



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA
MEDIR EL DESGASTE EN FORROS DE FRENOS DE
DISCO DE UN AUTOMÓVIL VOLKSWAGEN GOLF DE
COMPETICIÓN”**

ZAMBRANO GUADALUPE JORGE LUIS

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2016

ESPOCH

Facultad de Mecánica

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2015-11-25

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

ZAMBRANO GUADALUPE JORGE LUIS

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA MEDIR EL
DESGASTE EN FORROS DE FRENOS DE DISCO DE UN AUTOMÓVIL
VOLKSWAGEN GOLF DE COMPETICIÓN”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Mariana Elizabeth Villa Orozco
DIRECTOR

Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DE TRABAJO DE TITULACION

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ZAMBRANO GUADALUPE JORGE LUIS

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA MEDIR EL DESGASTE EN FORROS DE FRENOS DE DISCO DE UN AUTOMÓVIL VOLKSWAGEN GOLF DE COMPETICIÓN”

Fecha de Examinación: 2016-08-15

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Mariana Elizabeth Villa Orozco DIRECTOR			
Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación está dedicado a mi abuelito Miguel Zambrano, a mi tía Judith Hidalgo, y a todas las personas que creyeron en mí; ya que han sido los pilares más sólidos e importantes, brindándome su confianza y apoyo para así lograr alcanzar una meta más en esta vida y gracias a sus consejos convertirme en la persona que soy.

A mis padres Edison Zambrano, Rosario Guadalupe, mis primos Mauricio, Johana, a mi novia Jennifer quienes han sido mi compañía y motivo más grande para levantarme y seguir día a día , venciendo cada obstáculo que se presentaba en el camino hacia mi meta.

Jorge Luis Zambrano Guadalupe

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por todos los tropiezos y momentos de dolor que ha provocado en mi vida ya que eso me ha hecho ser más fuerte y humilde y también por todos los momentos de felicidad, quienes me fortalecían y llenaban de mucha fe y esperanza para salir adelante. Sobre todo le agradezco por rodearme del amor y comprensión de esos seres hermosos a quienes llamo familia.

A mi madre y a mi padre por brindarme todo su apoyo y su amor constante, el cual me llena de felicidad.

A mi papito Miguel quien me brindo todo su amor, protección y apoyo incondicional para que mi sueño se pudiera hacer realidad y así poder enfrentarle a la vida venciendo cada obstáculo que se presente en mi camino el cual sé que no lo recorro solo ya que siempre estarás a mi lado papito hasta que llegue el momento que Dios decida volvernos a juntar.

A la ESPOCH, por brindarme la oportunidad de aprender de los conocimientos compartidos por todos los diferentes catedráticos que formaron de mí un ingeniero idóneo y competente con las habilidades y aptitudes en el sector automotriz, contribuyendo de esta manera al desarrollo de un país.

A mis familiares y amigos que siempre me brindaron su apoyo moral, también agradezco el apoyo emocional y económico de parte de mi novia que fue esencial para la culminación de este proyecto.

A mi director y asesor de tesis por su gran apoyo y dirección para la realización de este proyecto.

Jorge Luis Zambrano Guadalupe

CONTENIDO

Pág.

1	INTRODUCCIÓN	
1.1	Antecedentes	1
1.2	Justificación	2
1.3	Objetivos	3
1.3.1	<i>Objetivo general.</i>	3
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i>	3
2	MARCO TEÓRICO	
2.1	Fundamentos a los Sistemas de Frenos de discos.	4
2.1.1	<i>Generalidades de los frenos.</i>	4
2.1.2	<i>Partes del sistema de frenos.</i>	4
2.1.3	<i>Tipos de frenos de disco.</i>	10
2.2	Disco de freno	12
2.2.1	<i>Generalidades del disco de freno</i>	12
2.3	Pastillas de Freno	15
2.4	Sistemas de alerta de desgaste incorporados en los sistemas de frenos de disco.....	17
2.4.1	<i>Avisadores de desgaste.</i>	18
2.5	Frenos de competición	19
2.5.1	<i>Mejoras en los discos de freno.</i>	19
2.5.2	<i>Mejoras en las pastillas de freno.</i>	20
2.5.3	<i>Mejoras en las canalizaciones de freno.</i>	20
2.5.4	<i>Mejoras en el tipo de líquido de frenos.</i>	20
3	DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA PARA EL CONTROL DE DESGASTE EN FORROS DE FRENOS DE DISCO	
3.1	Metodología	21
3.2	Esquema Operativo del Sistema de Monitoreo del Control de Desgaste	22
3.3	Diseño y construcción del circuito electrónico	23
3.3.1	<i>Diseño del módulo de control.</i>	23
3.3.2	<i>Selección del sensor para medir el desgaste en los forros de las pastillas de freno.</i>	28
3.3.3	<i>Fuente de alimentación del módulo de control electrónico.</i>	32
3.3.4	<i>Implementación y adecuación del módulo de control electrónico.</i>	35
3.3.5	<i>Diagrama eléctrico del sistema de control electrónico.</i>	37
3.3.6	<i>Programación del módulo de control electrónico.</i>	38
3.3.7	<i>Programación.</i>	40
3.3.8	<i>Pruebas de funcionamiento del módulo de control electrónico.</i>	44
3.4	Diseño y construcción del mecanismo para el montaje del sensor a la mordaza de freno.....	47
3.4.1	<i>Selección de elementos para la adaptación mecánica del sistema de control de desgaste.</i>	47
3.4.2	<i>Modificación de la mordaza de freno.</i>	49
3.4.3	<i>Construcción de la placa soporte para el sensor de posición.</i>	51
3.4.4	<i>Ensamble de la parte mecánica del sistema de control de desgaste.</i>	53

3.5	Cálculo de la masa total del sistema de control de desgaste incorporado al mecanismo de freno	55
3.5.1	Masa de los elementos del mecanismo de frenos	55
3.5.2	<i>Cálculo de la masa del mecanismo de freno que viene incorporado en el vehículo.</i>	57
3.5.3	<i>Cálculo de la masa del sistema de control de desgaste incorporado en el mecanismo de freno del vehículo.</i>	58
3.5.4	<i>Comparación de los valores obtenidos en los cálculos.</i>	60
3.5.5	<i>Cálculo del desgaste de los forros de las pastillas de freno.</i>	61
3.6	Comprobación de las señales de alerta según el tipo de pastillas de freno	63
3.6.1	<i>Verificación de medidas obtenidas entre pastillas nuevas y pastillas en uso.</i> .	63
3.7	Verificación del sistema de control en el panel de instrumentos	64
4	ENSAYOS Y PRUEBAS	66
4.1	Ensayo de la secuencia operacional del sistema de control electrónico de desgaste.....	66
4.1.1	<i>Funcionamiento del sistema eléctrico del módulo de control electrónico.</i>	66
4.1.2	<i>Funcionamiento del sensor de posición.</i>	69
4.1.3	<i>Funcionamiento del sistema de control electrónico.</i>	72
4.1.4	<i>Análisis de los Resultados teóricos y reales obtenidos en el sistema de control electrónico de desgaste.</i>	73
5	ANÁLISIS DE COSTOS	78
5.1	Costos Directos.	78
5.1.1	<i>Costos de materiales.</i>	78
5.1.2	<i>Costos de Máquina-Herramienta.</i>	81
5.1.3	<i>Costos de Mano de Obra.</i>	82
5.1.4	<i>Costos por Transporte.</i>	82
5.2	Costos Indirectos.....	83
5.3	Costo total de la implementación del sistema de control electrónico de control de desgaste.	83
5.4	Análisis costo beneficio por instalar el sistema de control electrónico.	84
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
6.1	Conclusiones	85
6.2	Recomendaciones	86

BIBLIOGRAFÍA
PLANOS

LISTAS DE TABLAS

	Pág.
1	Presiones alcanzadas en el circuito hidráulico con y sin servofreno. 6
2	Características técnicas del sensor de posición de la válvula egr. 29
3	Datos obtenidos del sensor de posición 31
4	Relación del desplazamiento del vástago. 31
5	datos para realizar los cálculos correspondientes a la masa del sistema. 57
6	datos comparativos de los cálculos realizados 60
7	verificación de valores con respecto al desgaste de forros de las pastillas..... 62
8	información de señales 63
9	resumen de resultados y porcentajes de error 73
10	costo de materiales para la construcción del módulo de control electrónico. .. 79
11	costo de materiales para la construcción de la placa soporte del sensor. 79
12	costo de materiales para la modificación de la mordaza de freno. 80
13	costo de materiales para la instalación del módulo de control en el tablero..... 81
14	resumen de costo total de materiales. 81
15	costo total de máquinas y herramientas. 81
16	costo total de mano de obra. 82
17	costo total de transporte. 82
18	costo total de ingeniería. 83
19	resumen de costos totales de la implementación del sistema. 83
20	Análisis costo beneficio. 84

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1. Pedal.....	5
2. Servofreno.....	5
3. Bomba.....	6
4. Corrector de frenada	7
5. Conductos	8
6. Líquido de frenos	9
7. Pinza fija	10
8. Bastidor flotante.....	11
9. Pinza flotante	11
10. Disco de freno	12
11. Discos macizos	13
12. Disco Ventilado	14
13. Disco Perforado	14
14. Disco Estriados	15
15. Disco Cerámicos	15
16. Pastillas de Freno	16
17. Composición de los forros de las pastillas de freno.....	17
18. Fleje o lámina metálica	18
19. Conductor.....	18
20. Sensor de desgaste	19
21. Frenos de competencia.....	19
22. Método Sistémico	21
23. Esquema operativo de monitoreo	22
24. Diagrama de bloques de la secuencia operacional.....	23
25. Tarjeta Arduino Uno.....	25
26. LCD del tipo 16x2	26
27. Pines de conexión del LCD	26
28. Led	27
29. Buzzer o Zumbador	27
30. Sensor de posición de la válvula EGR.....	28
31. Pines de conexión del sensor de posición de la válvula EGR	30
32. Curva característica del sensor de posición de la válvula EGR.....	32
33. Conexión de alimentación del módulo de control electrónico	32
34. Conexión del rectificador de voltaje	33
35. Conexión de conectores	33
36. Tendido del cableado del sistema incorporado.....	34
37. Placa de actuadores	34
38. Módulo de control.....	37
39. Diagrama eléctrico del sistema de control	37

40. Diagrama de flujo de la programación	39
41. Programación en Arduino	44
42. Simulación de pastillas sin desgaste	45
43. Simulación de pastillas con 25 % desgaste.....	45
44. Simulación de pastillas con 85 % de desgaste.....	46
45. Simulación de pastilla que requiere ser cambiada	46
46. Mordaza de freno	49
47. Modificación de la mordaza de freno	50
48. Perno construido	50
49. Conjunto modificado	50
50. Grabado de diseño	51
51. Corte de pletina.....	51
52. Esmerilado de la placa soporte	52
53. Acabado superficial de la placa soporte	52
54. Elaboración de agujeros en la placa soporte.....	52
55. Acople de sujeción de la placa soporte	53
56. Limpieza de elementos	53
57. Adecuación de la mordaza de freno.....	55
58. Masa de la mordaza de freno	55
59. Masa de sensor.....	56
60. Masa del perno de sujeción de la mordaza.	56
61. Masa de la placa soporte.....	56
62. Masa del perno de sujeción de placa soporte.....	57
63. Voltaje de alimentación 1	66
64. Voltaje 1 emitido por el regulador.....	67
65. Voltaje de alimentación 2	67
66. Voltaje 2 emitido por el regulador.....	68
67. Verificación de voltaje 1 de alimentación	68
68. Verificación de voltaje 2 de alimentación	69
69. Verificación de voltaje 3 de alimentación	69
70. Resistencia en el pin B de señal del sensor.....	70
71. Resistencia en el pin C de masa del sensor.....	70
72. Voltaje de alimentación del sensor	71
73. Voltaje de alimentación del sensor	71
74. Voltaje y %desgaste simulando pastillas nuevas.....	72
75. Voltaje y %desgaste simulando pastillas con desgaste.....	72
76. Voltaje y %desgaste simulando pastillas de cambio	73
77. Representación gráfica del escritorio del ordenador donde se encuentra ubicado el programa de Arduino/Genuino Uno en COM1.	74
78. Lenguaje de programación Arduino	74

SIMBOLOGÍA

<i>C</i>	Corriente	A
<i>F</i>	Frecuencia	MHz
<i>P_o</i>	Potencia	HP
<i>V</i>	Velocidad	km/h
<i>T</i>	Temperatura	°C
<i>P</i>	Presión	PSI
<i>M</i>	Masa	kg

LISTA DE ABREVIACIONES

PWM	Pulse Width Modulation
ICSP	In Circuit Serial Programming (Programación serial en Circuito)
ABS	Antiblockiersystem (Sistema antibloqueo de frenos)
EPDM	Etileno propileno dieno tipo M ASTM
ASTM	Asociación americana de ensayo de materiales
SAE	Sociedad de ingenieros automotrices
AISI	Instituto americano del hierro y el acero
DOT	Departamento de transporte
EGR	Sistema de recirculación de gases de escape
USB	Universal serial Bus (Puerto de conexión de un ordenador)
SRAM	Memoria estática de acceso aleatorio
EEPROM	Electrically Erasable programable (Memoria programable)
IDE	Entorno de desarrollo integrado)
LCD	Pantalla de cristal líquido
DDRAM	Data Display Ram
LED	Diodo emisor de luz
GND	Conexión a tierra

LISTA DE ANEXOS

- A** Despiece del conjunto del sistema de freno.
- B** Plano de la placa soporte.
- C** Plano del perno de sujeción de la mordaza.
- D** Plano de la mordaza de freno.
- E** Plano del sensor de posición.

RESUMEN

Este proyecto se encaminó al estudio, diseño y construcción de un sistema de control electrónico para medir el desgaste en los forros de las pastillas de frenos en un automóvil de competición.

Se realizó un análisis sobre el problema que se origina en los discos de frenos al sufrir daños prematuros e irreparables debido a los sistemas de alerta de desgaste que traen incorporados las pastillas de freno, siendo estos los causantes del problema.

Después de analizar el problema se realizó la selección e implementación de componentes electrónicos para solucionar el problema con los discos de frenos, garantizando su excelente desempeño, su cuidado respectivo, el incremento de la vida útil tanto del disco como del forro de las pastillas de freno y sobre todo velar por la seguridad e integridad física del conductor del vehículo.

Los resultados obtenidos en las pruebas de funcionamiento del sistema de control electrónico incorporado al vehículo de competición, fueron excelentes ya que se logró consumir 15 % más cantidad de forros que normalmente se logra con la lámina de acero (fleje) y evitar daños en la superficie de los discos de frenos, economizando los gastos que representa la sustitución de ellos.

Mediante los cálculos de desgaste se determina que el material de fricción entre disco y pastilla llamados forros no afecta de ninguna manera al sistema incorporado ya que de igual forma mide el desgaste que sufren los mismos, garantizando su normal funcionamiento y la certeza de poder utilizar cualquier tipo de forros de frenos.

ABSTRACT

The project was headed to the study, design and construction of an electronic control system to measure the wear on the linings of brake pads in a racing car.

An analysis of the problem that originates in brake discs when suffering premature and irreparable damages due to the wear of warning system that brake pads have incorporated, being these the causes of the problem.

After analyzing the problem the selection and implementation of electronic components was done to solve the problem with the brake discs, ensuring their performance, their respective care, increasing the usable life of both the disc and the lining of the brake pads and especially to ensure the safety and physical integrity of the vehicle.

The results of the performance tests of electronic control incorporated into the racing vehicle were excellent, as they managed to consume 15% more than the amount of lining that's normally achieved with a steel sheet (strip) and avoids damages in the brake discs surface, saving the costs involved replacing them.

By the calculations of wear it is determined that the friction material between the disc and the pad (called liners), it does not affect in any way the incorporated, since similarly measures the wear the same system suffers, ensuring the normal operation and the certainty that you can use any type of brake linings.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El sistema de frenos está diseñado para detener el vehículo a voluntad del conductor, mediante el funcionamiento de los diferentes elementos que lo conforman, ayudado por un fluido para amplificar la presión ejercida por el conductor, logrando detener al vehículo con el mínimo esfuerzo posible.

Cabe mencionar que dentro de los sistemas convencionales de frenos de discos que tiene un vehículo de competición, existen dos elementos primordiales los cuales se encargan de realizar la detención del vehículo mediante la fricción existente entre ellos, siendo estos los forros de las pastillas y los discos de frenos.

Se tiene presente que los elemento a sufrir desgaste son los forros de las pastillas de frenos, quienes poseen un límite de desgaste para evitar daños en la superficie de contacto de los discos de freno.

Este límite lo controla una lámina de acero (fleje), que traen adheridas las pastillas de frenos a sus cuerpos, emitiendo una señal ruidosa al momento de ponerse en contacto con la superficie del disco de freno.

En algunos automóviles de competición aun poseen dichos sistemas de alerta de desgaste, pero gracias a la electrónica que día a día gana importancia en el mundo del automovilismo se han instalado nuevos dispositivos electrónicos para mejorar la seguridad del sistema de frenos de discos. Dando origen a los sensores de desgaste, para que suplanten a las tradicionales láminas de acero que traen incorporadas las pastillas de frenos, para medir el desgaste que sufren las mismas.

En la actualidad los vehículos de competición poseen varios sistemas que alertan el desgaste en los forros de las pastillas de frenos siendo estos: láminas de acero, los

cables conductores y los sensores de desgaste, tratando de mejorar día a día el cuidado de sus discos de frenos.

Después de haber analizado todos estos sistemas ya incorporados en distintos vehículos de competición y haber estudiado las condiciones de funcionamiento de cada uno de ellos, así como también las exigencias que los circuitos de competición poseen, se implementara un sistema de control electrónico para medir el desgaste de los forros de las pastillas de frenos.

1.2 Justificación

Teniendo en cuenta que algunos vehículos de competición poseen un sistema de frenos de disco convencional, donde el elemento que alerta el desgaste excesivo de los forros en las pastillas de frenos es una pequeña lámina de acero (fleje), la cual en muchos de los casos provoca daños en las superficie de los discos de frenos debido al roce que se produce entre el disco de freno con dicha lámina al momento de emitir la señal de desgaste.

Se debe considerar también que en ocasiones llega a existir un roce entre el disco de freno y el metal de anclaje de los forros de las pastillas, debido a las condiciones de los circuitos de competición y a las formas de conducción que dichos circuitos lo exigen, las cuales hacen que este sistema falle, al eliminar la señal de alerta de desgaste incorporadas en las pastillas de freno.

Siendo este el motivo por el cual los discos de freno sufren daños irreparables y las vidas humanas corren gran peligro y por ende las pérdidas económicas son muy grandes.

Para tratar de disminuir todo este riesgo se está aprovechando los avances tecnológicos que día a día van apareciendo en el mundo del automovilismo en cuanto a seguridad, calidad, confort, rendimiento y efectividad en todo lo relacionado a la seguridad activa del vehículo, como lo es el sistema de frenos.

Se diseñó y construyó un sistema de control electrónico para medir el desgaste de los forros en las pastillas de frenos, mediante un sensor de posición de la válvula EGR

quien medirá el desgaste de los forros de las pastillas, controlado mediante un módulo de control electrónico el cual será diseñado bajo los parámetros de funcionamiento del mismo.

El sistema informa al conductor sobre el estado actual y respectiva sustitución de las pastillas de frenos, cuando estas lo ameriten, evitando así provocar daños a los discos de frenos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general. Diseñar y construir un sistema para medir el desgaste en forros de frenos de discos de un automóvil.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Conocer las principales causas que originan los problemas en los sistemas de frenos de discos en un automóvil de competición, mediante el estudio y análisis de su funcionamiento, determinando así la causa principal de problema.
- Investigar los sistemas de alerta actualmente incorporados en los vehículos de alto rendimiento, mediante la revisión de manuales de fabricante y sus estrategias para el monitorear del desgaste de los forros de frenos, para diseñar el sistema electrónico.
- Desarrollar el sistema para el monitoreo de desgaste seleccionando el mecanismo, el control electrónico y el sensor apropiado.
- Evaluar y ajustar parámetros de funcionamiento del sistema para garantizar el buen funcionamiento del mismo, analizando los resultados obtenidos en las pruebas.
- Obtener los costos de construcción mediante el análisis de costos para justificar los beneficios financieros.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Fundamentos a los sistemas de frenos de discos

2.1.1 *Generalidades de los frenos.* Los frenos de un vehículo de competición en términos de seguridad, es el componente más importante dentro de una competencia, debido a las condiciones tanto de conducción como de circulación que realizan. Por lo que se los debe mantener siempre en las mejores condiciones, sin ahorrarse esfuerzos ni recursos para consérvalos en perfecto estado.

2.1.2 *Sistema de frenos.* Los frenos se desarrollaron debido a la necesidad de disminuir o parar totalmente la velocidad de un automóvil. En la actualidad son dos grandes familias las utilizadas en montajes de frenos de discos siendo estas

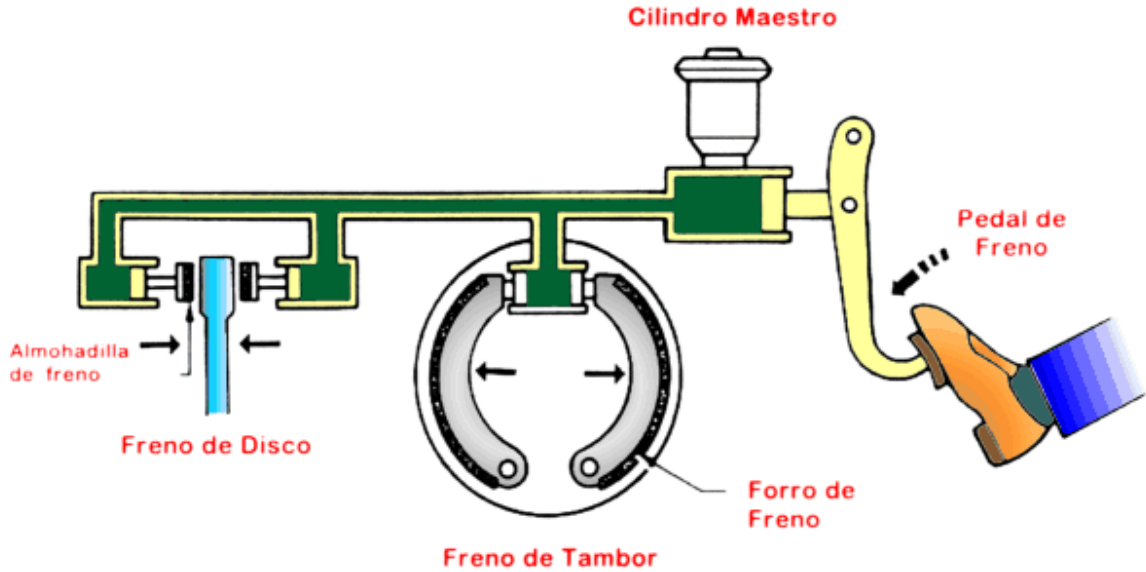
- Los frenos de sistema rígido
- Los frenos de sistema flotante. (MARTÍNEZ, 2001)

En todo proceso de frenado de un vehículo, se produce una transformación de la energía cinética acumulada debido a su velocidad, en energía calorífica provocado por el rozamiento entre dos superficies, una parte móvil solidaria a las ruedas y otra parte fija solidaria a la estructura del automóvil, con el consiguiente aumento de la temperatura global del sistema. (MARTÍNEZ, 2000)

En términos de seguridad, el componente más importante del vehículo es el sistema de frenos. Es por eso que se debe mantenerse siempre en condiciones adecuadas, sin ahorrarse esfuerzos ni recursos para conservarlo en perfecto estado; está compuesto por:

2.1.2.1 *Pedal.* Pieza metálica que transmite la fuerza ejercida por el conductor al sistema hidráulico. Con el pedal conseguimos hacer menos esfuerzo a la hora de transmitir dicha fuerza. El pedal de freno forma parte del conjunto “pedalera”, donde se sitúan 2 o 3 palancas de accionamiento individual que nos permiten manejar los principales sistemas del vehículo (*neobux; MECÁNICA*).

Figura 1. Pedal

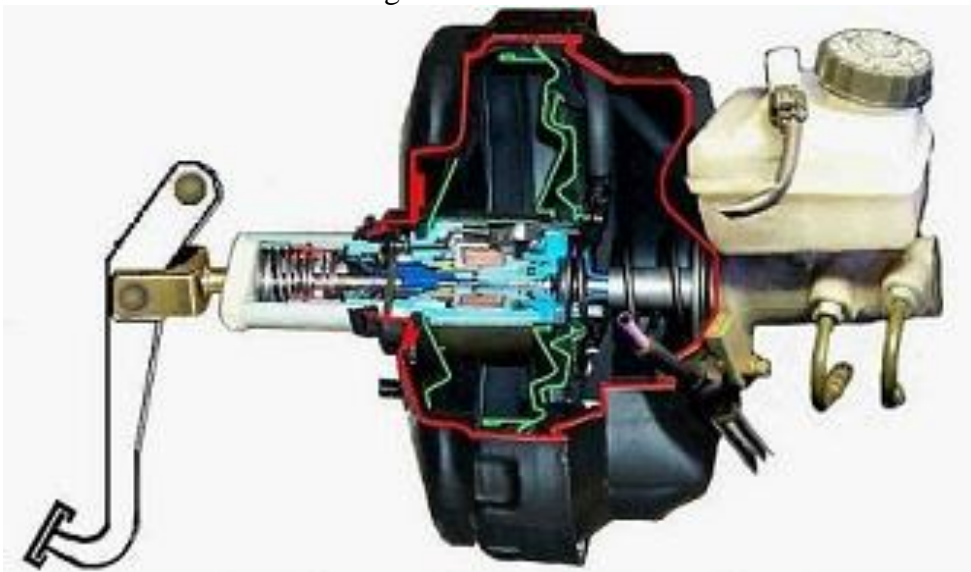


Fuente: <http://mecanicaalamano.blogspot.com/2013/12/sistema-de-freno.html>

2.1.2.2 Servofreno (suavizador). Básicamente el servofreno es un dispositivo de ayuda, que se sitúa tras el pedal de freno y que permite reducir el esfuerzo que tendría que hacer el conductor al pisar el pedal con objeto de elevar la presión del líquido del circuito necesario para activar el dispositivo de frenada que se sitúa en la rueda (MARTÍNEZ, 2001).

En la siguiente figura se puede apreciar el montaje del conjunto de servofreno y bomba de freno, incluyendo también el depósito del líquido de freno.

Figura 2. Servofreno



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

En la siguiente tabla, se indica a modo ilustrativo la presión que se consigue en el circuito hidráulico con el uso del servofreno y sin él, a partir de un esfuerzo aplicado sobre el pedal (GALABARRO).

Tabla 1. Presiones alcanzadas en el circuito hidráulico con y sin servofreno

Fuerza sobre el pedal [kg]	Presión en el circuito con servofreno [bar]	Presión en el circuito sin servofreno [bar]
0	0	0
10	30	13
20	65	24
30	104	34
40	118	44
50	130	53
60	140	63
70	150	75
80	160	86
90	170	100
100	180	113

Fuente: (GALABARRO)

2.1.2.3 Bomba de freno o Cilindro principal. La bomba de freno o cilindro principal tiene la misión de suministrar la presión necesaria al líquido de freno que llena todo el circuito hidráulico con el fin de poder accionar los mecanismos de frenado situado en cada una de las ruedas del vehículo.

Básicamente consta de un cilindro principal por cuyo interior se desplaza un pistón que se mueve cuando se pisa el pedal de freno, y que consigue suministrar presión al líquido del circuito de freno. (GALABARRO)

Figura 3. Bomba



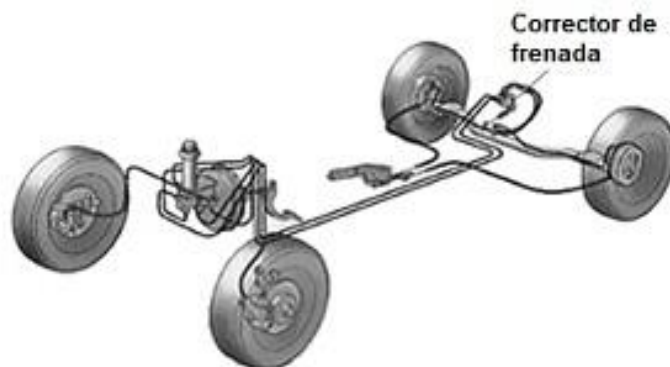
Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn74.html#introduccion>

Una operación de vital importancia para asegurar el buen funcionamiento de la bomba es su purgado. Mediante la purga se expulsa todo el aire que pudiera estar ocluido en forma de burbujas en el circuito del líquido de frenos. Como se sabe el aire es un gas, y como todo gas es compresible. Es decir, que si existiesen burbujas de aire en el circuito de freno o el interior de la bomba, gran parte de la presión que da la bomba se emplearía en comprimir este aire por lo que no llegaría suficiente presión a las ruedas para activar los mecanismos de frenado (GALABARRO).

- **Corrector de frenada**

A consecuencia del desplazamiento dinámico de cargas sobre el eje que ejerce el vehículo al frenar, es necesario que las ruedas delanteras frenen más fuertemente que las ruedas traseras. Siendo este el motivo de ubicar los correctores de frenada para así reducir la presión de frenado de las ruedas traseras en comparación de las ruedas delanteras. (MARTÍNEZ, 2001). Ver Figura 4

Figura 4. Corrector de frenada



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

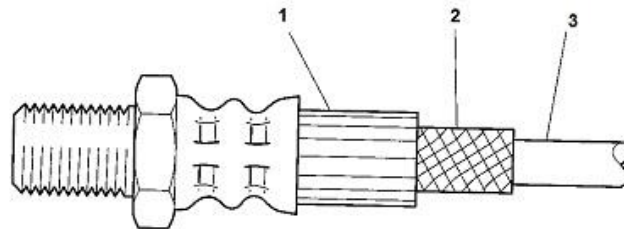
- **Conductos, tuberías y latiguillos**

Las tuberías y los latiguillos son los encargados de conducir el líquido de frenos desde la bomba o cilindro principal hasta la entrada en los caliper y cilindros de ruedas donde se alojan tanto las pastillas como las zapatas o balatas de freno en cada rueda. (GALABARRO)

Dichos conductos deben ser de un diseño tal que soporten al menos la presión interna del líquido de freno durante una frenada brusca (que puede ser del orden de unos 100

bares-1.450 PSI), además de resistir la agresión medioambiental y otros agentes agresivos del entorno. (GALABARRO)

Figura 5. Conductos



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

La membrana interior del tubo flexible (3) ha de ser resistente al líquido de frenos. El material empleado es EPDM ya que es muy poco permeable. El material de la capa interior es de rayón (2) debido a que éste presenta unas cualidades muy buenas de resistencia a la presión interna. Algunos tubos flexibles tienen fundas de plástico o acero inoxidable (1) enrollados alrededor de los mismos para dar protección adicional contra el doblado del tubo en otros componentes. (CRIADO OCAÑA, 2012). Ver Figura 5

- **El líquido de freno**

El líquido de freno está constituido por una mezcla de alcohol con aceites minerales que rellena todo el entramado de tuberías que constituye el sistema de frenado, y que es el encargado de transmitir la presión hidrostática que genera la bomba de freno al accionar el pedal hasta los pistones, los cuales empujan las pastillas contra el disco de freno. (GALABARRO)

Todo líquido de freno debe satisfacer una serie de cualidades que garantice su buen comportamiento, tales como:

Incompresible: que es una propiedad inherente a todos los líquidos.

Temperatura de ebullición elevada: los líquidos empleados para los sistemas de freno de disco deben soportar unos rangos de temperaturas elevados (entre 230 y 240 °C) que se alcanzan ante situaciones de frenadas bruscas.

Bajo punto de congelación: los líquidos de frenos deben ofrecer una temperatura de congelación por debajo de los $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Baja viscosidad: que asegure un fácil desplazamiento por el circuito.

Características lubricantes: los líquidos de freno deben actuar como lubricantes de componentes con los que entra en contacto, para asegurar una operación suave y uniforme del sistema de frenado.

Anticorrosivo/antioxidante: los líquidos de freno deben combatir la corrosión y la oxidación de las tuberías del sistema de freno y de otros componentes.

Químicamente estable: los líquidos de freno no deben ser activos químicamente ni reaccionar con los materiales con los que entra en contacto.

Figura 6. Líquido de frenos



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

El principal inconveniente con que cuenta la mayoría de los líquidos de freno es su propiedad higroscópica, es decir, que tienen una gran capacidad de absorber agua. Esta agua lo puede absorber a partir de la humedad presente en el aire atmosférico. (GALABARRO)

Los líquidos de frenos se identifican con las letras SAE (Sociedad de Ingenieros Automotrices) / DOT (Departamento de Transporte) que indican la naturaleza, mezcla y las características de actuación de esa marca de líquido en particular, según los tipos siguientes: (MARTÍNEZ, 2001)

- **DOT 3:** Cuyo punto de ebullición es de 205 °C. Aplicable en frenos convencionales.
- **DOT 4:** Cuyo punto de ebullición es de 255 °C. Este tipo es el empleado en sistemas de freno tipo disco/tambor o disco/disco, sin ABS.
- **DOT 5:** Cuyo punto de ebullición es de 270°C. Este tipo debe ser el utilizado para vehículos de altas prestaciones y aquellos que vayan dotados con sistemas ABS. (MARTÍNEZ, 2001)

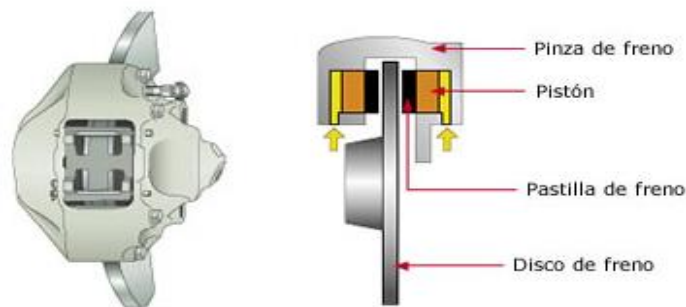
2.1.3 Tipos de frenos de disco. Según el sistema empleado para la sujeción de la mordaza o pinza, los frenos de disco se clasifican en dos grupos:

1. Los frenos de pinza fija.

También de reacción es el sistema más utilizado del mercado. Los discos son de tipo fijo, lisos, ventilados en el eje delantero y macizos en el trasero. (MECÁNICA)

Este tipo de frenos son utilizados en vehículos de turismos pesados y rápidos debido a su alta resistencia y buena frenada. (MARTÍNEZ, 2000). Ver Figura 7

Figura 7. Pinza fija



Fuente: <http://www.autofacil.es/tecnica/2015/03/23/tipos-frenos-disco-existen/24089.html>

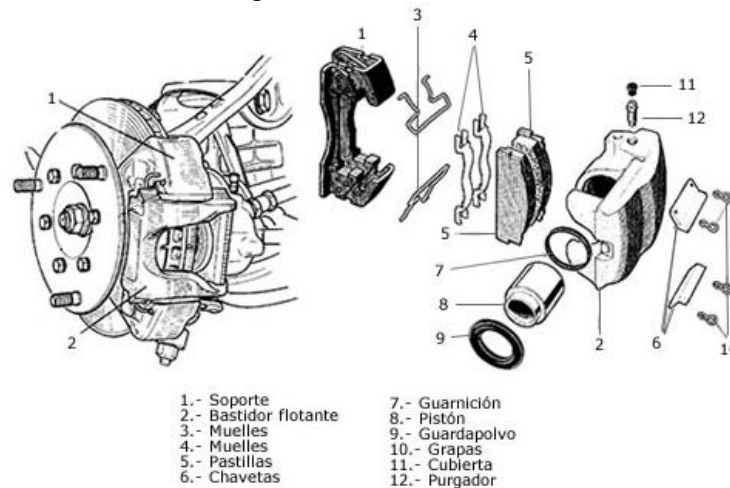
2. Los frenos de pinza flotante.

Dentro de los frenos de pinza flotante podemos encontrar:

- Porta pinza flotante.
- Pinza flotante.

Porta pinza flotante: Está formado por un bastidor flotante que se monta sobre un soporte unido al porta mangueta. (MECÁNICA). Ver Figura 8

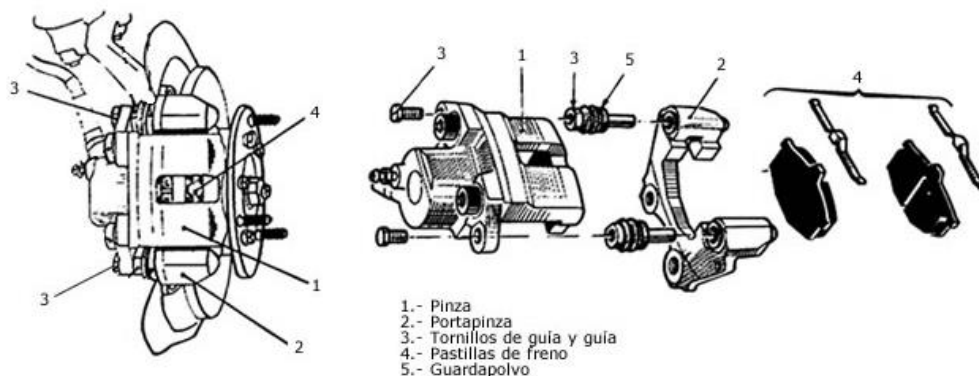
Figura 8. Bastidor flotante



Fuente: <http://www.autofacil.es/tecnica/2015/03/23/tipos-frenos-disco-existen/24089.html>

Pinza flotante. Este es el sistema de frenado de disco más utilizado actualmente, debido a las ventajas que presenta con respecto al sistema de freno anterior. Estas ventajas se traducen en una menor fricción de la pinza en su deslizamiento, que supone un accionamiento más silencioso y equilibrado, que además atenúa el desgaste de las pastillas y lo reparte más uniformemente. (MECÁNICA). Ver Figura 9

Figura 9. Pinza flotante



Fuente: <http://www.autofacil.es/tecnica/2015/03/23/tipos-frenos-disco-existen/24089.html>

2.2 Disco de freno

2.2.1 Generalidades del disco de freno. Discos sobredimensionados con ranurado y perforado específico, pistas de fundición con perforación y ranurado radial para mejorar la regeneración del material de fricción y evacuación de gases entre pastilla y disco. Con diámetros comprendidos entre 283 y 345 mm, grosor de hasta 30mm. (TOLEDO, 2010)

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

En la actualidad se están haciendo ensayos con discos fabricados de materiales compuestos con una matriz de carbono, pero que por ahora sólo se reservan para automóviles de competición, así como para frenos de aviones. (MECÁNICA)

Figura 10. Disco de freno



Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/frenos-3.htm>

En todo disco se puede distinguir las siguientes partes diferenciadas en su geometría:

La pista: ocupa la superficie más exterior del plato del disco donde ocurre el contacto con la pastilla de freno. El tipo de material y espesor de la pista se calcula de manera que sea capaz de disipar al aire una potencia calorífica unitaria de unos 250 W/cm^2 , aunque este valor se puede elevar hasta los 750 W/cm^2 si el disco es del tipo ventilado. (MECÁNICA)

Fijación: Por el hueco central del disco se aloja el buje de la rueda, existiendo un chaflán por la parte posterior que encaja en la mangueta para un ajuste perfecto.

Alrededor del hueco central una serie de taladros permite el paso de los pernos para el anclaje del disco a la rueda. (MECÁNICA)

La campana: la campana es el cilindro que une la banda con el plano de fijación. En algunos casos el interior de la campana se diseña para montar un pequeño sistema de freno de tambor para un accionamiento mecánico, con la finalidad de servir también de freno de estacionamiento. (MECÁNICA)

Filtro térmico: el filtro térmico es un canal mecanizado que separa la pista de la fijación, practicado para reducir el calor que pasa de la pista hacia la campana. Con este tipo de canales se evita que el calor generado en el disco pase a la llanta y de aquí al neumático. (MECÁNICA)

2.2.1.1 Tipos de discos:

- **Discos Clásicos (macizos):** Estos discos poseen una superficie de fricción sólida y lisa, no poseen ningún tipo de ventilación y son muy propensos a acumular calor, suciedad y tienden a cristalizar las pastillas como se muestra en la figura 11. (ROAD)

Figura 11. Discos macizos



Fuente: <http://ontheroadmexico.blogspot.com/p/frenos-de-disco.html>

- **Discos Ventilados:** Los discos ventilados son como si se juntasen dos discos, pero dejando una separación entre ellos, de modo que circule aire a través de ellos, del centro hacia afuera, debido a la fuerza centrípeta. (ROAD). Ver Figura 12

Figura 12. Disco Ventilado



Fuente: <http://www.autonocion.com/frenos-disco-ceramicos/>

Discos taladrados o perforados: Los discos perforados aumentan la superficie del disco con las perforaciones y además llevan aire fresco a la pastilla del freno. Una perforación es como un pequeño túnel, las paredes del túnel sería el aumento de superficie capaz de disipar calor, además de cuando la perforación llega a la zona de las pastillas, llega con aire fresco que las refresca evitando el calentamiento en exceso. (ROAD). Ver Figura 13

Figura 13. Disco Perforado



Fuente: <http://direcblogger.blogspot.com/>

Discos Estriados: Estos discos se podrían clasificar dentro de los "perforados" ya que la finalidad del estriado o rayado es mejorar la refrigeración de los mismos. El estriado tiene la función principal de remover el aire caliente y de limpiar la pastilla de polvo y crear una superficie idónea para el frenado, con la única desventaja que desgasta más rápido la pastilla en pro de una mejor y más efectiva frenada. (ROAD). Ver Figura 14

Figura 14. Disco Estriados



Fuente: <http://www.ebay.es/itm/Discos-Freno-Delanteros-Estriados-RENAULT-CLIO-II-2-0-16V-Sport-2000-en-adelante-/131346954170>

Discos Cerámicos: Los discos de frenos Carbo-Cerámicos, tienen sus orígenes en la industria de la aviación, más tarde a principio de la década de los 80 se utilizaron en las competiciones de F1, actualmente algunos automóviles muy exclusivos y de altas prestaciones también los utilizan como el Porsche 911 Turbo, en 2001. (ROAD). Ver Figura 15

Figura 15. Disco Cerámicos



Fuente: <http://eldiscodefreno.blogspot.com/2010/09/teoria-de-los-discos-de-freno.html>

2.3 Pastillas de Freno

Para cumplir con la normativa vigente de la fabricación de vehículos, la composición de las pastillas cambia dependiendo de cada fabricante. Aproximadamente 250 materiales diferentes son utilizados, y las pastillas de calidad utilizan entre 16 a 18 componentes. (MECÁNICA)

El material del forro es un compuesto complejo con un coeficiente de rozamiento adaptado, generalmente entre 0,35 y 0,45. El coeficiente de rozamiento no es una magnitud física invariable, sino que puede cambiar en función de las condiciones de uso (presión, temperatura, velocidad, etc.) (GALABARRO)

Los calentamientos muy rápidos por frenadas consecutivas y parcialmente violentas producen un efecto de acumulación térmica en el freno que puede provocar una pérdida de eficacia de los forros denominada “fading” (término anglosajón que se puede traducir como desfallecimiento) y caracterizado por un descenso brusco del coeficiente de rozamiento. (MECÁNICA)

Figura 16. Pastillas de Freno



Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/frenos-3.htm>

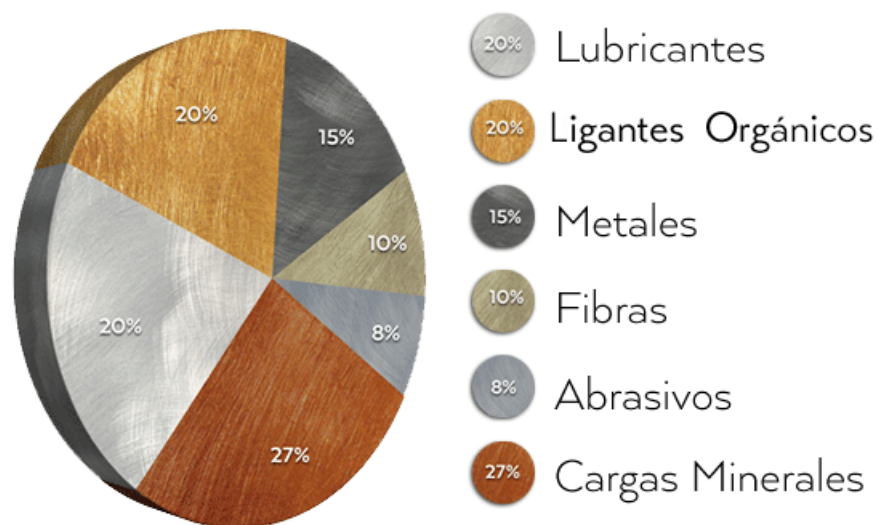
Pastillas de compuesto deportivo, con compuestos especialmente diseñados en calidades FDT-1055 y FDR-1065 para su utilización en uso diario, "track days" ó competición. Mayor superficie de fricción que en las pastillas originales. Tres referencias en función de la pinza empleada. (TOLEDO, 2010)

En la actualidad la base en la composición de la gran mayoría de las pastillas de freno que existen en el mercado se compone de los siguientes elementos:

- **Fibras:** Actúan de armazón para aglutinar a los restantes elementos. (GALABARRO)
- **Aportes minerales:** Para dotar al conjunto de resistencia mecánica, sobretodo resistencia a la abrasión y al cizallamiento. (GALABARRO)

- **Aportes metálicos:** Para homogeneizar el coeficiente de fricción y mejorar la evacuación del calor generado por el rozamiento de la pastilla. (GALABARRO)
- **Lubricantes:** Cuando las pastillas alcanzan elevadas temperaturas los lubricantes actúan impidiendo que las pastillas gripen o se queden pegadas al disco. (INGEMECÁNICA)
- **Elementos orgánicos:** Aglomeran y mantienen unidos el resto de elementos. (GALABARRO)
- **Elementos abrasivos:** Aumentan el coeficiente de fricción entre la pastilla y el disco de freno. (GALABARRO)

Figura 17. Composición de los forros de las pastillas de freno



Fuente: <http://www.northcar-mexico.com/asesoria.html>

2.4 Sistemas de alerta de desgaste incorporados en los sistemas de frenos de disco

Cabe recalcar que son muy indispensables incorporar estos sistemas en los vehículos sabiendo que es el principal sistema que posee un vehículo dentro de su seguridad activa para así garantizar la integridad tanto de sus ocupantes, vehículo y el entorno que lo rodea. Denominándolos avisadores de desgaste. (GALABARRO)

2.4.1 *Avisadores de desgaste.* Los avisadores de desgaste avisan al usuario del vehículo del fin de la vida útil de las pastillas para proceder de inmediato a su sustitución.

Los hay de varios tipos, siendo estos los sonoros, luminosos y desgaste. (MECÁNICA)

- **Sonoros.** Los avisadores sonoros consisten en unos flejes (láminas de acero) alojados en los laterales de las pastillas de frenos. (MECÁNICA)

Figura 18. Fleje o lámina metálica



Fuente: <http://suzuki88.mforos.com/407023/11469989-chirrido-al-girar-solucionado-era-el-avisador-de-desgaste-de-pastillas/>

- **Luminosos.** Por otro lado, los avisadores luminosos consisten en un cable conductor con un cabezal recubierto de polímero. (MECÁNICA)

Figura 19. Conductor



Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/frenos-3.htm>

- **Sensores de desgaste de la pastilla de freno.**

Los sensores de la pastilla de freno están diseñados para "fallar" a medida que se desgastan. Deben cambiarse siempre que se cambien las pastillas o cuando la luz de advertencia del vehículo así lo indique. (MECÁNICA)

Figura 20. Sensor de desgaste



Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/frenos-3.htm>

2.5 Frenos de competición

En los sistemas de frenos de competición se realizan diversas mejoras en sus distintos componentes que lo conforman, para de esta manera mejorar su rendimiento y satisfacer las exigencias presentadas al momento de realizar una competencia. (RIOFRIO PERÉZ, 2009)

Figura 21. Frenos de competencia



Fuente: <http://www.rodiautosport.net/web/frenos-deportivos-y-de-competicion/>

2.5.1 Mejoras en los discos de freno. El mejoramiento en los discos de frenos se lo realiza de forma siguiente:

- Mejorar la calidad del material (discos con tratamientos térmicos).

- Disco con mejor sistema de ventilación (disco taladrado o rallados y discos desmontables bi-material).
- Aumento del diámetro del disco (mayor superficie de fricción) (RIOFRIO PERÉZ, 2009)

2.5.2 *Mejoras en las pastillas de freno.* Mejorar los componentes químicos del material de fricción (forros) y también el aumento de tamaño de los mismos. (RIOFRIO PERÉZ, 2009)

2.5.3 *Mejoras en las canalizaciones de freno.* Se puede reemplazar las canalizaciones de líquido sobre las mordazas de freno, que originalmente son de caucho, por otras construidas con tubo de teflón recubierto de una malla de acero trenzado lo que nos proporcionará una mayor firmeza sobre el pedal, ya que éste material no está sujeto a las dilataciones que sufre el tubo de caucho y además tendremos menor riesgo de roturas por impactos. (RIOFRIO PERÉZ, 2009)

2.5.4 *Mejoras en el tipo de líquido de frenos.* Se utilizara un tipo de líquido de frenos con un alto punto de ebullición, para evitar el tan temido problema de " vapor-lock " que nos deja sin capacidad de frenada cuando se produce una burbuja de aire en el circuito debido al aumento excesivo de temperatura. Existen varios tipos y marcas de líquido, debemos utilizar un líquido con especificaciones DOT 4 o DOT 5, a ser preferible éste último. (RIOFRIO PERÉZ, 2009)

CAPÍTULO III

3. DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA PARA EL CONTROL DE DESGASTE EN FORROS DE FRENOS DE DISCO

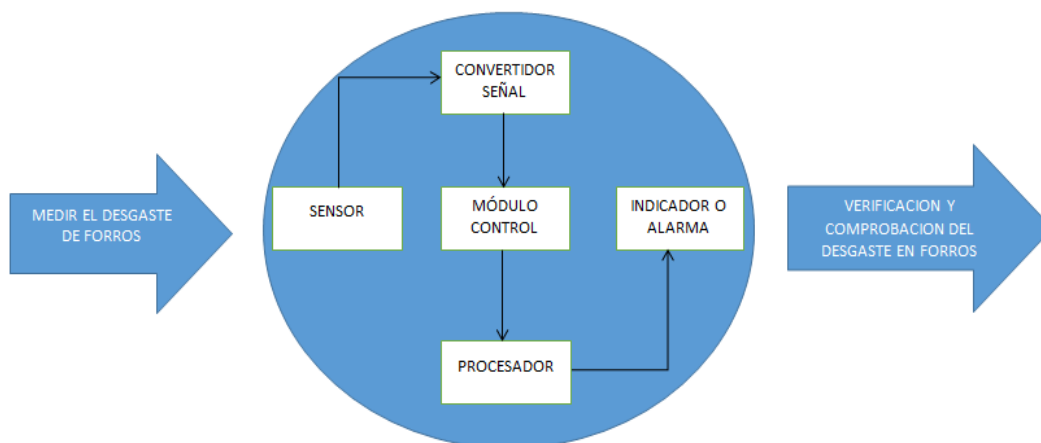
3.1 Metodología

Para desarrollar el sistema de control de desgaste se aplicó un método sistémico, el cual impone seguir una secuencia de pasos los cuales conllevan a modelar el objeto mediante la determinación de sus componentes, así como las relaciones entre ellos formando su estructura y dinámica basadas en un orden establecido por reglas llegando a la absoluta comprensión de la situación.

La secuencia de pasos a seguir para desarrollar el sistema de control de desgaste de los forros de las pastillas de freno es:

1. Medir el desgaste de los forros, por medio de un sensor.
2. Convertir la señal enviada por el sensor, por medio de una tarjeta electrónica.
3. Procesar la información, por medio del módulo de control programado.
4. Entregar la información del desgaste, por medio de los actuadores.
5. Verificar y comprobar el desgaste producido en los forros. Ver Figura 22

Figura 22. Método Sistémico



Fuente: Auto

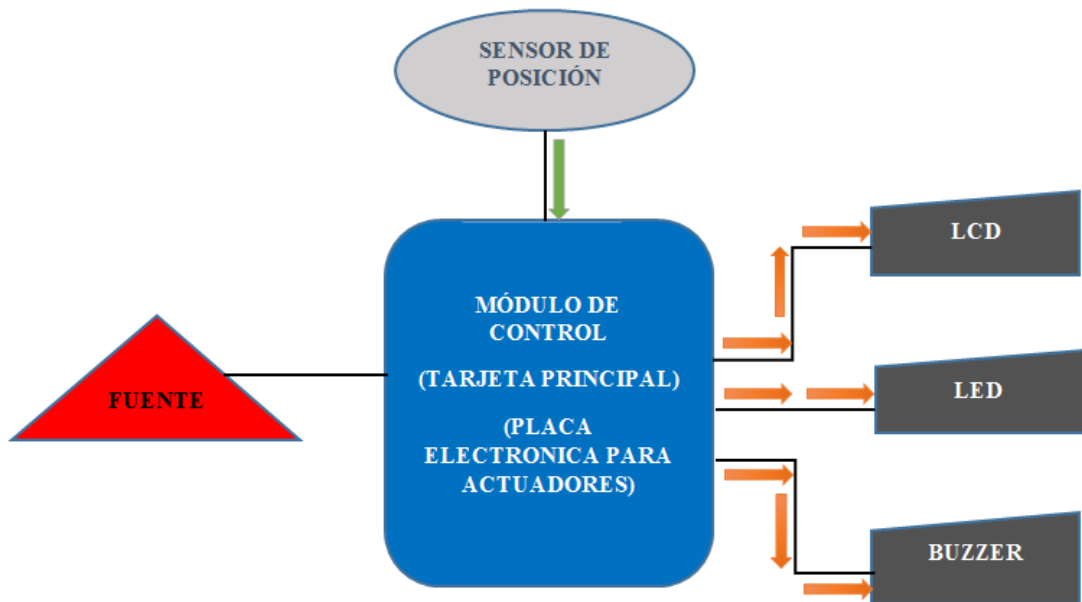
3.2 Esquema Operativo del Sistema de Monitoreo del Control de Desgaste

En el siguiente diagrama de bloques se indica la secuencia operacional de trabajo para controlar el desgaste que se genera en los forros de las pastillas de frenos con cada frenada que realice el vehículo.

El sistema de monitoreo del control de desgaste está constituido por.

Una fuente de alimentación, un regulador de voltaje, un módulo de control, un sensor, un grupo de actuadores y un interruptor de encendido. Ver Figura 23

Figura 23. Esquema operativo de monitoreo



Fuente: Autor

La alimentación está representada por la línea de color negro, cabe recalcar que el valor de voltaje para el funcionamiento de los distintos elementos que tiene el sistema de control electrónico es diferente debido al diseño electrónico del módulo de control.

La comunicación de señales y datos entre bloques esta representa por las flechas de color verde señal analógica de entrada enviadas por el sensor y de color naranja la señal digital de salida para los actuadores que entregaran la información emitida por el módulo de control, dándole a conocer al conductor el estado actual de las pastillas de freno e indican también la dirección en que fluye la información.

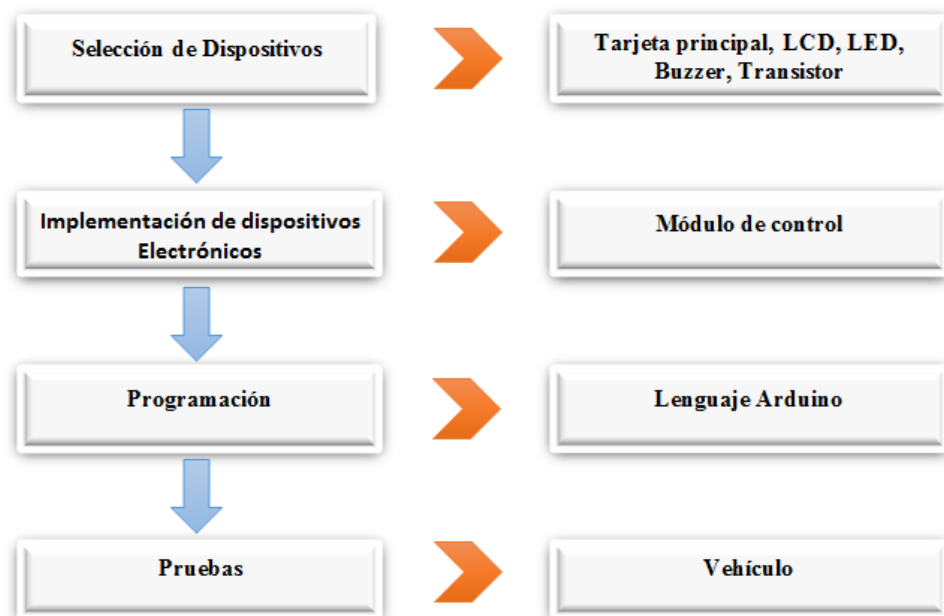
3.3 Diseño y construcción del circuito electrónico

Para diseñar y construir el circuito electrónico del módulo de control se utilizaron varias herramientas y equipos electrónicos, los cuales se mencionan a continuación:

- Multímetro digital.
- Calibrador digital.
- Equipo de suelda
- Baquelita perforada.
- Fuente de poder.
- Software electrónico.

3.3.1 *Diseño del módulo de control.* Para diseñar el módulo de control, se estableció una secuencia de operación, definiendo los parámetros de diseño y construcción, así como también la selección de los distintos elementos que intervendrán en la elaboración del módulo de control electrónico. Ver Figura 24

Figura 24. Diagrama de bloques de la secuencia operacional



Fuente: Autor

3.3.1.1 *Selección de dispositivos del sistema de control electrónico.* Se realizó la selección de los respectivos dispositivos a utilizar, en la implementación de los diferentes elementos que conforman el módulo de control electrónico, para medir el desgaste en los forros de las pastillas de freno.

3.3.1.2 *Selección de la tarjeta de control principal.* Para la selección de la tarjeta principal se analizó varios factores importantes tales como: económicos, disponibilidad en el mercado, y un software libre, que permite un mejor desarrollo de dispositivos electrónicos, siendo la tarjeta Arduino Uno la indicada para ser utilizada en el desarrollo del módulo de control electrónico.

Las características técnicas que posee este componente electrónico son las siguientes:

- Micro controlador ATmega328.
- Voltaje de funcionamiento: 5V.
- Voltaje de entrada (recomendado): 7-12V.
- Voltaje de entrada (límites): 6-20V.
- E / S digital pines 14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM).
- Botones de entrada analógica: 6.
- Corriente DC por E / S Pin 40 mA.
- Corriente DC de 3.3V Pin 50 mA.
- Memoria Flash 32 KB (ATmega328)
- SRAM 2 KB (ATmega328).
- EEPROM 1 KB (ATmega328).
- Velocidad del reloj 16 MHz.
- Longitud 68.6 mm.

- Ancho 53.4 mm.
- Peso 25 g.

La tarjeta Arduino Uno es una placa electrónica basada en el ATmega328 (datasheet), cuenta con 14 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un resonador cerámico 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un header ICSP, y un botón de reinicio.

Contiene todo lo necesario para apoyar el micro controlador para simplemente conectarlo a un computador con un cable USB y el poder o alimentación mediante un adaptador de CA o a la batería de CC para empezar.

La tarjeta Arduino Uno cuenta con el Atmega16U2 (Atmega8U2 hasta la versión R2) programado como un convertidor de USB a serie.

Figura 25. Tarjeta Arduino Uno



Fuente: Autor

3.3.1.3 Selección del LCD. Se utilizó este elemento electrónico ya que permite una interacción simple con la tarjeta de Arduino Uno, además visualiza la información sobre el desgaste que sufren los forros de las pastillas de frenos, mediante un mensaje porcentual y el respectivo mensaje de cambio de pastillas.

Se utilizó un LCD de 16x2, esto quiere decir que dispone de 2 filas de 16 caracteres cada una. Los píxeles de cada símbolo o carácter, varían en función de cada modelo.

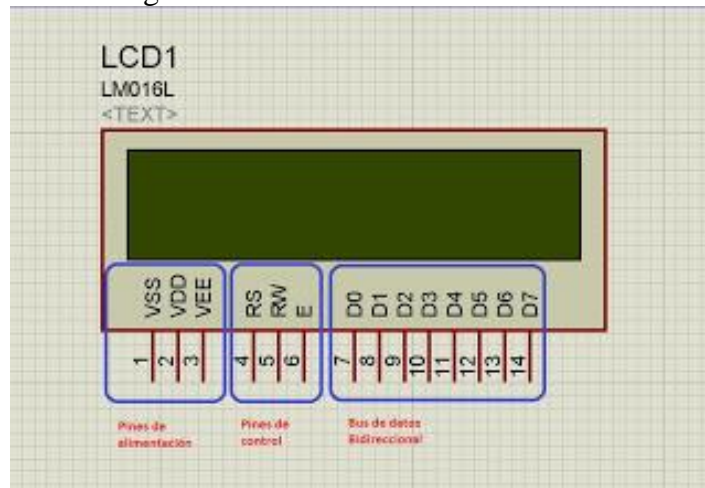
Figura 26. LCD del tipo 16x2



Fuente: Autor

Este elemento electrónico tiene 14 pines de conexión, cada uno con su respectiva función como se muestra en la siguiente figura.

Figura 27. Pines de conexión del LCD



Fuente: <http://todoelectrodo.blogspot.com/2013/02/lcd-16x2.html>

En donde los pines 1, 2, 3 son de alimentación.

Los pines 4, 5, 6 son de control.

Los pines 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 son de Bus de datos bidireccional.

3.3.1.4 Selección de LED. Se realizó la selección de este elemento por sus características y ventaja aplicativas dentro de la electrónica y por ser un emisor de luz lo cual será de mucha ayuda para la construcción del módulo de control electrónico para determinar su estado de funcionamiento indicando el estado de power (on) encendido, mediante su iluminación y también dará la alerta del desgaste de los forros de las pastillas de frenos.

Existen tres formas principales para conocer la polaridad de un led siendo estas:

1. La pata más larga siempre va a ser el ánodo.
2. En el lado del cátodo, la base del led tiene un borde plano.
3. Dentro del led, la plaqueta indica el ánodo. Se puede reconocer porque es más pequeña que el yunque, que indica el cátodo.

Figura 28. Led



Fuente: Autor

3.3.1.5 Selección de Buzzer. Zumbador, zumbather o buzzer en inglés, es un transductor electro acústico que produce un sonido o zumbido continuo o intermitente de un mismo tono.

Sirve como mecanismo de señalización o aviso, y son utilizados en múltiples sistemas como en automóviles o en electrodomésticos.

Se realizó la selección de este elemento electrónico debido al efecto sonoro que produce el cual será de importante ayuda al momento de alertar el desgaste de los forros de las pastillas de freno una vez que se alcance el límite máximo de desgaste establecido por el módulo de control electrónico.

Figura 29. Buzzer o Zumbador



Fuente: Autor

3.3.2 Selección del sensor para medir el desgaste en los forros de las pastillas de freno. Los sensores son los dispositivos encargados de monitorear las condiciones de operación de los vehículos, y de enviar su información a la computadora para que esta ordene a los actuadores a operar sobre ciertos parámetros, de acuerdo a las condiciones cambiantes de funcionamiento del motor.

Así, puede decirse que un sensor es un elemento transductor que convierten las condiciones de funcionamiento del motor (temperatura, presión absoluta del múltiple, movimientos mecánicos, etc.), en un voltaje electrónico que es enviado a la computadora para ser procesado y comparado con datos de referencia grabados en sus memorias.

Figura 30. Sensor de posición de la válvula EGR



Fuente: Autor

Se realizó la selección del sensor de posición de la válvula EGR debido a que las condiciones y características de funcionamiento que posee, son las más apropiadas para ser aplicadas al sistema de control de desgaste, teniendo en cuenta las exigencias que el sistema de frenos de discos del vehículo de competición lo ameritan siendo estas: la temperatura, la vibración, las reacciones químicas y los factores climáticos del medio.

Temperatura.- La temperatura que se genera entre la superficie del disco y los forros de las pastillas de frenos al ponerse en contacto es muy elevada, supera los 850°C la cual se transmite hacia la mordaza del freno y por ende al sensor ya que es allí donde va estar alojado el mismo, exigencia superada por el sensor ya que el lugar de ubicación de la válvula EGR en un motor es en el múltiple de escape donde la temperatura es muy elevada.

Vibración.- Debido a las vías de circulación que posee nuestro país y en especial las zonas rurales donde se realizan las competencias de rally, se determinó que el sistema

de frenos va estar sometido a grandes vibraciones por las irregularidades que el terreno presenta en dichas vías y por las aplicaciones bruscas y constantes del pedal del freno, siendo esta exigencia superada por el sensor ya que posee un anillo o empaque de caucho, quien absorbe las vibraciones transmitidas al sensor.

Condiciones Ambientales.- Debemos tomar mucho en cuenta la zona climática ya que la humedad y sequedad de la misma influye directamente en la durabilidad del sistema de frenos y mucho más en nuestro sistema de control incorporado, es por eso que se hizo la selección de este sensor, debido que su estructura física es totalmente hermética, formado en un solo cuerpo sólido.

Reacciones Químicas.- Como se conoce que el sistema de frenos hidráulicos funciona mediante la presión hidrostática ejercida por la bomba de freno sobre un fluido (líquido de frenos), se procedió a impregnar este fluido al cuerpo del sensor, verificando que no producirá daño alguno al mismo por ser de uso automotriz, garantizando así el correcto funcionamiento y desempeño del sensor.

3.3.2.1 *Características del sensor de posición de la válvula EGR.* Las características básicas y técnicas que posee este sensor se detallan en la siguiente tabla informativa.

Tabla 2. Características técnicas del sensor de posición de la válvula EGR.

Lugar de origen	China (Continental)
Tipo	Sensor de posición de la válvula EGR
Marca	SMP
Modelo N°	JS632214225
Carro	Toyota hilux
Formato	Standard
Tamaño	7.5x4.9x3.2
Alimentación	5V
Señal	Analógica
N° Conectores	3 Machos (A-B-C)
Conector A	Alimentación
Conector B	Masa (tierra)
Conector C	Señal
Peso	0.04 Kg
Color	Negro
Longitud de vástago	10 mm

Fuente: Autor

3.3.2.2 *Identificación de los pines de conexión del sensor de posición de la válvula EGR.* Para identificar la función que cumple cada uno de los pines de conexión del sensor de posición, se realizó las respectivas medidas de cada uno de ellos mediante un multímetro determinando así el siguiente orden.

1. Pin A que es el de alimentación del sensor (5V conectado a cable de color rojo).
2. Pin B que es el de masa o tierra (0V conectado a cable de color negro).
3. Pin C que es el de señal (0,5V a 4,5V conectado a cable de color verde).

Figura 31. Pines de conexión del sensor de posición de la válvula EGR



Fuente: Autor

3.3.2.3 *Datos emitidos por el sensor de posición de la válvula EGR.* El funcionamiento de este sensor está basado en la variación de voltaje que emite al variar la posición lineal de su vástago, siendo este el encargado de enviar la señal a uno de sus tres pines de conexión.

Con los datos emitidos por el sensor de posición, se plantió la ecuación matemática, en función del voltaje (x) con respecto al desplazamiento (y) del vástago del sensor, ya que el voltaje resultante depende directamente de la variación del desplazamiento que realiza el vástago, obteniendo así los resultado registrados en la siguiente tabla.

Tabla 3. Datos obtenidos del sensor de posición

V(V)	Y(mm)
0,19	
1,79	10
1,06	20
0,65	30
0,50	40
0,40	50
0,48	60
0,24	70
0,23	80
0,16	90
0,15	100

Fuente: Autor

Donde V es el voltaje y Y el desplazamiento lineal del vástago. Para los valores de Y se realizó una relación entre desplazamiento lineal del vástago del sensor en (mm) con el desgaste en (%), obteniendo la siguiente igualdad: Ver Tabla 4

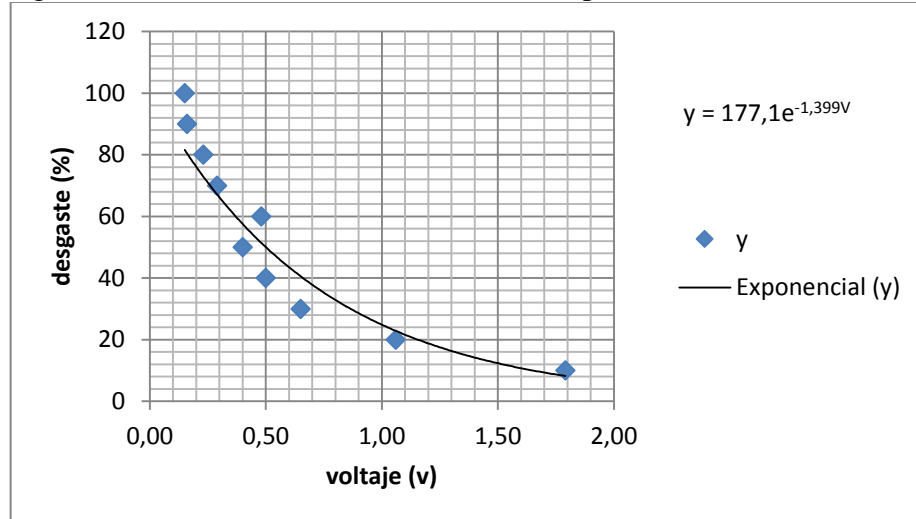
Tabla 4. Relación del desplazamiento del vástago.

0 mm = 0 % desgaste
1 mm = 10 % desgaste
2 mm = 20 % desgaste
3 mm = 30 % desgaste
4 mm = 40 % desgaste
5 mm = 50 % desgaste
6 mm = 60 % desgaste
7 mm = 70 % desgaste
8 mm = 80 % desgaste
9 mm = 90 % desgaste
10 mm = 100 % desgaste

Fuente: Autor

3.3.2.4 *Obtención de la curva característica del sensor de posición de la válvula EGR.* Luego de obtener los datos emitidos por el sensor de posición se los traslado a Microsoft Excel para determinar el ajuste de su curva característica con su respectiva ecuación matemática, obteniendo como resultado una ecuación exponencial ya que es la que más se acerca a los diferentes puntos que forman dicha curva como se puede apreciar en la siguiente figura.

Figura 32. Curva característica del sensor de posición de la válvula EGR



Fuente: Autor

3.3.3 Fuente de alimentación del módulo de control electrónico. Para obtener la alimentación de energía necesaria para el funcionamiento del módulo de control electrónico se realizó una conexión directa con el switch de encendido del vehículo garantizando así la reducción de consumo de energía que emite la batería, evitando la descarga de la misma, ya que el módulo consumirá energía solo cuando se encienda el switch o motor del vehículo.

3.3.3.1 Conexión de las líneas de alimentación del módulo de control electrónico. Para realizar dicha conexión se tomó la línea positiva que activa el switch de encendido del vehículo (cable rojo) y la otra línea se conectó al bloque de masa o tierra (cable negro) del chasis, obteniendo así una alimentación de 12V al abrir el switch y otra de 14V al momento de encender el motor.

Figura 33. Conexión de alimentación del módulo de control electrónico



Fuente: Autor

3.3.3.2 Regulación del voltaje para la alimentación del módulo de control electrónico. Se instaló un rectificador de voltaje 7812, el cual nos entregara 12V estables los cuales alimentaran al módulo de control electrónico, ya que al encender el vehículo se produce una elevación del voltaje que fluctúa entre 14 V y 15 V, lo cual pondría en riesgo al módulo de control al punto de llegarlo a quemar.

Figura 34. Conexión del rectificador de voltaje



Fuente: Autor

También se incorporó un juego de conectores a cada uno de los conductores (cables), para poder realizar con facilidad las respectivas conexiones entre el módulo de control electrónico y el sensor de posición.

Figura 35. Conexión de conectores



Fuente: Autor

Se instaló los respectivos conectores y se realizó el debido tendido del cableado, para facilitar la instalación del sistema de control electrónico de desgaste incorporado en el sistema de frenos del vehículo de competición.

Figura 36. Tendido del cableado del sistema incorporado

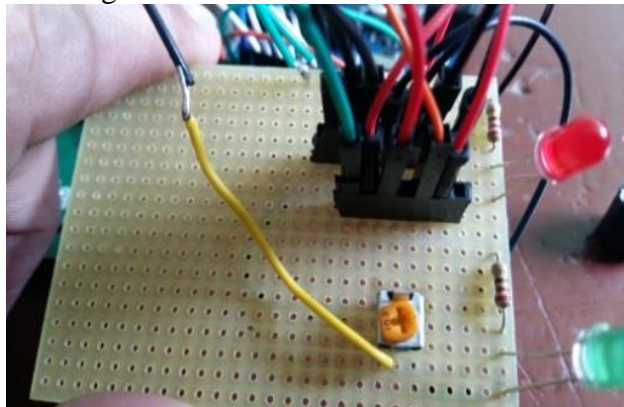


Fuente: Autor

3.3.3.3 *Elaboración de la placa de control de actuadores.* Para la elaboración de la placa de actuadores se realizó los siguientes pasos:

1. Se adquirió una placa de baquelita perforada de (70mm x 50mm) de dimensión.
2. Se soldaron en la placa de baquelita, dos regletas paralelas para poder recibir las señales de entrada y salida de la tarjeta de Arduino Uno, así como también el voltaje necesario para que funcionen los distintos actuadores que serán instalados en la misma.
3. Se realizó el circuito que permite reducir el voltaje que entra desde la tarjeta de Arduino Uno, el cual es de 5V a un voltaje de 1.5V, utilizando resistencias de 220 Ω para obtener el voltaje de funcionamiento de los diferentes actuadores que posee el módulo de control electrónico.

Figura 37. Placa de actuadores



Fuente: Autor

3.3.4 *Implementación y adecuación del módulo de control electrónico.* Después de elaborar la placa de actuadores se realizó las respectivas implementación y adecuación de los distintos elementos electrónicos que conforman nuestro módulo de control electrónico.

Para lo cual se debe seguir los siguientes pasos:

1. Se determinó la función de cada uno de los pines de conexión del sensor de posición de la válvula EGR siendo estos: Pin A de alimentación, Pin B de señal y el Pin C de masa o tierra. Para luego proceder con la respectiva conexión la cual se la debe hacer de la siguiente manera.

Pin A se lo debe conectar a la regleta ubicada en nuestra placa de actuadores donde tenemos los 5V de alimentación emitidos por la tarjeta de Arduino Uno.

Pin B se lo debe conectar al pin analógico A0 de la tarjeta de Arduino Uno, ya que es la señal emitida por el sensor.

Pin C se lo debe conectar al pin analógico GND de la tarjeta de Arduino Uno, el cual es la masa o tierra.

2. Se procede con la conexión de la placa de actuadores la cual se conecta de la siguiente forma.

El pin analógico GND de la tarjeta de Arduino Uno, se conecta a la regleta #1 de la placa de actuadores.

El pin 5V analógico de la tarjeta de Arduino Uno, se conecta a la regleta #2 de la placa de actuadores.

El pin #5 y #6 digitales de la tarjeta de Arduino Uno, se conecta a la placa de actuadores donde se ubicó las resistencias para reducir el voltaje emitido por la tarjeta de Arduino Uno y también fueron ubicados los leds que entregaran la información luminosa que posee el sistema tanto de su funcionamiento como el de alertar sobre el desgaste de las pastillas de freno.

3. Luego realizamos la conexión del buzzer o zumbador, quien dará la alerta sonora para realizar el cambio respectivo de las pastillas de freno ya desgastadas y se lo hizo de la siguiente manera.

El pin #7 digital de la tarjeta de Arduino Uno, se conecta con uno de los pines del buzzer siendo este su señal.

El otro pin del buzzer se conecta a la regleta #1 de la placa de actuadores siendo esta su alimentación.

4. Finalmente realizamos la conexión de la pantalla LCD donde serán visualizados los datos informativos sobre el estado de las pastillas de freno, enviados por el sensor y procesados por la tarjeta de Arduino Uno, lo cual se realiza de la siguiente manera.

El pin #8 digital de la tarjeta de Arduino Uno, se conecta al pin #14 del LCD.

El pin #9 digital de la tarjeta de Arduino Uno, se conecta al pin #13 del LCD.

El pin #10 digital de la tarjeta de Arduino Uno, se conecta al pin #12 del LCD.

El pin #11 digital de la tarjeta de Arduino Uno, se conecta al pin #11 del LCD.

El pin #12 digital de la tarjeta de Arduino Uno, se conecta al pin E del LCD.

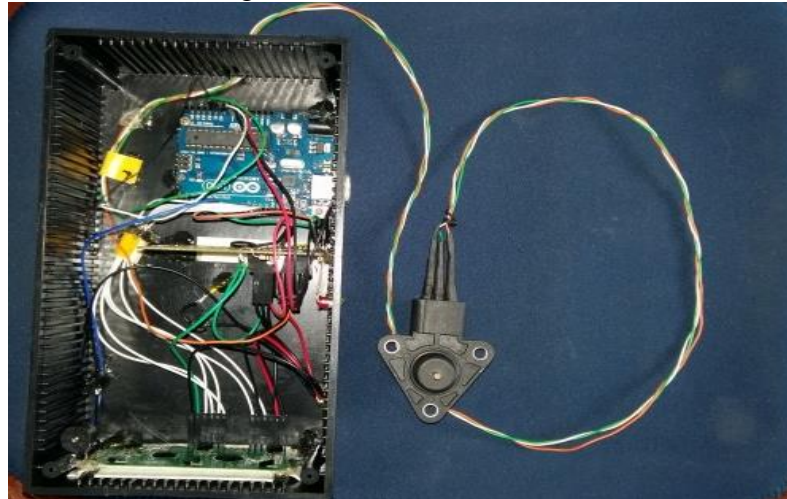
El pin #13 digital de la tarjeta de Arduino Uno, se conecta al pin RS del LCD.

El pin #15 del LCD a la regleta #2 de la placa de actuadores con su respectiva resistencia.

Los pines #1, #5 y #16 del LCD a la regleta #1 de la placa de actuadores.

El pin #3 del LCD a la RV1 de la placa de actuadores.

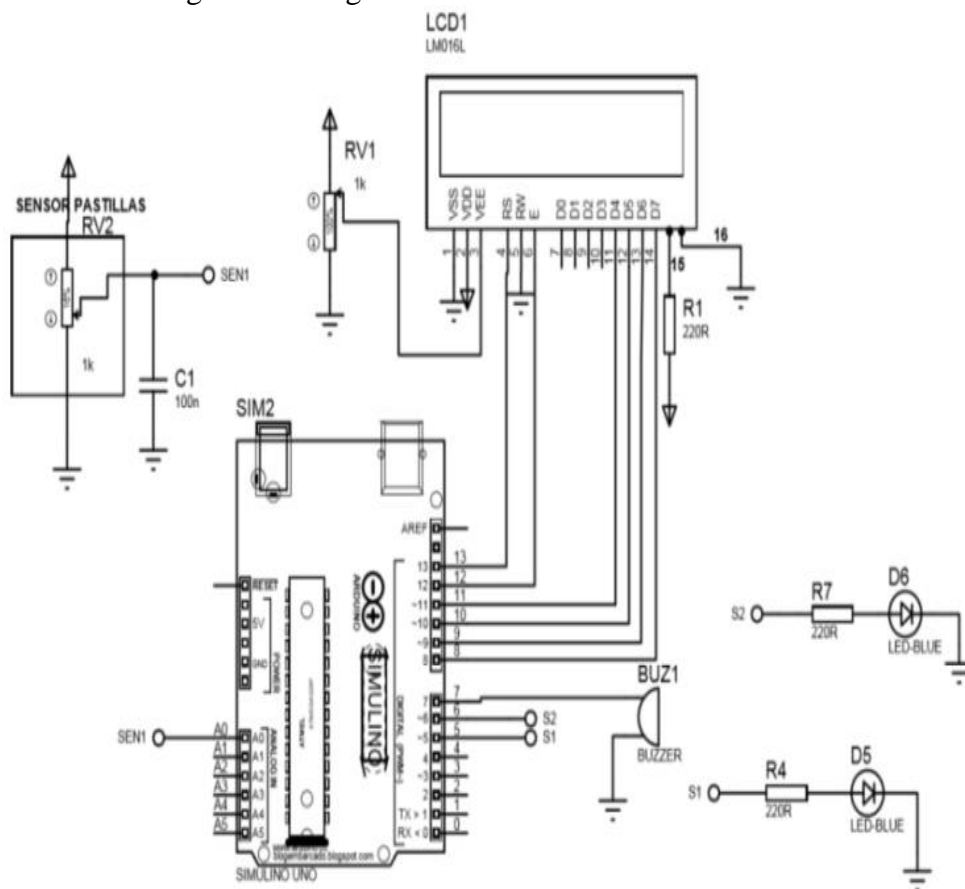
Figura 38. Módulo de control



Fuente: Autor

3.3.5 *Diagrama eléctrico del sistema de control electrónico.* Mediante este diagrama eléctrico se construyó el sistema de control electrónico para medir el desgaste de los forros de las pastillas de frenos. Ver Figura 39

Figura 39. Diagrama eléctrico del sistema de control



Fuente: Autor

3.3.6 Programación del módulo de control electrónico. La programación del módulo de control electrónico se la realizó de acuerdo a lo planteado en el diagrama de flujo. Ver Figura 40

Después de conocer las características técnicas y básicas de funcionamiento del sensor de posición de la válvula EGR y el comportamiento electrónico que posee dicho sensor se procedió a la adquisición de datos, basados en la variación de voltaje que emite la señal del sensor al momento de variar la posición del vástago.

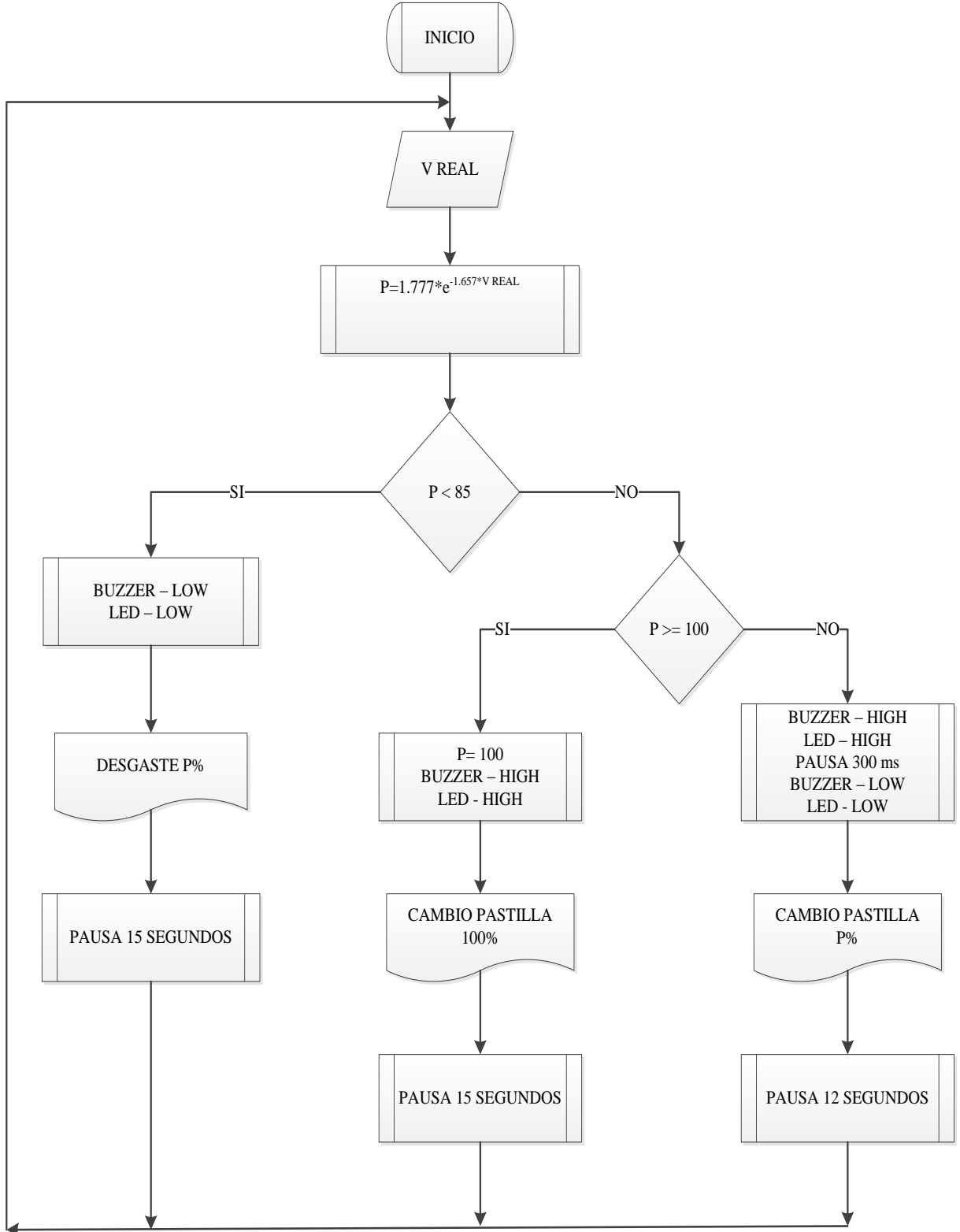
Se sabe que la longitud del vástago es de 10 mm, dicho valor se lo relaciono con un 100 % de desgaste, deduciendo así, que por cada milímetro que recorre el vástago del sensor equivale a un 10 % de desgaste, con cierta deducción se procedió a tomar los respectivos datos de medición para plantear la ecuación matemática, en función de porcentaje (Y) vs voltaje (X), ya que el voltaje resultante depende directamente de la variación del porcentaje medido.

Finalmente se realizó la respectiva programación utilizando un lenguaje de Arduino, mediante un software de programación llamado **Arduino/Genuino Uno en COM1** el cual fue descargado del internet e instado en el ordenador, para proceder con la respectiva programación del micro controlador que trae incorporada la tarjeta de Arduino Uno, para esto se debe de seguir los diferentes pasos de programación que se detallan a continuación.

V REAL = Voltaje emitido por el sensor de posición de la válvula EGR.

P = % de Desgaste.

Figura 40. Diagrama de flujo de la programación



Fuente: Autor

3.3.7 Programación. Para la programación se realizó la declaración de variables que van hacer utilizadas en el funcionamiento del sistema siendo estas las detalladas a continuación.

- **Programación.**

```
// include the library code:
```

```
#include <LiquidCrystal.h>
```

```
#include <Servo.h>
```

```
Servo myservo; // create servo object to control a servo
```

```
// twelve servo objects can be created on most boards
```

```
// initialize the library with the numbers of the interface pins
```

```
//LiquidCrystal lcd(RS, ENABLE, D4, D5, D6, D7);
```

```
//LiquidCrystal lcd(8, 7, 12, 4, 3, 2);
```

```
LiquidCrystal lcd(13, 12, 11, 10, 9, 8);
```

```
int BUZZER=7,LED=6,POWER=5; // las salidas 10,11,9 son salidas PWM uso en motores y servos
```

```
int DATO=0;
```

```
float P=0,VREAL=0;
```

```
void setup() {
```

```
// put your setup code here, to run once:
```

```
//PINES DE NETRADA
```

```
pinMode(BUZZER,OUTPUT);
```

```
pinMode(LED,OUTPUT);
```

```
pinMode(POWER,OUTPUT);
```

```
//FINAL DE CONFIGURACION
```

```
digitalWrite(Power,HIGH);
```

```
lcd.begin(16, 2);// set up the LCD's number of columns and rows:
```

```
lcd.setCursor(5, 0); // column 5, fila 1
```

```
lcd.print("Desgaste"); // Print a message to the LCD.
```

```
lcd.setCursor(4, 1); // column 4, fila 2
```

```
lcd.print("Cambio past"); // Print a message to the LCD.
```

```
}
```

Ecuación matemática en función de Sensor – Voltaje. En esta ecuación se determina el valor de desgaste de los forros en las pastillas de freno considerando el voltaje del sensor como entrada X y la salida Y el porcentaje de desgaste.

- **Programación “Ecuación matemática”.**

```
void loop() {
```

```
// put your main code here, to run repeatedly:
```

```
DATO=analogRead(A0);
```

```
VREAL=DATO*0.0048;
```

```
P=177.1*exp(-1.657*VREAL);
```

Mensaje de aviso o alerta de desgaste. En esta sección se muestra las instrucciones realizadas para visualizar el mensaje en la pantalla LCD sobre el desgaste porcentual y cambio de pastilla.

- **Programación “Mensaje de aviso”.**

```
if(P<85){
```

```
lcd.setCursor(4, 0); // column 4, fila 2
```



```

lcd.print("Desgaste    "); // Print a message to the LCD.

lcd.setCursor(0, 1); // borrar

lcd.print("          "); // borrar

lcd.setCursor ( 1, 1 );    // Vamos a la segunda linea

lcd.print(P);

lcd.setCursor(6, 1); // columna 4, fila 2

lcd.print(" %          "); // Print a message to the LCD.

digitalWrite(LED,LOW);

digitalWrite(BUZZER,LOW);

delay(15000);

}else{

if(P>=100){

P=100;

digitalWrite(LED,HIGH);

digitalWrite(BUZZER,HIGH);

lcd.setCursor(4, 0); // columna 4, fila 2

lcd.print("Cambio pastillas"); // Print a message to the LCD.

lcd.setCursor(0, 1); // borrar

lcd.print("          "); // borrar

lcd.setCursor ( 1, 1 );    // Vamos a la segunda línea

lcd.print(P);

lcd.setCursor(6, 1); // columna 4, fila 2

```

```

lcd.print(" %      "); // Print a message to the LCD.

delay(15000);

}else{

digitalWrite(LED,HIGH);

digitalWrite(BUZZER,HIGH);

delay(300);

digitalWrite(LED,LOW);

digitalWrite(BUZZER,LOW);

lcd.setCursor(4, 0); // columna 4, fila 2

lcd.print("Cambio pastillas"); // Print a message to the LCD.

lcd.setCursor(0, 1); // borrar

lcd.print("      "); // borrar

lcd.setCursor ( 1, 1 ); // Vamos a la segunda línea

lcd.print(P);

lcd.setCursor(6, 1); // columna 4, fila 2

lcd.print(" %      "); // Print a message to the LCD.

delay(12000);

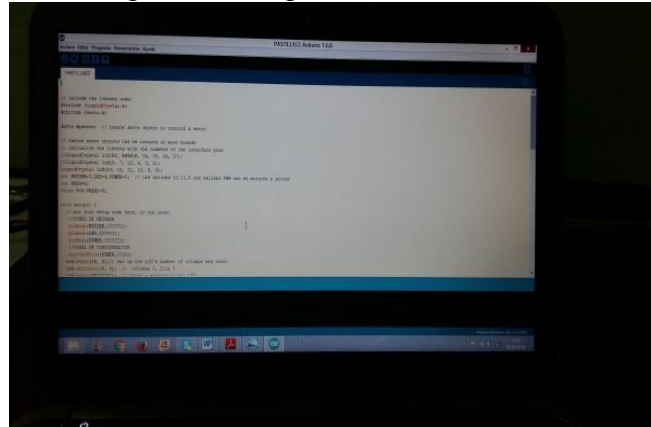
}

}

}

```

Figura 41. Programación en Arduino



Fuente: Autor

3.3.8 Pruebas de funcionamiento del módulo de control electrónico. Las pruebas se las realizo en dos fases para poder determinar y garantizar el correcto funcionamiento del sistema de control electrónico siendo estas las que se mencionan a continuación.

1. Para la adquisición de datos.
 2. Para verificar el correcto funcionamiento del sistema.
- **Para la adquisición de datos.** En la adquisición de datos se tomó varias mediciones de voltaje que entrega el sensor de posición al variar el porcentaje de desgaste que está representado por el desplazamiento lineal del vástago de dicho sensor, ya que es el que controlara el desgaste progresivo de los forros de las pastillas de freno.

Cabe recalcar que esta variación de distancia se lo realizo con un calibrador digital, obteniendo así medidas exactas de longitud con respecto al desplazamiento del vástago. Con las cuales se determinó la ecuación de la curva característica del sensor para de esta manera determinar las variables que serán utilizadas para la programación del micro controlador, en lenguaje de Arduino, siendo estos, los valor registrados en la tabla #3. Ver Tabla 3

- **Para verificar el correcto funcionamiento del sistema.** Después de realizar la programación se procedió a las respectivas pruebas de medición del sensor simulando el funcionamiento de las pastillas de freno utilizando un calibrador digital, el cual nos entrega una medición precisa sobre la apertura longitudinal del

vástago del sensor. Siendo este el que estará controlando el desgaste continuo de los forros de la pastilla de freno en cada accionamiento del pedal de freno.

Para esta prueba se tomaron 4 medidas específicas siendo estas: el vástago del sensor totalmente introducido, el vástago desplazado 2.5 mm, el vástago desplazado 8.5 mm y con el vástago totalmente desplazado, obteniendo los siguientes resultados.

1. Simulando pastillas nuevas tendremos una medición de 0.06 % de desgaste, para esto el vástago del sensor debe de estar totalmente introducido, obteniendo una media de 0.00 mm en la pantalla del calibrador. Ver Figura 42

Figura 42. Simulación de pastillas sin desgaste



Fuente: Autor

2. Simulando pastillas con un 25 % de desgaste, para esto el vástago del sensor debe tener 2.58 mm de desplazamiento, medida que indica la pantalla del calibrador digital. Ver Figura 43

Figura 43. Simulación de pastillas con 25 % desgaste



Fuente: Autor

3. Simulando pastillas con un 85 % de desgaste, en este porcentaje se activa la primera alerta de cambio de pastilla, manteniéndose hasta alcanzar un 99 % de desgaste, esta alerta el módulo de control lo realiza mediante un mensaje, un sonido interrumpido y el encendido del led de color rojo en forma intermitente, para esto el vástago del sensor debe tener 8.5 mm de desplazamiento, medida que indica la pantalla del calibrador. Ver Figura 44

Figura 44. Simulación de pastillas con 85 % de desgaste



Fuente: Autor

4. Simulando pastilla con un 100 % de desgaste, que equivale al límite máximo que puede soportar las pastillas de freno para brinda un servicio óptimo y seguro, además la activación de su respectiva alerta, se da mediante el mensaje del cambio de pastillas, un sonido constante y el encendido del led de color rojo en forma permanente, para esto el vástago del sensor debe tener 10 mm de desplazamiento, medida que indica la pantalla del calibrador. Ver Figura 45

Figura 45. Simulación de pastilla que requiere ser cambiada



Fuente: Autor

3.4 Diseño y construcción del mecanismo para el montaje del sensor a la mordaza de freno

Se construyó el mecanismo que acopla el sensor a la mordaza de freno, mediante el estudio del funcionamiento del sistema de frenos de discos que posee este vehículo de competición, determinando así la construcción de una placa soporte para el sensor y la realización de una modificación en la mordaza de freno, para conseguir el acople perfecto entre estos dos elementos.

Para la construcción de mecanismo, se realizó la selección de los diferentes elementos que se detallan a continuación:

- Máquinas – herramientas.
- Pletinas de acero.
- Mordaza de freno.
- Equipo de protección personal.
- Perno de acero blanco.
- Kit de limpieza y protección.
- Plantilla de diseño de la placa soporte.
- Mano de obra.

3.4.1 *Selección de elementos para la adaptación mecánica del sistema de control de desgaste:*

3.4.1.1 *Maquinas – Herramientas.* Las máquinas y herramientas seleccionadas, para la construcción del mecanismo fueron de gran importancia y ayuda ya que facilitaron el proceso de construcción, siendo estas:

- Torno.
- Esmeril.
- Taladro.
- Soldadora.
- Amoladora.

- Compresor.
- Limas.
- Lijas.
- Alicate.

3.4.1.2 *Pletinas de acero.* Se seleccionó una pletina de acero al carbono SAE 1010 (0.08-0.13 %C), son aceros de dureza baja por su bajo contenido de carbón, siendo un material sumamente manejable y que puede doblarse o cortarse dependiendo de la medida y forma que se requiera, su calidad depende en gran parte de la composición y la aplicación superficial que se le dé en su formación, un ejemplo es cuando a las hojas se les añade aceite, lo cual provoca que la pletina tenga una protección hacia la oxidación.

3.4.1.3 *Mordaza de freno.* Se utilizó la misma mordaza de frenos del vehículo de competición, a la cual se le realizó ciertas modificaciones para poder instalar el sistema de control de desgaste, siendo estas la construcción de dos agujeros con su respectivo roscado interior, que serán los puntos de anclaje de la placa soporte del sensor. Las dimensiones de los agujeros de detallan en su plano ubicado en el anexo E. Ver Plano de la mordaza de freno.

3.4.1.4 *Equipo de protección personal.* Se seleccionó el respectivo equipo de protección personal que cada máquina dispone, además de ser una obligación portarlo al momento de realizar cualquier actividad, ya sea como operario o ayudante, siendo estos: casco de soldar, guantes, gafas, mandil, entre otros.

3.4.1.5 *Perno de acero blanco.* Se seleccionó este tipo de perno, por sus características de construcción, su dureza y su resistencia a la corrosión ya que es un acero inoxidable, siendo del mismo tipo de acero de los pernos originales que sujetan a la mordaza de frenos. Las dimensiones del perno construido de detallan en su plano ubicado en el anexo C. Ver Plano del perno de sujeción de la mordaza.

3.4.1.6 *Kit de limpieza y protección.* Debido a los residuos que produce la construcción del mecanismo y las impurezas del medio, es necesario realizar una

limpieza y por ende un recubrimiento de protección del mecanismo, para ello se utilizó: 1 litro de diluyente, 1/2 libra de guaípe, ¼ de pintura roja 3M para autos, entre otras.

3.4.1.7 *Plantilla del diseño de la placa soporte.* Luego de analizar el mecanismo de la mordaza de freno se realizó una plantilla en papel, que servirá como modelo en la construcción de la placa soporte, siendo este grabado en la superficie de la pletina de acero al carbono SAE 1010 para luego ser recortada. Las dimensiones de la placa soporte se detallan en su plano ubicado en el anexo B. Ver Plano de la placa soporte.

3.4.1.8 *Mano de obra.* Para realizar la construcción del mecanismo se necesitará la ayuda de una tercera persona debido a las distintas actividades que se realizara en el proceso de construcción del mecanismo.

3.4.2 *Modificación de la mordaza de freno.* El procedimiento para la modificación de la mordaza de freno se determinó en el siguiente orden:

1. Se extrajo la mordaza de freno, del vehículo de competición, del lado izquierdo neumático delantero, para analizarla y poder realizar las adecuaciones necesarias para el alojamiento del sensor de posición.

Figura 46, Mordaza de freno



Fuente: Autor

2. Se construyó dos agujeros de diferente diámetro (8 y 10) mm de diámetro con su respectivo roscado interno, realizados con la ayuda de un taladro manual, dos brocas (1/4" y 1/8") y un juego de machuelos (M8 Y M10), con paso de 1,25.

Figura 47. Modificación de la mordaza de freno



Fuente: Autor

3. Se construyó un perno el cual servirá de sujeción para la mordaza y también como base de apoyo, donde el sensor de posición podrá tomar las diferentes lecturas sobre el desgaste que sufren las pastillas de freno. Por lo que se debió tornearse un perno con las siguientes dimensiones: diámetro de 12mm o 15/32", longitud total de 70mm, una rosca de 1,75 de paso y una longitud de 12 mm, la forma de su cabeza es hexagonal con una dimensión de 10mm y con una superficie totalmente plana.

Figura 48. Perno construido



Fuente: Autor

4. Finalmente se realizó la limpieza de cada uno de los elementos y se verificó su correcto acoplamiento.

Figura 49. Conjunto modificado



Fuente: Autor

3.4.3 Construcción de la placa soporte para el sensor de posición:

1. Se adquirió dos pletina de acero al carbono SAE 1010, con las siguientes medidas (30x10) cm y (30x2.5) cm cada una, en la pletina de 30x10 cm se grabó el diseño de la plantilla de la placa soporte mediante un lápiz o rayador, ya que será allí donde se la construya.

Figura 50. Grabado de diseño



Fuente: Autor

2. Se realizó el corte respectivo de la pletina, utilizando un arco de sierra, con una hoja de diente mediano y la ayuda de un tornillo de banco o entenalla, para sujetar la pletina y cortar el diseño de la placa soporte impregnado en ella.

Figura 51. Corte de pletina



Fuente: Autor

3. Lugo del corte realizado de utilizo un esmeril para remover los grumos resultantes del proceso de corte, para obtener un perfil mucho más definido libre de asperezas y filos cortantes y así dar una mejor definición de la forma física de la placa soporte.

Figura 52. Esmerilado de la placa soporte



Fuente: Autor

4. Se realizó un acabado superficial en la placa, utilizando una amoladora pequeña de una sola mano, un limatón redondo forjado con acero especial de aleación de cromo, eliminando así toda clase de deformación y obteniendo unos perfiles mucho más curvos, estéticos y menos peligrosos al momento de su manipulación.

Figura 53. Acabado superficial de la placa soporte



Fuente: Autor

5. Luego de terminada la placa soporte se procedió a la realización de los respectivos agujeros que servirán tanto de guía y soporte del sensor de posición, así como también de anclaje de la placa soporte a la mordaza de freno.

Figura 54. Elaboración de agujeros en la placa soporte



Fuente: Autor

6. Se soldaron, dos pedazos de pletina de acero al carbono SAE10, una de (5 x2.5) cm y la otra de (5.7x2.5) cm, sobre la placa soporte, con sus respectivos orificios los cuales aseguraran dicha placa a la mordaza de freno mediante dos pernos de sujeción que acoplan a los agujeros realizados en la mordaza, quedando fija y estable a la placa soporte.

Figura 55. Acople de sujeción de la placa soporte



Fuente: Autor

7. Se realizó la respectiva limpieza de cada uno de los elementos utilizando: lijas para hierro #180 y #350, diluyente para obtener una limpieza óptima y así verificar que no exista ningún problema en el momento del ensamble y adecuación del sistema.

Figura 56. Limpieza de elementos



Fuente: Autor

3.4.4 *Ensamble de la parte mecánica del sistema de control de desgaste.*

Luego limpiar los distintos elementos, se realizó el ensamble de la parte mecánica del sistema de control, determinando una secuencia de pasos que detalla a continuación:

1. Embancar el vehículo.
2. Retirar el neumático delantero del lado izquierdo.
3. Desconectar la línea hidráulica que acciona el pistón de la mordaza de freno.
4. Retirar la mordaza de freno con sus respectivas pastillas ya que es allí donde se encuentran alojadas las mismas.
5. Introducir aire comprimido para así eliminar todas las impurezas presentes.
6. Conectar la línea hidráulica a la mordaza modificada.
7. Asegurar el sensor de posición a la placa soporte mediante sus pernos de sujeción.
8. Montar las pastillas de freno en la mordaza, para luego insertarla al disco de freno.
9. Asegurar la mordaza de freno, mediante el perno construido para nuestro sistema de control del desgaste.
10. Acoplar la placa soporte a la mordaza de freno mediante sus pernos de sujeción quienes se encargan de fijar dicha placa a la mordaza de freno.
11. Purgar el sistema de freno para eliminar el aire que debe haber ingresado al sistema hidráulico, en el momento que se desconectó la línea hidráulica, para el cambio de mordaza que se realizó.
12. Finalmente se limpia el líquido de freno derramado, durante la acción de purgado que se realizó y se verifica el correcto funcionamiento de mecanismo montado en el sistema de control de desgaste.

Figura 57. Adecuación de la mordaza de freno



Fuente: Autor

3.5 Cálculo de la masa total del sistema de control de desgaste incorporado al mecanismo de freno

Para realizar el cálculo total del incremento de masa, que se produjo al implementar el sistema de control de desgaste de pastillas en el mecanismo de frenos que posee el vehículo, se tomaron como datos de información para dicho cálculo los valores registrados en la siguiente tabla informativa. Ver Tabla 5

Siendo estas las respectivas masas en kg de cada uno de los diferentes elementos que fueron incorporados, tanto en la Adecuación de la mordaza de freno como en la Instalación del Sensor de Posición.

3.5.1 *Masa de los elementos del mecanismo de frenos.* Se obtendrá la masa de cada uno de los elementos del mecanismo de frenos, mediante una balanza digital, calibrada para entregar los valores directamente en kilogramos.

3.5.1.1 *Masa de la mordaza de freno.* La balanza digital entrega el valor de 6.76 kg, siendo la cantidad de masa que tiene la mordaza de freno. Ver Figura 58

Figura 58. Masa de la mordaza de freno



Fuente: Autor

3.5.1.2 *Masa del sensor de posición de la válvula EGR.* La balanza digital entrega el valor de 0.04 kg, siendo la cantidad de masa que tiene el sensor de posición de la válvula EGR. Ver Figura 59

Figura 59. Masa de sensor



Fuente: Autor

3.5.1.3 *Masa del perno de sujeción de la mordaza de freno.* La balanza digital entrega el valor de 0.08 kg, siendo la cantidad de masa que tiene el perno de sujeción de la mordaza de freno. Ver Figura 60

Figura 60. Masa del perno de sujeción de la mordaza.



Fuente: Autor

3.5.1.4 *Masa de la placa soporte.* La balanza digital entrega el valor de 0.56 kg, siendo la cantidad de masa que tiene la placa soporte. Ver Figura 61

Figura 61. Masa de la placa soporte.



Fuente: Autor

3.5.1.5 *Masa del perno de sujeción de la placa soporte.* La balanza digital entrega el valor de 0.02 kg, siendo la cantidad de masa que tiene el perno de sujeción de la placa soporte. Ver Figura 62

Figura 62. Masa del perno de sujeción de placa soporte



Fuente: Autor

Tabla 5. Datos para realizar los cálculos correspondientes a la masa del sistema tomando como valor el peso de cada elemento.

DATOS INFORMATIVOS	
Denominación	Masa del Elemento
Mordaza original	6,76 kg
Mordaza modificada	6,70 kg
Placa soporte	0,56 kg
Perno construido (12x70) paso 1,75	0,12 kg
Sensor de Posición	0,04 kg
Perno de sujeción de mordaza	0,08 kg
Perno de sujeción del sensor (5x12) paso 1,25	0,01 kg
Perno de sujeción de la placa (8x12) paso 1,25	0,02 kg
Tuerca (5mm) paso 1,25	0,006 kg
Arandelas de presión (5/32)	0,003 kg
Arandela de presión (5/16)	0,005 kg
Pastillas de freno	2,40 kg

Fuente: Autor

3.5.2 *Cálculo de la masa del mecanismo de freno que viene incorporado en el vehículo:*

3.5.2.1 *Datos:*

$$m = 6,76 \text{ kg}$$

$$m_p = 0,08 \text{ kgf}$$

$$m_f = 2,40 \text{ kgf}$$

En donde:

m.- masa de la mordaza de freno.

mp.- masa del perno de sujeción de la mordaza.

mf.- masa de las pastillas de freno.

3.5.2.2 *Fórmula para calcular la masa total del mecanismo:*

$$M_t = m + m_p + m_f$$

En donde:

Mt.- masa total

3.5.2.3 *Calculo:*

La masa total del sistema será la sumatoria de la masa de cada uno de los elementos que conforman el mecanismo siendo estos: masa de la mordaza de freno, masa de los pernos de sujeción y la masa de las pastillas de freno.

$$M_t = P_m + 2P_p + P_f$$

$$M_t = 6,76 + 0,16 + 2,40$$

$$M_t = 9,32 \text{ kg}$$

3.5.3 *Cálculo de la masa del sistema de control de desgaste incorporado en el mecanismo de freno del vehículo:*

3.5.3.1 *Datos:*

$$m_{mi} = 6,70 \text{ kg}$$

$$m_p = 0,08 \text{ kg}$$

$$m_{ps} = 0,56 \text{ kg}$$

$m_{pc} = 0,12 \text{ kg}$

$m_{sp} = 0.04 \text{ kg}$

$m_{pss} = 0,01 \text{ kg}$

$m_{psp} = 0,02 \text{ kg}$

$m_t = 0,006 \text{ kg}$

$m_{ap} = 0,003 \text{ kg}$

$m_{ap} = 0,005 \text{ kg}$

$m_f = 2,40 \text{ kg}$

En donde:

m_{mi} = masa de la mordaza de freno modificada.

m_p = masa del perno de sujeción de la mordaza.

m_{ps} = masa de la placa soporte.

m_{pc} = masa del perno construido.

m_{sp} = masa del sensor de posición.

m_{pss} = masa del perno de sujeción del sensor.

m_{psp} = peso del perno de sujeción de la placa.

m_t = masa de la tuerca de sujeción del sensor.

m_{ap} = masa de la arandela de presión de los pernos de sujeción del sensor.

m_{ap} = masa de la arandela de presión de los pernos de sujeción de la placa soporte.

m_f = masa de las pastillas de freno.

3.5.3.2 *Fórmula para calcular el peso:*

$$P = m * g$$

3.5.3.3 *Calculo.* La masa total del sistema será la sumatoria de la masa de cada uno de los elementos que conforman el sistema de control de desgaste incorporado al

mecanismo de freno siendo estos:

$$M_{ti} = m_{mi} + m_p + m_{ps} + m_{pc} + m_{sp} + 3m_{pss} + m_{psp} + m_{psp} + m_t + 4m_{ap} + m_{ap} + m_f$$

$$M_{ti} = 6,70 + 0,08 + 0,56 + 0,12 + 0,04 + 3(0,01) + 0,02 + 0,01 + 0,006 + 4(0,003) + 0,005 + 2,40 \text{ kg}$$

$$P = 9,983 \text{ kg}$$

3.5.4 *Comparación de los valores obtenidos en los cálculos.* Para comparar y verificar los resultados obtenidos en los cálculos sobre la cantidad de masa, que se realizó en el sistema de frenos y así determinar la diferencia existente entre ellos, para determinar si afecta o no afecta al correcto y eficaz funcionamiento del sistema, garantizando así que nuestro sistema cubrirá correctamente con todas nuestras expectativas expuestas en este proyecto.

Es por eso que dichos valores los detallaremos en la siguiente tabla informativa.

Tabla 6. Datos comparativos de los cálculos realizados

VALORES OBTENIDOS			
Cálculo del mecanismo de freno.		Cálculo del sistema incorporado al mecanismo de freno.	
Masa	9,32 (kg)	Masa	9,983 (kg)
DIFERENCIAS			
Diferencia de masa	9,983 – 9,32 = 0,663 (kg)		0,663 (kg)

Fuente: Autor

Como podemos ver la diferencia existente entre los valores obtenidos no es muy grande motivo por el cual no provoca ninguna complicación en el sistema de frenos del vehículo mucho menos en el desempeño del funcionamiento de los demás sistemas que posee un vehículo y están en estrecha relación con el sistema de frenos tales como, el sistema de dirección y el sistema de suspensión siendo este el motivo para poder despreciar dicha diferencia.

3.5.5 *Cálculo del desgaste de los forros de las pastillas de freno.* Este cálculo lo realizamos en base al porcentaje de desgaste que sufren los forros de las pastillas, mediante una transformación aritmética de medidas obtenidas en nuestro sistema de control de desgaste.

3.5.5.1 *Datos:*

% = 0 a 100

L = 0 a 10 (mm)

En donde:

% = nos indica el porcentaje de desgaste de los forros de las pastillas de freno.

L = es la longitud lineal que tiene el vástago del sensor en mm, mediante el cual entrega la información sobre el desgaste que sufren las pastillas.

3.5.5.2 *Fórmula para calcular el desgaste:*

$L \rightarrow \%$

$2L \rightarrow ?$

$? = 2L \times \% / L$

3.5.5.3 *Calculo:*

El cálculo del desgaste de los forros de las pastillas se lo realiza teniendo mucho en cuenta las recomendaciones anteriormente mencionadas y se lo calcula mediante una regla de tres simple.

$10mm \rightarrow 100\%$

$20mm \rightarrow ?$

$? = 20mm \times 100\% / 10mm$

- **Cálculo del desgaste relacionando el % con L.**

Ejemplo:

Si el sistema de control incorporado me entrega una información en la pantalla LCD de 45% de desgaste. ¿Cuánto de apertura tendría el vástago del sensor?

Solución.

$$L = 45\% \times 10\text{mm} / 100\%$$

$$L = 4.5 \text{ mm}$$

3.5.5.4 Comparación de los valores obtenidos en los cálculos:

Luego de realizar el respectivo cálculo se determinó que los valores porcentuales y longitudinales son directamente proporcionales entre sí. Debido a que se encuentran delimitados en sus respectivos rangos, que van de 0mm a 10mm la longitud del vástago y de 0% a 100% el desgaste de los forros.

En la siguiente tabla se detalla lo expuesto anteriormente.

Tabla 7. Verificación de valores con respecto al desgaste de forros de las pastillas

VALORES COMPARATIVOS	
Porcentuales (%)	Longitudinales (mm)
0%	0 mm
10%	1 mm
20%	2 mm
30%	3 mm
40%	4 mm
50%	5 mm
60%	6 mm
70%	7 mm
80%	8 mm
90%	9 mm
100%	10 mm

Fuente: Autor

3.6 Comprobación de las señales de alerta según el tipo de pastillas de freno

Para realizar esta comprobación de señales emitidas por el sensor de posición sobre el desgaste que sufren las pastillas de freno se necesitó de dos tipos de pastillas simulando el trabajo que debe de realizar el sistemas de control electrónico de desgaste, siendo estas medidas quienes determinen el correcto funcionamiento del mismo para lo cual se trabajó con un juego de pastillas nuevas y otro de pastillas ya usadas y que necesiten ya ser sustituidas para que se pueda garantizar el correcto funcionamiento del sistema de control.

3.6.1 *Verificación de medidas obtenidas entre pastillas nuevas y pastillas en uso.* Al instalar el juego de pastillas nuevas la información emitida por el sistema de control electrónico fue el que se detalla a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 8. Información de señales

INFORMACION ENTREGADA		
Pastillas Nuevas		
Denominación	Resultados	Descripción
Sensor de Posición (apertura del vástago).	0 mm	Totalmente cerrado.
% de desgaste.	0 %	Pastillas totalmente nuevas.
Mensaje informativo.	Desgaste	Cantidad de desgaste existente
Pastillas con uso y en condiciones de ser ya sustituidas		
Sensor de Posición (apertura del vástago).	9 mm	Alerta el desgaste.
% de desgaste.	85 % - 100%	Pastillas al límite del cambio.
Mensaje informativo.	Cambio pastilla	Cambio inmediato de pastillas.

Fuente: Autor

Cabe recalcar que para la obtención de estos valores informativos se debe tener muy en cuenta los rangos de tolerancias que presenta cada uno de los elementos encargados de emitir sus señales al momento de funcionar, para así garantizar el correcto funcionamiento del sistema de control electrónico.

También debemos comprender que existen parámetros de programación para realizar la advertencia del desgaste de las pastillas, ya sea en activar las señales luminosas, sonoras y mensaje de cambio de pastillas que posee el sistema de control electrónico.

Los rangos y parámetros de medición tanto del sensor como de la programación se detallan a continuación:

3.6.1.1 Rangos de medición del sensor. Los rangos de medición que tiene el vástago del sensor van de 0mm a 10mm, esto quiere decir que para obtener 0mm de desplazamiento, el vástago de estar totalmente introducido, representando al 0% de desgaste y cuando el vástago se ha desplazado totalmente sus 10mm de longitud, equivaldrá al 100% de desgaste.

3.6.1.2 Parámetros de programación. Los parámetros establecidos en la programación fueron las condiciones impuestas para el funcionamiento del sistema, siendo estas:

1. Si el vástago del sensor se introduce totalmente y alcanza los 0mm de desplazamiento, el módulo de control electrónico pierde señal, entrando en corto.
2. Si el vástago del sensor se desplaza una longitud de 8.5 mm hasta 9.5mm, el módulo de control electrónico activara su primera alerta de desgaste, siendo estas: encendido del led de color rojo en forma intermitente, activación del buzzer en tono intermitente y el respectivo mensaje de cambio de pastilla con su respectivo % de desgaste en la pantalla LCD.
3. Si el vástago del sensor se ha desplazado totalmente sus 10mm de longitud, el módulo de control activara su segunda alerta de desgaste, siendo estas: encendido del led de color rojo en forma permanente, activación del buzzer en tono continuo y el respectivo mensaje de cambio de pastilla con el 100% de desgaste en su pantalla LCD.

3.7 Verificación del sistema de control en el panel de instrumentos

Luego de haber instalado el sistema de control electrónico de desgaste de los forros de las pastillas de freno, se verifica la información de datos visualizados en la pantalla del LCD, para informar el desgaste que se produce en cada accionamiento del pedal de freno.

Se comprobó que la comunicación de señales están siendo muy bien procesadas por la tarjeta de datos (Arduino Uno), la cual procesa dichos datos y entrega la información correspondiente a los actuadores instalados en el módulo de control electrónico, ubicado en el tablero del vehículo donde el conductor tenga un excelente acceso tanto visual como auditivo de toda la información entregada por el sistema de control electrónico.

Informándolo sobre el estado actual de las pastillas de freno, para dar el respectivo mantenimiento al sistema de frenos, ya que en cuanto a seguridad es el principal sistema que garantiza la integridad física tanto del conductor como del vehículo mismo.

CAPÍTULO IV

4. ENSAYOS Y PRUEBAS

4.1 Ensayo de la secuencia operacional del sistema de control electrónico de desgaste

Se verifico la secuencia de operación de trabajo que realiza el sistema de control electrónico, para medir el desgaste en los forros de las pastillas e frenos, siendo este el que se detalla a continuación.

4.1.1 *Funcionamiento del sistema eléctrico del módulo de control electrónico.* Para realizar las pruebas de funcionamiento del sistema de control electrónico instalado en el vehículo, se las probó en dos fases siendo estas:

- Con el switch del vehículo abierto o en posición ON.
- Con el motor del vehículo encendido.

4.1.1.1 *Medición del voltaje de alimentación con el switch abierto o en posición ON.* Se realiza la primera medición del voltaje de alimentación para el sistema de control electrónico, con el switch del vehículo abierto, mediante el siguiente procedimiento.

1. Se mide el voltaje de la fuente de alimentación del módulo de control electrónico, enviado por la batería de vehículo, una vez que se pone en contacto el switch de encendido, mediante el multímetro digital se mide el valor de voltaje que llega al rectificador de voltaje instalado. Ver Figura 63

Figura 63. Voltaje de alimentación 1



Fuente: Autor

2. Se mide el voltaje estable de alimentación que recibirá el módulo de control electrónico, entregado por el regulador de voltaje. Ver Figura 64

Figura 64. Voltaje 1 emitido por el regulador



Fuente: Autor

4.1.1.2 *Medición del voltaje de alimentación con el motor del vehículo encendido.* Se realiza la segunda medición del voltaje de alimentación para el sistema de control electrónico, con el motor del vehículo encendido, mediante el siguiente procedimiento.

1. Se mide el voltaje de alimentación del módulo de control electrónico, con el vehículo encendido para verificar la variación de voltaje que se produce, siendo este adquirido por el regulador de voltaje instalado. Ver Figura 65

Figura 65. Voltaje de alimentación 2



Fuente: Autor

2. Se mide el voltaje de alimentación, que sale del rectificador de voltaje instalado. Ver Figura 66

Figura 66. Voltaje 2 emitido por el regulador



Fuente: Autor

4.1.1.3 *Verificación del voltaje de entrada para la alimentación del módulo de control electrónico.* Para realizar la verificación del voltaje de entrada, que alimentara al módulo de control electrónico, se lo hizo en tres fases, siendo estas las que se detallan a continuación.

1. Se ubica el switch de encendido del vehículo en posición Off, para medir el voltaje presente en el conector que alimentara al módulo de control electrónico, obteniendo el valor presentado en la pantalla del multímetro digital. Ver Figura 67

Figura 67. Verificación de voltaje 1 de alimentación



Fuente: Autor

2. Se ubica el switch de encendido del vehículo en posición ON, para medir el voltaje presente en el conector que alimentara al módulo de control electrónico, obteniendo el valor presentado en la pantalla del multímetro digital. Ver Figura 68

Figura 68. Verificación de voltaje 2 de alimentación



Fuente: Autor

3. Se enciende el vehículo para medir el voltaje presente en el conector que alimentara al módulo de control electrónico, obteniendo el valor presentado en la pantalla del multímetro digital. Ver Figura 69

Figura 69. Verificación de voltaje 3 de alimentación



Fuente: Autor

4.1.2 *Funcionamiento del sensor de posición.* Para verificar el correcto funcionamiento del sensor de posición, se realiza las respectivas mediciones de resistencia y voltaje que existe en cada uno de sus pines de conexión.

4.1.2.1 *Medición de la resistencia en pines de conexión del sensor de posición.* Para medir la resistencia presente, tanto en el pin B de señal como en el pin C de masa que posee el sensor, se debe ubicar el switch de encendido del vehículo en la posición ON,

obteniendo así el paso de la corriente eléctrica y poder realizar la respectiva medición mediante el multímetro digital. Para esto se realiza el siguiente procedimiento:

1. Se ubica las puntas de medición del multímetro digital en cada uno de los pines de conexión del sensor, siendo el pin A la punta positiva de alimentación del sensor y el pin B la punta negativa que medirá la resistencia que genera señal del sensor, obteniendo así el valor que se puede apreciar en la pantalla del multímetro. Ver Figura 70

Figura 70. Resistencia en el pin B de señal del sensor



Fuente: Autor

2. Se cambia la ubicación de la punta negativa del multímetro digital al pin C de conexión de masa del sensor, para medir la resistencia que genera dicho pin, obteniendo así el valor que se puede apreciar en la pantalla del multímetro. Ver Figura 71

Figura 71. Resistencia en el pin C de masa del sensor



Fuente: Autor

4.1.2.2 *Medición del voltaje de alimentación de sensor de posición.* Para medir el voltaje de alimentación del sensor de posición, que es receptado por el pin A de conexión que posee el sensor, se debe ubicar el switch de encendido del vehículo en la posición ON, obteniendo así el paso de la corriente eléctrica, para poder realizar la respectiva medición mediante el multímetro digital. Para esto se realiza el siguiente procedimiento:

1. La primera medida se la realiza con el vástago del sensor totalmente desplazado, para esto se ubica la punta positiva de medición del multímetro en el pin A de alimentación del sensor y la punta negativa al pin C de masa del sensor, obteniendo así el valor de voltaje que alimentara al sensor de posición, siendo este visualizado en la pantalla del multímetro digital. Ver Figura 72

Figura 72. Voltaje de alimentación del sensor



Fuente: Autor

2. La segunda medida se lo realiza con el vástago del sensor totalmente introducido, obteniendo así el valor de voltaje visualizado en la pantalla del multímetro digital. Ver Figura 73

Figura 73. Voltaje de alimentación del sensor



Fuente: Autor

4.1.3 *Funcionamiento del sistema de control electrónico.* Para realizar las pruebas y ensayos de funcionamiento del sistema de control electrónico, se tomaron valores de: voltaje de señal y porcentaje de desgaste, producidos por el desplazamiento del vástago del sensor, simulando así pastillas nuevas, pastillas con desgaste y pastillas que necesitan ser sustituidas, siendo estos valores visualizados en la pantalla del LCD y en la pantalla del multímetro digital.

4.1.3.1 *Valores obtenidos de la simulación de pastillas nuevas.* Se ubica la punta positiva del multímetro en el pin A de alimentación del sensor y la punta negativa del multímetro al pin B de señal del sensor, se introduce el vástago del sensor para obtener el valor del voltaje de señal de 0.10v y el porcentaje de desgaste de 0.06 %, visualizados en la pantalla del multímetro y en el LCD del módulo de control. Ver Figura 74

Figura 74. Voltaje y %desgaste simulando pastillas nuevas



Fuente: Autor

4.1.3.2 *Valores obtenidos de la simulación de pastillas con desgaste.* Se ubica la punta positiva del multímetro en el pin A de alimentación del sensor y la punta negativa del multímetro al pin B de señal del sensor, se realiza el desplazamiento del vástago del sensor, para obtener el valor del voltaje de señal de 4.44v y el porcentaje de desgaste de 72.67 %, visualizados en la pantalla del multímetro y en el LCD del módulo de control. Ver Figura 75

Figura 75. Voltaje y %desgaste simulando pastillas con desgaste



Fuente: Autor

4.1.3.3 *Valores obtenidos de la simulación de pastillas que deben ser sustituidas.* Se ubica la punta positiva del multímetro en el pin A de alimentación del sensor y la punta negativa del multímetro al pin B de señal del sensor, se realiza el desplazamiento total del vástago del sensor, para obtener el valor del voltaje de señal de 4.71v y el porcentaje de desgaste de 100.00 %, visualizados en la pantalla del multímetro y en el LCD del módulo de control. Ver Figura 76

Figura 76. Voltaje y %desgaste simulando pastillas de cambio



Fuente: Autor

4.1.4 *Análisis de los Resultados teóricos y reales obtenidos en el sistema de control electrónico de desgaste.* Se muestra los resultados obtenidos en cada una de las medidas de desplazamiento que realiza el vástago del sensor de posición, para poder enviar la información del desgaste que sufren los forros de las pastillas de freno, en cada frenada que realice el vehículo de competición, para esto se tomaron medidas referenciales de la longitud total del bastado del sensor. Ver Tabla 9

Tabla 9. Resumen de Resultados y Porcentajes de Error

Resultados	En forma teórica %	En forma real %	% de error
0 mm desgaste	0 %	Corte de señal	-
0.5 mm desgaste	5 %	0,06 %	4,94 %
1 mm desgaste	10 %	3,55 %	6,45 %
2 mm desgaste	20 %	11,21 %	8,79 %
3 mm desgaste	30 %	21,35 %	8,65 %
4 mm desgaste	40 %	39,08 %	0,92 %
5 mm desgaste	50 %	49,61 %	0,39 %
6 mm desgaste	60 %	59,60 %	0,4 %
7 mm desgaste	70 %	69,35 %	0,65 %
8 mm desgaste	80 %	79,68 %	0,32 %
9 mm desgaste	90 %	89,78 %	0,22 %
10 mm desgaste	100 %	100,00 %	0 %

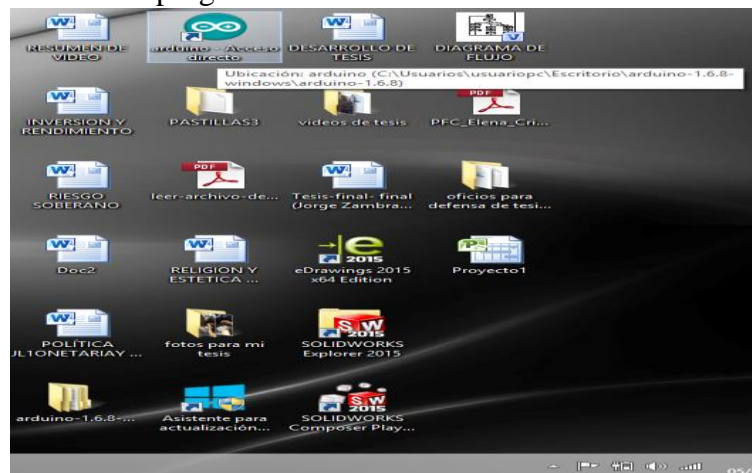
Fuente: Autor

4.2 Elaboración del Manual de Usuario.

Manual de usuario para iniciar el software Arduino/Genuino Uno en COM1. Para que se ejecute el programa *Arduino/Genuino Uno en COM1*, solamente es necesario descargarlo del internet e instalarlo en nuestros ordenadores.

1. Ejecute el software *Arduino/Genuino Uno en COM1* dando doble clic sobre el ícono ubicado en el escritorio del ordenador. (Ver fig. 65)

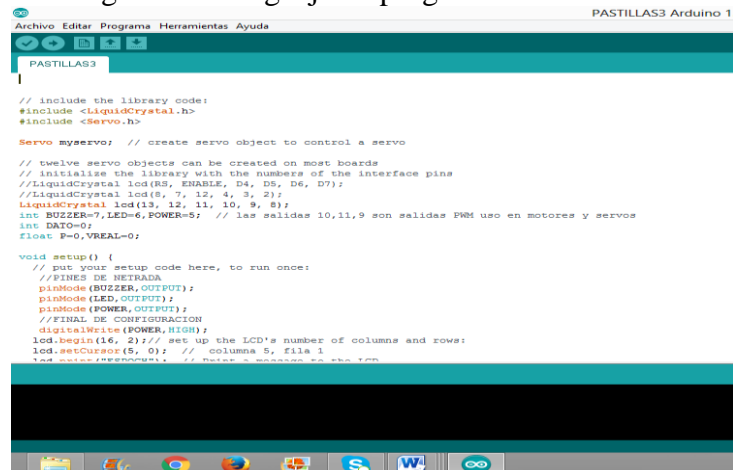
Figura 77. Representación gráfica del escritorio del ordenador donde se encuentra ubicado el programa de Arduino/Genuino Uno en COM1.



Fuente: Autor

2. Se empieza a introducir las variables de programación con sus respectivos datos respetando los distintos comandos de ejecución del lenguaje de programación de Arduino.

Figura 78. Lenguaje de programación Arduino



Fuente: Autor

3. Se verifica la introducción de datos antes de proceder a subir la información para ser grabada en el microprocesador que contiene la tarjeta de Arduino, mediante las ventanas de la barra de herramientas siendo estas:



Verificar si tu programa va a funcionar.



Cargar el programa a la placa de Arduino.



Crear un programa nuevo.



Abrir un programa.



Guardar el programa en el disco duro del ordenador.



(En la parte derecha de la barra de herramientas se encuentra el Monitor Serial) abre una ventana de comunicación con la placa Arduino.

4. Finalmente se sube toda la información de lo que se desea programar, y si el programa no detecta ningún error procede a grabar la información en el microprocesador o pastilla de programación.

4.2.1 *Manual de usuario para la calibración del sistema electrónico.* Para realizar la calibración del sistema de control electrónico debemos tomar mucho en cuenta los distintos parámetros de funcionamiento que posee el sistema siendo esto:

1. El voltaje de alimentación.
 2. y las condiciones de programación.
- **Voltaje de alimentación.** En cuanto al voltaje de alimentación debemos comprobar la cantidad de voltaje que ingresa a nuestro módulo de control el cual

debe ser de 12V, y el voltaje que el módulo de control envía al sensor de posición el cual será los 5V requeridos.

Esto se lo comprueba con la ayuda de un multímetro, tomando la medida de voltaje en el conector que ingresa al módulo de control, el cual viene desde el switch de encendido del vehículo y el voltaje que recibe el sensor de posición en su pin A de conexión.

- **Condiciones de programación.** Son los datos y variables introducidas en el lenguaje de programación Arduino, con las cuales se puede hacer variaciones de ajuste ya sea por sustitución del sensor o por sustitución del micro controlador de la tarjeta de Arduino.

Nota.- Cabe recalcar que todas estas acciones se las debe realizar con el switch del vehículo en posición ON o encendido en vehículo.

4.2.2 *Manual de mantenimiento de la implementación del sistema de control electrónico para medir el desgaste de las pastillas de freno.* El mantenimiento necesario para el sistema de control de desgaste instalado no resulta ser muy riguroso, sin embargo se puede anotar ciertas recomendaciones para realizar un mantenimiento preventivo, de posibles problemas, causas y soluciones, las cuales son descritas a continuación:

- Verificar que la red de la conexión eléctrica sea una alimentación de 12Vcc.
- Asegurarse que el switch del vehículo se encuentre en posición ON, comprobando que el tablero del vehículo, led indicador (verde) y la pantalla LCD del módulo de control se encuentren encendidos.
- Se debe tener precaución de no derramar líquidos sobre el módulo de control, ya que contiene elementos electrónicos delicados.
- Verificar que el conector de alimentación del módulo de control y los conectores del sensor de posición estén conectados y no esté ningún cable suelto.

- Probar que el vástago del sensor recorra libremente y que el sensor tenga su respectivo anillo o empaque montado en su cuerpo.
- Colocar el sensor en la placa soporte con sus respectivos pernos de sujeción y apretarlos.
- Comprobar que la señal del sensor es recibida por el módulo de control, mediante la variación del porcentaje de desgaste en el LCD y activación de sus respectivos actuadores que informan sobre el desgaste. Siendo estos valores de 100% de desgaste con el vástago del sensor totalmente salido, 50% con el vástago introducido hasta la mitad de su recorrido total y 0.06% con el vástago introducido totalmente, acompañado del encendido del led de color rojo, la activación del buzzer y el cambio de mensaje, cada lectura debe ser visualizada con un tiempo de 15 segundos de espera.
- Revisar que los pernos de sujeción de la placa soporte no se encuentren aislados.
- Comprobar que los hilos del roscado interno en los agujeros construidos en la mordaza de freno para sujetar a la placa soporte no estén dañados.
- Verificar que la superficie de la cabeza del perno de acero blanco construido para que sirva de base de apoyo al vástago del sensor y también sujete a la mordaza de freno no este abollado o con presencia de impurezas.
- Cambiar las pastillas de freno y realizar su respectiva purga del sistema hidráulico.
- Se recomienda desconectar el sensor para evitar dañarlo y también tener mejor comodidad para trabajar.

CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS DE COSTOS.

5.1 Costos Directos:

Dentro de los costos directos se ha considerado todos los costos que afectan directamente a la elaboración del proyecto siendo estos:

- Costos de materiales.
- Costos de máquina-herramientas.
- Costos de mano de obra.
- Costos por transporte.

5.1.1 *Costos de materiales.* Los costos de materiales para la construcción de sistema de control electrónico de desgaste de los forros de las pastillas de frenos se detallan a continuación.

- Costos de materiales para la construcción del módulo de control.
- Costos de materiales para la construcción de la placa soporte del sensor de posición.
- Costos de materiales para la modificación de la mordaza de freno.
- Costos de materiales para la instalación del módulo de control en el tablero de instrumentos.
- Resumen del costo total de materiales.

5.1.1.1 *Costos de materiales para la construcción del módulo de control electrónico.*

Los materiales que se utilizaron para la construcción de módulo de control electrónico, se detallan en la siguiente tabla. Ver Tabla 10

Tabla 10. Costo de materiales para la construcción del módulo de control electrónico.

Cantidad	Especificaciones	Valor Unitario (USA)	Valor Total (USA)
1	Arduino UNO	60,00	60,00
1	Sensor de posición de válvula EGR	300,00	300,00
1	Baquelita Perforada	2,00	2,00
15	Cables de Arduino	0,20	3,00
1	Regulador 7812 (15v-12v)	1,00	1,00
1	LCD 16X2 Azul	8,00	8,00
1	Regleta Hembra Simple	0,85	0,85
1	Potenciómetro de Precisión	1,00	1,00
2	Resistencias de 220 ohmios (Ω)	0,10	0,20
2	Led (rojo-verde)	0,20	0,40
1	Resistencia de 10 ohmios (Ω)	0,10	0,10
1	Caja Plástica	10,25	10,25
1	Buzzer (zumbador)	2,00	2,00
1	Metro de Estaño	1,50	1,50
1	Conector D/C	1,00	1,00
15	Terminales de Acople (bronce)	0,25	3,75
1	Crema de soldar (feldler)	2,00	2,00
1	Barra de Silicona	0,50	0,50
1	Cinta Adhesiva doble fas	3,00	3,00
SUB TOTAL			400,55

Fuente: Autor

5.1.1.2 *Costos de materiales para la construcción de la placa soporte del sensor de posición.* Los materiales que se utilizaron para la construcción de la placa soporte del sensor de posición, se detallan en la siguiente tabla. Ver Tabla 11

Tabla 11. Costo de materiales para la construcción de la placa soporte del sensor de posición.

Cantidad	Especificaciones	Valor Unitario (USA)	Valor Total (USA)
1	Pletina de Hierro (30x10)	5,00	5,00
1	Pletina de Hierro (30x2.5)	1,00	1,00
5	Barrilla de Electrodo Aga6011	0,75	3,75
1	Pliego Lija de hierro # 180	1,50	1,50
1	Pliego Lija de hierro # 350	1,50	1,50
2	Litros de Diluyente	2,00	4,00
1	1/4 de Pintura para carros 3M de color rojo	8,00	8,00
4	Pernos (5x12) paso 1,25	0,40	1,60

Tabla 12. (Continua) Costo de materiales para la construcción de la placa soporte del sensor de posición.

1	Perno (8x12) paso 1,25	0,20	0,20
1	Peno (15/32x70) paso 1,75	7,25	7,25
1	Tuerca (5mm) paso 1,25	0,10	0,10
4	Arandelas de presión (5/32)	0,10	0,40
	Arandela de presión (5/16)	0,20	0,20
1	Guantes Industriales	15,00	15,00
1	Broca (1/8)	1,50	1,50
1	Broca (1/4)	2,25	2,25
1	Broca (9/32)	1,50	1,50
1	Broca (1/2)	15,00	15,00
1	Hoja de sierra para hierro	2,50	2,50
1	Franela roja (70x50)	2,00	2,00
SUB TOTAL			74,75

Fuente: Autor

5.1.1.3 *Costos de materiales para la modificación de la mordaza de freno.* Los materiales que se utilizaron para la modificación de la mordaza de freno, se detallan en la siguiente tabla. Ver Tabla 13

Tabla 13. Costo de materiales para la modificación de la mordaza de freno

Cantidad	Especificaciones	Valor Unitario (USA)	Valor Total (USA)
1	Mordaza de freno delantero del lado derecho para Volkswagen-golf 2007	150,00	150,00
1	Perno de Acero	10,00	10,00
1	Pastillas Cerámicas	40,00	40,00
1	Litro Liquido de Freno DOC4	15,00	15,00
1	3M™ High Power Brake Cleaner	5,00	5,00
1	Libra de Guaípe	3,00	3,00
1	Tarro de grasa	5,00	5,00
SUB TOTAL			228,00

Fuente: Autor

5.1.1.4 *Costos de materiales para la instalación del módulo de control en el tablero de instrumentos.* Los materiales que se utilizaron para la instalación del módulo de control en el tablero de instrumentos, se detallan en la siguiente tabla. Ver Tabla 14

Tabla 14, Costo de materiales para la instalación del módulo de control en el tablero de instrumentos.

Cantidad	Especificaciones	Valor Unitario (USA)	Valor Total (USA)
3	Metros de cable # 16 (rojo)	1,00	3,00
3	Metros de cable # 16 (negro)	1,00	3,00
1	Conector D/C	1,00	1,00
1	Regulador 7812 (15v-12v)	1,00	1,00
1	Taype cinta (negro)	0,75	0,75
5	Bridas plásticas	0,10	0,50
SUB TOTAL			9,25

Fuente: Autor

5.1.1.5 *Resumen de costo total de materiales.* El resumen del costo total de materiales que se utilizaron para la construcción del sistema de control electrónico, se detallan en la siguiente tabla. Ver Tabla 15

Tabla 15. Resumen de costo total de materiales.

Denominación	Valor (USA)
Construcción del Módulo de control electrónico.	400,55
Construcción de la Placa soporte del Sensor de Posición.	74,75
Modificación de la Mordaza de Freno.	228
Instalación del Módulo de Control en el Tablero de Instrumentos.	9,25
COSTO TOTAL DE MATERIALES	712,55

Fuente: Autor

5.1.2 *Costos de Máquina-Herramienta.* Los costos generados por la utilización de máquinas y herramientas, para la construcción del sistema de control electrónico, se detallan en la siguiente tabla. Ver Tabla 16

Tabla 16. Costo total de máquinas y herramientas.

Máquinas y Herramientas	Horas-Equipo (h)	Costo/Hora (USA)	Valor Total (USA)
Taladro de pedestal	3	10,00	30,00
Taladro de mano	4	5,00	20,00
Soldadora Eléctrica	4	10,00	40,00
Torno	4	15,00	60,00
Equipo para sacar rosca	2	10,00	20,00
Esmeril eléctrico	2	10,00	20,00
Arco de sierra	4	5,00	20,00

Tabla 17. (Continua) Costo total de máquinas y herramientas.

Entenalla de banco	10	5,00	50,00
Amoladora	2	10,00	20,00
Compresor	2	15,00	30,00
Taller Industrial	72	0,50	36,00
Taller Mecánico	120	0,50	60,00
COSTO TOTAL DE MAQUINAS Y HERRAMIENTAS			406,00

Fuente: Autor

5.1.3 *Costos de Mano de Obra.* Los costos generados por mano de obra, para la construcción del sistema de control electrónico, se detallan en la siguiente tabla. Ver Tabla 18

Tabla 18. Costo total de mano de obra.

Operario	Trabajo a realizar	Horas-Hombre	Salario Real/Hora (USA)	Valor total (USA)
Ayudante de fierro	Diseño y construcción de la placa porta sensor	20	2,29	45,80
Ayudante de fierro	Taladrado y roscado de 3 agujeros en la mordaza de freno	3	2,29	6,87
Ayudante de fierro	Montaje y calibración del sistema en el vehículo	6	2,29	13,74
COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA				66,41

Fuente: Autor

5.1.4 *Costos por Transporte.* Los costos generados por transporte, para la construcción del sistema de control electrónico, se detallan en la siguiente tabla. Ver Tabla 19

Tabla 19. Costo total de transporte.

Denominación	Valor (USA)
Movilización de los Materiales.	60,00
COSTO TOTAL DE TRANSPORTE	60,00

Fuente: Autor

5.2 Costos Indirectos.

Son aquellos costos que no pueden asignarse con precisión, siendo estos los siguientes:

- Costos de ingeniería. Ver Tabla 20

Tabla 20. Costo total de ingeniería.

Denominación	Valor (USA)
Capacitación.	200,00
Criterio de ingeniería.	600,00
COSTO TOTAL DE INGENIERIA	800,00

Fuente: Autor

5.3 Costo total de la implementación del sistema de control electrónico de control de desgaste.

El costo total de la implementación del sistema electrónico para el control de desgaste de frenos se lo detallamos en la siguiente tabla. Ver Tabla 21

Tabla 21. Resumen de costos totales de la implementación del sistema.

Denominación	Valor (USA)
Materiales.	712,55
Máquinas y Herramientas.	406,00
Mano de Obra.	66,41
Transporte.	60,00
Indirectos.	800,00
COSTO TOTAL DE INSTALACION DEL SISTEMA	2044,96

Fuente: Autor

El costo total de la implementación del sistema de control electrónico, para medir el desgaste en los forros de las pastillas de frenos de un automóvil de competición, es de \$ 2044,96 (Dos mil cuarenta y cuatro dólares americanos con noventa y seis centavos).

5.4 Análisis costo beneficio por instalar el sistema de control electrónico.

El beneficio que se obtiene por instalar el sistema de control electrónico, es el ahorro que se va a tener por motivo de mantenimiento, que requiere el sistema de frenos del vehículo de competición, siendo este el detallado en la siguiente tabla. Ver Tabla 22

Tabla 22. Análisis costo beneficio.

SISTEMA CONVENCIONAL		
Juego de discos	# de carreras	Costo(USA)
1	3	1200,00
SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO		
Juego de discos	# de carreras	Costo(USA)
1	9	1200,00

Fuente: Autor

Al realizar la comparación entre los dos sistemas, se obtiene un ahorro del 66,67% del costo de mantenimiento, tomando como referencia el # de carreras que se logra realizar con el sistema incorporado.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 Conclusiones:

Mediante el diseño y construcción del sistema de control electrónico, se controló el desgaste que sufren los forros de las pastillas de frenos, para realizar la sustitución correspondiente, cuando ya han alcanzado su límite máximo de desgaste, establecido por la programación del módulo de control electrónico.

Se solucionó el problema que existía con los antiguos elementos que alertaban sobre el desgaste de los forros de las pastillas, provocando daños en la superficie de los discos de frenos.

Con nuestro sistema de control electrónico se logró mejorar la durabilidad de los discos de frenos, así como también de aprovechar al máximo la vida útil de los forros de las pastillas de frenos para de esta forma economizar los gastos que representan los mantenimientos de frenos.

Durante el desarrollo de ensayos y pruebas del sistema de control electrónico, surgieron nuevas ideas para la realización de futuros proyectos de investigación, los cuales podrían ser aplicados en el área automotriz.

Al evaluar y ajustar los parámetros de calibración del sistema incorporado se comprobó su correcto funcionamiento, desempeñando eficazmente su labor y facilitando al conductor conocer el estado actual de las pastillas de frenos de su vehículo.

Después de haber realizado el análisis de costos que representa instalar el sistema, se concluyó que es una buena inversión, siendo un ahorro que se tiene a lo largo de la vida útil del vehículo por sus respectivos mantenimientos que debe recibir el sistema de frenos.

Una vez instalado el sistema se puede comprobar que el mantenimiento que necesita el mismo no es muy difícil de realizarlo y lo puede hacer cualquier persona que tenga conocimientos básicos tanto en mecánica automotriz como en manejo de Arduino/genuino Uno en COM1.

Mediante el análisis de costo beneficio realizado, se comprobó que al instalar el sistema de control electrónico de desgaste, se obtiene un ahorro del 66,67% en el costo de mantenimiento del sistema de frenos.

6.2 Recomendaciones:

Utilizar la vestimenta, herramientas y equipos adecuados para la realización del mantenimiento del sistema de control electrónico de desgaste para evitar posibles accidentes teniendo en cuenta la Seguridad personal y de los que les rodean.

En la construcción de la placa soporte en caso de ruptura o daño alguno, realizar con la debida atención posible teniendo mucho en cuenta el diseño, tipo de material y dimensiones de la misma para evitar posibles inconvenientes al momento de ubicar el sensor y por ende a la mordaza de freno.

Al momento de realizar la sustitución de las pastillas de freno tener mucho cuidado con el sensor de posición para evitarle daño alguno por lo que se recomienda desconectarlo para poder realizar dicho trabajo.

Cuando se vaya a montar la placa soporte juntamente con el sensor incorporado tener mucho cuidado con el vástago del sensor de posición ya que debe ir situado sobre la superficie plana de la cabeza del perno de sujeción de la mordaza de freno.

Revisar los agujeros roscados, pernos de sujeción de la placa soporte que posee la mordaza de freno los cuales estén en buenas condiciones al momento de montar el sistema.

Revisar las conexiones eléctricas y sus respectivos voltajes para el funcionamiento del sistema de control electrónico de desgaste incorporado en el vehículo.

El sistema de control electrónico de desgaste se lo podría instalar en vehículos del medio, ya que representaría un ahorro económico y seguridad para sus ocupantes.

BIBLIOGRAFÍA

ALEXPALTA, *Sensor de posición de la valvula egr*. [En línea] 5 de agosto de 2010. [Citado el: 26 de abril de 2016.] <http://alexdieismotors.blogspot.com/2010/08/valvula-egr.html>

CRIADO OCAÑA, Elena. Diseño y calculo del sistema de frenado para un prototipo formula student.(tesis), (Ingenieria), Universidad Carlos III de Madrid, Escuela Politecnica Superior, Mecánica, leganés 2012, pp, 42- 56.

CRISTALAB, *Tarjetas de arduino*. [En línea] [Citado el: 15 de mayo de 2016.] <http://www.cristalab.com/tutoriales/programa-tu-primer-proyecto-en-arduino-c1140671/>.

ELECTRODO, *Electronica básica*. [En línea] [Citado el: 17 de mayo de 2016.] <http://todoelectrodo.blogspot.com/2013/02/lcd-16x2.html>.

GALABARRO RODRIGUEZ, Hermenegildo. *Elementos del sistema de frenos*. [En línea] [Citado el: 14 de enero de 2016.] <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn74.html#introduccion>.

MARTÍNEZ, D. Hermógenes Gil. *Los frenos. "Manual del automovil reparacion y mantenimiento"*. Madrid : CULTURAL, S. A., 2001, pp. 108-143.

MARTÍNEZ, D. Hermógenes Gil. *Los frenos "Manual Practico del Automóvil, Reparación, Mantenimiento y Prácticas"*. Madrid : Cultural, S. A., 2000. pp. 1038-1085. ISBN:978-84-8055-758-0.

MECÁNICA, *Discos de frenos*. [En línea] [Citado el: enero de 24 de 2016.]
<http://www.aficionadosalamecanica.net/frenos-3.htm>.

NEOBUX. *Pedal de freno*. [En línea] [Citado el: 19 de enero de 2016.]
<http://mecanicaalamano.blogspot.com/2013/12/sistema-de-freno.html>.

RIOFRIO PERÉZ, Luis Alfredo. *"implementacion de un sistema de freno de mano, con accionamiento hidráulico para un vehiculo zuzuki forsa de competicion"*.(tesis).(ingenieria), Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), Mecánica, Ingeniería Automotriz, Iatacunga, 2009. Pp, 20-24.

ON THE ROAD, *Tipos de discos de freno*. [En línea] [Citado el: 7 de mayo de 2016.]
<http://ontheroadmexico.blogspot.com/p/frenos-de-disco.html>.

SALDARRIAGA. *Sensor de posición*. [En línea] [Citado el: 8 de marzo de 2016.]
<http://saldarriagama2013.blogspot.com/2013/12/sensores-inicio.html>.

TECNOLOGIA. *Dispositivos electrónicos*. [En línea] [Citado el: 20 de abril de 2016.]
<http://www.areatecnologia.com/electricidad/condensador.html>.

TOLEDO, L Cristian. *Frenos de competición*. [Blog] 9 de enero de 2010. [Citado el: 23 de febrero de 2016.] <http://preparaciondemotores.blogspot.com/2010/01/sistema-de-frenos-de-competicion.html>.

PLANOS