otros en donde se encuentra lapsos que van desde un año hasta tres años según como actúe la humedad del líquido, figura 15 (Conauto, 2015).



Figura 15. Líquidos de freno
(“ITACR.COM - Información Técnica Automotriz,” 2015.)

2.6 MECANISMO DE FRENOS DE DISCO

Los frenos de disco son un sistema utilizado en la actualidad puesto que una parte móvil (disco de freno) que es solidaria a la rueda gira y es sometido a rozamiento de las superficies de un elemento (pastillas) que es capaz de resistir altas temperaturas y es capaz de transformar la energía en movimiento produciendo calor, todo esto originado por el auto para detenerlo en su totalidad o reducir su velocidad según sea el caso (Rueda Santander, 2010).

El mecanismo se asimila mucho al de frenos de tambor con la gran diferencia de que el espacio de frenado es menor y las propiedades térmicas de los discos son mejores para detener o reducir la velocidad del vehículo en tiempos más cortos. A continuación en la figura 16 el despiece del mecanismo de frenos de disco.

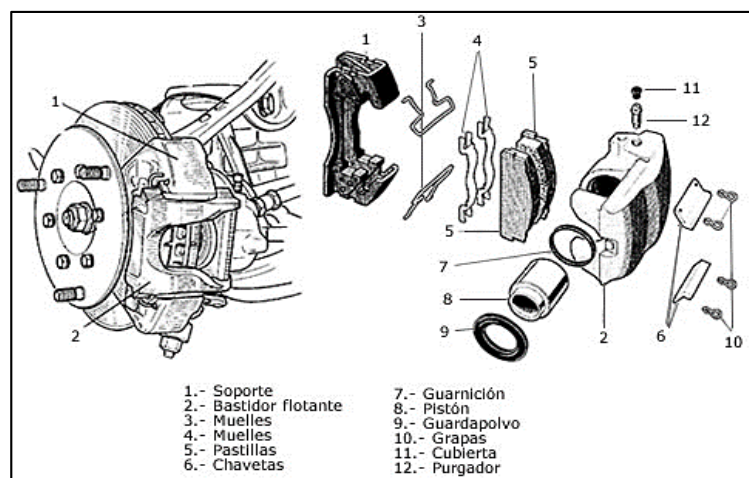


Figura 16. Freno de disco
(Alonso, 2010)

2.6.1 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS DISCOS DE FRENO

La composición principal para fabricar los discos de freno es la fundición gris, que contiene entre un 92% y un 93% de hierro, además de otros componentes básicos como el silicio o el manganeso, que le aportan la propiedad de garantizar unas prestaciones adecuadas durante el periodo de vida del disco (Alonso, 2010).

En la siguiente tabla 2 se puede observar los valores de resistencia y dureza para los discos fabricados en fundición:

Tabla 2. Valores de resistencia y dureza para los discos de freno de fundición

Valores de resistencia y dureza de discos fabricados por fundición gris	
Resistencia a tracción	Dureza
240 N/mm ²	170-250 HB

(BOSCH, 2005)

De igual forma la adición de carbono a la fabricación de discos de freno le brinda las siguientes mejoras:

- Optima conductividad térmica.
- Minimiza la posibilidad de vibraciones.
- Reducción de ruidos debido a un mayor coeficiente de amortiguación.
- Mayor resistencia a la deformación.
- Mayor resistencia a la aparición de micro-fisuras por recalentamiento.
- Mayor seguridad de frenado y mejor desempeño de todo el sistema de freno (Navarro Martin & Agueda José, 2002).

2.6.2 COMPONENTES DEL MECANISMO DE FRENOS DE DISCO

Los frenos de disco comparten ciertos elementos constitutivos con el mecanismo de frenos accionados por tambor los cuales son:

- Cañerías.
- Bomba principal.
- Servofreno.
- Líquido de frenos.

Dichos elementos cumplen funciones similares en el proceso de frenado tanto en el mecanismo de tambor como en el de disco, con el fin único entre sí de llevar el líquido por todas las tuberías para accionar el mecanismo y frenar.

Por su parte, el freno de disco está formado por un disco que se une solidario al buje de la rueda o forma parte de él, el mismo se encuentra

girando con la rueda y conformando el elemento móvil de frenado, se constituye también de una mordaza sujeta al puente o mangueta en cuyo interior se forman los cilindros por los que se desplazan los pistones que a su vez desplazan a las pastillas de freno para producir el frenado del vehículo (Rodríguez Galbarro, 2015).

2.6.2.1 Pastillas de freno

Como se sabe, el sistema de frenos transforma la energía cinética del auto en calor y movimiento para detener al vehículo; ese cambio de energía se lo obtiene gracias a que unos elementos denominados pastillas de freno entran en contacto con el disco de freno movido por los cilindros de las mordazas, los cuales aprietan a la pastilla contra el disco produciendo fricción y deteniendo a la rueda que se encuentra en movimiento.

En la figura 17 se observa las partes constitutivas de una pastilla de freno (BOSCH, 2005).

Las pastillas de freno tienen diferentes propiedades según sea el uso de las mismas, comúnmente son utilizadas las pastillas con contenido de carbono.

Las pastillas de freno hablando de su composición poseen las siguientes propiedades:

- Las cargas minerales.- Son las que le brindan resistencia mecánica a la pastilla de freno, aportan resistencia a la abrasión, cortadura, y le permite soportar altas temperaturas.
- Componentes metálicos.- estos componentes hacen semejante tanto el coeficiente de fricción como la transferencia de calor de la pastilla a la mordaza, entre los más comunes y utilizados se tiene: latón, cobre, bronce entre otros.
- Los materiales orgánicos.- Sintetizan el resto de los materiales, fluyen y unen el resto de componentes y lo polimerizan cuando alcanzan una determinada temperatura, las más elementales son: las resinas fenólicas, termo endurecibles, cauchos, ceras, aceites.

- Los abrasivos.- Aumentan de forma considerable el coeficiente de fricción y a su vez limpian el disco de freno (Rodríguez Galbarro, 2015).

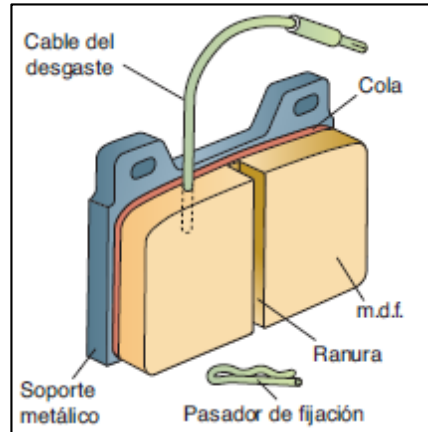


Figura 17. Pastilla de freno
(Alonso, 2010)

2.6.2.2 Mordazas

Las mordazas o técnicamente conocidas como calipers son los elementos que alojan a las pastillas, por su construcción sirven como soporte para las mismas. A su vez también alojan a los actuadores hidráulicos los cuales son los que con la fuerza ejercida por el pedal de freno y cuando la bomba principal envía el líquido de frenos por los latiguillos, estos actuadores hacen que las mordazas se desplacen y se pueda detener el disco que se encuentra girando, como se observa en la figura 18 (Águeda, 2002).

Dichas mordazas están siempre sometidas a grandes cargas de esfuerzos como: altas temperaturas, altas vibraciones y otros factores que afectan a su desempeño directamente (Garriz José & Muruganen Placido, 2011).

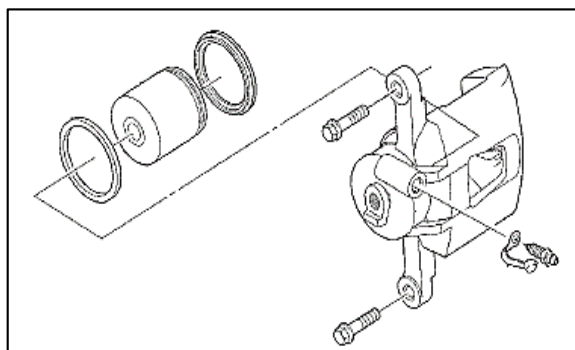


Figura 18. Mordaza de freno
(BOSCH, 2005)

2.6.2.3 Actuador hidráulico

Son pistones que se accionan por fuerza hidráulica, la cual es generada en la bomba principal de freno, estos elementos son aquellos que cumplen la función de desplazar los pistones alojados en su interior contra las pastillas de freno, que a su vez se desplazarán contra el disco de freno accionados por el desplazamiento de las mordazas de freno las cuales alojan a dichos cilindros y a su vez a las pastillas de freno que se encuentran en rozamiento con el disco de freno y de esta forma detener el vehículo parcial o completamente (CEAC, 2006). Como se puede visualizar en la figura 19.

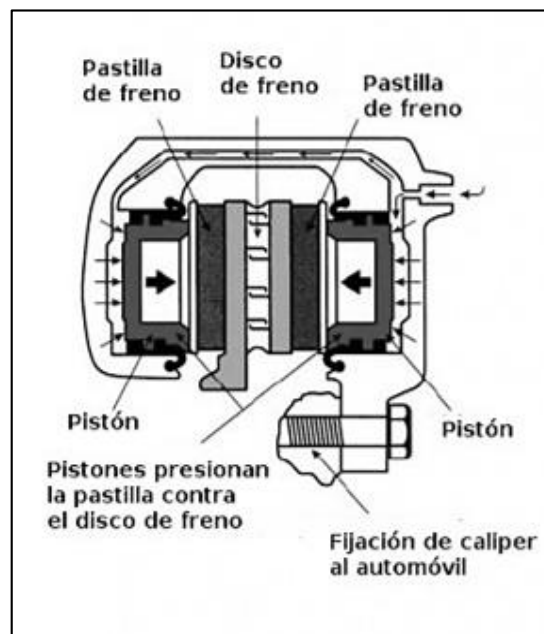


Figura 19. Actuador de freno hidráulico.
(Rueda Santander, 2010)

2.7 TIPOS DE DISCOS DE FRENO

Los discos de freno según su estructura, propiedades, diseños y utilización pueden ser:

- Clásicos
- Ventilados
- Perforados
- Estriados
- Cerámicos (Oliveros Juan Carlos, 2012).

2.7.1 DISCOS DE FRENO MACIZOS

Fueron los primeros discos en fabricarse ya que eran de bajo costo de producción. Eran sólidos y no poseían ningún tipo de ventilación por lo que eran propensos a sobrecalentarse y fracturarse por el exceso de temperatura, por lo que no permitían un frenado adecuado y las pastillas tendían a cristalizarse, figura 20 (Rodríguez Galbarro, 2015).



Figura 20. Disco de freno macizo
(Casado, 2012)

2.7.2 DISCOS DE FRENO VENTILADOS

Los discos ventilados son la unión de dos discos solidos pero, con la particularidad de que en la mitad existen separaciones de modo que el aire pueda circular por los mismos facilitando su ventilación y evacuación de calor, a su vez también evitando que sufran recalentamientos y fracturas; son el tipo de discos más usados en la actualidad por su costo razonable y por el hecho de que se los puede rectificar luego de un tiempo adecuado de trabajo, los mecanismos de disipación de calor suelen ser mediante canales en la mitad del disco entre el disco externo y el interno, lo que permite que el aire fluya por el interior del disco disipando el calor y a su vez refrigerando el sistema, en la figura 21 se observa la estructura de un disco de freno de este tipo (Domínguez & Ferrer, 2012).



Figura 21. Disco de freno ventilado
(Rueda Santander, 2010)

2.7.3 DISCOS DE FRENO PERFORADOS

Este tipo de discos poseen en su geometría, perforaciones específicas y previamente calculadas por toda su superficie con el fin de evacuar de mejor forma el calor, el agua y polvo, a su vez también enviar aire fresco a las pastillas de freno, evitando cristalizaciones y excesos de temperatura en el sistema figura 22.

Normalmente se utilizan en autos de gama alta y en autos modificados para competencia puesto que, como se mencionó anteriormente disipa de mejor forma el calor, son más livianos, se disminuye la superficie de contacto y hay menos rozamiento lo que permite una frenada más eficiente y a su vez reducción en tiempos y distancias de frenado (Hermógenes Gil, 2006).



Figura 22. Disco de freno perforado
(Tammek, 2014)

2.7.4 DISCOS DE FRENO ESTRIADOS

Estos discos se puede decir que están dentro de los "perforados" ya que la finalidad del estriado o rayado es mejorar la refrigeración de los mismos. El estriado tiene como función principal disipar el aire caliente generado al momento de frenar y posteriormente limpiar la pastilla de polvo, a su vez también crear una superficie idónea para el frenado, con la única desventaja que desgasta más rápido la pastilla. Este tipo de discos son utilizados en motocicletas por lo general, en la figura 23 se puede ver la estructura de un disco estriado (Tammek, 2014).

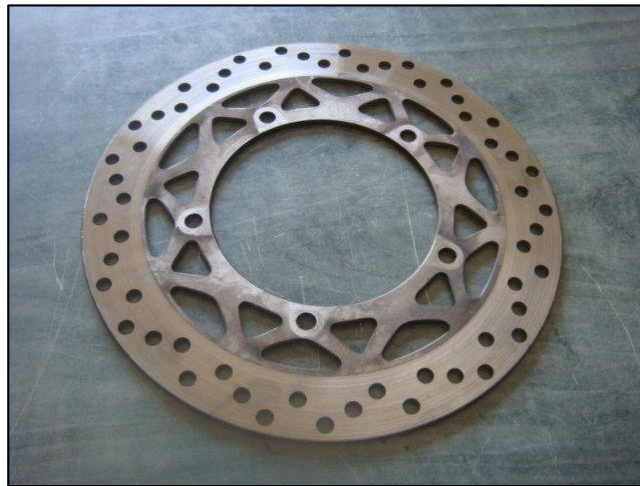


Figura 23. Disco de freno estriado
(Twenga.es.2016)

2.7.5 DISCOS DE FRENO CERÁMICOS

Estos discos en un principio fueron creados y utilizados en la aviación, posteriormente hasta el día de hoy se los utiliza en la F1 y en autos de altas prestaciones ya que la función de los discos se da proporcionalmente de acuerdo a la potencia del auto; su estructura está hecha de una parte de carbono y otra de cerámica puesto que estos materiales tienen alta resistencia a elevadas temperaturas, las pastillas utilizadas con este tipo de discos deben ser también cerámicas para un adecuado frenado del vehículo. figura 24 (Foro Honda, 2012).



Figura 24. Disco de freno cerámico
(Foro Honda, 2012)

2.8 SISTEMA DE FRENOS ANTIBLOQUEO (ABS)

El sistema de frenos ABS (Antilock Braking System) fue creado para reducir los accidentes puesto que este sistema impide que las ruedas se bloqueen cuando se presiona a fondo el pedal de freno a altas velocidades, de manera que posteriormente se pueda seguir teniendo control sobre el vehículo. Esto es factible ya que en cada rueda se encuentra un sensor de revoluciones que va conectado a una unidad de control monitoreando las revoluciones de cada una de las ruedas y comparándolas con la velocidad el mismo para cuantificar la presión de frenado según sea el requerimiento (Santiago Calderón, 2015).

Sobre un pavimento que se encuentre húmedo permite que el agua drene por los labrados o estrías de los neumáticos con la finalidad de evitar que las ruedas no giren y que el vehículo se deslice por la calzada sin control alguno (Rueda Santander, 2010).

Las principales ventajas de los sistemas antibloqueo de freno son:

- No hay pérdida de la estabilidad direccional durante el frenado.
- Control de la dirección aún en frenadas de emergencia.
- Distancia de frenado más corta.
- Reducción en el desgaste de los neumáticos (Domínguez & Ferrer, 2012).

En la figura 25, se puede observar el mecanismo de frenos antibloqueo y cada uno de sus componentes.

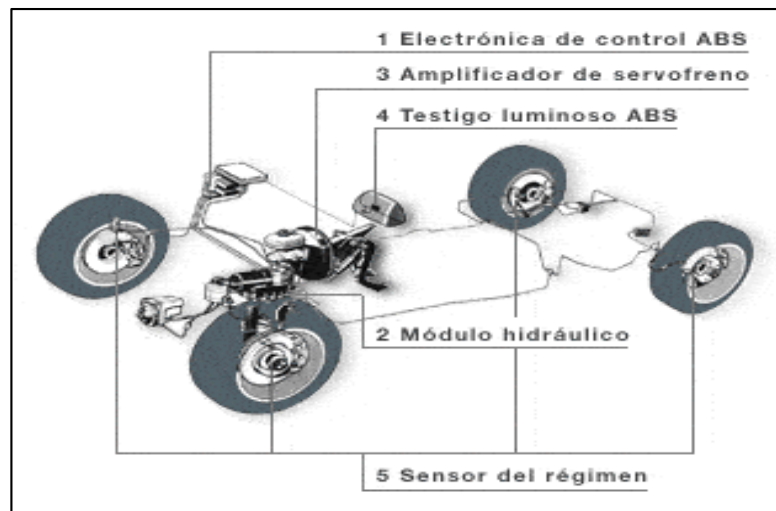


Figura 25. Sistema de frenos ABS
(BOSCH, 2005)

2.9 ESTUDIO DINÁMICO DEL PROCESO DE FRENADO

El frenado de un automóvil es una consecuencia de la acción de las fuerzas de rozamiento desarrolladas por los frenos, que combinadas con la resistencia a la rodadura, resistencia opuesta por el aire y la acción de frenado del motor, reducen la velocidad del vehículo. En la acción de frenado, el vehículo es retenido en su movimiento por unas fuerzas horizontales F_1 y F_2 aplicadas a las ruedas. La velocidad del mismo decrece en cada unidad de tiempo una cantidad constante que se denomina deceleración (a), medida en m/s^2 , en la figura 26 se puede ver el diagrama de cuerpo libre de un vehículo.(Alonso, 2010).

Es importante mencionar que para empezar el estudio dinámico del sistema de frenos hay que conocer algunos parámetros fundamentales que nos servirán para los cálculos posteriores, dichos parámetros son los de conocer el valor de la presión ejercida por la bomba de freno, el valor del área de contacto que se genera por la pastilla de freno con el disco de freno, y de igual forma el valor de la fuerza de frenado generada en el pedal, puesto que los cálculos de estas expresiones nos dan una pauta para poder conocer y calcular la eficacia que se genera en el sistema de frenos.

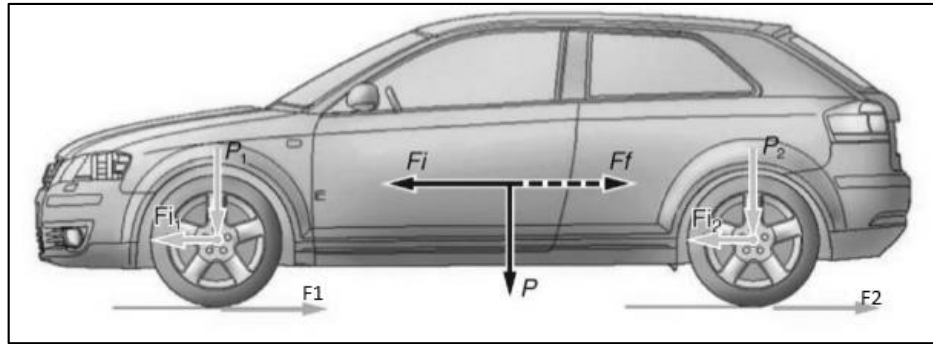


Figura 26. Fuerzas desarrolladas por los frenos
(Izquierdo, López, Mindán, & Alvarez, 2005)

2.9.1 FUERZA DE FRENADO Y ADHERENCIA

La fuerza de frenado (F_f) que hay que aplicar a un vehículo para disminuir su velocidad o detenerlo nos viene dado en función de la presión (P) del sistema, del área de la pastilla de freno que se encuentra en contacto, y del coeficiente de adherencia en las ruedas (μ). (Casado, 2012).

Para el caso de la pastilla de freno se debe calcular su área para lo cual se tiene, la ecuación [1]:

$$\text{Área pastilla} = \frac{b \times h}{2} \quad [1]$$

Donde:

b : Base de la pastilla de freno, (m)

h : Altura de la pastilla de freno, (m)

La Fuerza de frenado viene determinada por la siguiente ecuación [2]:

$$F_f = \mu \times (P \times A) \quad [2]$$

Donde:

F_f : Es la fuerza de frenado, (N)

P : Presión del sistema, (Pa)

μ : Coeficiente de adherencia en las ruedas, (adimensional).

A : Área de la pastilla de freno (m^2).

Es importante mencionar que se asume el valor de la presión, en esta ocasión el valor adecuado y escogido es de 20 bar valor asumido para vehículos estándar y 21 bar, e este caso para vehículo modificado, dado que estos valores hacen referencia a las presiones que se generan en un vehículo tipo turismo en donde se alcanza el valor antes mencionado (Domínguez & Ferrer, 2012).

El coeficiente de adherencia en las ruedas está en función del desgaste de los neumáticos y del estado del terreno sobre el que se desplaza el vehículo. A continuación se observan algunos de los principales valores del coeficiente de adherencia (μ) mencionados.

En la Tabla 3, con respecto también al estado de la carretera.

Tabla 3. Coeficiente de adherencia en función de la clase de pavimento y el estado de los neumáticos

Naturaleza de la carretera	Estado	Neumáticos nuevos	Neumáticos usados
Hormigón	Seco	1.00	1.00
	Mojado	0.7	0.5
Asfalto grueso	Seco	1.00	1.02
	Mojado	0.7	0.5
Asfalto normal	Seco	0.6	0.6
	Mojado	0.5	0.3
	Barro	0.2	0.1
	Hielo	0.05	<0.05

(CEAC, 2006)

De igual forma existen valores de resistencia a la rodadura que son idóneos para tomar en cuenta cuando se realiza un estudio de la dinámica de frenado y cuando se va a modificar el sistema antes mencionado.

Hay que tomar en cuenta que no todos los tipos de vehículos tienen la misma resistencia a la rodadura y que los sistemas de freno son diseñados con estos valores dinámicos.

En la Tabla 4, se presentan los valores de resistencia ala rodadura de algunos tipos de vehículos con respecto a la superficie.

Tabla 4. Valores de resistencia a la rodadura

Tipo de vehículo	Superficie		
	Hormigón o asfalto	Dureza media	arena
TURISMOS	0.015	0.08	0.30
CAMIONES	0.012	0.06	0.025
TRACTORES	0.02	0.04	0.20

(Hibbeler, 2011)

2.9.2 FUERZA DE FRENADO EN EL PEDAL

Para el cálculo de la fuerza de frenado en el pedal, hay que considerar algunos parámetros importantes, los cuales se aplican de forma general para los vehículos tipo turismo, por lo tanto se dice que el torque ejercido por el pedal duplica la fuerza ejercida sobre el mismo a 4.5 veces la fuerza inicial que se aplica el momento de pisar el pedal de freno, el servofreno aumenta 8.5 veces la fuerza que sale del torque generado por el pedal y el cilindro maestro aumenta cinco veces la fuerza del servofreno (Gaibor & Núñez, 2014).

Por lo tanto, la ecuación [3] queda de la siguiente forma:

$$F_{pedal} = \frac{F_f}{F_p \times F_s \times F_c} \quad [3]$$

Donde:

F_{pedal} : Fuerza del pedal, (N)

F_f : Fuerza de frenado, (N)

F_p : Fuerza de torque del pedal, (N)

F_s : Fuerza producida por el servofreno, (N)

F_c : Fuerza del cilindro maestro, (N)

2.9.3 REPARTO DE LA FUERZA DE FRENADO

Cuando un vehículo el cual se encuentra en movimiento es frenado, la fuerza de inercia I aplicada a su centro de gravedad G , forma con las fuerzas de frenado F_1 y F_2 un par, el cual obliga al vehículo a inclinarse hacia debajo de su parte delantera, mientras que en la trasera ocurre lo contrario, en la figura 27, se puede observar el diagrama de cuerpo libre del vehículo en donde se visualiza la distribución de todas las fuerzas que intervienen en el accionamiento del sistema de frenos de un vehículo tipo turismo que va a ser modificado (Alonso, 2010)..

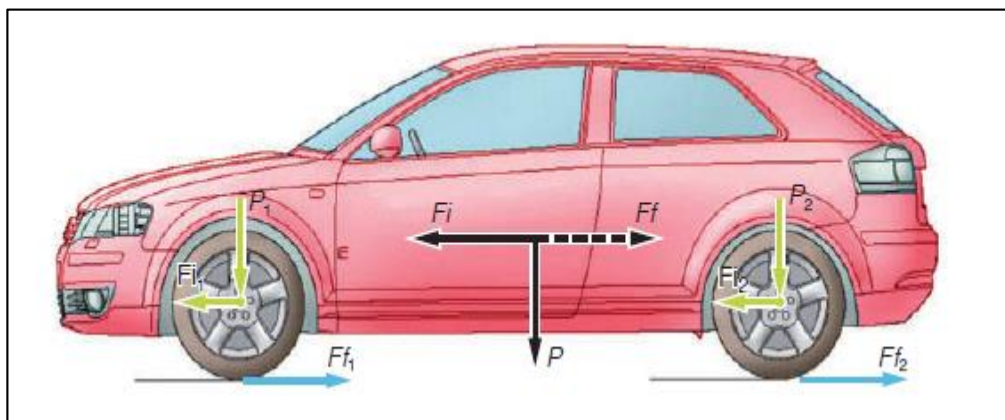


Figura 27. Reparto de fuerza de frenado
(Alonso, 2010)

El valor del peso transferido al eje delantero suele ser aproximadamente el 20% del peso total del vehículo, calculándose en la mayoría de los casos por las ecuaciones [4] y [5] respectivamente:

$$Ff1 = P1 \times \mu \quad [4]$$

$$Ff2 = P2 \times \mu \quad [5]$$

Donde:

$Ff1$: Fuerza de frenado en el eje delantero.

$Ff2$: Fuerza de frenado en el eje posterior.

$P1$: Peso del vehículo en el eje delantero.

$P2$: Peso del vehículo en el eje posterior.

El aumento del peso que carga sobre el eje delantero en las frenadas se toma muy en cuenta en los estudios para desarrollo del sistema de suspensión, brindándole la rigidez necesaria para soportar estos esfuerzos sin sufrir roturas ni deformaciones. Por todo esto la fuerza de frenado debe estar repartida entre los ejes con relación al peso soportado por los mismos, lo cual depende de la distribución de los diferentes mecanismos del vehículo, como motor, caja de velocidades, depósito de combustible etc., al igual que la transferencia de peso al frenar, peso total del vehículo y la distancia entre ejes (Vaca Solís, 2014).

Se dice que un vehículo está dotado de un buen sistema de frenos, cuando la eficacia del mismo es de alrededor un 80%. Si este dato es menor de un 50%, los frenos son considerados inservibles e insuficientes (Domínguez & Ferrer, 2012).

Como el grupo moto propulsor del vehículo es la parte de más peso es reparto de pesos entre los ejes depende de ello, por lo tanto el peso total queda repartido entre los ejes de la siguiente manera:

- Motor delantero y propulsión trasera: el 50% para cada eje
- Motor y tracción delantera: el 60% en el eje delantero y 40% en el trasero.
- Motor y propulsión traseros: el 40% en el eje delantero y el 60% en el trasero.

2.9.4 TIEMPO DE FRENADO

El tiempo de frenado hace referencia al tiempo que tarda un vehículo en desacelerar progresivamente hasta detenerse en función de la fuerza que actúa sobre el pedal a diferentes rangos de velocidades,

La expresión para su cálculo se muestra a continuación en la ecuación [6]:

$$Tf = m \times \gamma f \times \frac{1}{Ff + m \times g \times \sin \theta + m \times g \times Fr} \times (v1 - v2) \quad [6]$$

Deduciendo que, la expresión $m \cdot g \cdot \sin \theta = R_g$, es la resistencia gravitatoria θ , es el ángulo de descenso en este caso el ángulo es negativo R_g y también, por lo que dicha resistencia se vuelve una fuerza propulsora, en caso de ascenso el ángulo es positivo R_g y también lo es, aquí esta resistencia se opone al movimiento y es una fuerza opositora, γf = factor de masas rotativas que es igual a 1.05 (Gaibor & Núñez, 2014).

2.9.5 EFICIENCIA DE FRENADO

La eficiencia de frenado depende del peso del vehículo y la fuerza de los frenos. Calcular la eficiencia de frenado nos sirve para averiguar si los frenos funcionan correctamente o se necesita ser cambiado algún elemento del sistema y así prevenir algún accidente. Dicha eficiencia se la obtiene dividiendo el peso del vehículo por el esfuerzo de frenado total, y después multiplicar el número por 100 para obtener el porcentaje de eficiencia del freno, como se observa en la ecuación [7] (Alonso, 2010).

$$Ef = \frac{P}{F_f} \times 100 \quad [7]$$

Donde:

Ef : es la eficiencia de frenado, (%).

P : Presión de la bomba principal, (Pa).

F_f : Fuerza de frenado del sistema, (N).

2.9.6 DISTANCIA DE PARADA

Se llama así al espacio recorrido por el vehículo desde que se accionan los frenos mediante el pedal hasta que se detiene completamente. La distancia de parada depende de la presión que se ejerza sobre el pedal del freno (fuerza de frenado), de la fuerza de adherencia del neumático con el suelo, de la velocidad del vehículo al momento de frenar, etc. (Rueda Santander, 2010).

Una de las fórmulas utilizadas para su cálculo, sin tener en cuenta la fuerza del circuito, más bien conociendo su deceleración, la velocidad final del vehículo, teniendo una buena adherencia del neumático y a su vez ejerciendo la máxima presión sobre el pedal de freno es la que se expresa en la siguiente ecuación [8]:

$$d = \frac{v^2}{2a} \quad [8]$$

Donde:

d : Es la distancia de parada, (m)

v : Es la velocidad del vehículo, (km/h)

a : Es la desaceleración del vehículo, (m/s²) que a su vez se calcula de la siguiente manera con la ecuación [9]:

$$a = \frac{F_f}{m} \quad [9]$$

Donde:

F_f : Es la fuerza de frenado del sistema (N)

m : Es la masa del vehículo (kg)

Dando valores a esta fórmula, con una eficacia de frenada calculada, se puede representar los valores obtenidos en una gráfica como la que se muestra a continuación, es importante saber que se calcula esta distancia a diferentes rangos de velocidad con el fin de evidenciar como la distancia se incrementa a medida que se aumenta la velocidad en el vehículo, más aun cuando es conducido en competencia en circuito en donde se requiere recortar dicha distancia sea cual sea la velocidad a la cual se esté conduciendo el vehículo de competencia y directamente proporcional a la disminución de la distancia, también recortar tiempos de frenado.

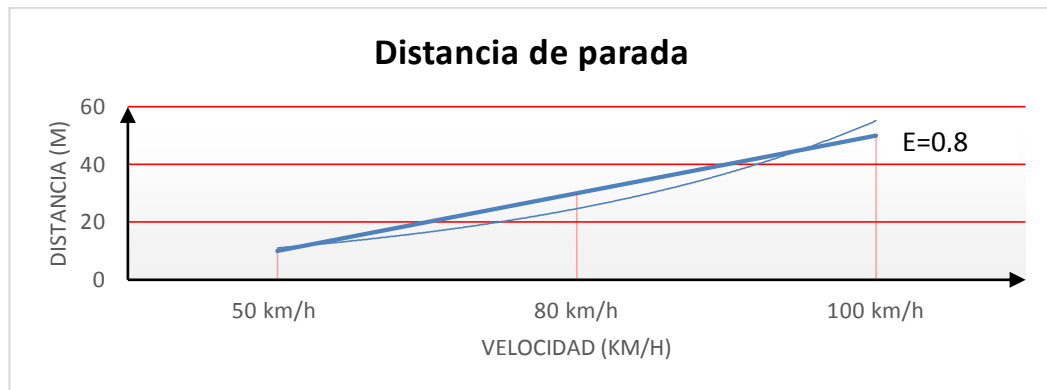


Figura 28. Grafica de distancia de parada en función de la velocidad del vehículo.

Como se puede apreciar, la distancia de parada (D) no depende para nada del peso del vehículo (a mayor peso hay más adherencia), sino del cuadrado de la velocidad y de la eficacia de los frenos. Por ello la distancia de parada es igual para un vehículo pesado que para un turismo, siempre y cuando la velocidad y la eficacia de los frenos sean las mismas (Alonso, 2010)

2.10 ESTUDIO DE FACTORES TÉRMICOS EN EL PROCESO DE FRENADO

Para el análisis térmico del sistema de frenos hay que tomar en cuenta algunos factores importantes como determinar la energía y potencia disipada en el proceso de frenado; posteriormente es idóneo que se considere al sistema de frenos a más de detener el vehículo también considerar la capacidad de frenar las masas que se encuentran en rotación, para lo cual se considera un factor importante que es el coeficiente de masas rotativas que para el caso de los frenos tiene un valor de 1.05 (adimensional) (Orovio, 2010)

2.10.1 ENERGÍA DISIPADA POR LOS DISCOS DE FRENO

La disipación de energía por medio de los frenos, tiene que ser igual a la energía cinética que poseen los vehículos cuando están en movimiento. La energía de frenado viene dada por la siguiente ecuación: (Orovio, 2010)

$$Ed = \gamma f \times m \times \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2} \quad [10]$$

Donde:

Ed : Es la energía que disipa el sistema de frenos, en (J)

γf : Es el factor de masas equivalentes (adimensional)

m : Es la masa del vehículo, en (kg)

2.10.2 POTENCIA DISIPADA POR EL SISTEMA DE FRENOS

Para el cálculo de la potencia disipada se debe tomar en consideración que el motor no actúa como freno. Como se sabe, generalmente en una frenada de emergencia no solo se acciona el freno, sino también el embrague ya que desarticula las masas de rotación de la transmisión (Cengel & Michael A, 2012). Por lo tanto la potencia queda expresada en la siguiente ecuación:

$$H = (\gamma f \times m \times a + m \times g \times \text{sen}\theta) \times v \quad [11]$$

Donde:

a : es la deceleración del vehículo.

$\text{sen}\theta$: es el ángulo de descenso que se presenta a diferentes intervalos de velocidad.

g : es la aceleración de la gravedad, 9.8m/s^2 .

m : es la masa del vehículo en kg.

v : es la velocidad final del vehículo, para este caso se toma en cuenta una velocidad de referencia de 100km/h .

2.10.3 INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LOS DISCOS DE FRENO

La potencia que se disipa en el sistema de frenos proviene de la energía cinética y potencial del vehículo, la misma es transformada en energía calorífica, que se generara en un corto tiempo (Pread y Vc. Reid, 2013).

Para obtener un funcionamiento óptimo del sistema de frenos, el calor que se genera en el mismo debe evacuarse lo más rápido posible, para que las frecuentes frenadas no produzcan un exceso de temperatura y así perder la seguridad y eficacia del sistema.

En el caso de llegar a la temperatura de saturación, se perderá el coeficiente de fricción y por ende surgirá la aparición del fenómeno fading, en la Tabla 5, se presentan algunas propiedades termodinámicas que poseen los sistemas de frenos en general (Vaca Solís, 2014).

Tabla 5. Propiedades termodinámicas de los componentes del sistema de frenos.

ELEMENTOS	Energía calorífica K(J/sm°C)	Densidad P(kg/m ³)	Calor específico C(J/kg °C)
Disco de freno (fundición gris)	35.57	7100	460.24
Tambor de freno (hierro)	80.2	7870	447
Pastilla (carbón al silicio)	51.84	7817	669.4
Pastilla cerámica	62.48	7187	769.5
Zapata		2204	

(Gaibor & Núñez, 2014)

Para calcular la temperatura que alcanzará el disco de freno se utiliza la siguiente expresión referenciada en la ecuación [12]

$$\Delta T = \frac{Ec}{m \times C} \quad [12]$$

Donde:

ΔT : Es la diferencia de temperatura entre los discos y el ambiente, en (°C)

Ec : Energía cinética absorbida por un disco, en (J).

m : Masa del disco de freno, en (kg).

C : Calor específico del material del disco = 460.24 J/kg*°C.

2.10.4 PROBLEMAS A CAUSA DE LA TEMPERATURA EN EL SISTEMA DE FRENOS

2.10.4.1 Fading

Es la pérdida de eficacia de los frenos ante un uso sucesivo y prolongado. Este fenómeno se produce cuando el sistema no es capaz de disipar el calor provocado por la fricción de los distintos componentes del sistema de frenos (pastilla y disco o zapata y tambor). La resistencia algunos frenos al fading está muy relacionada con la manera de conducción, la calidad de los materiales y componentes utilizados en el sistema, en especial del líquido de frenos que se esté utilizando, además de la forma o tamaño de la llanta, ya que de ella depende la entrada de más o menos aire para refrigerar (Rueda Santander, 2010).

Un claro ejemplo donde se puede evidenciar este fenómeno es cuando se presenta una cuesta muy empinada y larga, donde el conductor por su parte excede el uso de los frenos para detener el vehículo. Cuando el vehículo se encuentra experimentando este fenómeno, el riesgo de sufrir un accidente crece considerablemente, ya que los elementos de fricción resbalan entre sí porque los frenos están sobrecalentados.

2.10.4.2 Judder

El fenómeno conocido como judder se experimenta debido a las vibraciones del sistema. Es decir, las vibraciones se vuelven, más perceptibles para el conductor.

El fenómeno judder puede ir acompañado por un ruido de baja frecuencia habitualmente (Gaibor & Núñez, 2014).

Existen dos tipos de este fenómeno:

- Judder frio (cold judder): en este tipo de judder las vibraciones son provocadas por imperfecciones en los discos ya sea de fabricación o

de montaje, todos estos factores provocan deformaciones en los discos de freno (Orovio, 2010).

- Judder caliente (hot judder): se da cuando existen frenadas bruscas a altas temperaturas, debido a que a altas velocidades las frenadas se alargan por mucho tiempo y la temperatura aumenta de manera considerable; por lo tanto Se produce hot judder cuando la fricción entre las pastillas con los discos es más elevada en alguna de las zonas del disco (Rueda Santander, 2010).

2.11 MODIFICACIONES EN LOS SISTEMAS DE FRENO

Los sistemas de freno instalados de fábrica en los vehículos son diseñados para una conducción en ciudad, es decir a velocidades moderadas, y a su vez para detener vehículos con motores standard.

Cuando se trata de modificar el sistema de frenos, se mejora o a su vez se reemplaza ciertos elementos los cuales mejoran las prestaciones y eficiencia del sistema, dichos elementos son:

- Discos de freno: de preferencia perforados; con el fin de garantizar una evacuación de calor y agua, con el fin de mejorar la adherencia entre la pastilla y el disco de freno.
- Pastillas de freno de cerámica con el fin de evitar sobrecalentamientos, las pastillas de cerámica soportan altas temperaturas y poseen una mejor superficie de contacto.
- Bomba principal: de mayor tamaño capaz de resistir presiones superiores a las de fábrica del vehículo; en ocasiones se utiliza bombas de freno de vehículos más grandes del que se va a modificar, por la razón de que vehículos grandes generan más presión en su sistema de frenos.
- Tuberías: por lo general se cambia todas las cañerías del sistema por unas de acero reforzado con el fin de garantizar la trayectoria del fluido hacia las ruedas del vehículo y garantizar un frenado preciso.

- Líquido de frenos: se lo cambia por un líquido que soporte un alto grado de ebullición por el hecho de que se cambió los componentes hacia los cuales va dirigido el fluido y como el sistema va a generar mayor presiones y temperaturas el líquido de frenos debe soportarlas sin evaporarse.

Cabe mencionar que todos estos elementos modificados o reemplazados poseen diferentes propiedades físicas, mecánicas y térmicas, en particular tanto la bomba principal de freno como las tuberías o cañerías pueden soportar presiones mayores a las presiones de fábrica del vehículo.

La razón técnica de cambiar el sistema de frenos posterior que originalmente es de tambor por uno de disco corresponde al hecho de que el vehículo sea repotenciado, en la parte del motor particularmente, o a su vez que sea sobrealimentado, si no es el caso, no se modifica el sistema y se conserva el mecanismo original en la parte posterior del vehículo.

Por el motivo que la tracción de la mayoría de vehículos es en la parte delantera, es decir que todo el peso del auto se va a dirigir hacia el eje delantero por lo que sería un gasto sin coherencia modificar el sistema de frenos posterior.

2.12 ESTATUTOS Y LINEAMIENTOS FEDAK CIRCUITO

La Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo Deportivo (FEDAK), es un organismo deportivo autónomo, de derecho privado, sin fines de lucro, ajena a toda influencia o tendencia política, religiosa, racial, con personería jurídica concedida por el Estado, sujeta a las leyes de la Republica, a los estatutos y reglamentos de los organismos nacionales y a su propio Estatuto y reglamentos.

La Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo Deportivo (FEDAK), es el organismo que planifica, dirige y ejecuta a nivel nacional el Deporte del Automovilismo y Kartismo Deportivo en todas sus modalidades, impulsando la formación competencia y el alto rendimiento de los deportistas de esta disciplina, para que representen al país en competencias

internacionales. La Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo Deportivo podrá ser reconocida en todos sus actos y con la misma validez por su denominación completa o por las siglas FEDAK (FEDAK, 2016).

2.12.1 REGLAMENTO COPA TURISMO MECANICA NACIONAL 2016

En el reglamento general, técnico y de seguridad de la copa turismo mecánica nacional 2016, establece e identifica todas y cada una de las modificaciones que se pueden realizar a un auto para competencia en circuito según su cilindraje, y a su vez las normas técnicas y de seguridad a seguir, ya que si no se cumple cualquier lineamiento que esté establecido en el reglamento de la copa no se puede participar en ninguna carrera, sin excepción alguna así sea el más mínimo detalle o a su vez si fuere el caso el conductor y el vehículo sufren penalización en cuanto a sus tiempos de carrera.

Este reglamento se creó con el fin de fomentar las competencias automovilísticas de velocidad en pista. Como se involucran participantes de Ecuador y Colombia se ha tratado de unificar criterios en cuanto a la reglamentación y estatutos. Dicho campeonato de circuitos se lo lleva a cabo en Ecuador, Ibarra, Yaguarcocha, en el AUTODROMO INTERNACIONAL JOSÉ TOBAR.

2.12.2 LINEAMIENTO MODIFICACION SISTEMA DE FRENOS

En cuanto al lineamiento para modificar el sistema de frenos en el reglamento de la copa turismo mecánica nacional se especifica que los componentes deben ser los originales, pero si se permite el uso de pastillas de mejor desempeño y/o discos perforados o ventilados. Este lineamiento es básico para poder realizar cualquier tipo de modificación en el sistema de frenos, cabe recalcar que no se especifica ninguna medida acerca de los componentes por lo que se puede variar las dimensiones de los discos o presiones de la bomba.

METODOLOGÍA

3 METODOLOGÍA

Considerando que el presente proyecto fue un proyecto de investigación y desarrollo, se parte del argumento inductivo en el caso de la revisión bibliográfica acerca de los diseños y la modificación del sistema de freno, de tal forma que se pudo desarrollar el conocimiento y deducir el funcionamiento del mismo para las modificaciones, basados en pruebas y estudios bibliográficos.

Posteriormente y conjuntamente con el método inductivo en el proyecto se utilizó el método teórico práctico, el cual se pondrá en funcionamiento en la etapa de pruebas del proyecto.

Partimos seleccionando el vehículo en el cual se iba a realizar las modificaciones, dicho vehículo es un automóvil Corsa Wind 1.3cc del año 1996.

Luego se analizó las modificaciones al sistema de frenos verificando los parámetros que el reglamento de la Copa turismo mecánica nacional nos permite realizar, con el fin de optimizar recursos y tiempo en la modificación. Posterior a la selección del vehículo y el reconocimiento de los estatutos se procedió a analizar las modificaciones basándose en cálculos dinámicos y térmicos para selección de elementos.

Para el cálculo de fuerza de frenado y adherencia se utilizó la ecuación [2]:

$$Ff = \mu \times (P \times A) \quad [2]$$

Luego se calcula la fuerza de frenado en el pedal, ecuación [3]:

$$F_{pedal} = \frac{Ff}{Fp \times Fs \times Fc} \quad [3]$$

De igual manera se calcula la fuerza de frenado en cada uno de los ejes:

$$Ff1 - 2 = P1 - 2 \times \mu \quad [4,5]$$

Posteriormente se calcula el tiempo de frenado con la ecuación [6]

$$Tf = m \times \gamma f \times \frac{1}{Ff + m \times g \times \sin \theta + m \times g \times Fr} \times (v1 - v2) \quad [6]$$

También se calcula la eficiencia de frenado con la ecuación [7]

$$Ef = \frac{P}{Ff} \times 100 \quad [7]$$

Luego se calcula la distancia de parada con la ecuación [8]

$$d = \frac{v^2}{2a} \quad [8]$$

En el análisis térmico se calculó la energía disipada por los discos, ecuación [10] y la potencia disipada por el sistema de frenos, ecuación [11]

$$Ed = \gamma f \times m \times \frac{(v1^2 - v2^2)}{2} \quad [10]$$

$$H = (\gamma f \times m \times a + m \times g \times \text{sen}\theta) \times v \quad [11]$$

Para la influencia de la temperatura en los discos utilizamos la ecuación [12]

$$\Delta T = \frac{Ec}{m \times C} \quad [12]$$

Luego de los cálculos se realizó pruebas con equipos de diagnóstico, los equipos utilizados en el proceso fueron dos. El frenómetro y el pirómetro. El frenómetro es un equipo de comprobación automotriz diseñado específicamente para realizar verificaciones del estado del sistema de frenos de un vehículo. Midiendo con una precisión exacta la fuerza máxima de frenado en los ejes delanteros, posteriores y freno de estacionamiento, de igual forma nos indica el porcentaje de eficiencia en cada uno de los ejes.

Utilizando unos rodillos para su funcionamiento, además de medir las fuerzas e frenado es capaz de verificar el estado del sistema de suspensión.

El pirómetro es un instrumento de diagnóstico digital, con el cual se puede realizar mediciones de temperatura a cualquier equipo o elemento constitutivo del auto, esto sin estar en contacto con el mismo, los rangos de medición son altos aproximadamente están sobre los 600°C.

Para este fin y básicamente en el campo automotriz permite medir temperaturas del motor, disco de frenos, temperatura del líquido refrigerante,

temperatura de caja de cambios, temperatura del habitáculo, temperatura de los neumáticos, entre otros.

Para la realización del proyecto se optó por hacer pruebas al sistema previo y posterior a su modificación; en primer lugar, lo que se realizó al sistema de frenos fue un examen visual en general, con el fin de diagnosticar el estado en cual se encuentran los mecanismos. Se realizó pruebas de diagnóstico sobre la eficiencia del sistema con la utilización del Frenómetro, dicha prueba se la realizó en un centro especializado en frenos.

Se realizó pruebas en pista, dichas pruebas se las realizó, para verificar la eficacia del sistema y tabular tiempos y distancias de parada a diferentes velocidades de conducción. Dichas pruebas fueron realizadas en el Autódromo internacional José Tobar, Yaguarcocha.

Los datos iniciales fueron los datos brindados por el fabricante en cuanto a los elementos del sistema de frenos, también se usó como referencia los datos obtenidos de la última revisión técnica del vehículo.

Ya para la modificación del sistema se seleccionó algunos elementos para sustituirlos y mejorarlos los cuales fueron los siguientes:

Los discos de freno perforados se los instaló en vehículo como base fundamental en la modificación del sistema de frenos puesto que es donde se soportaran la mayor cantidad de fuerzas generadas por el auto, su geometría ayuda en gran parte a que el calor generado por el sistema sea evacuado hacia el ambiente en un menor tiempo en comparación con el disco de freno ventilado, a su vez mejora la eficiencia de frenado puesto que hay mejor adherencia entre la pastilla y el disco propiamente dicho.

La bomba de freno se la reemplazó con el fin de generar mayor presión en el sistema, 21 bar aproximadamente, y que cuando se presione el pedal de

freno la fuerza con la que se activen los mecanismos de frenado sea mucho mayor que con la bomba con la cual viene el auto de fábrica, en ocasiones se suele cambiar tanto la bomba como el servofreno para generar mayor presión en el sistema y así necesitar menor fuerza de frenado.

El líquido de frenos instalado DOT5.1 tiene la capacidad de soportar un punto de ebullición más alto que el DOT 3 con el cual vienen los autos de fábrica y a su vez como soporta mayor punto de ebullición no se evapora ni se mezcla con agua y que no se pierda la eficacia del sistema.

Las pastillas de cerámica tienen la característica de soportar altas temperaturas y poseen un coeficiente de fricción más alto que las pastillas de carbono, por lo tanto se produce una fuerza de frenado más eficiente y por ende el vehículo se detendrá en un tiempo más corto sin sufrir recalentamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE FRENOS

El vehículo que seleccionado para realizar el proyecto fue un automóvil marca Chevrolet modelo Corsa Wind del año 1996, dicho vehículo en cuanto al sistema de frenos se encontraba totalmente estándar, este vehículo cuenta con un sistema de frenos de disco en la parte delantera y de tambor en la parte trasera, a continuación se especifica los datos técnicos del vehículo en cuanto a dimensiones de discos y tambores. En el ANEXO 1 se muestra los datos tecnicos generales del auto a modificar, para este caso en la Tabla 6 se muestran los datos técnicos con respecto al sistema de frenos del vehiculo Corsa Wind 1996.

Tabla 6. Especificaciones técnicas del sistema de frenos Corsa Wind 96.

Modelo del vehículo		1.3l	1.8 l
Pinza del freno			
	Diámetro del pistón	240mm	260mm
Disco de freno con ABS y sin ABS			
	Diámetro exterior	240mm	260mm
	Espesor - nuevo	20mm	24mm
	Espesor residual permisible después de rectificado	17,5mm	21,5mm
	Espesor mínimo	17mm 0,669 in	21mm 0,826
	Desvío lateral permisible	0,03mm	0,03mm
	Profundidad permisible ³ e las marcas	0,4mm	0,4mm
	Espesor no uniforme (tolerancia permisible)	0,001mm	0,001mm
Pastillas de freno			
	Espesor sin la placa de la pastilla - nueva	mm	11,3
	Espesor residual permisible sin las placas de las pastillas	mm	2,0

Tabla 6. Especificaciones técnicas del sistema de frenos Corsa Wind 96. Continuación
Servofreno

Versión de motor	Versión del servofreno	Diámetro en mm
1,3 l y 1,8 l	Membrana simple	228,6

Cilindro principal del freno

Motor	Diámetro nominal en mm
1,3 l e 1,8 l	22,22 mm

Fluido de freno

Especificación:	Fluido para freno DOT4 AC Delco.
Intervalo de cambio:	Cada 30.000 km o 2 años
Capacidad:	Aproximadamente 0,4 Litros

Tambor del freno trasero

Diámetro nominal	200mm
Ancho	28mm

(Manual del taller Chevrolet Corsa, 2014)

4.2 VERIFICACIÓN DEL SISTEMA DE FRENOS

Como primer paso se procedió a realizar una verificación visual de todo el sistema de frenos en general, para identificar el estado actual de los elementos constitutivos, a su vez se verificó si existía alguna fuga en el sistema para posteriormente analizar la factibilidad de su reemplazo considerando los análisis dinámicos y térmicos para seleccionar cualquier elemento.

4.2.1 INSPECCIÓN DISCOS DE FRENO

En primer lugar se procedió a realizar una inspección visual de los discos de freno, los mismos que se encontraban con desgaste excesivo provocado por recalentamiento de los mismos, y por la fricción que se origina en el sistema, es importante recalcar que los discos fueron reemplazados por unos de mejores especificaciones técnicas. En la figura 29, se puede observar el

estado en el cual se encontraban los discos de freno ventilados y con los cuales estaba funcionando el sistema originalmente.

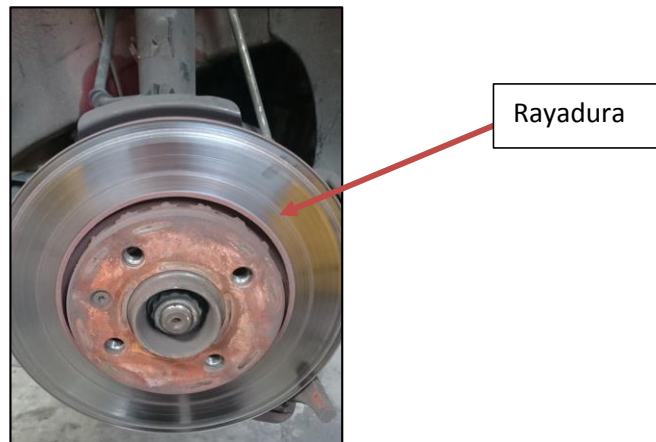


Figura 29. Disco de freno con desgaste y recalentamiento.

De igual forma se mide el espesor actual del disco y se lo compara con los datos del fabricante para establecer si el disco puede ser rectificado o a su vez reemplazado. La toma de medidas se la puede observar en las figuras 30 y 31 respectivamente.



Figura 30. Medición de espesor de disco de freno N° 1



Figura 31. Medición de espesor de disco de freno N°2

4.2.2 DESMONTAJE SISTEMA DE FRENOS

Como primer paso se desmontó cada una de las ruedas del vehículo para poder acceder a los elementos constitutivos del sistema ayudado de la herramienta adecuada.

Luego se procedió a desmontar el conjunto de las mordazas de freno para posteriormente desmontar las pastillas y así poder sacar los discos de freno para su reemplazo. Luego de desmontar estos elementos se verifica el estado de las cañerías y se inspecciona si existe alguna fuga en el sistema, todo esto ayudado de las herramientas adecuadas.

Luego de desmontar el conjunto de frenos delantero se procedió a desmontar el conjunto de frenos posterior y de igual forma se verificó el estado actual del sistema en donde se evidenció que algunos de los elementos se encontraban en mal estado por lo que se los reemplazó.

Consecuentemente se limpió los elementos evitando la formación de óxido en los mismos y evitar problemas en el rendimiento del sistema. Todos estos pasos se los puede evidenciar en el ANEXO 4.

4.2.3 MONTAJE SISTEMA DE FRENOS

Luego de haber limpiado los elementos y reemplazado los que habían cumplido su vida útil se procedió a montar cada uno de los elementos ayudado de la herramienta adecuada, comenzando por el mecanismo de tambor montando el conjunto de zapatas de freno y el tambor de freno.

Posteriormente se montó el mecanismo de frenos delantero instalando los discos de freno perforados para luego implementar el conjunto de mordazas de freno para luego montar las pastillas de freno cerámicas.

Por último se adicionó el nuevo líquido de frenos DOT 5.1 y se purgó el sistema evitando formación de aire en el mismo y de igual forma se verificó que no exista ningún tipo de fuga en el sistema, garantizando su funcionamiento. Procedimientos que se los puede observar en el ANEXO 4

4.2.4 VERIFICACIÓN BOMBA PRINCIPAL DE FRENO

Luego de haber verificado el estado de los elementos friccionantes del sistema de frenos y a su vez cambiado los elementos necesarios se procedió a verificar el estado en el cual se encontraba la bomba principal de freno, que como se vio en la teoría es el elemento encargado de distribuir el líquido de frenos basándose en el principio de Pascal hacia cada una de las ruedas del vehículo, y asegurando que exista presión en el sistema multiplicando la fuerza generada por el pedal de freno, y en conjunto con el servofreno suavizar el frenado del vehículo.

Para su correcta verificación se desmontó la bomba principal ayudados de la herramienta adecuada, desconectando cada una de las cañerías que en este caso son cuatro.

Luego se desconectó el sensor del depósito y a su vez se desmontó el depósito del líquido de frenos, y de igual forma se la saco de su conexión con el servofreno, para poder desmontarla con facilidad; los procedimientos antes mencionados se pueden observar en las figuras 32 y 33 respectivamente.

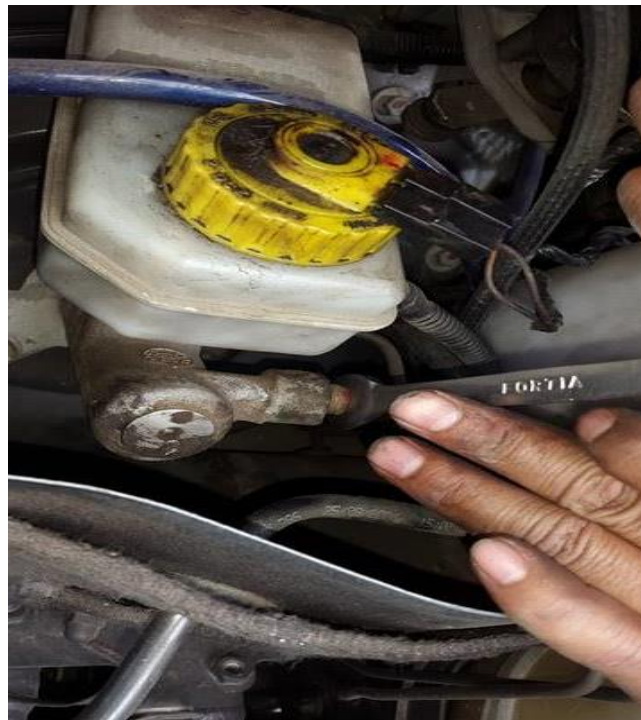


Figura 32. Desmontaje de las cañerías de freno



Figura 33. Desmontaje sensor de depósito de líquido de frenos.

Ya con la bomba desmontada se procedió a desarmarla para identificar si se encontraba con alguna falla interna la cual fue acertada puesto que en su interior se encontraban grietas generadas por cavitación y la existencia de agua en el sistema, al igual que sus retenedores se encontraban desgastados como se puede observar en la figura 34.



Figura 34. Elementos constitutivos de la bomba de freno

Es importante acotar que en el mercado existe el kit de reparación de la bomba principal de freno, esto se recomienda cuando en el interior de la bomba es decir, en el lugar que va el vástago el cual genera movimiento no existan ralladuras ni picaduras; pero para este caso es idóneo cambiar la

bomba principal puesto que se encontró fallas en su interior como se puede observar en la figura 35.

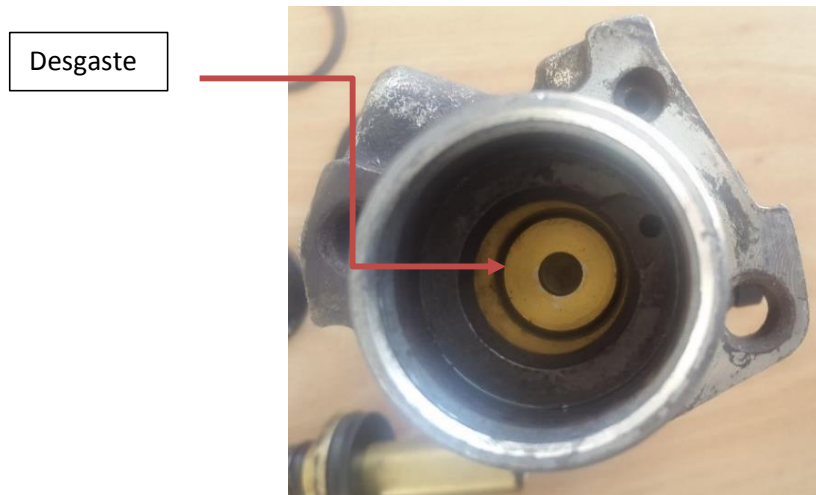


Figura 35. Interior bomba de freno

4.3 CÁLCULO DINÁMICO DEL PROCESO DE FRENADO

Luego de haber concluido la fase de modificación del sistema y habiendo recabado información del sistema de frenos estándar del vehículo, es idóneo realizar los cálculos dinámicos del proceso, con el fin de comprobar que los cambios generados en el sistema si han provocado una mejora significativa en el proceso cuando el vehículo sea conducido en pista y así asegurar una eficiencia optima del sistema que será sometido a grandes esfuerzos.

Para el cálculo de cada una de las expresiones siguientes que se generan en el sistema, se procede a realizar un cálculo previo a la modificación y uno posterior, con el fin de poder identificar las variantes generadas y compararlas entre ellas para evidenciar la mejora al momento de modificar el sistema de frenos de un vehículo para competencia en circuito. Es importante conocer el valor del peso del vehículo con piloto previo y posterior a la modificación del auto, para poder utilizar ese dato en cálculos posteriores, los datos se presentan en la Tabla 7, la cual se muestra a continuación en donde se tomó en cuenta la masa del vehículo con ocupante y posteriormente se calculó su peso multiplicando la masa por el valor de la

gravedad que es 9.8m/s^2 con el fin de tener el peso del vehículo en newtons, unidad en la cual se trabaja.

Tabla 7. Valores de peso del vehículo

Peso previo a la modificación	Peso posterior a la modificación
9342.92 N con piloto	9133.6 N con piloto

4.3.1 FUERZA DE FRENADO

Un dato importante previo al cálculo de la fuerza de frenado es conocer el valor de la presión que genera el sistema, dato antes calculado tanto para el vehículo previo a la modificación y posterior, de igual forma es fundamental conocer el valor del área de la pastilla la cual se encuentra en fricción con el disco para generar la fuerza de frenado. Los datos proporcionados para el cálculo del área de la pastilla se los puede evidenciar en el ANEXO 8.

Para el cálculo del área se utiliza la ecuación [1], y para la fuerza de frenado la ecuación [2] descritas anteriormente en la teoría.

4.3.1.1 Cálculo previo a la modificación:

Reemplazando los datos en la ecuación [1] se tiene:

$$A_{pastilla} = \frac{b \times h}{2}$$

$$A_{pastilla} = \frac{0.145\text{m} \times 0.0484\text{m}}{2}$$

$$A_{pastilla} = 3.50 \times 10^{-3}\text{m}^2$$

Ahora la fuerza de frenado reemplazando la ecuación [2], se tiene:

$$F_f = \mu \times (P \times A)$$

$$Ff = 1.02 \times (2 \times 10^6 Pa \times 3.50 \times 10^{-3} m^2)$$

$$Ff = 7140N$$

4.3.1.2 Cálculo esperado de la modificación:

$$Ff = \mu \times (P \times A)$$

$$Ff = 1.02 \times (2.1 \times 10^6 Pa \times 3.50 \times 10^{-3} m^2)$$

$$Ff = 7497N$$

Con estos resultados se concluye que para detener el vehículo se genera una fuerza de frenado considerablemente mayor con un sistema modificado, cabe mencionar que el área de la pastilla es el mismo valor para un sistema modificado y previo a su modificación puesto que la pastilla tiene las mismas dimensiones.

4.3.2 FUERZA DE FRENADO EN EL PEDAL

El cálculo de la fuerza de frenado en el pedal es fundamental para poder saber la fuerza con la que se presiona el pedal para hacer funcionar la bomba de freno y que esta a su vez genere la presión necesaria en el sistema para detener el vehículo, para el cálculo de la fuerza se hace referencia a la ecuación [3].

$$F_{pedal} = \frac{Ff}{Fp \times Fs \times Fc}$$

Reemplazando los datos en la ecuación [3] se tiene lo siguiente:

4.3.2.1 Cálculo previo a la modificación:

$$F_{pedal} = \frac{7140N}{4.5 \times 8.5 \times 5}$$

$$F_{pedal} = 37.33N$$

El factor 1.02 corresponde al coeficiente de adherencia para asfalto grueso y usando neumáticos usados, descritos en la Tabla 2. Se utiliza el mismo factor sea o no un sistema modificado.

4.3.2.2 Cálculo esperado de la modificación:

Reemplazando el valor de la fuerza de frenado calculada anteriormente en la ecuación [3] se tiene:

$$F_{pedal} = \frac{7497N}{4.5 \times 8.5 \times 5}$$

$$F_{pedal} = 39.2N$$

Se concluye, que con un sistema modificado se genera mayor fuerza en el pedal para detener el vehículo, por lo tanto una modificación del sistema favorece al del conductor para poder frenar y detener el vehículo si es sometido a grandes exigencias.

4.3.3 REPARTO DE LA FUERZA DE FRENADO

Para determinar el valor de la fuerza de frenado en cada uno de los ejes del vehículo, se los calcula por separado tanto en el eje delantero como en el trasero, sabiendo que como se presenta la mayor carga en el eje delantero el valor será mayor que en el posterior, particularmente como el vehículo es de tracción delantera se sabe que en el eje delantero el porcentaje de peso acumulado es del 60% y en la parte posterior, el 40%.

4.3.3.1 Para el sistema estándar:

Reemplazando los datos de las ecuaciones [4] y [5] y haciendo referencia al peso del vehículo en la parte delantera y trasera se tiene:

Para el eje delantero: 60% del peso total, se reemplaza en la ecuación [4].

$$Ff1 = P1 \times \mu$$

$$Ff1 = \left(572.016kg \times \frac{9.8m}{s^2} \right) \times 1.02$$

$$Ff1 = 5.71kN$$

Para el eje posterior: 40% del peso total, se reemplaza los datos en la ecuación [5].

$$Ff2 = P2 \times \mu$$

$$Ff2 = \left(381.344kg \times \frac{9.8m}{s^2} \right) \times 1.02$$

$$Ff1 = 3.81 kN$$

4.3.3.2 Con el sistema modificado:

Para el eje delantero:

$$Ff1 = P1 \times \mu$$

$$Ff1 = \left(559.2kg \times \frac{9.8m}{s^2} \right) \times 1.02$$

$$Ff1 = 5.58kN$$

Para el eje posterior:

$$Ff1 = P1 \times \mu$$

$$Ff1 = \left(372.8kg \times \frac{9.8m}{s^2} \right) \times 1.02$$

$$Ff1 = 3.72kN$$

Como se observa los valores son relativamente menores con respecto al sistema estándar, esto es debido a que el auto modificado en cada uno de sus ejes posee menos peso por la geometría de los nuevos discos y pastillas.

4.3.4 EFICIENCIA DE FRENADO

Para calcular la eficiencia de frenado se procede actualizar la ecuación [7], conociendo datos importantes como el peso del vehículo y la fuerza de frenado generada en el sistema.

Como se sabe que se realizó una modificación al sistema de frenos se realiza un cálculo de la eficiencia previo a la modificación y posterior a la misma.

4.3.4.1 Cálculo de la eficiencia previa a la modificación:

$$Ef = \frac{Ff}{P} \times 100$$

$$Ef = \frac{7140N}{9342.96N} \times 100$$

$$Ef = 62\%$$

4.3.4.2 Cálculo esperado de la modificación:

$$Ef = \frac{Ff}{P} \times 100$$

$$Ef = \frac{7497N}{9133.6 N} \times 100$$

$$Ef = 82\%$$

Como se observa el valor de la eficiencia con sistema modificado es mayor que el sistema estándar, cabe recalcar que el valor obtenido posterior a la modificación nos indica que con un menor peso del vehículo la eficiencia aumenta, de tal forma que el sistema modificado es evidentemente más seguro que el estándar y se va a garantizar un frenado óptimo según sean las exigencias del auto cuando sea conducido en pista. Datos que son bastante similares a los obtenidos en bancos de pruebas la diferencia radica en que se asume un valor de presión de la bomba de freno de entre 20-21 bar, para el cálculo puesto que como se vio en la teoría los valores referenciales de presiones en bombas de freno van de 20-50 bar. Por lo dicho se asume el menor valor para este tipo de vehículos.

4.3.5 DISTANCIA DE PARADA

El cálculo de la distancia de parada es importante para poder tabular y diferenciar el espacio que recorre el auto frente a una frenada de emergencia, el hecho de calcular la distancia con un sistema modificado nos permite evidenciar como este espacio se acorta y permite al conductor no estrellarse ni sufrir accidentes de consideración.

4.3.5.1 Cálculo previo a la modificación haciendo referencia a una distancia con una velocidad de 100km/h:

Como primer paso se debe calcular la desaceleración producida utilizando la ecuación [9].

$$a = \frac{Ff}{m}$$

$$a = \frac{7140kg \cdot \frac{m}{s^2}}{953kg}$$

$$a = 7.49m/s^2$$

Ahora utilizando la ecuación [8] se tiene:

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

$$d = \frac{\left(\frac{27.7m}{s}\right)^2}{2\left(\frac{7.49m}{s^2}\right)}$$

$$d = 51.22m$$

4.3.5.2 Cálculo esperado de la modificación:

$$a = \frac{Ff}{m}$$

$$a = \frac{7497kg \cdot \frac{m}{s^2}}{932kg}$$

$$a = 8.04m/s^2$$

De igual forma reemplazando en la ecuación [8] se tiene:

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

$$d = \frac{\left(\frac{27.7m}{s}\right)^2}{2\left(\frac{8.04m}{s^2}\right)}$$

$$d = 47.71m$$

Como se ve, la distancia de frenado con un sistema modificado se acorta aproximadamente 3.51m lo que nos muestra y nos ratifica lo eficiente que es trabajar con un sistema de frenos modificado, especialmente en su parte delantera; cabe recalcar que la suspensión regulable instalada en el vehículo, en conjunto con el sistema de frenos modificado permiten que la distancia de frenado disminuya con respecto a la normal ya que el auto permanece más tiempo al piso y evita que el auto se deslice a cualquier dirección o se pierda el control del vehículo el cual va a estar sometido a grandes exigencias.

4.3.6 TIEMPO DE FRENADO

Se va a evidenciar el tiempo que se tardara el vehículo en disminuir de velocidad utilizando la ecuación [6]. Es importante saber que los cálculos que se va a realizar son teniendo en cuenta diferentes valores de ángulo de descenso, a los cuales está expuesto el vehículo en su trayectoria por circuito de carreras. De igual forma se realiza los cálculos previo y posterior a la modificación del sistema de frenos.

Los valores a utilizar son los siguientes:

Tabla 8. Valores ángulo de descenso

Valores de ángulo de descenso en pista
$\theta = 0$
$\theta = 5$
$\theta = 10$
$\theta = 15$
$\theta = 20$

Cálculo previo a la modificación con ángulo de 0° considerando que se toma este valor por que se refiere a que el tiempo se toma en una recta donde alcanza los 100 km/h.

Reemplazando los datos en la ecuación [6] se tiene:

4.3.6.1 Cálculo previo a la modificación:

$$Tf = m \times \gamma f \times \frac{1}{Ff + m \times g \times \text{sen}\theta + m \times g \times Fr} \times (v1 - v2)$$

$$f = 953kg \times 1.05 \times \frac{1}{\left(7140kg \cdot \frac{m}{s^2}\right) + 953kg \times \frac{9.8m}{s^2} \times \text{sen}0^\circ + 953kg \times \frac{9.8m}{s^2} \times 0.015} \times (27.7 - 0)m/s$$

$$Tf = 3.80s$$

4.3.6.2 Cálculo esperado de la modificación:

$$Tf = m \times \gamma f \times \frac{1}{Ff + m \times g \times \text{sen}\theta + m \times g \times Fr} \times (v1 - v2)$$

$$Tf = 932kg \times 1.05 \times \frac{1}{\left(7497kg \cdot \frac{m}{s^2}\right) + 932kg \times \frac{9.8m}{s^2} \times \text{sen}0^\circ + 932kg \times \frac{9.8m}{s^2} \times 0.015} \times (27.7 - 0)m/s$$

$$Tf = 3.55s$$

Como se ve el tiempo de frenado con sistema modificado se reduce 0.25 décimas de segundo lo cual indica que es realmente factible modificar el sistema para optimizar tiempos cuando el auto está siendo conducido en pista.

A continuación se observa una tabla en donde se calculan los tiempos dependiendo los ángulos de descenso antes mencionados en la Tabla 9.

Tabla 9. Valores de tiempo de frenado a distintos ángulos de descenso.

Intervalo de velocidad	Km/h	m/s	Tf θ =0	Tf θ =5	Tf θ =10	Tf θ =15	Tf θ =20
PREVIO A LA MODIFICACIÓN							
V1-V2 (100-0)Km/h	100	27.7	3.80	3.42	3.11	2.85	2.64
POSTERIOR A LA MODIFICACIÓN							
V1-V2 (100-0)Km/h	100	27.7	3.55	3.21	2.94	2.71	2.51

Se puede apreciar que los tiempos de frenado disminuyen si al ángulo de descenso aumenta, pese a que se conduce el auto a una velocidad considerable; dato importante para establecer la eficacia del sistema de frenos modificado.

4.4 ANÁLISIS TÉRMICO DEL PROCESO DE FRENADO

4.4.1 ENERGÍA DISIPADA POR LOS DISCOS DE FRENO

Para el cálculo de la energía que disipan los discos de freno se utiliza la ecuación [10], conociendo ya los factores que intervienen en la misma y tomando como base que la velocidad para el cálculo es de 100km/h.

4.1.1.1 Cálculo previo a la modificación:

Reemplazando los datos en la ecuación se tiene que:

$$Ed = \gamma f \times m \times \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2}$$

$$Ed = 1.05 \times 953kg \times \frac{\left(\frac{27.7m^2}{s} - \frac{0m^2}{s}\right)}{2}$$

$$Ed = 383894.36J$$

4.1.1.2 Cálculo esperado de la modificación:

$$Ed = \gamma f \times m \times \frac{(v1^2 - v2^2)}{2}$$

$$Ed = 1.05 \times 932kg \times \frac{\left(\frac{27.7m^2}{s} - \frac{0m^2}{s}\right)}{2}$$

$$Ed = 375434.99J$$

Como se ve la energía que se disipa con el sistema de frenos modificado es significativamente menor por lo que el sistema en si no sufrirá de recalentamientos excesivos ni se perderá su fuerza de frenado. Y es acorde a la energía cinética que tiene el vehículo sabiendo que está disipando energía a una velocidad de 100km/h. Como se vio anteriormente los cálculos se los hace para un vehículo el cual su propulsión es delantera y que el reparto de frenado se distribuye 60% en el eje delantero y 40% en el posterior, se debe analizar lo que pasa en el eje delantero que es donde se concentra la mayor cantidad de energía del sistema. Para lo cual se tiene la siguiente expresión:

$$E_{eje\ delantero} = Ed \times 0.6$$

$$E_{eje\ delantero} = 375434.99J \times 0.6$$

$$E_{eje\ delantero} = 225260.99J$$

Como se sabe el eje delantero está comprendido por dos disco de freno la energía se divide para dos.

$$E_{disco} = \frac{E_{eje\ delantero}}{2}$$

$$E_{disco} = \frac{225260.99}{2}$$

$$E_{disco} = 112630.49J$$

Complementario a este análisis se sabe que el disco de freno absorbe el 90% de la rueda delantera, y la pastilla un 10%, la energía quedaría expresada de la siguiente forma:

$$E_{disco} = 112630.49J \times 0.9$$

$$E_{disco} = 101367.44J$$

Este valor seria el que se disipa en el disco de freno en este caso modificado que es lo que nos interesa conocer, calcular y evaluar para comprobar la funcionalidad del sistema de frenos modificado.

4.4.2 POTENCIA DISIPADA POR EL SISTEMA DE FRENOS

Para el cálculo de la potencia se toma en consideración la ecuación [6], en donde se sabe que el motor no actúa como freno sino que hay otros elementos que ayudan al proceso de frenado. Se Calcula la potencia con el sistema modificado puesto que se quiere evidenciar la cantidad de potencia que necesita el sistema para detener el vehículo.

Para el cálculo la expresión nos queda de la siguiente manera, utilizando la ecuación [11]; considerando que el ángulo de descenso es 0° ya que la velocidad se toma en una recta donde se alcanzan los 100km/h en circuito.

$$H = (\gamma f \times m \times a + m \times g \times \text{sen}\theta) \times v$$

$$H = \left(1.05 \times 932 \text{kg} \times 8.04 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + 932 \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times \text{sen}0 \right) \times 27.7 \text{m/s}$$

$$H = 217942.04 \text{J}$$

Por lo tanto este es el valor que se disipa por el sistema de freno adicional a la potencia disipada por el motor, caja de cambios y otros mecanismos del vehículo.

4.4.3 CÁLCULO TÉRMICO EN LOS DISCOS DE FRENO

Si dado el caso que el sistema de freno tenga un elevado aumento de temperatura se lo calcula utilizando la ecuación [12]:

$$\Delta T = \frac{Ec}{m \times C}$$

$$\Delta T = \frac{101367.44 \text{J}}{4.8 \text{kg} \times \frac{460.24 \text{J}}{\text{kg}} \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$\Delta T = 45.88^\circ\text{C}$$

$$T1 - T_o = 45.88^\circ\text{C}$$

T_o , es la temperatura ambiental; 22°C en la pista, por lo tanto la temperatura que llega a alcanzar el disco perforado es de:

$$T1 = 45.88^\circ\text{C} + 22^\circ\text{C}$$

$$T1 = 67.88^\circ\text{C}$$

Lo cual nos hace referencia a que un vehículo con una masa de 932kg, a una velocidad de 100km/h, considerando una temperatura ambiental de

22°C, llega a tener una temperatura generada en el disco de freno de: 67.88°C hasta detenerse por completo.

4.5 MODIFICACIÓN SISTEMA DE FRENOS

4.5.1 IMPLEMENTACIÓN DISCOS PERFORADOS

Los discos de freno perforados fueron adquiridos en un almacén especialista en frenos, son discos adecuados para el modelo del vehículo con el cual se está trabajando con el fin de evitar adecuaciones innecesarias, o a su vez trabajos artesanales de perforación de discos, por la razón técnica de que este tipo de trabajos lo que hacen dañar la ventilación interna propia del disco original. Estos discos de freno en cuanto a sus orificios de ventilación, son fabricados milimétricamente, de tal forma que disipen el calor y gases generados por el proceso de frenado de una forma más rápida y a su vez reduciendo el desgaste tanto el disco como en las pastillas puesto que se genera una mejor superficie de rozamiento, así como este tipo de discos evacúan de mejor manera el agua si se lo conduce en lluvia.

En la figura 36, se puede observar a los discos de frenos perforados y originales para el vehículo Corsa Wind, no es adecuado perforar los discos manualmente porque se daña su ventilación interna valga la redundancia y se fatiga el material por lo que tiende a fracturarse el disco y se incurre en gastos excesivos de reposición de elementos del sistema de frenos.



Figura 36. Discos de freno perforados originales para Corsa Wind

A continuación se puede observar algunas diferencias y ventajas de la utilización de este tipo de discos para una modificación del sistema de frenos en la Tabla 10:

Tabla 10. Comparación disco de freno ventilado-perforado

Especificaciones	Disco normal	Disco perforado
Dimensiones	240mm de diámetro	240mm de diámetro
Ventilación	Ranuras en el perímetro del disco	Ranuras en el perímetro y orificios en la pista.
Peso	4.5kg	4kg
Durabilidad	2-3 años	3-4 años

Los discos de freno perforados adquiridos cumplen con las dimensiones especificadas por el fabricante en cuanto a su espesor y numero de orificios para sujeción con las ruedas, y como se puede observar en la tabla anterior las especificaciones del disco de frenos perforado son mucho mejores que las del disco normal por lo que es adecuado el cambio, más aun cuando el vehículo es destinado para competencia.

Se procede a su implementación verificando que la parte en donde va montado el disco se encuentre totalmente limpia. Se monta el disco y se procede a fijarlo con la sujeción que se crea con la tuerca que lo une al eje y a su vez se asegura la sujeción con un pasador que va ubicado en el interior de la tuerca como se puede evidenciar en la figura 37.



Figura 37. Disco perforado montado

Luego de haber instalado el disco de freno se procede a montar el conjunto de la mordaza la cual anteriormente fue limpiada y cambiado sus retenedores.

Se implementa las mordazas ubicando las pastillas en su interior para que el momento de adaptarlas al disco se quede herméticas para proceder a ajustar los pernos de sujeción como se puede ver en la figura 38.



Figura 38. Montaje mordaza de freno

Luego de instalar la mordaza se procede a conectar la manguera que lleva el líquido de frenos, esto utilizando la herramienta adecuada.

El procedimiento de montaje y desmontaje tanto del disco como de la mordaza se repite para las dos ruedas.

4.5.2 IMPLEMENTACIÓN BOMBA DE FRENO PRINCIPAL

Como se observa en la figura 35, la bomba de freno del vehículo se encontraba en mal estado y dañado su retenedor por lo que se la cambió por una que soporte y envíe mayor presión al sistema. La que llevaba instalada de fábrica generaba una presión de 20 bar, por consiguiente la nueva bomba generaba una presión de 21 bar por lo que aumentaba la presión de frenado en cada una de las ruedas.

La bomba adquirida fue de un modelo más actual del que estaba instalado originalmente, como primer paso se realizó una medición con un pie de rey para verificar que el diámetro del cilindro sea el mismo, figura 39; de tal forma que no exista problema cuando se lo acople al servofreno.



Figura 39. Medición de diámetro interior

Luego de comprobar el diámetro de la bomba se procede a realizar una comparación visual de su contorno y a su vez se la monta en el sistema, colocando el reservorio del líquido de frenos, ayudándonos de una cantidad adecuada de grasa para que los émbolos del depósito entren con facilidad en los orificios que se encuentran en la bomba.

Como se puede observar cada una de las bombas de freno en las figuras 40 y 41 respectivamente.



Figura 40. Comparación visual bomba de freno



Figura 41. Reservorio de líquido de frenos montado

Después de haber instalado el reservorio del líquido de frenos, se procede a montar el conjunto de la bomba en el servofreno y se pasa a realizar un ajuste de los respectivos tornillos de sujeción entre la bomba y el servofreno ayudados de la herramienta adecuada. Luego de realizar este procedimiento se conecta cada una de las cañerías de freno en la bomba cerciorándonos que estén colocadas en orden sin estar apretadas o dobladas tanto a la entrada de los conductos de la bomba como en cada una de las ruedas, procedimientos que se los puede observar en las figuras 42,43 y 44.



Figura 42. Montaje de la bomba en el servofreno



Figura 43. Apriete pernos de sujeción de la bomba al servofreno



Figura 44. Ajuste cañerías de freno

4.5.3 SELECCIÓN DE MATERIAL DE FRICCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE PASTILLAS CERÁMICAS

Para la selección de las pastillas de freno hay que tomar en cuenta algunos factores importantes como son durabilidad de las pastillas, costo de las mismas y materiales en cuanto a su composición, puesto que cuando se trata de seleccionar pastillas de cerámica para implementarlas en un vehículo la durabilidad depende directamente de los compuestos que posea. A continuación se puede observar en la Tabla 11, algunos factores comparativos entre las pastillas de carbono y las de cerámica, los cuales

justifican la selección de las mismas para su implementación en el sistema modificado.

Tabla 11. Especificaciones y comparación costo beneficio pastillas de freno.

Pastillas de freno		
Características	Carbono	Cerámica
Compuestos	Fe, Cu, Cr, Sb, Pb	Polvo de cerámica, aramida, semimetales.
Durabilidad	20.000 km	30.000 km
Coefficiente de fricción	0.35 μ	0.45 μ
Precio	\$28	\$38

Como se observa en la tabla anterior los factores de composición y funcionamiento de las pastillas de freno cerámicas son superiores a los de las pastillas de carbono, razón por la cual se optó por cambiar las existentes por unas de cerámica, ya que como se vio anteriormente soportan mayor grado de temperatura y no desprenden residuos de polvo y su costo no es excesivamente alto como para no poder adquirirlas.

Es fundamental recalcar que el vehículo modificado es para conducirlo en pista por lo tanto al elegir colocar pastillas de cerámica en el sistema se está garantizando que cuando se genere la fricción entre el disco y las pastillas no exista cristalizaciones ni recalentamientos excesivos y por lo tanto el frenado sea optimo a altas exigencias.

Para implementar las pastillas de freno se tiene que desmontar la mordaza del disco de freno para poder cambiar las pastillas, ayudados de un destornillador con el fin de desplazar el cilindro de las mordazas para poder sacar las pastillas como se puede observar en la figura 45.



Figura 45. Desmontaje de pastillas de freno

Luego de desmontarlas se cambia las pastillas existentes que en este caso eran de carbono por las adquiridas de cerámica; en la Tabla se observa algunas ventajas de las pastillas de cerámica, repitiendo el proceso antes mencionado. Colocando las pastillas y asegurando la mordaza al disco y posterior a esto bombeando el pedal de freno hasta que el mismo se endure. En la figura 46, se puede observar a las pastillas montadas.

Tabla 12. Especificaciones pastilla de frenos de cerámica

VENTAJAS PASTILLA DE FRENO DE CERÁMICA
Clara reducción de la generación de polvo
Prácticamente exentas de ruidos
Menor desgaste de las pastillas y de los discos de freno
Sin vibraciones de frenado
Menor impacto ambiental
Costos reducidos de reparación
Alta seguridad

(Frenos ATE, 2016)



Figura 46. Pastillas de freno montadas

4.5.4 SUSTITUCIÓN LÍQUIDO DE FRENOS

El líquido de frenos es fundamental en una modificación del sistema de frenos puesto que debe cumplir con varios parámetros en particular debe

poseer un punto de ebullición bastante alto con el fin de que no se mezcle con agua ni origine burbujas en el sistema.

En las especificaciones DOT (Department of transportation) de Estados Unidos. Se especifica los grados de ebullición que soporta cada uno de los líquidos de freno existentes en el mercado. Es importante saber que el líquido de frenos con el tiempo pierde sus propiedades por lo que es necesario cambiarlo cada dos años o 40000km.

A continuación se puede observar una gráfica con las curvas de ebullición de los líquidos de freno existentes.

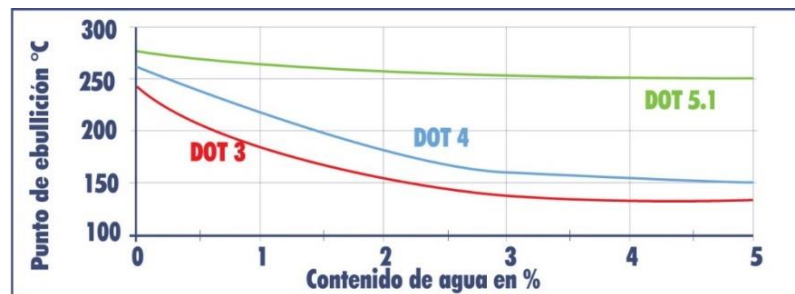


Figura 47. Grados de ebullición líquidos de freno.
(Hermógenes Gil, 2006)

Como se puede observar en la gráfica el líquido de frenos con mejores prestaciones es el 5.1 por lo que se adquirió ese tipo de líquido de frenos, figura 48; y se lo colocó en el reservorio para posteriormente realizar la purga del sistema y garantizar que el líquido esté en cada una de las ruedas. Se puede observar este proceso en la figura 49. Es importante realizar la purga del sistema caso contrario el pedal de freno permanecerá al fondo y no estará firme y por ende no existirá presión en el sistema y el vehículo no frenará correctamente.



Figura 48. Líquido de frenos DOT 5.1
(BOSCH, 2005)



Figura 49. Purga del sistema de frenos.

4.6 PRUEBAS AL SISTEMA DE FRENOS

4.6.1 PRUEBAS EN EQUIPO DE DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE FRENOS (FRENÓMETRO)

Para este fin se realizaron dos pruebas en el equipo de diagnóstico, no obstante, en la primera prueba al sistema de frenos, se recabó información acerca de los datos proporcionados por la Corporación Municipal de Mejoramiento de la calidad de Aire de Quito, CORPAIRE con respecto a las pruebas que se realizó al sistema de frenos al momento que el vehículo acudió a su última revisión técnica vehicular, ANEXO 2; en la Tabla 13, se muestran los datos de medición del sistema de frenos de su última revisión.

Tabla 13. Datos de frenos última revisión técnica vehicular

FRENOS		
EJE	Desequilibrio de frenado (%)	EFICACIA (%)
Delantero	5.00	59.00
Posterior	18.00	20.00

("Revisión Técnica Vehicular-AMT," 2016.)

Luego de haber obtenido estos datos y posterior a la modificación del sistema de frenos se realizó una nueva prueba en el frenómetro, equipo de diagnóstico automotriz adecuado para pruebas del sistema de frenos y suspensión dicho equipo es propiedad de la empresa RAPI-FRENOS, con el fin de verificar los nuevos datos en cuanto a eficiencia de frenado y fuerza de frenado, ANEXO 6.

Datos que se verificaran realizando los cálculos dinámicos y térmicos respectivos al sistema de frenos, en donde se evidenció que son similares tanto los datos previamente calculados como los datos obtenidos del equipo de diagnóstico, asumiendo los datos correctos de presión de la bomba principal de freno.

En la Tabla 14, mostrada a continuación se puede visualizar los datos que se obtuvo en el equipo de diagnóstico automotriz especializado en frenos del vehículo (frenómetro), fuerzas indicadas en cada uno de sus ejes y eficacia del sistema en los mismos.

Tabla 14. Datos sistema de frenos obtenidos en Frenómetro

PRUEBA EN FRENÓMETRO		
FRENOS	FUERZA DE FRENADO (kN)	EFICACIA (%)
Delantero Derecho	2.446 kN	79
Delantero Izquierdo	2.657 kN	79
Posterior Derecho	1.165 kN	23
Posterior Izquierdo	0.956 kN	23

A su vez en las figuras 50, 51 y 52 se puede observar cómo se realizó la prueba en el equipo de diagnóstico en cada uno de los ejes del vehículo ya con el sistema modificado. Esto a priori de obtener los datos antes descritos y visualizados en la Tabla 6.

Para la realización de esta prueba el equipo antes mencionado es un Frenómetro de rodillos de la empresa especializada en frenos RAPI-FRENOS. En dicho equipo se muestran los valores de fuerza de frenado y eficiencia del sistema en cada uno de sus ejes y se los tabula de tal forma que se identifica la funcionalidad del sistema y en este caso como las prestaciones del mismo aumentaron de manera considerable.



Figura 50. Vehículo entrando a la etapa de pruebas en el Frenómetro



Figura 51. Vehículo sometido a la prueba en su eje delantero



Figura 52. Vehículo sometido a la prueba en su eje trasero.

4.6.2 PRUEBAS EN PISTA

Las pruebas en pista son un dato muy importante al momento que se decida modificar un auto , en este caso el sistema de frenos, para lo cual es fundamental realizar pruebas tanto previo a la modificación como posterior a la misma con el fin de realizar una comparación adecuada de las pruebas se puedan y deban realizar en pista. Las pruebas a realizar son medición de distancia de parada y temperatura de los discos de freno, y se los compara con los datos obtenidos en los cálculos previos.

4.6.2.1 Distancia de parada

Para esta prueba se dispone de un flexómetro con el cual se medirá la huella que dejan los neumáticos luego de presionar el pedal de freno al máximo para detener el vehículo que está llevando una velocidad de 100 km/h.

Simplemente se toma la medida y se la compara con el valor obtenido en los cálculos anteriores con el fin de evidenciar que la teoría es correcta cuando se la comprueba experimentalmente.

A continuación en la Tabla 15, se tiene datos comparativos de los resultados obtenidos en la prueba en pista que se realizó al vehículo modificado:

Tabla 15. Valores de distancia de parada

DISTANCIA DE PARADA	
Previo a la modificación	Posterior a la modificación
51.22m	47.71m

Como se vio los valores obtenidos en pista luego de medir con la herramienta adecuada son bastante similares a los valores calculados, la diferencia radica principalmente en la forma de tomar datos de la persona que está midiendo, pero lo importante es que los valores netos son los mismos.

4.6.2.2 Temperatura en discos de freno

De igual forma la temperatura en los discos de freno se la toma con la ayuda del pirómetro para lo cual se tiene datos tanto tomados visualmente como calculados en la Tabla 16, de igual forma para compararlos y evidenciar que son similares y q todo es real.

Tabla 16. Valores de temperatura disco de freno.

TEMPERATURA EN DISCOS DE FRENO	
Prueba con pirómetro	Valor cálculos
Previo a la modificación	
119.4 °C	119.38 °C
Posterior a la modificación	
68.2 °C	67.88°C

Los discos perforados utilizados en la modificación pesan menos y poseen una excelente capacidad para disipar el calor generado por el sistema de frenos, evitando cristalizaciones en pastillas y perdida de coeficiente de fricción y adherencia al momento de accionar el sistema.

Las pruebas en pista sirven para evidenciar que la modificación realizada al sistema de frenos es la adecuada y que se ha mejorado las prestaciones del mismo, los tiempos disminuyeron, la eficacia aumentó y la fuerza con la que se debe accionar el pedal disminuyó, mostrando que los cálculos son el primer paso a seguir en una modificación, puesto que con los datos comparados en el equipo de diagnóstico son similares.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Al analizar la dinámica y termodinámica del sistema y a su vez modificando el sistema de frenos, se permitió al vehículo tener mejor respuesta frente a altas exigencias del sistema cuando el vehículo este siendo conducido en circuito.
- Estudiando los diferentes mecanismos de frenado se tuvo un panorama claro de qué elementos eran los adecuados para cambiarlos y modificarlos, conservando siempre el mecanismo original evitando adaptaciones artesanales sin estudios previos en el sistema, para obtener un mayor rendimiento en el proceso de frenado.
- Al analizar los frenos delanteros del vehículo se llegó a concluir que los mismos cumplen los parámetros adecuados para optimizar el proceso de frenado disipando el calor generado y evitando la formación del fenómeno fading, a su vez garantizando la durabilidad de los elementos que friccionan con el mismo como son las pastillas de freno cerámicas.
- Los tiempos y eficiencia de frenado fueron mejorados luego de modificar el sistema de frenos, la temperatura en el sistema se redujo de 119.4 a 67.88°C, a su vez la eficacia de frenado aumentó de 76 a 82%, y el tiempo de frenado se redujo de 3.8 a 3.5s; concluyendo que el sistema modificado mejora las prestaciones del sistema de manera considerable.
- Efectuando las pruebas de ruta se pudo evidenciar una disminución de la distancia de parada y se acortó los tiempos de frenado determinando la efectividad del sistema modificado.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un mantenimiento adecuado al sistema de frenos, con el fin de garantizar y verificar que los elementos constitutivos se encuentren en perfectas condiciones de operación, o de ser el caso reemplazarlos puesto que el sistema de frenos es un elemento de la seguridad activa del vehículo capaz de impedir accidentes de consideración, más aún cuando el vehículo modificado es destinado para competencia en circuito.
- Se recomienda que el vehículo logre participar en la competencia automovilística para la cual fue modificado, con el fin de realizar prácticas, análisis, estudios del sistema modificado ya su vez realizar estudios para cuantificar la factibilidad de mejorar el sistema actual.
- Sería primordial realizar un análisis costo-beneficio del hecho de si es idóneo o no modificar el mecanismo de tambor posterior a frenos de disco, sustentándose en cálculos y revisiones previas para su posible modificación.
- De igual manera es conveniente que no se realicen adaptaciones al sistema de frenos sin estudios y análisis previos, puesto que esto sería perjudicial y peligroso para el correcto funcionamiento del sistema, por lo que se entraría en gastos excesivos e innecesarios.
- Es importante que el vehículo sirva como precedente para que los estudiantes realicen prácticas y promuevan a que el vehículo participe en las diferentes competencias automovilísticas que existen en el país, creando una escudería con la cual representen a la universidad.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- Águeda, E. (2002). Fundamentos tecnológicos del automóvil. Madrid, España: Paraninfo.
- Alonso, J. M. (2010). Técnicas del Automóvil chasis (8º edición). Madrid, España: Paraninfo.
- Arias-Paz. (2008). Manual de automóviles. Madrid, España: Dossat.
- BOSCH. (2005). Sistemas para la estabilización del vehículo. Alemania: REVERTE.
- Bosch Robert. (2003). Sistemas de freno convencionales y electrónicos. Alemania: REVERTE.
- Casado, E. Á. (2012). Sistemas de transmisión y frenado. Editorial Paraninfo.
- CEAC. (2006). Manual CEAC del automóvil. Barcelona, España: Grupo editorial CEAC, S.A.
- Cengel, Y., Boles, & Michael A. (2012). Termodinámica (7 edición). México: MC GRAW HILL.
- Conauto. (2015). Líquido de frenos. Recuperado Mayo 2, 2016, desde: <http://www.conauto.com.ec/productos/liquido-de-frenos>
- Domínguez, E. J., & Ferrer, J. (2012). Sistemas de transmisión y frenado. España: Editex.
- Foro Honda. (2012). FRENOS: Discos Perforados o Ranurados. Recuperado Mayo 2, 2016, desde: <http://www.foroshonda.com/index.php?threads/frenos-discos-perforados-o-ranurados.5075/>

Gaibor, R., & Núñez, A. (2014). Diseño, construcción e implementación de un sistema electrónico de enfriamiento para los discos de freno en un vehículo Chevrolet vitara 3 puertas. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Recuperado desde: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3724#sthash.uOLiMY7V.dpuf>

Garriz José, & Muruganen Placido. (2011). Manual de reparación y mantenimiento: automóviles, camionetas y camiones, modelos gasolina y diésel. México: Océano Centrum.

Hermógenes Gil. (2006). TUNING: Una pasión sobre ruedas. Barcelona, España: Editorial CEAC.

Hibbeler, R. (2011). Mecánica de materiales (8va edición). México: Pearson.

ITACR.COM - Información Técnica Automotriz. (2015). Recuperado Marzo 10, 2016, desde: <http://www.itacr.com/Mantenimiento/liquidosFrenos.html>

Izquierdo, F. A., López, V. D., Mindán, J. F., & Alvarez, C. V. (1995). Diseño y cálculo del sistema de frenos en automóviles. Universidad Politécnica, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.

Los Frenos. (2014). Recuperado Abril 19, 2016, desde: <http://www.automotriz.net/tecnica/los-frenos.html>

Navarro Martin, & Agueda José. (2002). Mantenimiento de vehículos autopropulsados-ayudante de reparación de vehículos. España: Paraninfo.

Oliveros Juan Carlos. (2012). Miller manual de reparación de automóviles.

Orovio, M. (2010). Tecnología del Automóvil (2010th ed.). Madrid, España: Paraninfo.

Orozco José Luis. (2009). Reparación del sistema de frenos convencionales y ABS para bachilleres y escuelas tecnológicas.

Pread y Vc. Reid. (2013). Manual técnico del automóvil (Segunda edición). España.

Revisión Técnica Vehicular-AMT. (2016). Recuperado Mayo 16, 2016, desde:

http://citaprevia.quito.gob.ec/appAMT/AMT/datosxVehiculo/veh_certRTV_fmt1.jsp?p_cdRv=10357217&p_pos=2&p_nmVh=01005791

Rodríguez Galbarro. (2015). Frenos de Disco en los Vehículos Automóviles. Recuperado Marzo 11, 2016, desde:

<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn74.html#seccion42>

Rojas Leonardo. (2001). Mecánica Automotriz. Chile: Inacap, capacitaciones.

Rueda Santander, J. (2010). Técnico en Mecánica & Electrónica Automotriz (segunda edición). Colombia: Diseli.

SA, T. (2016). Discos de freno moto Yamaha |Comprar Discos de freno moto Yamaha de la selección Twenga. Recuperado June 6, 2016, desde:

<http://www.twenga.es/discos-de-freno-moto-yamaha.html>

Santiago Alexander Calderón Carrillo. (2015). Determinación e implementación del sistema adecuado de frenos de servicio y estacionamiento en el prototipo de bus eléctrico, proyecto del ministerio de electricidad y energía renovable del ecuador.

Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador. Recuperado

desde:http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/4835/1/59210_1.pdf

Tammek. (2014). Tammek.com - Discos de Freno. Recuperado Mayo 2, 2016, desde: <http://www.tammek.com/productos/discos/>

Vaca Solís, J. (2014, Abril). Banco de pruebas para el análisis y comportamiento térmico del sistema de frenos de disco y tambor en automóviles. Universidad de la fuerzas armadas-ESPE, Latacunga-Ecuador. Recuperado desde: repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8199/1/AC-ESPEL-MAI-0459.pdf

ANEXOS

ANEXOS

ANEXO 1.

Especificaciones técnicas vehículo.

ESPECIFICACIONES DEL CHEVROLET CORSA 1.3 (1994 - 1998)		
DATOS DE FABRICACIÓN	Fabricante	<u>Aymesa</u>
	Ensamblaje final	Quito, Ecuador
PESO DEL VEHICULO	sin ocupantes	891 kg
	permisible en el eje delantero	675 kg
	permisible en el eje trasero	660 kg
MOTOR	Código	1.3 MPFI
	Tipo	longitudinal delantero
	Cilindrada	1279
	Revoluciones en ralentí	950 +_ 50
	Potencia <u>maxima neta</u>	71 HP a 5800 rpm
	Torque Máximo neto	113,56 <u>Nm</u> a 300 rpm
CAJA DE CAMBIOS	Relaciones	1a marcha 3,72 : 1
		2a marcha 2,13 : 1
		3a marcha 1,41 : 1
		4a marcha 1,12 : 1
		5a marcha 0,89 : 1
		marcha atrás 3,31 : 1
		cono - corona 4,18 : 1
LLANTAS	medida	165/70 R13
FRENOS	Discos adelante	Tambor posterior
DESEMPEÑO	0 a 100 km/h	12,5
	Velocidad Máxima	173 Km
	Consumo Motor	6,8 litros /100 km/h ó 55,6 km/gal

Datos proporcionados por el fabricante AYMESA, del vehículo Corsa Wind 1996,

ANEXO 2.

Datos CORPAIRE 2015.

			- MECATRONICOS -						
8	03.09.01.01	MEC	ALINEACIÓN 1ER EJE CONVERGENCIA	m/Km	7.50	007.00<=X<=009.99	TIP1	00	
9	04.07.03.01	MEC	DESEQUILIBRIO DE FRENADO EN 2° EJE	%	18.00	015.00<=X<=029.99	TIP1	01	
10	04.07.01.01	MEC	EFICACIA DE FRENADO	%	59.00	055.00<=X<=059.99	TIP1		
11	05.01.04.01	MEC	DESEQUILIBRIO DE SUSPENSIÓN EN 1° EJE	%	0.00	000.00<=X<=014.99	OK		
12	05.01.05.01	MEC	EFICACIA SUSPENSIÓN EN RUEDA DERECHA DEL 2° EJE	%	83.00	050.00<=X<=100.00	OK	18	
13	05.01.05.01	MEC	EFICACIA SUSPENSIÓN EN RUEDA IZQUIERDA DEL 2° EJE	%	83.00	050.00<=X<=100.00	OK	19	
14	05.01.06.01	MEC	DESEQUILIBRIO DE SUSPENSIÓN EN 2° EJE	%	0.00	000.00<=X<=014.99	OK		
15	02.01.03.01	MEC	ALINEACIÓN HORIZONTAL FARO CONDUCTOR	%	6.60	002.00<=X<=999.00	OK	09	
16	02.01.03.02	MEC	ALINEACIÓN VERTICAL FARO CONDUCTOR	%	1.80	999.00<=X<=002.50	OK	09	
17	02.01.02.01	MEC	INTENSIDAD FARO CONDUCTOR	Lux	17.40	000.01<=X<=135.00	OK	09	
18	10.03.01.01	MEC	NIVEL DE RUIDO EN EL ESCAPE	dB	73.65	000.01<=X<=074.99	OK		
19	10.02.01.04	MEC	HIDROCARBUROS NO COMBUSTIONADOS (HC) RALENTI	ppm	114.00	000.00<=X<=649.99	OK		
20	10.02.01.03	MEC	O2 EN BAJAS	%	1.32	000.00<=X<=003.00	OK		
21	10.02.01.05	MEC	LAMBDA EN BAJAS	***	1.04	000.13<=X<=999.99	OK		
22	10.02.01.01	MEC	MONOXIDO DE CARBONO (CO) RALENTI	%	0.58	000.00<=X<=003.49	OK		
23	10.02.04.03	MEC	RPM EN RALENTI	rpm	930.00	000.01<=X<=200.00	OK		
24	10.02.05.04	MEC	HIDROCARBUROS NO COMBUSTIONADOS (HC) 2500 RPM	ppm	91.00	000.00<=X<=649.99	OK		
25	10.02.05.03	MEC	O2 EN ALTAS RPM	%	0.83	000.00<=X<=003.00	OK		
26	10.02.05.05	MEC	LAMBDA EN ALTAS	***	1.01	000.13<=X<=099.99	OK		
27	10.02.05.01	MEC	MONOXIDO DE CARBONO (CO) 2500 RPM	%	0.71	000.00<=X<=003.49	OK		
28	04.07.02.01	MEC	DESEQUILIBRIO DE FRENADO EN 1° EJE	%	5.00	000.00<=X<=015.00	OK	00	
29	04.04.01.01	MEC	EFICACIA FRENO DE ESTACIONAMIENTO	%	22.00	020.00<=X<=100.00	OK		
30	05.01.03.01	MEC	EFICACIA SUSPENSIÓN EN RUEDA DERECHA DEL 1° EJE	%	70.00	060.00<=X<=100.00	OK	18	
31	05.01.03.01	MEC	EFICACIA SUSPENSIÓN EN RUEDA IZQUIERDA DEL 1° EJE	%	70.00	060.00<=X<=100.00	OK	19	
			- MEDIDAS -						
32	00.00.00.00	MED	RPM EN ALTAS	***	2640.00	300.00<=X<=700.00	OK		

ANEXO 3.

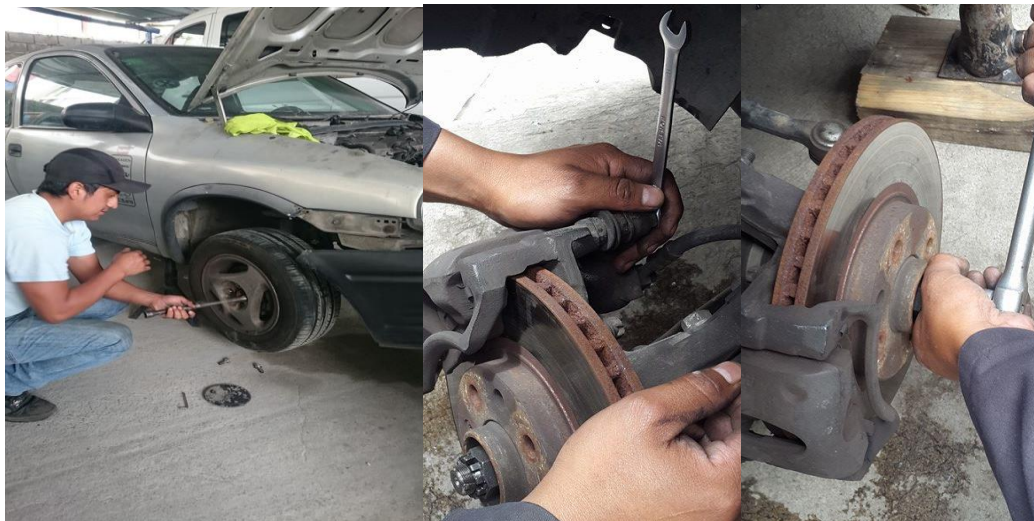
Discos de freno montados en el vehículo



ANEXO 4.

Desmontaje y montaje sistema de frenos

Desmontaje



Montaje



ANEXO 5.

Reglamento COPA TURISMO MECÁNICA NACIONAL 2016.



CAMPEONATO NACIONAL DE CIRCUITOS

REGLAMENTO GENERAL TÉCNICO SEGURIDAD


Eloy Alfaro e Italia Esquina / Tel. (+593) 98 725 7511 / Email: copatmnecuador@gmail.com



CAMPEONATO NACIONAL DE CIRCUITOS

DEFINICIÓN DE CATEGORÍAS.

Los presentes Campeonatos, se desarrollarán con la participación de vehículos de producción en serie para turismo, y prototipos divididos en las siguientes clases:

CLASE	SIGNIFICADO
TCM  CRC	Turismo Calle Modificado (Autos Turismo de Calle) CAMPEONATO REGIONAL DE CIRCUITOS 2016
TMN  CNC	Turismo Mecánica Nacional (Autos Turismo de Carreras y Prototipos) CAMPEONATO NACIONAL DE CIRCUITOS 2016

CRC Turismo Calle Modificado (TCM) CAMPEONATO REGIONAL DE CIRCUITOS 2016

- Deberá ser un vehículo de turismo fabricado en gran serie (mínimo 5000 unidades) de los tipos denominados: Coupé, sedan, hatchback, y/o camioneta.
- Con una capacidad de transportar a un mínimo de 2 pasajeros.
- Deberá ser impulsado por el **motor original** de fabricación del vehículo.
- El vehículo debe circular en la calle y tener Tarjeta de propiedad o Matrícula, Revisión técnico mecánica si corresponde a la provincia de origen y SOAT vigente.
- Deberá tener todas las medidas de seguridad correspondientes. (Ver Reglamento de Seguridad)

CNC Turismo Mecánica Nacional (TMN) CAMPEONATO NACIONAL DE CIRCUITOS 2016

- **Autos Turismo de Carreras**
- Deberá ser un automóvil de turismo fabricado en gran serie (mínimo 5000 unidades) de los tipos denominados: Coupé, sedan, hatchback, y/o camioneta.
- Con una capacidad de transportar a un mínimo de 2 pasajeros.
- Deberá tener modificaciones parciales o extremas en una o más partes del vehículo.
- Deberá tener todas las medidas de seguridad de un vehículo de competencia. (Ver Reglamento de Seguridad)
- **Prototipos**
- **Ver anexo especial**



CAMPEONATO NACIONAL DE CIRCUITOS

CLASES Y CATEGORÍAS.

Los vehículos de turismo que participarán en los presentes campeonatos se dividirán en las siguientes clases y categorías:

CAMPEONATO REGIONAL DE CIRCUITOS 2016 (TCM) CRC	
CATEGORÍA	CILINDRAJE
TCM1	0001cc hasta 1250cc
TCM2	1251cc hasta 1450cc
TCM3	1451cc hasta 1650cc
TCM4	1651cc hasta 2050cc
TCM5	2051cc hasta 4000cc
CAMPEONATO NACIONAL DE CIRCUITOS 2016 (TMN) CNC	
CATEGORÍA	CILINDRAJE
TMN1	0001cc hasta 1250cc
TMN2	1251cc hasta 1450cc
TMN3	1451cc hasta 1650cc
TMN4	1651cc hasta 2050cc
TMN5	0001cc hasta 6000cc
PROTOTIPOS	FUERZA LIBRE

NOTA: En el caso que un Piloto desee participar con su vehículo en cualquiera de las categorías superiores a la de su cilindrada en su clase correspondiente, podrá hacerlo sin ninguna observación ni penalidad, y mantendrá el peso de su categoría de origen.



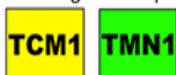
CAMPEONATO NACIONAL DE CIRCUITOS

NUMEROS DE IDENTIFICACION DE CADA CATEGORÍA.

Los números que usarán oficialmente los vehículos en las diferentes categorías son los que constan en la siguiente tabla, los mismos que deberán ser instalados por cuenta de los pilotos. La lista de números asignados y disponibles se la hará conocer con anterioridad a la válida, vía redes sociales o correo electrónico, NO se permite el cambio de número entre cada válida.

CAMPEONATO REGIONAL DE CIRCUITOS 2016 (TCM) CRC	
CATEGORÍA	IDENTIFICACIÓN
TCM1	504 - 599
TCM2	404 - 499
TCM3	304 - 399
TCM4	204 - 299
TCM5	104 - 199
CAMPEONATO NACIONAL DE CIRCUITOS 2016 (TMN) CNC	
CATEGORÍA	IDENTIFICACIÓN
TMN1	504 - 599
TMN2	404 - 499
TMN3	304 - 399
TMN4	204 - 299
TMN5	104 - 199
PROTOTOPOS	04 - 99

NOTA: Los números de identificación, deberán estar pegados en las ventanas posteriores del vehículo, uno en la izquierda y otro en la derecha. Adicionalmente al número, todos los vehículos; obligatoriamente deberán llevar pegado en el parabrisas delantero parte superior derecha y en el parabrisas posterior parte inferior izquierda, un sticker rectangular de 20 cm de largo por 14 cm de ancho, con el fondo del color correspondiente a la clase que pertenece (**CRC** amarillo **TCM** y **CNC** verde **TMN**) con letras negras en el cual se indica la categoría a la que pertenece el vehículo. Por ejemplo:



Eloy Alfaro e Italia Esquina / Tel. (+593) 98 725 7511 / Email: copatmnecuador@gmail.com



CAMPEONATO NACIONAL DE CIRCUITOS

ESCENARIO.

Nombre:	Autódromo Internacional de Yahuarcocha, Anexo 2 "José Tobar Tobar"
Longitud del circuito:	3.591,57 metros con o sin tres chicanas, dos en la recta principal y una en la recta de padock
Altura geográfica:	2.190 msnm
Sentido de giro:	Horario y/o Anti horario
Número de vueltas por manga:	<ul style="list-style-type: none"> • Para cualquiera de los dos campeonatos (1) vuelta de calentamiento.
Cada manga de cada competencia, se desarrollará luego de la formación de la grilla en la zona de largada, girando.	<ul style="list-style-type: none"> • CRC categorías Clase TCM (08) Vueltas de carrera luego de haber recibido la bandera de largada. • CNC categorías Clase TMN (10) Vueltas de carrera luego de haber recibido la bandera de largada. • Para los dos campeonatos (1) vuelta de desaceleración inmediatamente luego de haber recibido la bandera de llegada.

NOTA: Los Pilotos que durante la vuelta de calentamiento no respeten su posición en la grilla de partida, serán sancionados con un **Stop and go** de 10 segundos y/o lo que al respecto dictaminen los Comisarios de la competencia, similar sanción la tendrá el piloto que largue anticipadamente a lo que corresponde, y lo cumplirá a la salida de pits cuando los Comisarios lo señalen.

TIPO DE LARGADA.

Parada y con agitación de la Bandera Nacional del Ecuador.

Los pilotos, con sus vehículos armarán Pre – grilla en la zona de pit y se movilizarán en sus respectivas posiciones hasta la zona de largada.

CHICANNE.

La largada será **PARADA**, y con el propósito de evitar acumulaciones luego de recibir la bandera de largada, **SE RETIRARA LA PRIMERA CHICANNE**, única y exclusivamente para permitir que todos los pilotos con sus vehículos puedan largar y ubicarse en línea de carrera hasta llegar a la segunda chicana; una vez, y luego de que el último piloto con su vehículo haya cruzado la línea de largada, se ubicará inmediatamente la primera chicana en el sitio en el que los pilotos con sus vehículos la cruzaron en las prácticas controladas y libres.

Los Comisarios de pista, serán muy estrictos al controlar el ingreso de cada piloto a la chicana, y sancionarán al que no respete la zona de desaceleración y/o haga algún adelantamiento en esta zona.

Eloy Alfaro e Italia Esquina / Tel. (+593) 98 725 7511 / Email: copatmnecuador@gmail.com



CAMPEONATO NACIONAL DE CIRCUITOS

ACREDITACIONES.

Todos los Pilotos, Copilotos y su Personal de asistencia en total CUATRO (4) debidamente acreditados, se comprometen a acatar y respetar en forma irrestricta, las disposiciones contempladas en el presente Reglamento y los horarios establecidos para el evento. El equipo para asistencia, lo integrarán:

- 1 Piloto
- 1 Copiloto
- 1 Técnico
- 1 Concurrente
- 1 Vehículo de remolque, taller o de abasto.

NOTA: Los integrantes del equipo deberán ser OBLIGATORIAMENTE mayores de 16 años, donde además deberán identificarse con uniforme distintivo (OBLIGATORIO) y portar su identificación en un sitio visible; ocuparán un pit señalado por la organización para el efecto, caso contrario el equipo será penalizado de acuerdo a lo que decida el Comisario Deportivo.

REVISIÓN TÉCNICA, MECÁNICA Y DE SEGURIDAD.

ÚNICA: Se la realizará el día sábado en el ingreso a Pits del Anexo 2 del Autódromo Internacional de Yahuarcocha, conforme al Cronograma de la válida.

REUNIÓN DE PILOTOS y COPILOTOS.

La reunión obligatoria de Pilotos y Copilotos se la realizará en el Autódromo Internacional de Yahuarcocha, antes que los Pilotos con sus vehículos salgan a prácticas controladas. Se procederá al llamado a lista de los pilotos inscritos, por clases y por categorías, el piloto que no asista a la reunión, será sancionado como lo dispongan las autoridades de la competencia.



CAMPEONATO NACIONAL DE CIRCUITOS

PARÁMETROS GENERALES DE PREPARACIÓN

CAMPEONATO NACIONAL DE CIRCUITOS 2016 (TMN)

Categorías TMN1 – TMN2 – TMN3 - TMN4, TMN5.

La preparación de los vehículos es LIBRE, se permite incluso el uso de accesorios, partes principales o secundarias, componentes parciales o totales, de marcas diferentes a las de la carrocería (Motor, caja, transmisión, suspensión, dirección, frenos, etc., . . .)

Se deberá respetar los pesos mínimos establecidos en la tabla de pesos.

Se deberá considerar y los Comisarios Técnicos serán muy estrictos en las exigencias para el cumplimiento de las medidas de seguridad correspondientes.

Categoría PROTOTIPOS

- Ver anexo especial



CAMPEONATO REGIONAL DE CIRCUITOS 2016 (TCM)

Categorías TCM1 – TCM2 – TCM3 – TCM4 – TCM5.

MOTOR: Deberá ser impulsado por el original de fabricación y del modelo correspondiente a la carrocería.

Radiador de agua: De modificación libre.

Block: Original de modificación libre.

Cabezote: De modificación libre respetando la marca de la carrocería.

Árbol de levas: Libre.

Bielas y pistones: Libres

Cigüeñal: Original de modificación libre.

Volante de motor: Original de modificación libre.

Alimentación: Atmosférico y Sobrealimentados con sistemas originales, se multiplicara por 1.7 sobre el cilindraje del motor atmosférico.

Filtro de aire: De modificación libre

Sistema de admisión:

Vehículos equipados originalmente con inyección electrónica, se les permite la utilización de computadoras programables, o modificar el cuerpo de aceleración original, o cambiar el cuerpo de aceleración por ITB's, (Cuerpos de aceleración independientes) o se permite cambiar el sistema de inyección original por carburadores de moto, o carburadores de competencia.

Vehículos equipados originalmente con carburador se permite el cambio por un carburador de 1 o 2 cuerpos, o carburadores de moto, NO se permite sistemas de inyección.

Múltiple de escape: De modificación libre.

Cables de alta y bujías: Libres.

Caja de cambios: Libre.

Transmisión: Libre.

Diferencial: Original de la carrocería para los vehículos de tracción posterior y original al de la caja de cambios, para los vehículos de tracción delantera. NO se permite el uso de autoblocante.

Embrague: Libre.

Amortiguadores: Se permite el cambio por amortiguadores de mejor desempeño, se permite coilover, se permite espirales de mejor desempeño.

Suspensiones: Originales y sin ninguna modificación.

Eloy Alfaro e Italia Esquina / Tel. (+593) 98 725 7511 / Email: copatmnecuador@gmail.com



CAMPEONATO NACIONAL DE CIRCUITOS

Frenos: Los componentes deberán ser lo originales, Si se permite el uso de pastillas de mejor desempeño y/o discos perforados o ventilados.

Exterior y parachoques: Apariencia del vehículo original, NO se permite el cambio de piezas de carrocería metálicas por plástico PVC ni fibra.

Interior del vehículo: Original, alfombras, tapicerías, asientos posteriores.

Vidrios y ventanas: Vidrios y ventanas originales.

Tubo de escape: De modificación libre.

Alarma y seguro de puertas: Se debe correr sin seguro de puertas, ni alarma activada.

Llanta de emergencia, gata, llave de ruedas: Por ser accesorios originales de los vehículos, deben estar instalados para la competencia.

Extintor de incendios: Debe portar un extintor de incendios de tipo PQS, mínimo de 1 Kg de capacidad, que este bien fijado en el interior del vehículo y que sea de fácil acceso y accionamiento. Se debe tener otro extintor en los pits de cada vehículo. Aplica obligatoriamente para todos los vehículos de las clases **TCM** y **TMN**

ANEXO 6.









Prueba en frenómetro.



Matrícula: S/P

Fecha: 10/05/2016 Hora: 11:38:03

FRENOS

 Total F.S.: 7,224 kN Efic.: 79 % ✓		 Total peso: 932 kg		 Total F.M.: 2,148 kN Efic.: 23 % ✓	
 F.lzq.: 2,657 kN F.Der.: 2,446 kN Dif.: 8 % Dif.Máx.: 9 % O.lzq.: 6 % O.Der.: 6 % F. PEDAL: --- N Peso: 620 kg Efic.: 84 % R.R.I.: 0,115 kN R.D.: 0,099 kN		 F.lzq.: 1,054 kN F.Der.: 1,094 kN Dif.: 4 %  Dif.Máx.: 9 % O.lzq.: --- % O.Der.: --- % F. PEDAL: --- N R.R.I.: 0,022 kN R.D.: 0,050 kN		 F.lzq.: 0,956 kN F.Der.: 1,165 kN Dif.: 18 %  Dif.Máx.: 22 % O.lzq.: 7 % O.Der.: 7 % F. PEDAL: --- N Peso: 312 kg Efic.: 69 % R.R.I.: 0,056 kN R.D.: 0,069 kN	

ANEXO 7.

Pruebas en pista.





ANEXO 8.

Dimensiones pastilla de frenos.

