



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE FRENOS RESPALDADO
EN UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA PARA UN PROTOTIPO
DE VEHÍCULO TIPO BUGGY HIBRIDO 4X4.”**

RODRIGO MIGUEL AMBULUDÍ ERIGOYA

BYRON ADRIÁN CORO SANMARTIN

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTO TÉCNICO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2019

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2018-10-23

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

AMBULUDÍ ERIGOYA RODRIGO MIGUEL

Titulado:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE FRENOS RESPALDADO EN UN
SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA PARA UN PROTOTIPO DE
VEHÍCULO TIPO BUGGY HIBRIDO 4X4.”**

Sea aceptada como total complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ



Ing. Msc. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:



Ing. Msc. Luis Fernando Buenaño Moyano.
DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN



Ing. Msc. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo.
MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2018-10-23

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

CORO SANMARTÍN BYRON ADRIÁN

Titulado:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE FRENOS
RESPALDADO EN UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA PARA
UN PROTOTIPO DE VEHÍCULO TIPO BUGGY HIBRIDO 4X4.”**

Sea aceptada como total complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ



Ing. Msc. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:



Ing. Msc. Luis Fernando Buenaño Moyano.
DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN



Ing. Msc. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo.
Msc
MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: AMBULUDÍ ERIGOYA RODRIGO MIGUEL

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE FRENOS RESPALDADO EN UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA PARA UN PROTOTIPO DE VEHÍCULO TIPO BUGGY HIBRIDO 4X4.”

Fecha de Examinación: 2019-07-12

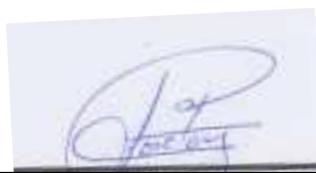
RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

| COMITÉ DE EXAMINACIÓN | APRUEBA | NO APRUEBA | FIRMA |
|---|-------------------------------------|--------------------------|---|
| Ing. Msc. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |  |
| Ing. Msc. Luis Fernando Buenaño Moyano DIRECTOR | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |  |
| Ing. Msc. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo MIEMBRO | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |  |

* 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. Msc. José Francisco Pérez Fiallos
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

ESPOCH

Facultad de Mecánica

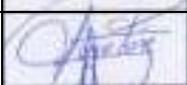
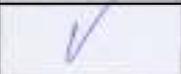
EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: CORO SANMARTÍN BYRON ADRIÁN

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE FRENOS RESPALDADO EN UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA PARA UN PROTOTIPO DE VEHÍCULO TIPO BUGGY HIBRIDO 4X4.”

Fecha de Examinación: 2019-07-12

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

| COMITÉ DE EXAMINACIÓN | APRUEBA | NO APRUEBA | FIRMA |
|---|--|------------|---|
| Ing. Msc. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA |  | |  |
| Ing. Msc. Luis Fernando Buenaño Moyano DIRECTOR |  | |  |
| Ing. Msc. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo MIEMBRO |  | |  |

* 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. Msc. José Francisco Pérez Fiallos
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de titulación denominado “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE FRENOS RESPALDADO EN UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA PARA UN PROTOTIPO DE VEHÍCULO TIPO BUGGY HIBRIDO 4X4.**” que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación técnica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Ambuludí Erigoya Rodrigo Miguel

Cédula de Identidad: 110532815-5

Coro SanMartín Byron Adrián

Cédula de Identidad: 070534747-4

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Ambuludí Erigoya Rodrigo Migue y Coro SanMartín Byron Adrián, declaramos que el presente trabajo presentado es de nuestra autoría y los resultados alcanzados en los diferentes análisis son auténticos y son únicos en cuanto al estudio realizado en el presente trabajo. En la parte investigativa se utilizaron textos y figuras de varios autores los cuales han sido referenciados y citados correctamente. Somos conscientes del hecho de no respetar derechos de autoría y hacer plagio, por lo tanto, asumimos con gran responsabilidad de cualquier irregularidad presentada por el incumplimiento de lo declarado.

Ambuludí Erigoya Rodrigo Miguel

Cédula de Identidad: 110532815-5

Coro SanMartín Byron Adrián

Cédula de Identidad: 070534747-4

DEDICATORIA

En primer lugar, agradezco a Dios y a la Churonita del Cisne, por ayudarme a tener las fuerzas para seguir en este duro trayecto de mi vida, dedico este trabajo a mis padres, que siempre me han apoyado y son los responsables en que yo termine esta etapa, a mis hermanos, a mis tías, que, aunque lejos siempre me han poyado, a mi novia, a mis amigos con los cuales he compartido mucho, a mi equipo de fútbol que hasta en un punto se volvió una familia, A mis Abuelos que mientras estuvieron en vida dieron todo por mí y a mis profesores, que nos han guiado durante todo este tiempo y nos han impartido sus conocimientos.

A todos ellos les agradezco y dedico este trabajo de titulación

Rodrigo Miguel Ambuludí Erigoya

En primer instancia dedico este trabajo a mi Dios y mi Virgencita, por darme salud y vida, perseverancia y constancia día a día, dedico este trabajo de titulación a mis padres, mi mejor amigo en particular, mi hermano, en paz descansa mi abuelo, mi tío, mi ex novia, mis amigos en general, a mis docentes por sobrellevar conocimiento a mi formación académica, principalmente a mis padres por el apoyo incondicional constante y por las duras circunstancias que se presentaron en el trayecto estudiantil de mi carrera, les dedico este trabajo con el mejor esfuerzo y gratitud de mi persona.

Byron Adrián Coro SanMartín

AGRADECIMIENTO

Antes que nada, agradezco a Dios y a la Churunita del Cisne por darme las fuerzas para continuar, les agradezco de todo corazón a mis padres y a mi familia que siempre me han estado apoyando a pesar de estar muy lejos, a mi novia, a mis amigos con los cuales he compartido en todo el trayecto de mi carrera, compartiendo anécdotas que perduraran para siempre, que en momentos difíciles han estado allí apoyándome de alguna u otra forma, a mi equipo de fútbol Empoly , A mis Abuelos que me ayudaron y me aconsejaron cuando estaban en vida, y a mis profesores que nos han brindado sus conocimientos en las aulas y nos han soportado durante este trayecto.

Rodrigo Miguel Ambuludí Erigoya

En el presente trabajo de titulación agradezco a Dios y a la Virgen por el hecho de brindarme todo el apoyo requerido en mi nivel académico y en mi vida personal, agradezco primordialmente a mis padres porque a pesar de su paciencia y apoyo incondicional estuvieron en el día a día de mi formación profesional, agradezco a todos los amigos que estuvieron dando apoyo emocional, a mi hermano, a mi tío, a mis vecinos por preocuparse de mi estado académico, agradezco a todos y cada uno de los amigos que indirectamente me apoyaron a mi progreso profesional, mi gratitud siempre presente y en toda la etapa de mi vida.

Byron Adrián Coro SanMartín

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | Pág. |
|--|------|
| RESUMEN | |
| ABSTRACT | |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO I | |
| 1. MARCO REFERENCIAL | 2 |
| 1.1. Antecedente..... | 2 |
| 1.2. Justificación | 3 |
| 1.2.3. Justificación Práctica..... | 4 |
| 1.3. Objetivos | 4 |
| 1.3.1. Objetivo General | 4 |
| 1.3.2. Objetivos específicos | 4 |
| CAPITULO II | |
| 2. MARCO TEÓRICO | 6 |
| 2.1. Buggy | 6 |
| 2.2. Sistema de frenos | 6 |
| 2.3. Tipos de freno | 8 |
| 2.3.1. Freno de tambor | 8 |
| 2.3.2. Freno de Disco | 8 |
| 2.4. Elementos de frenado..... | 9 |
| 2.4.1. Servofrenos | 9 |
| 2.4.2. Tambor | 12 |
| 2.4.3. Zapatas | 12 |
| 2.4.4. Disco porta freno..... | 13 |
| 2.4.5. Actuador hidráulico..... | 13 |
| 2.4.6. Sistema de reglaje automático..... | 14 |
| 2.4.7. Discos de freno..... | 15 |
| 2.4.8. Pastillas de freno | 16 |
| 2.4.9. Pinzas de freno | 16 |
| 2.5. La acción de frenado en los frenos de tambor..... | 17 |
| 2.6. Tipos de circuitos | 17 |
| 2.7. Freno de estacionamiento..... | 19 |
| 2.8. Accionamiento del freno de estacionamiento | 20 |
| 2.9. Eficacia de los frenos | 21 |

| | | |
|---------|--|----|
| 2.9.1. | Transferencia del peso durante la frenada..... | 22 |
| 2.10. | Freno regenerativo-historia | 23 |
| 2.11. | Arquitectura híbrida | 24 |
| 2.11.1. | Hibrido en serie..... | 24 |
| 2.11.2. | Hibrido en paralelo..... | 24 |
| 2.12. | Componentes del sistema de freno regenerativo..... | 25 |
| 2.12.1. | Motor térmico | 25 |
| 2.12.2. | Generador..... | 25 |
| 2.12.3. | Motor eléctrico..... | 25 |
| 2.12.4. | Inversor | 26 |
| 2.12.5. | Batería de alta tensión..... | 26 |
| 2.12.6. | Transmisión..... | 27 |
| 2.12.7. | Sistema de control..... | 29 |
| 2.12.8. | Freno regenerativo | 29 |

CAPÍTULO III

| | | |
|-------|--|-----------|
| 3. | CALCULO DE SISTEMA DE FRENOS HIDRÁULICOS..... | 31 |
| 3.1. | Frenado-introducción | 31 |
| 3.2. | Transferencia de carga | 33 |
| 3.3. | Centro de gravedad horizontal | 34 |
| 3.4. | Fuerza de adherencia o rozamiento..... | 35 |
| 3.5. | Fuerza de frenado máxima | 36 |
| 3.6. | Desaceleración del vehículo..... | 36 |
| 3.7. | Neumáticos..... | 37 |
| 3.8. | Medidas..... | 37 |
| 3.9. | Diámetro específico del vehículo..... | 38 |
| 3.10. | Para el diámetro dinámico..... | 39 |
| 3.11. | Par de frenado necesario | 40 |
| 3.12. | Reparto óptimo de frenada..... | 41 |
| 3.13. | Fuerza de salida en la bomba | 41 |
| 3.14. | Presión en el circuito..... | 42 |
| 3.15. | Presiones generadas en la bomba principal..... | 43 |
| 3.16. | Presiones en las cañerías | 44 |
| 3.17. | Fuerzas de apriete generadas en cada mordaza..... | 45 |
| 3.18. | Fuerza de fricción disco- pastilla | 45 |
| 3.19. | Fuerza de frenado generado por los discos-pastillas-frenada en una rueda | 47 |
| 3.20. | Pares de frenado | 48 |
| 3.21. | Tiempo de frenado | 50 |

| | | |
|-------|--------------------------------|----|
| 3.22. | Distancia de frenado..... | 50 |
| 3.23. | Motor eléctrico BLCD | 51 |
| 3.24. | Calculo de freno de mano | 51 |

CAPITULO IV

| | | |
|--------|--|----|
| 4. | Implementación para el Sistema Hidráulico y sistema de respaldo del freno regenerativo | 53 |
| 4.1. | Elección de la bomba de freno | 53 |
| 4.1.1. | Cañería de alta presión | 54 |
| 4.1.2. | Mordaza o Cáliper..... | 54 |
| 4.1.3. | Disco de Freno | 55 |
| 4.1.4. | Pedal de freno..... | 56 |
| 4.1.5. | Pastillas de freno | 57 |
| 4.1.6. | Análisis térmico disco-pastilla | 57 |
| 4.1.7. | Análisis de desgaste disco-pastilla | 58 |
| 4.1.8. | Análisis dinámico disco-pastilla | 59 |
| 4.1.9. | Freno de mano..... | 60 |
| 4.2. | Freno Regenerativo | 62 |
| 4.2.1. | Motor Eléctrico / generador | 62 |
| 4.2.2. | Cableado..... | 62 |
| 4.2.3. | Botón Pulsador | 63 |
| 4.2.4. | Controlador electrónico..... | 64 |
| 4.2.5. | Baterías..... | 65 |

CAPÍTULO V

| | | |
|--------|---|-----------|
| 5. | PRUEBAS TEÓRICAS, FÍSICAS Y PRESUPUESTOS | 66 |
| 5.1. | Pruebas teóricas..... | 66 |
| 5.2. | Pruebas físicas..... | 68 |
| 5.2.1. | Prueba 1: Pruebas de tiempo y distancia de frenado..... | 68 |
| 5.2.2. | Prueba 2: Pruebas de presión en el sistema..... | 71 |
| 5.2.3. | Prueba 3: Pruebas del sistema de freno regenerativo | 74 |
| 5.2.4. | Prueba 4: Prueba recuperación regenerativa | 82 |
| 5.2.5. | Prueba 5: Prueba termográfica en el disco-pastilla | 85 |
| 5.2 | Costos..... | 88 |
| 5.3. | Costos indirectos..... | 89 |
| 5.4. | Costos totales | 89 |

CAPÍTULO VI

| | | |
|-------|---|-----------|
| 6.1 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 90 |
| 6.1.1 | Conclusiones | 90 |

6.1.2 Recomendaciones..... 91

CAPITULO VII

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1-2: Distancia aproximada de parada dependiendo del tipo de freno | 21 |
| Tabla 1-3: Valores de promedio del coeficiente de fricción longitudinal..... | 36 |
| Tabla 2-3: Especificación del disco y neumáticos | 47 |
| Tabla 3-3: Datos para cálculos de freno de mano..... | 51 |
| Tabla 1-5: Resultados obtenidos en los cálculos teóricos..... | 66 |
| Tabla 2-5: resultados freno de mano..... | 67 |
| Tabla 3-5: Datos obtenidos en la prueba de frenado..... | 70 |
| Tabla 4-5: Tabla de resultados de presión en el sistema..... | 73 |
| Tabla 5-5: Carga de voltajes por fase y a distintas RPM..... | 79 |
| Tabla 6-5: Tabla de resultados de los 2 paquetes de baterías | 84 |
| Tabla 7-5: Resultado obtenido en la prueba | 84 |
| Tabla 8-5: Resultados de prueba termográfica | 87 |
| Tabla 9-5: Costos | 88 |
| Tabla 10-5: Costos indirectos | 89 |
| Tabla 11-5: Costos Totales | 89 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1-2: Ubicación de los componentes esenciales del sistema de freno | 7 |
| Figura 2-2: Composición del freno de disco..... | 9 |
| Figura 3-2: Servofreno..... | 11 |
| Figura 4-2: Tambor..... | 12 |
| Figura 5-2: Conjunto freno tambor..... | 13 |
| Figura 6-2: Actuador hidráulico | 14 |
| Figura 7-2: Sistema de reglaje tornillo sin fin | 14 |
| Figura 8-2: Sistema de reglaje por sector dentado..... | 15 |
| Figura 9-2: Disco de freno ventilado..... | 15 |
| Figura 10-2: Disco de freno macizo | 16 |
| Figura 11-2: Pastillas de freno..... | 16 |
| Figura 12-2: Funcionamiento de pinzas de frenos..... | 17 |
| Figura 13-2: Distribución por eje | 18 |
| Figura 14-2: Distribución por eje | 18 |
| Figura 15-2: Sistema 2+4 | 19 |
| Figura 16-2: Sistema triangular | 19 |
| Figura 17-2: Sistema de accionamiento freno de emergencia | 20 |
| Figura 18-2: Elementos freno de emergencia..... | 20 |
| Figura 19-2: Accionamiento del freno de emergencia..... | 21 |
| Figura 20-2: Transferencia de peso durante la frenada..... | 22 |
| Figura 21-2: Los hermanos belgas Henri Pieper y Nicolás Pieper | 23 |
| Figura 22-2: Configuración de los vehículos eléctricos híbridos | 24 |
| Figura 23-2: Configuración de los vehículos eléctricos híbridos -Híbrido en Paralelo..... | 24 |
| Figura 24-2: Gráficas de par y potencia del motor eléctrico | 25 |
| Figura 25-2: Inversor | 26 |
| Figura 26-2: Ubicación baterías alta tensión | 27 |
| Figura 27-2: Batería alta tensión..... | 27 |
| Figura 28-2: Esquema interno de la transmisión | 28 |
| Figura 29-2: Engranaje Planetario | 28 |
| Figura 30-2: Esquema de control de una configuración híbrida con acoplamiento de par..... | 29 |
| Figura 31-2: Gráficas comparativas del freno regenerativo | 30 |
| Figura 32-2: Esquema del Freno Regenerativo | 30 |
| Figura 1-3: Modelo del cuerpo libre de un vehículo de dos ejes para el estudio de frenado..... | 31 |
| Figura 2-3: Fuerza de frenado en una rueda | 36 |

| | |
|--|----|
| Figura 3-3: Partes del neumático | 38 |
| Figura 4-3: Neumáticos 175/70 R14 Pirelli P4 Cinturato 84t | 38 |
| Figura 5-3: Pares de frenado generados por el freno de estacionamiento | 40 |
| Figura 6-3: Pedal de freno | 42 |
| Figura 7-3: Generación de la presión del circuito en el cilindro principal de frenado. | 43 |
| Figura 8-3: Partes de la bomba de freno | 44 |
| Figura 9-3: Discos de frenos no ventilados | 46 |
| Figura 10-3: Discos de frenos ventilados | 46 |
| Figura 11-3: Fuerzas en los frenos de disco | 48 |
| Figura 1-4: bomba de freno de Toyota 2200..... | 53 |
| Figura 2-4: soldadura del pedal de freno | 53 |
| Figura 3-4: Soldadura de la platina..... | 54 |
| Figura 4-4: Tuberías de alta presión | 54 |
| Figura 5-4: Cáliper..... | 55 |
| Figura 6-4: Dobles de cañerías | 55 |
| Figura 7-4: Disco de freno Chevrolet Aveo | 56 |
| Figura 8-4: colocación de discos y cáliper | 56 |
| Figura 9-4: Pedal de freno | 57 |
| Figura 10-4: Pastillas de freno..... | 57 |
| Figura 11-4: Análisis térmico disco-pastilla..... | 58 |
| Figura 12-4: Análisis desgaste disco-pastilla | 58 |
| Figura 13-4: Análisis dinámico disco-pastilla | 59 |
| Figura 14-4: Silenciadores..... | 59 |
| Figura 15-4: Colocación liquido de freno DOT3 | 60 |
| Figura 16-4: Purgado del sistema de freno | 60 |
| Figura 17-4: Base para el sistema de freno de mano | 61 |
| Figura 18-4: Freno de mano | 61 |
| Figura 19-4: Motor eléctrico..... | 62 |
| Figura 20-4: Cableado | 62 |
| Figura 21-4: Switch abierto sin contacto | 63 |
| Figura 22-4: Motor en consumo de energía..... | 63 |
| Figura 23-4: botón pulsado | 64 |
| Figura 24-4: botón pulsador..... | 64 |
| Figura 25-4: Módulo de control..... | 64 |
| Figura 26-4: Bloque de baterías..... | 65 |
| Figura 1-5: Circuito de prueba..... | 69 |
| Figura 2-5: Toma de tiempo con cronometro | 70 |

| | |
|--|----|
| Figura 3-5: pruebas de tiempo de frenado | 71 |
| Figura 4-5: pruebas de distancia frenado..... | 71 |
| Figura 5-5: Prueba de presión del sistema en la mordaza trasera | 72 |
| Figura 6-5: Prueba de presión general en la bomba..... | 73 |
| Figura 7-5: Prueba de presión en la mordaza trasera..... | 74 |
| Figura 8-5: Prueba de presión en la mordaza delantera..... | 74 |
| Figura 9-5: Conexión osciloscopio con atenuador | 76 |
| Figura 10-5: Conexión de visualización de señal de onda..... | 76 |
| Figura 11-5: Señal de onda de freno regenerativo al vacío | 77 |
| Figura 12-5: Voltaje de regeneración en la primera fase..... | 77 |
| Figura 13-5: Voltaje regenerativo en la segunda fase..... | 78 |
| Figura 14-5: Voltaje regenerativo en la tercera fase..... | 78 |
| Figura 15-5: Datos de la ECU | 79 |
| Figura 16-5: Resultados obtenidos por la ECU | 80 |
| Figura 17-5: Curvas de consumo arrojadas por la ECU | 80 |
| Figura 18-5: Voltaje de alimentación en la fase 1 | 81 |
| Figura 19-5: Voltaje de alimentación en la segunda fase | 81 |
| Figura 20-5: Voltaje de alimentación en la tercera fase | 82 |
| Figura 21-5: Carga de baterías..... | 83 |
| Figura 22-5: Circuito de prueba..... | 84 |
| Figura 23-5: Medición distancia de aporte | 84 |
| Figura 24-5: prueba termográfica inicial | 86 |
| Figura 25-5: Prueba termográfica disco parte delantera | 86 |
| Figura 26-5: Prueba termográfica disco parte posterior | 87 |

Índice de Anexos

| | |
|----------------|--|
| Anexo A | Diseño sistema de freno para buggy hibrido 4x4 |
| Anexo B | Diseño de base freno de mano |
| Anexo C | Base paralela |
| Anexo D | Base fija freno de mano |
| Anexo E | Base inferior |
| Anexo F | Porta base para freno de mano |
| Anexo G | Porta base bomba de freno |

SIMBOLOGÍA

| | |
|------------------|--|
| F_f | Fuerza de fricción y |
| F_r | Fuerza de rodadura. |
| M_{fd} | Par de frenado delantero |
| M_{ft} | Par de frenado trasero. |
| $\dot{\Omega}_d$ | Desaceleración angular delantera |
| $\dot{\Omega}_t$ | Desaceleración angular trasera. |
| L | Distancia entre ejes, |
| P | Peso del vehículo |
| A | Deceleración del vehículo. |
| F_{xa} | Fuerza aerodinámica. |
| F_{zd} | Fuerza en el eje delantero. |
| F_{zt} | Fuerza en el eje trasero. |
| De,t | Distribución peso eje trasero |
| P_v | Peso del vehículo |
| $\%d$ | Porcentaje de peso eje delantero |
| $\%t$ | Porcentaje de peso eje trasero. |
| F_f | Fuerza de fricción y F_r es la fuerza de rodadura. |
| De,t | Distribución peso eje trasero |
| P_v | Peso del vehículo |
| $\%d$ | Porcentaje de peso eje delantero |
| $\%t$ | Porcentaje de peso eje trasero. |
| TP_v | Transferencia de cargas |
| μ | Coefficiente fricción entre neumático y calzada |
| h | Centro de gravedad vertical. |
| g | Gravedad. |

| | |
|------------|---|
| P_d | Peso en la parte delantera del vehículo. |
| P_t | Peso en la parte trasera del vehículo. } |
| W_{fs} | Distribución peso eje delantero. |
| W_{rs} | Distribución peso eje trasero. |
| W | Peso del vehículo. |
| L | Distancia entre ejes. |
| μ | Coefficiente de fricción entre neumático y calzada. |
| TPD | Peso de eje delantero debido a la transferencia de carga. |
| TPT | Peso de eje trasero debido a la transferencia de carga. |
| F_x | Fuerza en la dirección x. |
| M | Masa del vehículo. |
| a | Aceleración en la dirección x. |
| D_n | Diámetro nominal del vehículo |
| a | Altura del neumático |
| D_{in} | Diámetro interno nominal |
| r_c | Radio bajo carga |
| r_r | Radio sin carga |
| r_c | Radio del neumático (dinámico). |
| F_{fd} | Fuerza de fricción eje delantero del vehículo. |
| F_{ft} | Fuerza de fricción eje trasero del vehículo. |
| F_{fd}^s | Fuerza de fricción en el eje delantero. |
| F_{ft}^s | Fuerza de fricción en el eje trasero. |
| F_f^s | Transferencia de carga de cada eje. |
| F_p | Fuerza de salida a la bomba principal. |
| A_p | Área del cilindro principal. |

| | |
|-----------|---|
| P_L | Presión del fluido |
| A_{RD} | Área del pistón de la mordaza delantera. |
| A_{RA} | Área del pistón de la mordaza trasera. |
| F_{RD} | Fuerza de apriete disco delantero |
| F_{RA} | Fuerza de apriete disco trasero. |
| F_R | Fuerza fricción disco pastilla delantera. |
| F_{Rt} | Fuerza fricción disco pastilla trasera. |
| μ | Coefficiente de fricción de las pastillas delanteras. |
| μ_t | Coefficiente de fricción de las pastillas traseras. |
| F_{TD} | Fuerza periférica del disco delantero. |
| F_{TA} | Fuerza periférica del disco trasero. |
| r_m | Radio del disco de freno delantero. |
| r_{din} | Radio dinámico del neumático. |
| M | Momento en el disco delantero. |
| Mt | Momento en el disco trasero. |
| F_{TD} | Fuerza periférica del disco delantero. |
| F_{TA} | Fuerza periférica del disco trasero. |
| r_m | Radio del disco de freno delantero y trasero respectivamente. |
| MD | Momento en el eje delantero. |
| MT | Momento en el eje trasero. |
| v | Velocidad expresada en $\frac{m}{s}$ |
| a | Deceleración en $\frac{m}{s^2}$ |
| f_e | Frecuencia eléctrica en Hz |
| n_m | Velocidad del rotor en RPM |
| P | Número de polos |

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo la adaptación del sistema de frenos, respaldado de un sistema de recarga de energía en el Vehículo híbrido tipo Buggy 4x4, lo cual constituye el aporte de recarga a las baterías de voltaje de 96 V. Para la selección de este sistema se realizó los cálculos respectivos en base a fuerza de frenado teniendo en cuenta parámetros de entrada, como es el diámetro del disco de freno delantero de 256 mm y el posterior de 258 mm, para las fuerzas de frenado en la parte delantera se obtuvo 1555,7413(N) y la trasera 1569,0436(N), óptimos para el correcto funcionamiento del sistema de frenos. Se utilizó software de diseño (Solid Works), análisis y simulación ANSYS Workbench para analizar el comportamiento tanto térmico como dinámico y estructural. En cuanto al sistema de respaldo, la selección se estableció mediante el motor HPC trifásico sin escobillas con una potencia de 15 KW, capaz de mover la inercia del vehículo aproximadamente de 1000 kg. Para realizar las pruebas de funcionamiento del sistema se basó en 4 pruebas las cuales están destinadas a verificar el estado de funcionamiento del sistema de freno, la prueba uno está basado en calcular el tiempo y distancia de frenado a distintas velocidades, la prueba dos en la estanqueidad y presión del sistema, la prueba tres se tiene el sistema de carga mediante graficas de osciloscopio Hantek 1008C y la prueba 4 se explica el comportamiento térmico del disco, con resultados obtenidos en cuanto a temperatura máxima en la parte delantera de 68.2°C y la parte posterior de 65.6°C, así como también se verifico el comportamiento del flujo térmico en los elementos disco pastillas. De lo expuesto anterior mente antes de manipular el vehículo utilizar medidas de seguridad debido que este sistema trabaja con altos voltajes. Con esto concluimos que la selección de elementos del sistema de freno fue la óptima, ya que al comparar los resultados obtenidos en las pruebas cumplen con los resultados obtenidos en las fórmulas de diseño. Antes de manipular el sistema eléctrico del prototipo comprobar que el interruptor no este energizando el sistema, y utilizando las medidas de seguridad como guantes de alta tensión al momento de manipular cables de conexión, módulo de control o motor.

PALABRAS CLAVE: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <BUGGY>, <RECARGA DE ENERGÍA>, <FUERZA DE FRENADO>, <DISEÑO>, <SIMULACIÓN>, <IMPLEMENTACIÓN>, <TERMOGRAFÍA>, <MEDIDAS DE SEGURIDAD>.



ABSTRACT

The objective of the present thesis work was to adapt the brake system backed by a system for recharging the hybrid vehicle type buggy 4x4, which is the contribution recharged to the batteries of voltages of 96v. for the selection of this system the respective calculation were made based on braking force taking into parameters, such as the diameter of the breaking disc of 256mm and the rear 258mm, for the breaking forces in the front, was obtained 1555,7413(N) and the rear 1569,0436(N), optimal for the correct operation of the brake system. We used design software (Solid work), Analysis and simulations ANSYS workbench to analyze the thermal, dynamic and structural behavior. As for the backup system, the selection was established by the brushless three-phase HPC motor with a power of 15 KW, capable of moving the vehicle's inertial of approximately 1000 kg. to carry out the test of the operation of the system, it was based on 4 test which are intended to verify the state of operation of the brake system, test one is based on calculating the braking distance and time at the different speeds, test two in the system pressure and tightness, test three is the loading system using Hantek 1008C oscilloscope graph and test 4 explains the thermal behavior of the disc, with result obtained in terms of maximum temperature at the front 68,2°C and the back of 65,6°C, as well as the behavior of the thermal flux in the disc element pickle. From the above, before handing the vehicle use safety measure because this system works with the results obtained in the design formulas. Before manipulating the electronic system, and using the safety measures as high voltage gloves when handling connection cables, control modules or engine.

KEYWORDS: <ENGINEERING TECHNOLOGIES AND SCIENCES>, <BUGGY>, <ENERGY RECHARGE>, <BRAKING FORCE>, <DESIGN>, <SIMULATION>, <IMPLEMENTATION>, <THERMOGRAPHY>, <SECURITY MEASURES>.



INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo diseñar e implementar el sistema de frenos respaldado de un sistema de freno regenerativo para el prototipo buggy híbrido 4x4, utilizando software de diseño CAD/CAE, respecto al análisis de funcionamiento dinámico, estático y térmico en base al funcionamiento real del sistema, para lo cual se toma en cuenta deformaciones, flujo de temperatura en el sistema de freno, y su respectiva deformación entre disco-pastilla.

Este trabajo de titulación se da debido a las nuevas tecnologías que se adquiere en la industria automotriz, como son los casos de los vehículos eléctricos e híbridos, este trabajo se basa en vehículos híbridos, con esto se quiere a más de aumentar la autonomía del vehículo conocer el comportamiento de este tipo de vehículo a distintos regímenes de potencia y fuerza, teniendo en cuenta los parámetros de diseño y realizar su respectiva implementación.

El trabajo se divide en cuatro capítulos principales en base al diseño e implementación;

El capítulo dos se basa en principios de funcionamiento, conceptos básicos, referencialmente a la historia de los vehículos con su sistema de seguridad de freno, para darnos cuenta de la importancia que es la teoría en la implementación del trabajo, de esta manera se obtiene información bibliográfica de confiabilidad.

En el capítulo tres se detallan los cálculos necesarios para el funcionamiento de este vehículo en base a peso, velocidad, torque del motor, principalmente referenciándose de la bibliografía adquirida previamente para su buen diseño e implementación de este trabajo.

El capítulo cuatro se basa la selección e implementación de componentes automotrices, tomando como datos principales los adquiridos en el capítulo tres y principalmente basándonos en catálogos de selección existentes en el mercado automotriz.

Para el capítulo cinco se detallan los pasos respectivos para el análisis de funcionamiento tanto estático, térmico, dinámico obteniendo datos de funcionamiento y garantizar un buen diseño e implementación.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

Los vehículos están compuestos por el sistema de freno a todas las ruedas, en muchos casos, sistemas que ayudan a reducir los esfuerzos por el conductor. Este sistema de frenado brinda la capacidad de reducir la velocidad del vehículo y la detención total del mismo, esto es una representación fundamental en la seguridad. Este trabajo deberá garantizar un valor de fiabilidad muy alto, ya que en la falla de los frenos tiene una elevada probabilidad de convertirse en un suceso de graves consecuencias. Por otro lado, los frenos deberán adquirir que el vehículo se detenga en la mínima distancia permisible, sin condicionar para ello grandes esfuerzos del chófer (Luque , y otros, 2005)

Los vehículos eléctricos utilizan como medio de tracción motores eléctricos, que también pueden funcionar como generador de energía eléctrica. Al actuar el motor eléctrico como generador, parte de la energía mecánica se transforma en energía eléctrica, la cual es introducida en la batería. Por todo ello, a este sistema se le denomina sistema de "frenado regenerativo" pues reduce la velocidad del vehículo y recupera parte de la energía cinética del mismo almacenándola en las baterías.

Sin embargo, además del frenado regenerativo, el vehículo eléctrico dispone de un sistema de frenado mecánico similar al de un vehículo de motor de combustión interna ya que el frenado regenerativo no es capaz de proporcionar toda la fuerza de frenado requerida. Debido a que es necesario gestionar ambos sistemas de frenado, el conjunto del sistema de frenado presenta una cierta complejidad.

Cabe destacar que el sistema de frenado regenerativo también está íntimamente ligado a la gestión del control de las baterías, ya que cuando la batería está completamente cargada no puede recibir energía del frenado regenerativo y es el sistema de frenos mecánico el que actúa. Además, el frenado regenerativo tiene lugar únicamente en el eje motriz, es decir, en el eje del vehículo que dispone del motor eléctrico.

De lo dicho anterior mente el presente proyecto de titulación trata sobre la fabricación de un sistema de frenos y frenos regenerativos para el prototipo híbrido biplaza de Escuela Superior Politécnica de Chimborazo para ello se realizará diseño, construcción, optimización, adaptación e

implementación de dicho sistema. Sabiendo que este sistema es un prototipo híbrido el freno de respaldo regenerativo ayudara a optimizar el consumo de las baterías.

1.2. Justificación

1.2.1. Justificación teórica

Debido a los riesgos para la salud y el ambiente, derivados de las emisiones provenientes del sector de transporte, la industria automotriz ha diseñado vehículos híbridos cuyo consumo de combustible es menor al de un automóvil equivalente equipado con un motor convencional de combustión interna y que genera, por tanto, una menor cantidad de compuestos contaminantes a la atmósfera. Existen diversos modelos de automóviles híbridos en el mercado estadounidense. (DESEMPEÑO DE UN VEHÍCULO HÍBRIDO Y SU CONTRAPARTE DE COMBUSTIÓN INTERNA, 2013)

Existen varios inconvenientes por los cuales el vehículo eléctrico no es muy aceptado, algunos de ellos son: su costo, su autonomía, el rango de velocidad, no existen tomas de energía, la carga de un banco de batería es lenta. De estos puntos el que más pesa es su autonomía. Se han hecho estudios para resolver este problema, entre ellos el desarrollo de mejores baterías que puedan almacenar más energía que las actuales. Otra alternativa es introducir una segunda fuente de almacenamiento de energía como los ultra capacitores.

La ventaja que tienen estos dispositivos es que durante el frenado regenerativo pueden soportar los picos de energía que es devuelta a la batería, la cual no es apta para recoger toda esa energía por los picos de corriente que se presentan dañando a la misma y acortando su vida. (Román, y otros, 2013)

De lo expuesto anterior mente nos vemos en la necesidad de la creación de un sistema de frenos y frenos de respaldo que colabore conjuntamente con el freno pero que este a más de colaborar para realizar la acción de detener el vehículo o disminuir la velocidad recargue las baterías del buggy para que de esta manera incremente la autonomía, y que el motor eléctrico pueda trabajar conjuntamente con el motor de combustión interna.

El presente proyecto tiene como fin continuar con la construcción del buggy híbrido 4x4 de tal manera que este puede frenar en cualquier momento y en cualquier condición al mismo mmo tiempo pueda suministrar a las baterías de corriente.

1.2.2. Justificación metodológica

Para el análisis de fabricación del sistema de frenos se realizará en el software tipo CAD/CAE, de donde se podrá obtener análisis y resultados correspondientes a las fuerzas ejercidas por cada uno de los mecanismos, para de esta manera poder elegir la forma más adecuada para dicha fabricación

Al obtener los resultados en el software de análisis, se verifica comparando estos resultados con los obtenidos analíticamente, de lo cual se podrá observar que estos resultados serán casi iguales con pequeñas diferencias, y con esto se podrá elegir los materiales adecuados para la implementación del proyecto descrito anterior mente

1.2.3. Justificación Práctica

Sabiendo la masa que lleva el vehículo, se tiene claro que las fuerzas ejercidas por el sistema de frenos van hacer un poco elevadas, con los resultados obtenidos anterior mente se podrá diseñar un sistema de frenos eficaz teniendo como referencia que el sistema de frenos se va a encontrar a la par con el freno regenerativo que también ayudar a la reducción de velocidad al momento de cargar las baterías se podrá decir que el freno no tendrá problema alguno al momento de frenar.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema de freno convencional respaldado con un sistema de freno regenerativo mediante el uso de energía hidráulica y generación de energía eléctrica, para poder reducir la velocidad del vehículo y a su vez producir energía eléctrica para que pueda recargar las baterías del vehículo

1.3.2. Objetivos específicos

- Mediante la bibliografía requerida en base a diseño, se comprobará el resultado obtenido en el sistema de frenos con el real.
- Analizar el comportamiento del sistema de freno, en diversas velocidades teniendo en cuenta el resultado de diseño obtenido previamente.

- Mediante las pruebas con equipo de diagnóstico (osciloscopio, y otros), obtener la forma de onda de señal de carga para entender el comportamiento del motor eléctrico en el sistema de respaldo regenerativo.
- Verificar de forma analítica, mediante programas las distintas fuerzas que actúan sobre el sistema de frenos para para seleccionar las autopartes existentes en el mercado con los resultados obtenidos.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Buggy

Los Buggys son un tipo de automóviles diseñados para la diversión, de cuatro ruedas que poseen neumáticos anchos ya que su uso principal es en dunas, playas, terrenos arenosos o zonas desérticas. (planap, 2013)

Este tipo de vehículo normalmente se encuentra con un chasis descubierto en el cual se montan todas las partes del auto, las cuales son de diferentes partes de vehículos. Las modificaciones que se le realizan al vehículo están dirigidas para mejorar el tema de fuerza y peso o bien disminuyéndolo, también se incrementa la potencia del motor. (planap, 2013)

2.2. Sistema de frenos

El sistema de frenos forma parte de la seguridad activa del vehículo el cual es el más importante, ya que debe de ser previsible, seguro y crecientemente para que el conductor pueda entender el comportamiento del auto al momento de accionar el freno y al mismo tiempo intuir la distancia aproximada de parada. (CASADO, y otros, 2011)

El mecanismo de frenado de un vehículo reúne muchos elementos los cuales tiene como objetivo detener progresivamente la rapidez de este, o mantenerlo en reposo cuando este se encuentre estacionado. Como se conoce el vehículo se desplaza mediante la rotación de los neumáticos para poder detenerlo es necesario aplicar un esfuerzo a las ruedas, los cuales van hacer proporcionados por la fricción entre disco y pastilla o entre zapata y tambor, este rozamiento generara energía calorífica la cual va hacer irradiada a la atmosfera. (Alonzo, 2003)

La figura que muestra la ubicación sobre el vehículo de los componentes de frenos. Formado por la bomba (1), servofreno (3), pedal de mando (4), canalizaciones (5), dispositivo de frenado para las ruedas delanteras y traseras (8). Sobre la bomba de frenos esta acoplada el deposito (9) que contiene un líquido especial que llena todo el circuito. Cuando el conductor pisa el pedal de freno el líquido es comprimido en la bomba y la presión obtenida en esta compresión es transmitida a los dispositivos de frenado instalados en las ruedas que son activados para obtener el efecto de frenado. (Alonzo, 2003 pág. 185)

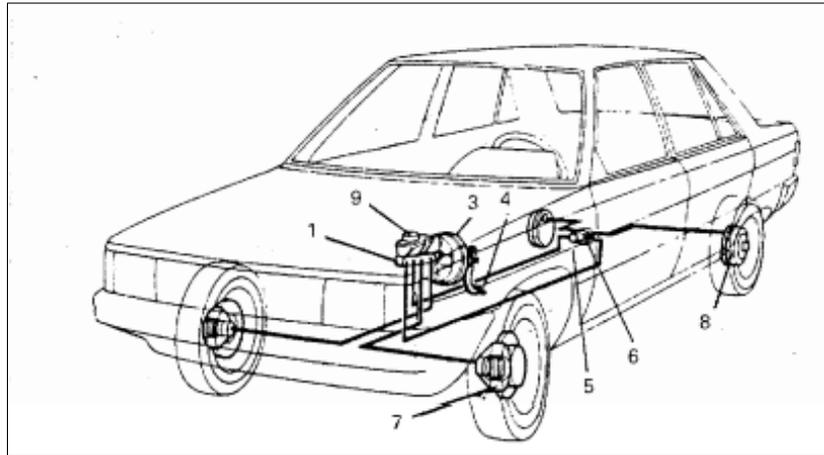


Figura 1-2: Ubicación de los componentes esenciales del sistema de freno
Fuente: (Alonzo, 2003 pág. 185)

El mecanismo de frenado empieza con la activación al aplicar una fuerza con el pie derecho, este mecanismo está compuesto por un circuito de mando, circuito de transmisión del esfuerzo y el circuito de frenado. El circuito de transmisión de esfuerzo tiene dispositivos que conectan al circuito de frenado con el circuito de mando, el circuito de transmisión de esfuerzo se acopla perfectamente de manera eficaz por distintos medios, ya sean: mecánico, hidráulico, eléctrica o combinaciones entre estos (Alonzo, 2003 pág. 185)

El circuito de freno es el componente en donde se realizan las fuerzas que se oponen al movimiento para que el vehículo se detenga, el cual puede ser de distintos tipos. (Alonzo, 2003 pág. 185)

- a) **De fricción:** Donde las fuerzas se generan debido al roce entre dos componentes de los cuales uno se mantiene estático unido al chasis y otro gira (Alonzo, 2003 pág. 185)
- b) **Eléctrico:** Las fuerzas son generadas por actividad electromagnética de dos elementos que rozan entre si (Alonzo, 2003 pág. 185)
- c) **De fluido:** Las fuerzas son desarrolladas por el movimiento de un fluido que se encuentra en dos elemento en un movimiento rotativo (Alonzo, 2003 pág. 185)

El freno de estacionamiento puede ser utilizado como freno de emergencia al momento de un fallo en el sistema principal, su uso primordial es mantener el vehículo inmovilizado, este obedece el requisito de detener el automóvil en pendiente, incluso sin el chofer dentro. (Alonzo, 2003)

El sistema de freno principal y de estacionamiento controlan la velocidad del vehículo, estos pueden llegar a detenerlo si fuera preciso de una forma rápida, segura y eficaz, cualquiera que sea la carga, velocidad en las ruedas, para ello debe tener gran eficacia, estabilidad y progresividad. (Alonzo, 2003)

Se dice que un freno es eficaz cuando al aplicar el freno este se detiene en un tiempo y distancia mínimos, la estabilidad es buena cuando el vehículo no se desvía al accionar el freno y es progresiva cuando al ejecutar la acción de frenado esta es proporcional al esfuerzo realizado por el conductor sobre el mando. (Alonzo, 2003)

Además de las fuerzas de frenado descritas anteriormente, existen otro tipo de fuerzas que no se han tomado a consideración y las cuales son muy importantes como por el ejemplo el rozamiento entre componentes del sistema, la resistencia al aire o el mismo motor cuando actúa como freno pues es sabido que al momento que este se encuentra en ralentí es arrastrado por las ruedas que giran más de prisa oponiéndose el motor al movimiento. (Alonzo, 2003)

2.3. Tipos de freno

2.3.1. Freno de tambor

Se encuentra constituido por una parte giratoria que se encuentra en las ruedas del vehículo y una parte fija constituida generalmente por una zapata, este freno es de fricción en las que las superficies se encuentran frotando entre sí. Las zapatas generalmente se encuentran forradas de asbesto o de fibra de vidrio, unidas en un eje fijo con un plato-soporte adherido al chasis, el cual tiene los siguientes componentes: una leva, un bombín a los extremos las zapatas. (GUITIAN, 2004 pág. 948)

Este se acciona al momento de utilizar el freno principal o el freno de mano, se activa el bombín de freno el cual se abre haciendo que las zapatas rocen con el tambor de freno haciendo que este se detenga. (GUITIAN, 2004 pág. 948)

2.3.2. Freno de Disco

Su mecanismo principal se basa en el roce entre disco y pastilla, este tipo de sistema generalmente es accionado hidráulicamente, posee cañerías o tuberías las cuales van a estar presurizadas por una bomba, su mecanismo de acción es al momento de pisar el freno, la bomba generará una presión la cual es enviada a las cañerías, esta presión activa los pistones que al momento de abrirse presiona las pastillas con el disco. (Borja, y otros, 2009 pág. 172)

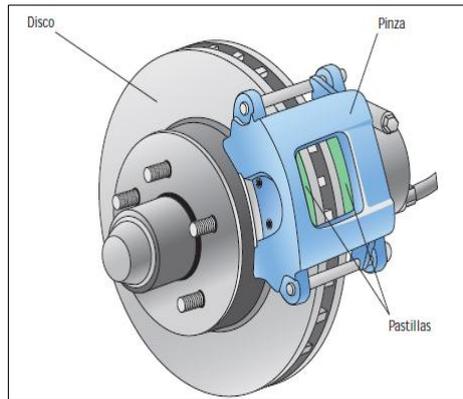


Figura 2-2: Composición del freno de disco
Fuente. (Borja, y otros, 2009 pág. 172)

2.4. Elementos de frenado

Los elementos de frenado son aquellos que van a incurrir en la eficacia, al momento de frenar existen muchos factores que colaboran al momento de que el vehículo se detenga: (CASADO, y otros, 2011 pág. 227)

2.4.1. Servofrenos

Los servofrenos son utilizados para que el conductor no realice mucho esfuerzo al momento de accionar el freno, existen de diversos tipos:

- Hidráulicos
- Eléctricos
- Aire comprimido
- Mixtos

El de aire comprimido es un mando neumático de los frenos. De igual forma son usados los mixtos de vacío-hidráulicos, y los de aire comprimido-hidráulico. (GUITIAN, 2004 pág. 962)

Cualquiera que sea el tipo utilizado, el servofreno se dispone de modo que el esfuerzo del conductor, en caso de fallo del sistema de asistencia, pueda ejercerse claramente sobre el circuito de frenos. (GUITIAN, 2004 pág. 962)

2.4.1.1. Servofreno hidráulico

Un servofreno hidráulico se activa al accionar el pedal, este trabaja conjuntamente con una bomba de pie la cual descubre varias válvulas que envían más presión, que es generada por una bomba que se localiza en la parte delantera del vehículo. (GUITIAN, 2004 pág. 962)

En otros modelos la bomba es accionada por el motor la cual envía el líquido a un cilindro acumulador el cual contiene en su interior aire, conforme ingresa líquido al cilindro, el aire se comprime, y al momento que las válvulas se abren y cierran, el líquido es enviado con la presión del aire contenido, de esta forma si el vehículo va a bajas revoluciones la presión va a seguirse manteniendo (GUITIAN, 2004 pág. 962)

2.4.1.2. *Servofreno de vacío*

Fueron unos de los primeros servofrenos al salir al mercado fueron ideados en la época en la que el freno era por medio de mando mecánico, los cuales aprovechan el vacío del motor para trabajar haciendo que el piloto del auto realice un menor esfuerzo, actualmente estos tipos de servofreno son utilizados con una bomba hidráulica, este conjunto recibe el nombre de "Hydrovac". (GUITIAN, 2004 pág. 962)

2.4.1.3. *Servofreno mixto de vacío e hidráulico*

Uno de los más usados es el Hydrovac, de la casa Bédix. El pedal de freno acciona un cilindro-bomba hidráulico A que envía el fluido a presión por la tubería B a la cámara de bomba C adosado al conjunto del servofreno. Suponiendo el motor detenido (detalle 1) y que se pisa el pedal, el líquido llega a C y por el orificio céntrico del pistón D sigue por las tuberías E y F a mover los frenos de las ruedas, como en el caso de frenos hidráulicos corrientes. (GUITIAN, 2004 pág. 962)

Encima de C y comunicando con él hay otro cuerpo de bomba G, cuyo pistón manda un vástago que termina en una especie de copa perforada K, cuyo asiento se une a la membrana J. A continuación, hay otro compartimiento L que por la derecha M comunica con una toma de aire libre provista de filtro. Entre L y el espacio R hay una doble válvula en forma de H: la parte P puede apoyar contra la copa K, y a parte Q incomunica o no R con L, o sea, con la presión atmosférica del aire libre. (GUITIAN, 2004 pág. 962)

Del colector de admisión, y a través de una válvula automática N, se lleva el vacío por la tubería S hasta el gran cilindro T, dentro del cual puede deslizarse el émbolo de mando U, cuyo vástago central entra en C y termina en una tope válvula que puede aplicarse y tapar el orificio central del pistón D. El vacío que viene por S llega a T por la cara derecha del émbolo U; la parte izquierda de U comunica por la tubería V con la cámara R. (GUITIAN, 2004 pág. 962)

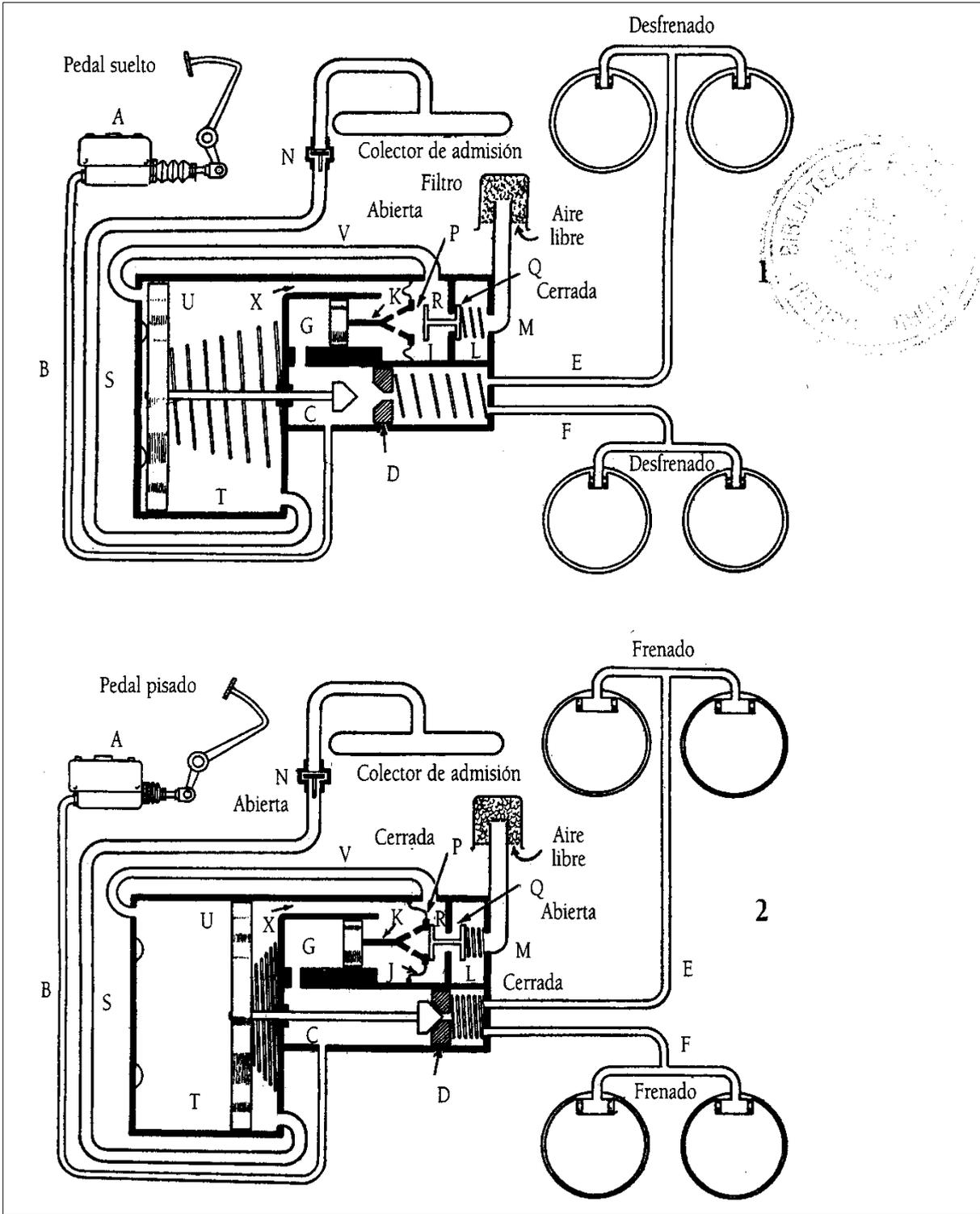


Figura 3-2: Servofreno
Fuente: (GUITIAN, 2004)

2.4.2. *Tambor.*

Gira simultáneamente con el neumático, es una parte fundamental del sistema debido a que las zapatas producen la fricción en este elemento, su fabricación es de hierro fundido y en algunos casos contiene aletas u orificios para su enfriamiento, internamente llevan un mecanizado fina para mejorar el roce con las zapatas. (CASADO, y otros, 2011 pág. 229)



Figura 4-2: Tambor
Fuente: (Alonzo, 2003 pág. 229)

2.4.3. *Zapatas*

Localizadas en el disco porta freno conjuntamente con un soporte echo de acero o aleación ligera con forma de media luna las cuales van fijadas con remaches o pegados. Los forros más conocidos como ferodos mantienen la misma forma y son los encargados de friccionar con el tambor. El conjunto se acciona por un bombín de freno

Los ferodos deben cumplir con las siguientes exigencias al momento de fricción: (CASADO, y otros, 2011 pág. 229)

- Equilibrio entre resistencia a la abrasión y desgaste
- Resistencia al cizallamiento y golpe para que durante su funcionamiento no se produzcan deformaciones ni desprendimiento de material.
- Estabilidad térmica que permita una cierta compresibilidad para que el material absorba vibraciones e irregularidades de la superficie en la que entra en contacto.
- Coeficiente de fricción adecuado y estable al trabajo (Rango de temperaturas y presiones a las que va a estar sometido.)
- Dilatación del material prácticamente nula.
- Durabilidad razonable. (CASADO, y otros, 2011 pág. 229)

Los forros de las zapatas están fabricados por compuestos complejos a base de fibras, caras minerales, lubricantes, materiales orgánicos y abrasivos.

EL armazón de los forros se encuentra representado por fibra, que generan ramificaciones donde se van uniendo el resto de componentes. Por lo general son fibras sintéticas y minerales como fibra de vidrio, lana de roca aramida entre otros. (CASADO, y otros, 2011 pág. 229)

Para dar tenacidad a la cortadura, abrasión y a las altas temperaturas se utiliza cargas minerales que dan consistencia mecánica al compuesto, las más utilizadas son barita, magnesio, talco (CASADO, y otros, 2011 pág. 229)

La función de los lubricantes o modificadores de coeficiente es cambiar el coeficiente de fricción en función de la temperatura de trabajo, por lo usual se usan sulfuros. Antracitas y otros materiales. La función de los materiales orgánicos es aglomerar los materiales restantes. Los más usados son resinas fenólicas termoendurecibles, cauchos, ceras aceites especiales, etc. (CASADO, y otros, 2011 pág. 229)

Por normativas Europeas destinadas a la protección del medio Ambiente el 2004 se prohibieron el uso de metales pesados. (CASADO, y otros, 2011 pág. 229)

2.4.4. Disco porta freno

Es un soporte fabricado normalmente de chapa metálica en donde se ensamblan los componentes del freno (CASADO, y otros, 2011 pág. 230)

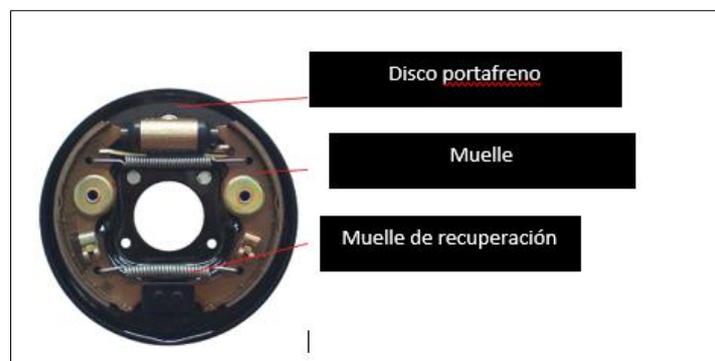


Figura 5-2: Conjunto freno tambor

Fuente: (CASADO, y otros, 2011 pág. 230)

2.4.5. Actuador hidráulico

Llamado también bombín de freno, consiste en un cilindro en cuyo interior se desplazan los pistones (CASADO, y otros, 2011 pág. 230)

Los pistones contienen un retén que evitan que el aceite se fugue, estos retenes se encargan de que no ingrese aire en el sistema, cada pistón contiene un guardapolvo para evitar el ingreso de basuras al interior del cilindro, en medio de los dos pistones hay un muelle el cual se encarga de mantener. En la parte exterior del actuador se encuentra la cañería roscada para alimentar al

sistema con el fluido hidráulico, con una válvula para poder purgar el sistema, (CASADO, y otros, 2011 pág. 230)



Figura 6-2: Actuador hidráulico
Fuente: (CASADO, y otros, 2011 pág. 230)

2.4.6. Sistema de reglaje automático

Este sistema de reglaje se aplica únicamente a los frenos de tambor y es el encargado de que las zapatas se encuentren al nivel correcto al momento de desgaste de las zapatas

2.4.6.1. Reglaje por tornillo sin fin

Sus componentes son: bieleta, anillo estriado y un dedo selector. Cuando se acciona el freno, el bombín separa las zapatas liberando la bieleta, la separación que producen las zapatas y por el muelle que se ubica en la palanca de accionamiento, hace que actúe contra el anillo estriado obligándolo a saltar un diente alargando la distancia necesaria para eliminar la holgura excesiva. (Borja, y otros, 2009 pág. 177)

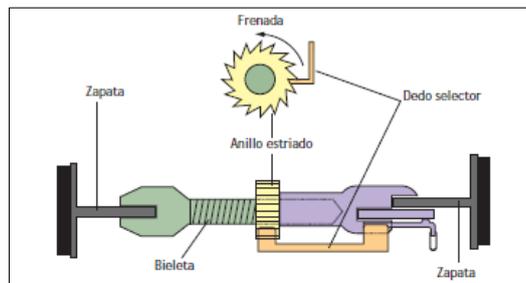


Figura 7-2: Sistema de reglaje tornillo sin fin
Fuente: (Borja, y otros, 2009)

2.4.6.2. Reglaje mediante sector dentado

Los componentes de ese mecanismo son: parte dentada, bieleta y un cilindro. A medida del desgaste de los forros la distancia que deben transmitir las zapatas es mayor, por ende el cilindro se separa cada vez más de la bieleta, esto produce que las zapatas no regresen al reglaje inicial por lo que han pasado un diente continuo del sector dentado, quedando en el nuevo sector. (Borja, y otros, 2009 pág. 177)



Figura 8-2: Sistema de reglaje por sector dentado
Fuente: (Borja, y otros, 2009)

2.4.7. Discos de freno

Son elementos de fricción los cuales son fabricados de acero aleado con cromo ya que estos componentes se encuentran a altas temperaturas y podrían deformarse. (Borja, y otros, 2009 pág. 173)

Existen dos tipos básicos de discos de freno:

- Los discos no ventilados, que son macizos (figura 9-2).
- Los discos ventilados, que tienen orificios en su interior para disipar el calor (figura 10-2).

Los discos macizos suelen ir colocados en los ejes traseros y los ventilados en los ejes delanteros. Actualmente, en el diseño de los vehículos se intenta regularizar un flujo de aire generado en el recorrido para optimizar la refrigeración de los discos de freno. (Borja, y otros, 2009 pág. 173)



Figura 9-2: Disco de freno ventilado
Fuente: (Borja, y otros, 2009)



Figura 10-2: Disco de freno macizo

Fuente: (Borja, y otros, 2009)

2.4.8. *Pastillas de freno*

Es otro tipo de elemento friccionante en el sistema de freno, son unos forros de constitución igual a las del disco de embrague, para incrementar la rigidez mecánica las pastillas poseen virutas de un compuesto metálico, Anteriormente las pastillas eran fabricadas de Amianto, que es muy rígida y tiene una mejor disipación de calor, sin embargo se lo dejó de utilizar debido a que resultaba altamente cancerígeno (Borja, y otros, 2009 pág. 173)



Figura 11-2: Pastillas de freno

Fuente. (Borja, y otros, 2009 pág. 173)

2.4.9. *Pinzas de freno*

Son las encargadas de accionar los frenos por medio de pistones que empujan las pastillas para que friccionen con el disco, la pinza se encuentra acoplada al chasis. (Borja, y otros, 2009 pág. 174)

Existen dos tipos distintos de pinzas de freno (figura 12-2):

- **Pinzas flotantes:** Se caracterizan por tener un único pistón, que al momento de accionarse presionan la pastilla contra el disco y está a su vez este es presionado por la otra pastilla Este tipo de pinzas suele montarse en vehículos de escaso peso como los turismos.

- **Pinzas estacionarias o fijas:** Poseen uno o varios pistones a cada lado de la pinza, de esta forma al accionar accionan ambas o todas las pastillas de freno. El número de pistones dependerá del peso y de la potencia del vehículo. (Borja, y otros, 2009)

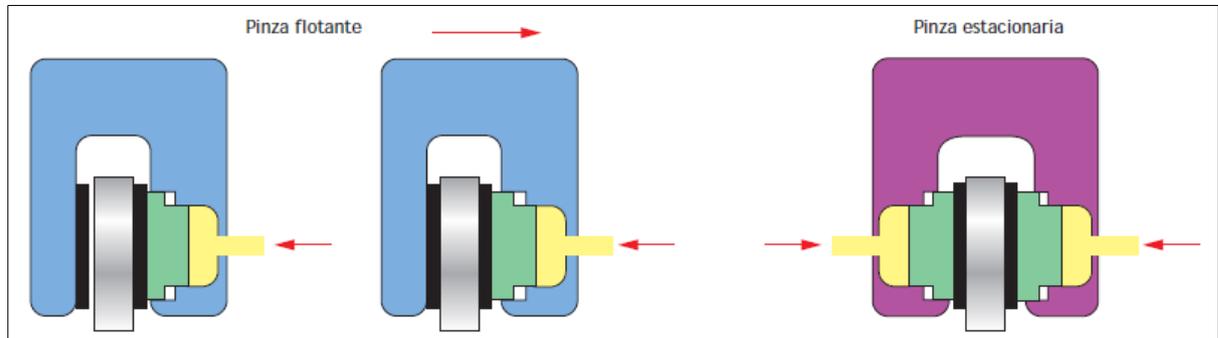


Figura 12-2: Funcionamiento de pinzas de frenos

Fuente: (Borja, y otros, 2009 pág. 174)

2.5. La acción de frenado en los frenos de tambor

Los frenos de zapata normalmente denominado freno de tambor, tiene la configuración de que al momento del frenado ésta se abre contra el giro del tambor, luego de esto aprisiona contra el tambor reduciendo la velocidad del vehículo. Normalmente se llama zapata primaria a la que se abre contra el giro del tambor, mientras que la otra se denomina secundaria. La denominada zapata primaria realiza un mayor frenado (figura 9), pero al mismo tiempo genera más desgaste. De tal manera son de grosor muy visible. (Borja, y otros, 2009 pág. 178)

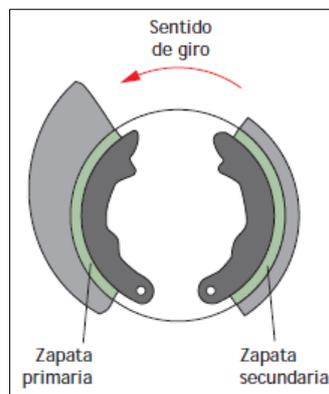


Figura 9. Acción de frenado

Fuente: (Borja, y otros, 2009 pág. 176)

2.6. Tipos de circuitos

Al presente existen en la mayor parte de los países exigencias relativo al freno de pie, que debe estar combinado por sistemas independientes, ya que una sola fuga en el sistema hidráulico podría poner fuera de funcionamiento todo el sistema. Existen diferentes tipos de circuitos.

- **Distribución por eje.** (Figura 13-2). Aquí cada cañería atiende a un eje, el primero para las ruedas delanteras y el otro para las traseras. Normalmente la parte trasera adquieren más de la mitad del peso del vehículo al momento de frenar.
- **Sistema en diagonal.** (Figura 14-2). Aquí cada salida corresponde a cada una de las ruedas de todo el vehículo. De esta manera se adquiere el 50% de la fuerza de frenado en cada circuito. Existe el riesgo de que el frenado sea desigual debido a que las ruedas delanteras frenan más eficientemente. (GUITIAN, 2004 pág. 972)

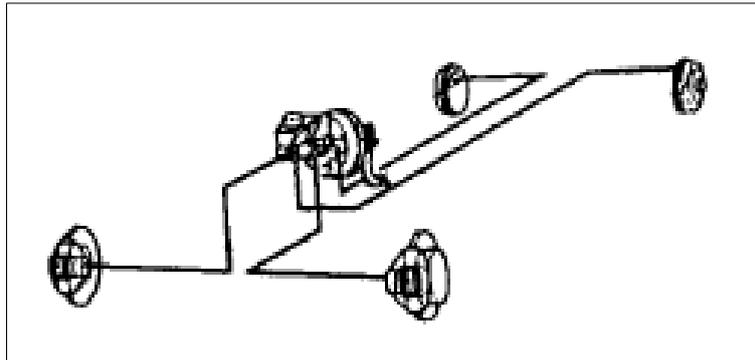


Figura 13-2: Distribución por eje
Fuente: (GUITIAN, 2004)

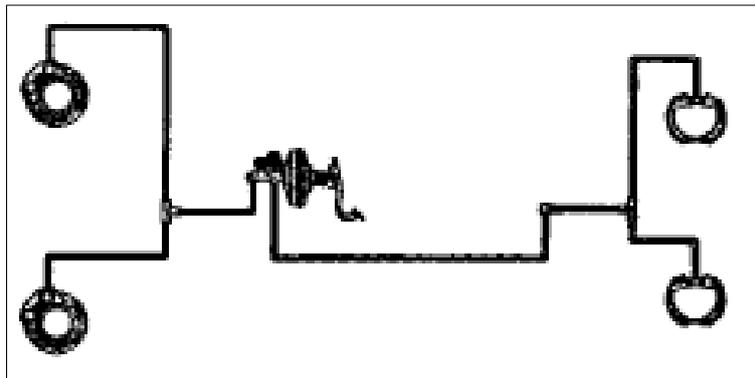


Figura 14-2: Distribución por eje
Fuente: (GUITIAN, 2004)

- **Sistema 2+4.** (Figura 15-2) Un circuito abarca a las cuatro ruedas y otro a las dos delanteras. Los frenazos con sólo el circuito reducido en funcionamiento proporcionan algo más del 50% de la fuerza total de frenado. (GUITIAN, 2004 pág. 972)
- **Sistema triangular** (Figura 16-2) Cada circuito atiende a tres ruedas, dos delanteras y una trasera. Frenando con sólo uno de los circuitos se obtiene casi un 80% de la fuerza total de frenado. (GUITIAN, 2004 pág. 972)

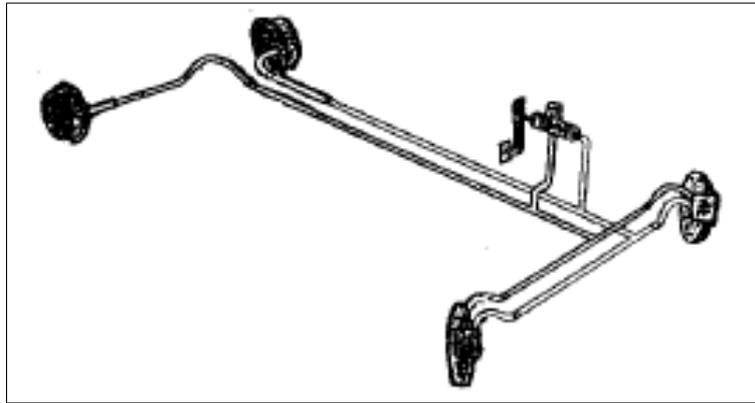


Figura 15-2: Sistema 2+4

Fuente: (Borja, y otros, 2009)

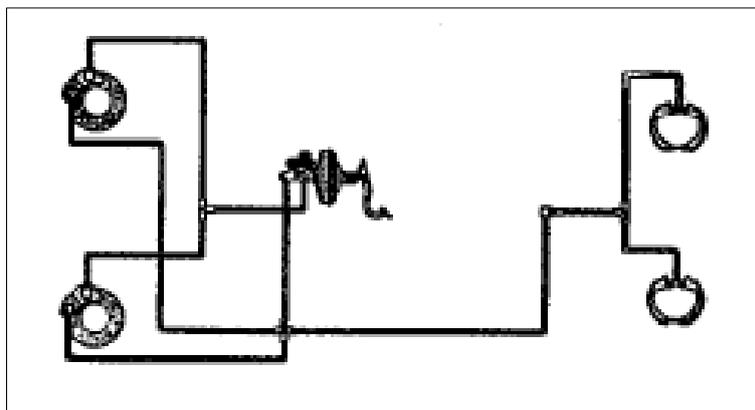


Figura 16-2: Sistema triangular

Fuente: (Borja, y otros, 2009)

- **Sistema 4t4.** Consiste en circuitos dobles completos para cada rueda. Este proporciona más seguridad que cualquiera de los anteriores, pero es tan costoso que no lo lleva prácticamente ningún vehículo fabricado en serie.

2.7. Freno de estacionamiento

Este es denominado también como freno de emergencia, su principal función es la de ser usado al momento de estacionar el vehículo en cualquier lugar, de esta manera se inmoviliza el vehículo. Siempre actúan en la parte posterior debido a que la transferencia de peso se da en la parte. Se da el caso de emergencia en que el sistema normal se avería es ahí donde también podemos usar el freno de emergencia para detener el vehículo. El freno de emergencia está conformado por (figura 20):

- Pedal manual (figura 19)
- Tensor del cable acerado

- Cable acerado
- Protector del cable
- Horquilla
- Palanca y conjunto de muelles del mecanismo manual de los frenos de tambor presentes en el interior del tambor de frenado (figura 19-2).

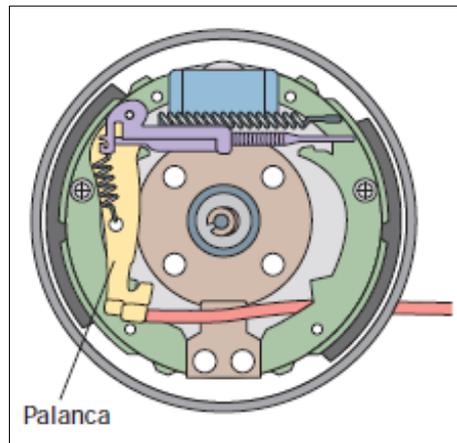


Figura 17-2: Sistema de accionamiento freno de emergencia
Fuente: (Borja, y otros, 2009)

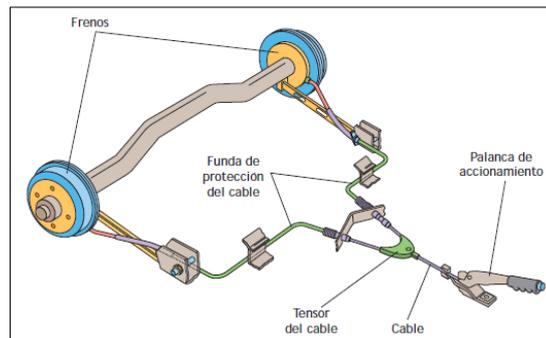


Figura 18-2: Elementos freno de emergencia
Fuente: (Borja, y otros, 2009)

2.8. Accionamiento del freno de estacionamiento

Su funcionamiento se da cuando el conductor quiere detener el vehículo una vez parqueado, presiona el botón de la palanca de accionamiento, este efecto hace que arrastre el cable, a su vez se realiza la expansión de las zapatas contra el tambor presionándolo para que no gire e inmovilice el vehículo manualmente. (Figura 21). El pedal manual tiene diversas posiciones debido a que tiene una rueda dentada sinfín para el ajuste del freno de mano. Al momento de querer sacar el freno de emergencia simplemente se pulsa de nuevo el botón de enclavamiento y el vehículo queda libre. (Borja, y otros, 2009)

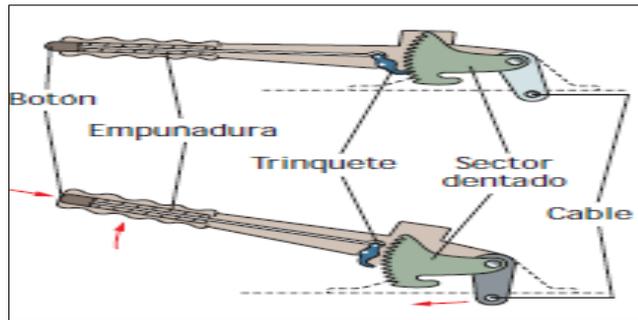


Figura 19-2: Accionamiento del freno de emergencia
Fuente: (Borja, y otros, 2009)

2.9. Eficacia de los frenos

El diseño de los automóviles se basa en añadir mecanismos para repartir el peso al momento de frenar para de esta forma tener mejor y mayor adherencia, la alta eficiencia en los frenos es cuando del cien por cien cuando la fuerza del frenado es igual al peso del automóvil. Un vehículo con mayor eficiencia es la de los 80%, del 40% de eficiencia pueden ser aceptables, pero bajo del 40% es muy malo por lo que son catastróficos para el uso en el vehículo. (GUITIAN, 2004 pág. 947)

La distancia de frenado desde que el conductor presiona el pedal hasta quedar completamente detenido el vehículo, depende mucho de algunos factores; en primer lugar la presión ejercida en el pedal, la velocidad del automóvil, neumáticos en buen estado, fuerza, adherencia, dirección del viento, estado de carretera, peso del vehículo, para un velocidad V , en hormigón, asfalto rigoroso suponiendo una eficiencia del 80%, pueden calcularse mediante la fórmula, (GUITIAN, 2004 pág. 947)

$$D(\text{metros}) = V^2(\text{km/h})/200$$

A continuación, se exponen las distancias aproximadas de parada para distintas velocidades, en las condiciones señaladas: (GUITIAN, 2004 pág. 947)

Tabla 1-2: Distancia aproximada de parada dependiendo del tipo de freno

| Velocidad en km/h | DISTANCIA DE PARADA EN METROS | | |
|----------------------|-------------------------------|--------------------|--------------|
| | Buenos frenos | Valores tolerables | Malos frenos |
| 20 | 2 | 3.1 | 4 |
| 30 | 4.5 | 6.9 | 9 |

| | | | |
|-----|------|------|-----|
| 40 | 8 | 12.3 | 16 |
| 50 | 12.5 | 19 | 25 |
| 60 | 18 | 27.7 | 36 |
| 70 | 24.5 | 37.6 | 49 |
| 80 | 32 | 49.3 | 64 |
| 90 | 40.5 | 62.5 | 81 |
| 100 | 50 | 77.3 | 100 |

(Continua)

Fuente: (GUITIAN, 2004 pág. 947)

2.9.1. Transferencia del peso durante la frenada

El esfuerzo de frenado se da entre las ruedas delanteras y las traseras dependiendo del peso que soportan, se clasifican según la configuración del motor, número y distribución de los ocupantes y equipaje transportado. También como al acelerar el vehículo tiende a "encabritarse" (Fig.20-2-A), en el momento del frenado (B) existe la transferencia de peso, el tren trasero se aligera y el delantero se sobrecarga, se aplastan los neumáticos (C) aumenta la superficie y la fuerza de adhesión. (GUITIAN, 2004 pág. 946)

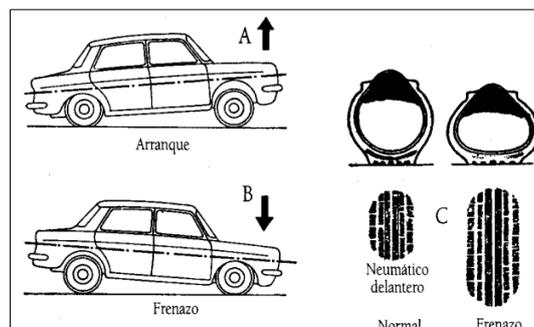


Figura 20-2: Transferencia de peso durante la frenada

Fuente: (GUITIAN, 2004 pág. 946)

El sistema de freno funciona de forma tal que se ejerza más trabajo en las ruedas delanteras, su mayor adherencia aleja el punto de bloquear las ruedas. La frenada tiene que ser la más eficaz posible, pero evitando que se bloqueen las mismas, esto se resume a que en movimiento el sistema de frenos detiene las ruedas y los neumáticos detienen el vehículo. El exceso de frenado inmoviliza el elemento que gira (rueda), la cubierta roza sobre el pavimento, la fuerza de frenado es menor, y se perderá el control. Si se deja a un vehículo circular por una pendiente con las ruedas de un eje bloqueada, estas resbalarán, esto se comprueba con un carro de juguete sobre un largo plano bien inclinado para que escurra por él. (GUITIAN, 2004 pág. 946)

Al frenar (Fig. 20-2B), el peso del vehículo se transfiere a la parte delantera por lo que las ruedas traseras se alivianan, lo cual provoca una disminución de adherencia y si la frenada es demasiada excesiva se bloquean porque dicho agarre no posee fuerza suficiente para vencer el apriete de las zapatas que tienden a detenerlas. Por ello, estas corren el peligro de bloquearse y cuando esto sucede, el vehículo empieza de zigzaguear y perdiendo el control del vehículo. (GUITIAN, 2004 pág. 946)

2.10. Freno regenerativo-historia

En el año de 1896 los británicos H.J. Dowsing y L. Epstein patentaron la idea de un vehículo híbrido en paralelo, que luego se utilizó en USA para mover vehículos de gran tamaño, como autobuses. Dowsing monto en un Arnold un dinamo que encendía el motor de gasolina, el cual recargaba baterías, ese fué el primer híbrido de la historia. Poseía un motor a gasolina añadido a un generador que recargaba las baterías constantemente (híbrido en serie). Dichos acumuladores eléctricos dieron dificultades y al momento de su exposición no dieron frutos. Históricamente no se reconocieron porque se fabricaron pocas unidades, dicha empresa cancelo pagos en 1901. (COSTAS, 2009)



Figura 21-2: Los hermanos belgas Henri Pieper y Nicolás Pieper
Fuente: (COSTAS, 2009)

Los hermanos belgas Henri Pieper y Nicolás Pieper diseñaron y también construyeron en el año de 1899 el denominado Voiturette, tenía un motor a gasolina unido a un motor eléctrico debajo del asiento, este motor producía electricidad para cargar baterías y luego dar potencia extra al subir pendientes o al momento de acelerar. Empezaron su comercialización hasta que vendieron su empresa, en Estados Unidos la compañía Batton motor Vehicle Corp preparó un camión que tenía configuración híbrida, el cual tenía patente de L. Epstein. En 1990 fue presentado el primer autobús híbrido, en el mismo país por la empresa Fischer que hoy en día sobrevive y se dedica a lo mismo. (COSTAS, 2009).

2.11. Arquitectura híbrida

La configuración de un vehículo híbrido se define aproximadamente como la conexión entre los elementos que definen el flujo de energía y los puertos de control, se conforma de 4 grupos: híbridos serie, híbridos paralelo, híbridos serie-paralelo e híbridos complejos. (Martínez, 2015 pág. 134)

2.11.1. Híbrido en serie

La figura 22-2 hace referencia a una configuración en serie. La particularidad es que las dos potencias eléctricas se unen en el convertidor de potencia, que opera como un acoplador de potencia eléctrica para controlar el flujo de potencia de las baterías (Martínez, 2015 pág. 135)

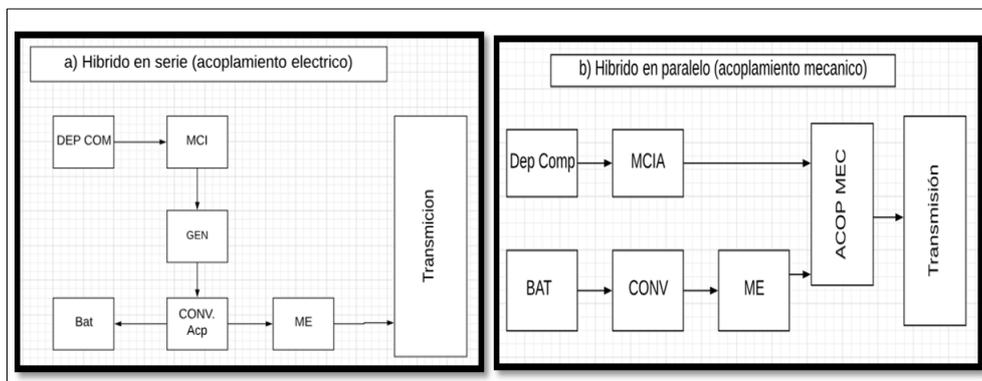


Figura 22-2: Configuración de los vehículos eléctricos híbridos
Fuente: (Martínez, 2015 pág. 135)

2.11.2. Híbrido en paralelo

La figura 22-2b hace referencia a una configuración en paralelo. La peculiaridad de este sistema es que las dos potencias se unen en el acoplador mecánico. El MCI es la fuente de energía primaria el ME y las baterías son la energía de paraloges.

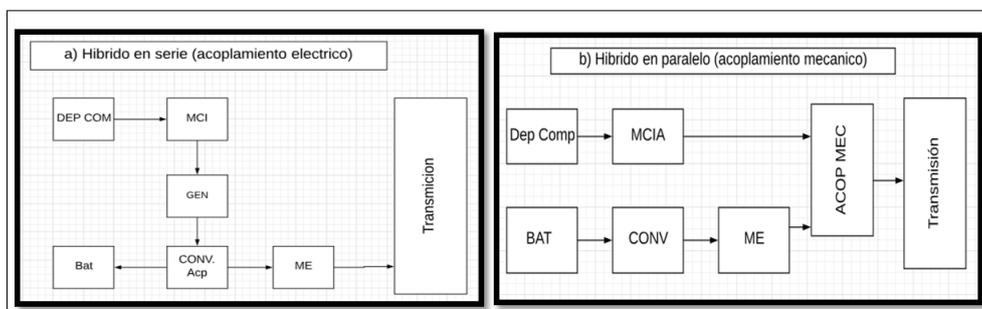


Figura 23-2: Configuración de los vehículos eléctricos híbridos -Híbrido en Paralelo
Fuente: (Martínez, 2015 pág. 135)

2.12. Componentes del sistema de freno regenerativo

2.12.1. Motor térmico

El motor de combustión interna es un mecanismo que tiene como función la de transformar la energía calorífica en trabajo. Este es un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química producida por un combustible que arde dentro de una cámara de combustión, convirtiéndose en la principal de un motor. (VARGAS, 2013 pág. 1)

2.12.2. Generador

Es el elemento que transforma en electricidad el trabajo del motor térmico, también funciona como motor de arranque del motor térmico. Normalmente es de corriente alterna síncrono y gira al doble de régimen que el motor térmico. (VARGAS, 2013 pág. 4)

2.12.3. Motor eléctrico

Los motores eléctricos son altamente utilizados en muchos elementos de la ingeniería. Todos los motores son de corriente continua con escobillas y de imanes permanentes. Los motores que se utilizan en la tracción de vehículos eléctricos deben tener el mayor rendimiento y viuda Útil posible. En los casos en los que se utilizan pilas de combustible, la presencia del hidrogeno implica que deben evitarse las chispas que saltan en las escobillas por tanto en el presente proyecto se ocupara un motor sin escobillas (Martínez, 2015 pág. 51)

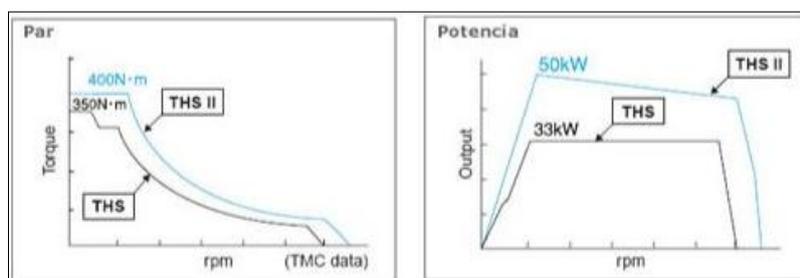


Figura 24-2: Graficas de par y potencia del motor eléctrico

Fuente: (VARGAS, 2013 pág. 4)

En el caso de Toyota trabaja con dos moto-generadores MG1 y MG2 cada uno de estos cumple con una función específica. La corriente Alterna es generada a la electrónica del Inversor, el MG1 se encarga de generar carga que se distribuye entre la batería y el MG2, El MG2 se encarga de alternar con el motor de combustión interna el movimiento del vehículo, en marcha hacia adelante y marcha hacia atrás (Reversa), toda la gestión de funcionamiento es controlada por la unidad de control del sistema Híbrido ECU HV. (VARGAS, 2013 pág. 4)

Como maniobra principal por parte del motor MG2 está la de operar como generador de corriente para restablecer carga de la batería. En el caso de Mg2 solo lo realiza en el frenado lo que se le conoce como sistema de freno Regenerativo, cuando el automóvil empieza a reducir su velocidad el motor generador MG2 toma energía cinética de la disminución de velocidad y la transforma en energía eléctrica que luego mediante el sistema inversor va a la batería de alto voltaje HV. (VARGAS, 2013 pág. 4)

2.12.4. Inversor

Es muy importante en el auto Híbrido, brinda un gran aumento de elementos electrónicos y eléctricos, pero toda la acción de trabajo es controlada por la unidad de control del sistema. El inversor tiene como vital función convertir y gestionar el flujo de electricidad entre la batería y el motor eléctrico. Además posee un convertidor integrado que envía cantidad de la electricidad del sistema a la batería subalterna de 12 V. (VARGAS, 2013 pág. 5)

Dicho inversor tiene la función de: (VARGAS, 2013 págs. 5-6):

- Convertir los 201,6 V DC (DC) que entrega la batería HV en 201,6 V AC trifásica (corriente alterna). Multiplica estos 201,6 V AC trifásica hasta un máximo de 500 V AC trifásica. al motor y al generador eléctricos del THSD
- Convierte los 201,6 V DC en 201,6 V AC para el compresor eléctrico del aire acondicionado.
- Convierte los 201,6 V DC en 12V DC y 100 A. para recargar la batería de 12V, dada la ausencia de alternador y alimentar a los demás elementos eléctricos del vehículo (luces, audio, ventiladores, etc.).



Figura 25-2: Inversor
Fuente: (VARGAS, 2013 pág. 6)

2.12.5. Batería de alta tensión

La batería de alto voltaje provee una tensión de 220 V en las versiones más actuales, y voltajes mayores para versiones anteriores del Prius, y lógicamente estos valores cambian dependiendo del fabricante, esta tensión en el caso del Prius proviene de un paquete de 14 baterías en serie. (VARGAS, 2013 págs. 6-7)

Existen 28 baterías pequeñas de 7,89 V cada una y están conectadas en serie de dos en dos para formar 14 paquetes de baterías de 15,78V cada una y a su vez están conectadas a todos estos 14 paquetes en serie para generar un total de 220 Voltios. (VARGAS, 2013 pág. 7)

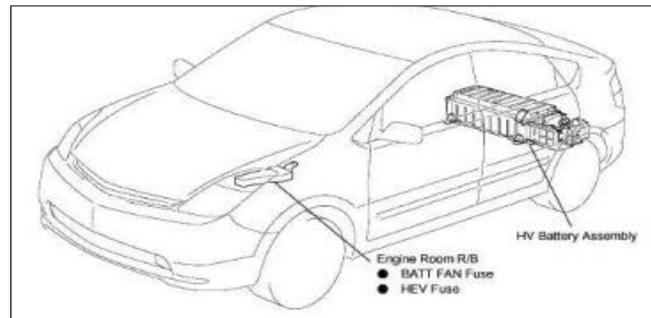


Figura 26-2: Ubicación baterías alta tensión
Fuente: (VARGAS, 2013 pág. 7)

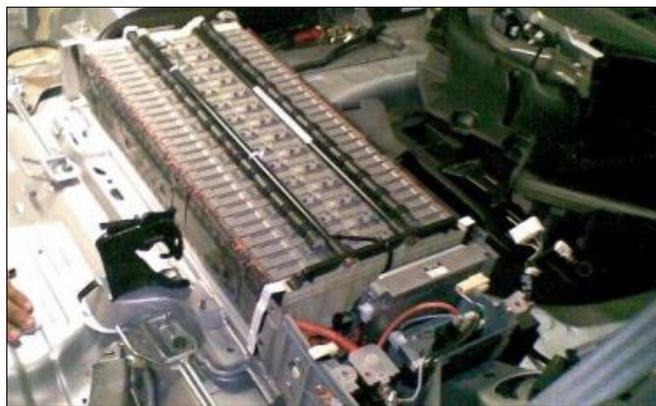


Figura 27-2: Batería alta tensión
Fuente: (VARGAS, 2013 pág. 7)

2.12.6. Transmisión

En el caso de la marca automotriz Toyota la transmisión utilizada en el Prius como “Power Split Device”. Esta transmisión no tiene una caja de cambios convencional con distintos engranajes, ni una caja automática de variador continuo con correa. Este auto dispone de un "engranaje planetario" para transferir el movimiento a las ruedas. Ya que esta transmisión no posee una caja de cambios normal aporta ventajas notables y fundamentalmente necesarias como: menos peso, más capacidad y menos pérdidas por rozamiento. (VARGAS, 2013 pág. 8)

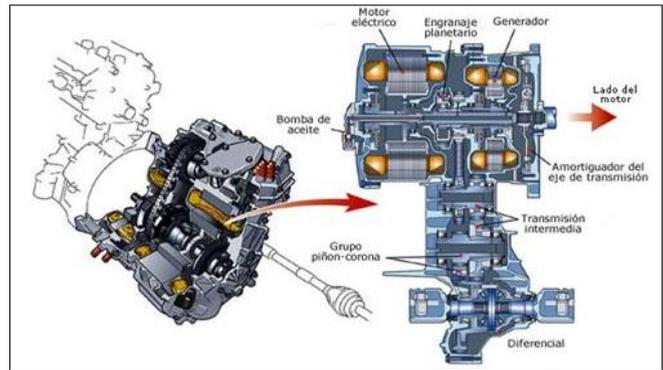


Figura 28-2: Esquema interno de la transmisión
Fuente: (VARGAS, 2013 pág. 8)

El motor funciona constantemente casi a plena carga, lo cual necesitaba una velocidad lenta por lo que impusieron el engrane planetario y variar la velocidad. Dicho engrane consta de: un planeta o engranaje central; satélites que giran contorno de él; y una corona con un dentado interior a la cual también están engranados los satélites. Este engranaje planetario es usado en esta transmisión, una cada uno de sus componentes; (VARGAS, 2013 pág. 9)

- Engranaje central o "planetario" está unido al generador eléctrico.
- El porta satélites está unido al motor térmico.
- La corona está unida al motor eléctrico.

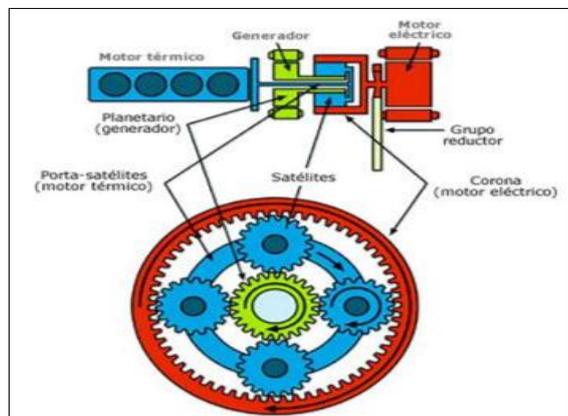


Figura 29-2: Engranaje Planetario
Fuente: (VARGAS, 2013 pág. 9)

Cuando el vehículo adquiere velocidad, el generador eléctrico opone menos resistencia y sus rpm aumentan, debido a ello se desarrolla más. Si las baterías no intervienen al momento de la aceleración, toda esa energía de la que dispone el vehículo parte del motor térmico. Por lo cual esa energía puede llegar a las ruedas conforme a través del motor eléctrico, siendo alimentado por el generador a través del motor térmico, si el generador no actúa. (VARGAS, 2013 págs. 9-10)

2.12.7. Sistema de control

Los modos de funcionamiento en una configuración en paralelo con acoplamiento de par son los siguientes:

- Solo tracción del motor térmico
- Solo tracción del motor eléctrico
- Tracción híbrida
- Frenada regenerativa
- Carga de batería desde motor térmico.

El esquema global podemos observar en la (figura 30-2). Contiene el controlador del vehículo y los controladores del motor térmico, del motor eléctrico y del freno mecánico. (Martínez, 2015 pág. 173)

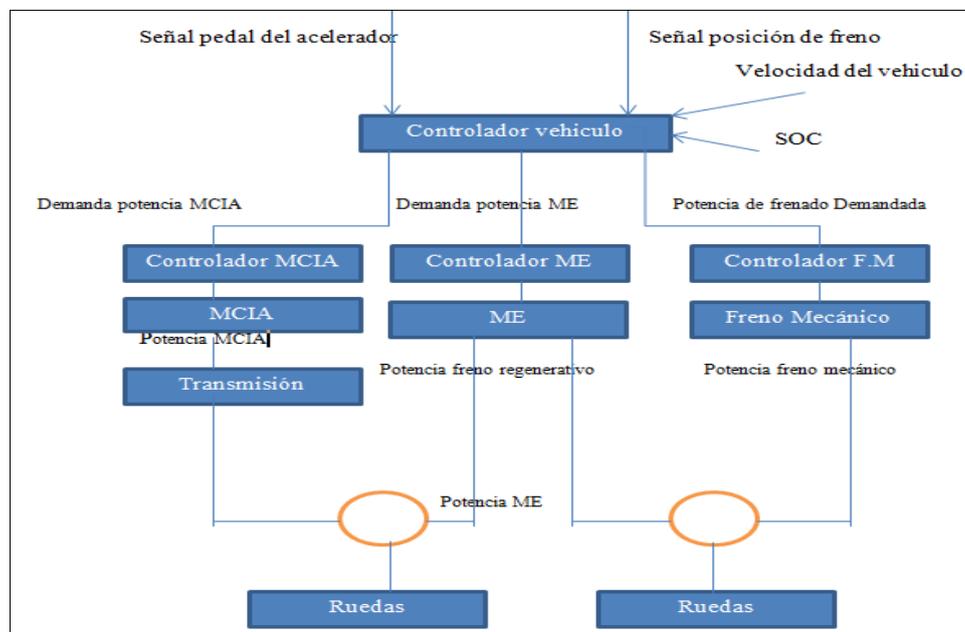


Figura 30-2: Esquema de control de una configuración híbrida con acoplamiento de par
Fuente: (Martínez, 2015 pág. 173)

El control electrónico del vehículo es fundamental en el mando del sistema de propulsión, ya que su función es de varios modos de trabajo, se basa en datos recopilados de los actuadores y de la forma en que el conductor realiza la maniobra este módulo corrige las órdenes del resto de controladores, así la estrategia de control en MCE del automóvil es la clave principal para el trabajo del sistema propulsor. (Martínez, 2015 pág. 173)

2.12.8. Freno regenerativo

Se basa en aprovechar la energía cuando se circula por ciudad debido a los paros constantes, en el cual se producen aceleraciones y deceleraciones frecuentes. Al momento de presionar el pedal de

freno, el sistema controla la disposición entre el freno hidráulico del ECB (Electronic Control Braking) y el freno regenerativo y preferentemente usa el freno regenerativo, por resultante recobrando energía aún en las velocidades inferiores del automóvil. (VARGAS, 2013 pág. 12)

Con este sistema se adquiere una regeneración de recuperación de energía muy eficiente. En la gráfica inferior se ve la mejora del sistema de frenado regenerativo en el THS II con respecto a la versión inicial (THS). (VARGAS, 2013 pág. 12)

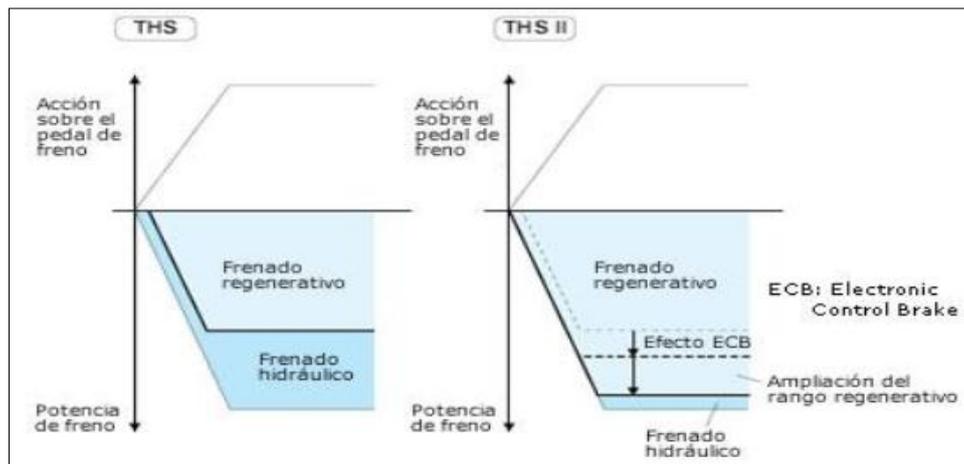


Figura 31-2: Graficas comparativas del freno regenerativo
Fuente: (VARGAS, 2013 pág. 12)

Las pérdidas por rozamiento en la transmisión son mínimas ya que el movimiento de las ruedas se transmite a través del diferencial y los engranajes intermedios al motor eléctrico que se convierte en este caso en generador. El frenado regenerativo ayuda a recuperar un 65% de la energía eléctrica que carga las baterías. (VARGAS, 2013 pág. 12)

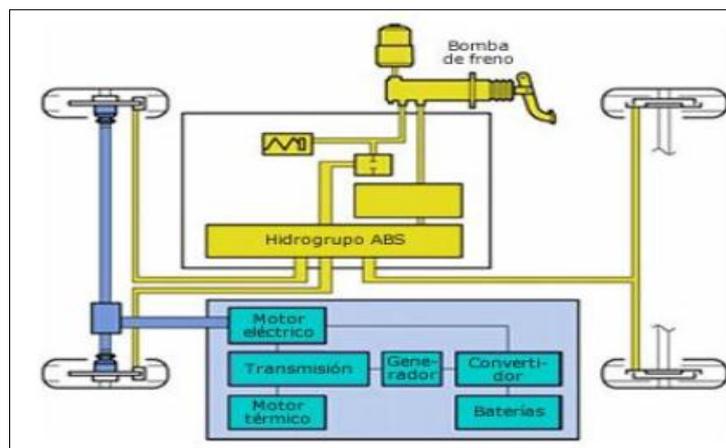


Figura 32-2: Esquema del Freno Regenerativo
Fuente: (VARGAS, 2013 pág. 13)

CAPÍTULO III

3. CALCULO DE SISTEMA DE FRENOS HIDRÁULICOS

3.1. Frenado-introducción

La "dinámica del vehículo" hace referencia a todo tipo de vehículo en carretera ya sean buses, camiones, turismo, etc. Se utilizará la aceleración, el frenado y la marcha. Los datos de las conductas dinámicas serán impuestos.

Teniendo como referencia la aerodinámica y la gravedad, se encontrará las fuerzas que serán producidas en cada elemento en un estado espacial de operación y ajustes del automóvil y sus componentes, para ello es importante disponer de un enfoque riguroso acerca de modelado de los sistemas y las convenciones para determinar movimientos. (GUILLESPIE, 1992 pág. 7)

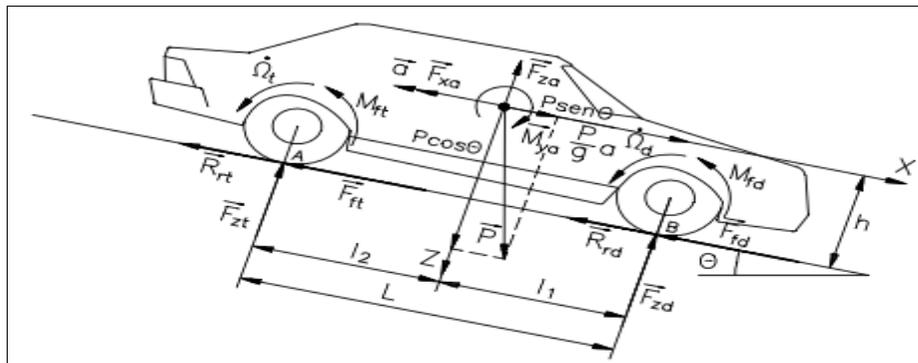


Figura 1-3: Modelo del cuerpo libre de un vehículo de dos ejes para el estudio de frenado
Fuente: (IZQUIERDO, y otros, 2001 pág. 292)

En la imagen (1-3) el auto está descendiendo en una pendiente de valor Θ , obteniendo la componente de peso en forma longitudinal, $(P \sin \Theta)$ esta actuará como una fuerza propulsora que se compensa al frenar. (IZQUIERDO, y otros, 2001 pág. 292)

De donde;

F_f = es la fuerza de fricción y F_r es la fuerza de rodadura.

M_{fd} = es el par de frenado delantero, M_{ft} es el par de frenado trasero.

Ω_d = Deceleración angular delantera, Ω_t deceleración angular trasera.

L = es la distancia entre ejes, P es el peso del vehículo

A = es la deceleración del vehículo.

F_{xa} = Es la fuerza aerodinámica.

Mediante la siguiente ecuación de momentos se obtiene, (IZQUIERDO, y otros, 2001 pág. 297);

$$F_{zd} = \left(\frac{P * l_2 * \cos \theta + \left(\left(\frac{P * a}{g} - ((P * \sin \theta) - F_{xa}) \right) * h \right)}{L} \right) \quad (1)$$

$$F_{zt} = \left(\frac{P * l_1 * \cos \theta - \left(\left(\frac{P * a}{g} - ((P * \sin \theta) - F_{xa}) \right) * h \right)}{L} \right) \quad (2)$$

Donde;

F_{zd} = es la fuerza en el eje delantero.

F_{zt} = es la fuerza en el eje trasero.

Realizando el equilibrio de fuerzas longitudinales;

$$\left(\left(\frac{P * a}{g} - ((P * \sin \theta) - F_{xa}) \right) * h \right) = F_{fd} + F_{ft} + R_{rd} + R_{rt} = F_t + F_r \quad (3)$$

Considerando que;

$$F_f = \mu * P \quad (4)$$

$$F_r = P * \cos \theta * f_r \quad (5)$$

De donde;

F_f = es la fuerza de fricción y F_r es la fuerza de rodadura.

Para obtener la transferencias de cargas, omitiendo la fuerza aerodinámica y la pendiente $\cos \theta$ es aproximadamente 1, la ecuación, (IZQUIERDO, y otros, 2001 pág. 298);

$$F_{zd} = \frac{P * l_2}{L} + \frac{h * P}{L} (\mu + f_r) \quad (6)$$

$$F_{zt} = \frac{P * l_1}{L} + \frac{h * P}{L} (\mu + f_r) \quad (7)$$

3.2. Transferencia de carga

Para la transferencia de carga se usa el porcentaje denominado para el prototipo buggy híbrido que es de 40/60, se sabe que la masa es de 1000 kg.

$$De,d = Pv * \%d \quad (8)$$

$$De,d = Pv * \%d = 1000 * 9.8 * 0.4 = 3920(N)$$

$$De,t = Pv * \%t \quad (9)$$

$$De,t = Pv * \%t = 1000 * 9.8 * 0.6 = 5880(N)$$

Donde;

De,t = distribución peso eje trasero

Pv = peso del vehículo

\%d = porcentaje de peso eje delantero

\%t = porcentaje de peso eje trasero.

Entonces se tiene que la distribución de peso en la parte delantera es 3920(N) y la trasera 5880(N) .

La ecuación para el cálculo de transferencia de cargas es, (IZQUIERDO, y otros, 2001 pág. 299);

$$TP_V = \frac{\mu * P}{L} * \frac{a * h}{g} \quad (10)$$

$$TP_V = \frac{0.6 * (9800N) * 9.8 \frac{m}{s^2} * 0.3m}{2.250m * 9.8 \frac{m}{s^2}} = 784N$$

TP_V = Es la transferencia de cargas

μ = es el coeficiente fricción entre neumático y calzada

h = es el centro de gravedad vertical.

g = es la gravedad.

La transferencia de carga es de $784N$.

Para la distribución correcta de cargas se suma esta transferencia de pesos, (IZQUIERDO, y otros, 2001 pág. 299);

$$TP_D = P_d + TP_V \quad (11)$$

$$TP_D = 3920(N) + 784(N) = 4704(N)$$

$$TP_T = P_t - TP_V \quad (12)$$

$$TP_T = 5880(N) - 784(N) = 5096(N)$$

P_d = es el peso en la parte delantera del vehículo.

P_t = es el peso en la parte trasera del vehículo.

Para comprobar que el cálculo es correcto se comprueba la suma de las transferencias de cargas;

$$P = TP_D + TP_T = 4704(N) + 5096(N) = 9800(N) \quad (13)$$

La transferencia de carga delantera es de $4704(N)$ y la trasera de $5096(N)$.

3.3. Centro de gravedad horizontal

Cuando el vehículo se encuentra estáticamente sobre un terreno nivelado, las ecuaciones de carga se simplifican considerablemente. El seno es cero y el coseno es uno, y las variables R_h y R_{hz} ax y D A son cero. Así, (GUILLESPIE, 1992 pág. 13);

$$W_{fs} = \frac{W * c}{L} \quad (14)$$

$$W_{rs} = \frac{W * b}{L} \quad (15)$$

Para obtener las distancias del centro de gravedad se despeja la ecuación (9) y (10) antes descrita.

$$c = \frac{W_{fs} * L}{W} \quad (16)$$

$$c = \frac{3920 * 2250}{1000 * 9.8} = 900(mm)$$

$$b = \frac{W_{rs} * L}{W} \quad (17)$$

$$b = \frac{5880 * 2250}{1000 * 9.8} = 1350(mm)$$

W_{fs} = Es la distribución peso eje delantero.

W_{rs} = Es la distribución peso eje trasero.

W = Es el peso del vehículo.

L = Es la distancia entre ejes.

La distancia de la parte posterior (a) hasta el centro de gravedad es 900(mm) y la delantera (b) hasta el centro de gravedad es 1350(mm).

3.4. Fuerza de adherencia o rozamiento

Sabiendo que a mayor superficie de contacto mayor será el poder de frenado, de ello se puede decir que un neumático en mal estado o una mala suspensión incrementaran la distancia de frenado en un 30 y un 40%. (BORJA, y otros, 2000 pág. 299)

$$F_{fd} = \mu * TP_D \quad (18)$$

$$F_{fd} = 0.6 * 4704(N) = 2822,4(N)$$

$$F_{ft} = \mu * TP_T \quad (19)$$

$$F_{ft} = 0.6 * 5096(N) = 3057,6(N)$$

μ = es el coeficiente de fricción entre neumático y calzada.

TP_D = es el peso de eje delantero debido a la transferencia de carga.

TP_T = es el peso de eje trasero debido a la transferencia de carga.

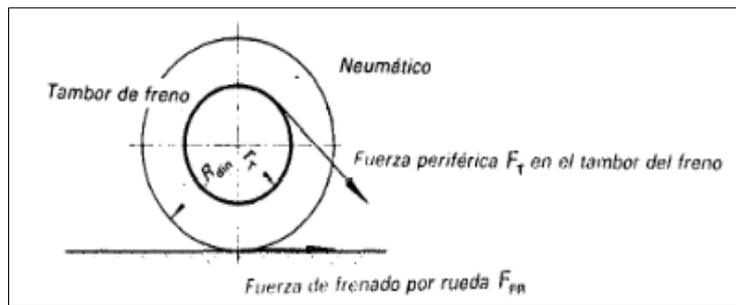


Figura 2-3: Fuerza de frenado en una rueda
 Fuente: (KINDLER, y otros, 1986 pág. 210)

3.5. Fuerza de frenado máxima

Se debe sumar las dos fuerzas que se obtuvo anteriormente, (IZQUIERDO, y otros, 2001);

$$F_{FMAX} = F_{fd} + F_{ft} = 2822,4(N) + 3057,6(N) = 5880(N) \quad (20)$$

La fuerza de rozamiento máxima es de 5880(N)

Tabla 1-3: Valores de promedio del coeficiente de fricción longitudinal

| Superficie de rodamiento | Valor máximo de μ | Valor de deslizamiento de μ |
|--------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Asfalto seco | 0.8-0.9 | 0.75 |
| Hormigón seco | 0.8-0.9 | 0.75 |
| Asfalto húmedo | 0.5-0.7 | 0.45-0.6 |
| Hormigón húmedo | 0.8 | 0.7 |
| Grava | 0.6 | 0.55 |
| Nieve | 0.2 | 0.15 |
| Hielo | 0.1 | 0.07 |

Fuente: (DIRADO, y otros, 2013 pág. 2347)

3.6. Desaceleración del vehículo

Para los cálculos del sistema de frenos se usará la segunda ley de Sir. Isaac Newton (1642-1727).

La ley se aplica a los elementos en rotación y translación (GUILLESPIE, 1992 pág. 10)

Sistemas de traslación: la suma de las fuerzas externas que actúan sobre un cuerpo en una dirección dada es igual al producto de su masa y la aceleración en esa dirección (suponiendo que la masa sea fija). (GUILLESPIE, 1992 pág. 10)

$$\sum F_x = M * a \quad (21)$$

Se despeja la aceleración;

$$a = \frac{F_x}{M} = \frac{5880(N)}{1000(Kg)} = 5,888 \frac{m}{s^2}$$

Donde;

F_x = Es la fuerza en la dirección x.

M = Es la masa del vehículo.

a = Aceleración en la dirección x.

La desaceleración es de $5,888 \frac{m}{s^2}$

3.7. Neumáticos

Los neumáticos forman parte del sistema de freno y suspensión del vehículo, son la base importante para una buena frenada, maniobrabilidad, conducción general del automóvil e inclusive en el consumo de combustible. Por esto es importante tener neumáticos originales ya que influye en la seguridad, confort, velocidad, resistencia a la rodadura, agarre entre otras aunque en algunas ocasiones especiales no es recomendable debido a las exigencias del piloto.. (SNOWCORN, 2009 pág. 4)

3.8. Medidas

Ancho: es el ancho de la sección de la llanta en Milímetros. El ejemplo es una llanta que mide de ancho 215 mm (21.5 cm).

Porcentaje de altura: Es la medida del costado de la llanta tomada como porcentaje delo Ancho. En el ejemplo la llanta mide del rin al piso (costado) el 65% de lo ancho (21.5 cm) o sea $21.5 \times 65\% = 13.98$ cm.

Rin; Viene dado en pulgadas. En el ejemplo el Rin mide 15 pulgadas de Diámetro. (JGIORGE, 2008 pág. 1)

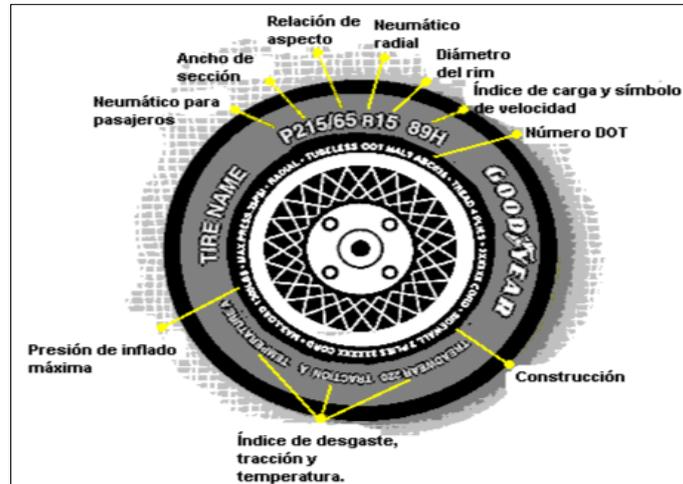


Figura 3-3: Partes del neumático
 Fuente: (SNOWCORN, 2009 pág. 9)

3.9. Diámetro específico del vehículo

Debido a que aún no se establece el uso del neumático para el prototipo buggy, esto trae un beneficio para el diseño de sistemas de frenos, ya que de esta forma aumentará el par necesario para el vehículo, se optó el siguiente para el cálculo;



Figura 4-3: Neumáticos 175/70 R14 Pirelli P4 Cinturato 84t
 Fuente: <https://articulo.mercadolibre.com.ar>

A continuación se obtiene el diámetro nominal del neumático, (OROVIO, 2005)

$$altura\ neumático = \frac{175 * 70}{100} = 122,5(mm) \tag{22}$$

Como son dos alturas en el neumático se multiplica por 2;

$$\text{altura neumático} = 2 * 122,5(\text{mm}) = 245(\text{mm})$$

Después se halla el diámetro interno nominal del neumático, (OROVIO, 2005);

$$\text{Diámetro interno nominal} = 14 \text{ inches} * \frac{2,54\text{cm}}{1 \text{ inches}} * \frac{10\text{mm}}{1\text{cm}} = 355,6(\text{mm}) \quad (23)$$

Y por último se encuentra el diámetro nominal del neumático, (OROVIO, 2005);

$$Dn = a + Din \quad (24)$$

$$Dn = 245(\text{mm}) + 355,6(\text{mm}) = 600,6\text{mm} = 0,6006\text{m}$$

Dn = diámetro nominal del vehículo

a = altura del neumático

Din = diámetro interno nominal

3.10. Para el diámetro dinámico

Debido al efecto de carga se usa la ecuación, (HLAGUERO, 2010 pág. 23);

$$r_c = (0,93 \text{ A } 0,95)r_r \quad (25)$$

$$r_c = \left(\frac{0,93 + 0,95}{2}\right) * \left(\frac{0,6006\text{m}}{2}\right) = 0,282282(\text{m})$$

Donde;

r_c = Es el radio bajo carga

r_r = Es el radio sin carga

El radio bajo carga del neumático es 0,282282(m)

El radio dinámico se calcula mediante, (HLAGUERO, 2010 pág. 24)

$$r_D = 6\% * r_c \quad (26)$$

$$r_D(0,6 * 0,282282) = 0,01693692(\text{m})$$

Se suma los dos radios para obtener el diámetro nominal exacto.

$$r_{Dt} = r_D + r_c \quad (27)$$

$$r_{Dt} = 0,29921892(m)$$

Para saber el valor del diámetro nominal se deben multiplicar por 2.

$$r_D = 2 * 0,29921892(m) = 0,59843784(m) \quad (28)$$

El diámetro nominal es de 0,59843784(m).

3.11. Par de frenado necesario

Los pares de frenado debido a la forma de frenado se pueden generar con dos de los dispositivos que exige el reglamento 13(E/ECE/324, E/ECE/TRANS/505), con el freno de servicio (freno de pie) o con el freno de estacionamiento (freno de mano). Si se actúa con el freno de servicio, al presionar sobre el pedal de freno se incrementa la presión en el circuito, convirtiéndose esta, en los dispositivos de las ruedas, en pares M_{fd} y M_{ft} , aplicándose en sentido contrario a su movimiento. Cuando esto sucede, el piso reacciona con una fuerza sobre el neumático, denominada fuerza de frenado, que tratara de mantenerlo girando. (LUQUE, y otros, 2008 pág. 413)

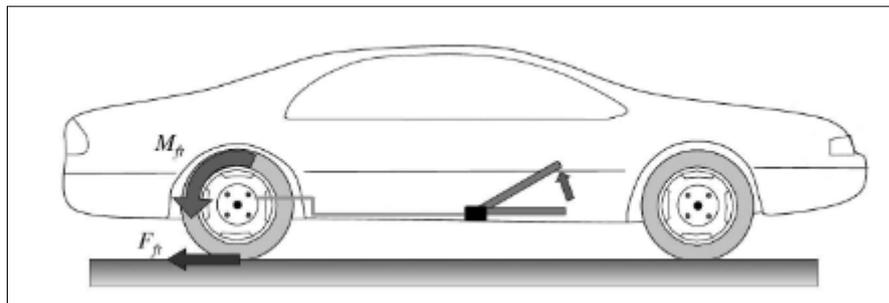


Figura 5-3: Pares de frenado generados por el freno de estacionamiento
Fuente: (LUQUE, y otros, 2008 pág. 414)

Para obtener el par de frenado se usa la siguiente formula, (IZQUIERDO, y otros, 2001 pág. 306);

$$M_{fd} = r_c * F_{fd} \quad (29)$$

$$M_{fd} = 0,29921892(m) * 2822,4(N) = 844,51548(N * m)$$

$$M_{ft} = r_c * F_{ft} \quad (30)$$

$$M_{ft} = 0,29921892(m) * 3057,6(N) = 914,89177(N * m)$$

De lo cual;

r_c = Es el radio del neumático (dinámico).

F_{fd} = Es la fuerza de fricción eje delantero del vehículo.

F_{ft} = Es la fuerza de fricción eje trasero del vehículo.

El par de frenado delantero es 844,51548(N * m) y el trasero 914,89177(N * m)

3.12. Reparto óptimo de frenada

Se usa la ecuación, (IZQUIERDO, y otros, 2001);

$$K_{fd} = \frac{F_{fd}}{F_f} \quad (31)$$

$$K_{fd} = \frac{2822,4(N)}{4704(N)} = 0,6$$

$$K_{ft} = \frac{F_{ft}}{F_f} \quad (32)$$

$$K_{ft} = \frac{3057,6(N)}{5096(N)} = 0,6$$

Donde;

F_{fd}^s = Es la fuerza de fricción en el eje delantero.

F_{ft}^s = Es la fuerza de fricción en el eje trasero.

F_f^s = Es la transferencia de carga de cada eje.

Es del 60 por ciento debido a que su coeficiente de fricción es de 0.6

3.13. Fuerza de salida en la bomba

El hombre puede como máximo pisar con el pie con una fuerza de 750 N (75 daN). Para la desaceleración que se alcanza en los vehículos de turismo hace falta, sin embargo, una fuerza casi

diez veces mayor. Es necesario pues aumentar la 'fuerza del pie, bien sea, (KINDLER, y otros, 1986 pág. 204):

1. Mediante palancas
2. Transmisión hidráulica
3. Fuerzas extremas (aire comprimido).
4. Aumento automático con frenos de tambor.

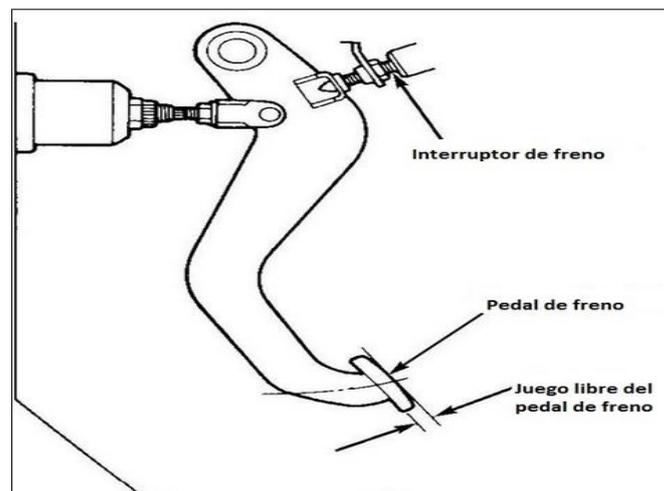


Figura 6-3: Pedal de freno

Fuente: <https://mecanicabasicacr.com/frenos/mi-auto-se-empieza-a-frenar-al-poco-tiempo-de-transitar.html>

3.14. Presión en el circuito

La fuerza de pie aumenta relativamente debido a la relación de la palanca de las varillas del pedal de freno. (KINDLER, y otros, 1986 pág. 205)

$$Fuerza\ en\ el\ cilindro\ principal = \frac{Fuerza\ del\ pie * brazo\ 1}{brazo\ 2} \quad (33)$$

$$Fuerza\ en\ el\ cilindro\ principal = \frac{278,5N * 30}{10} = 835,5(N)$$

La fuerza en la bomba principal es de 835,5(N).

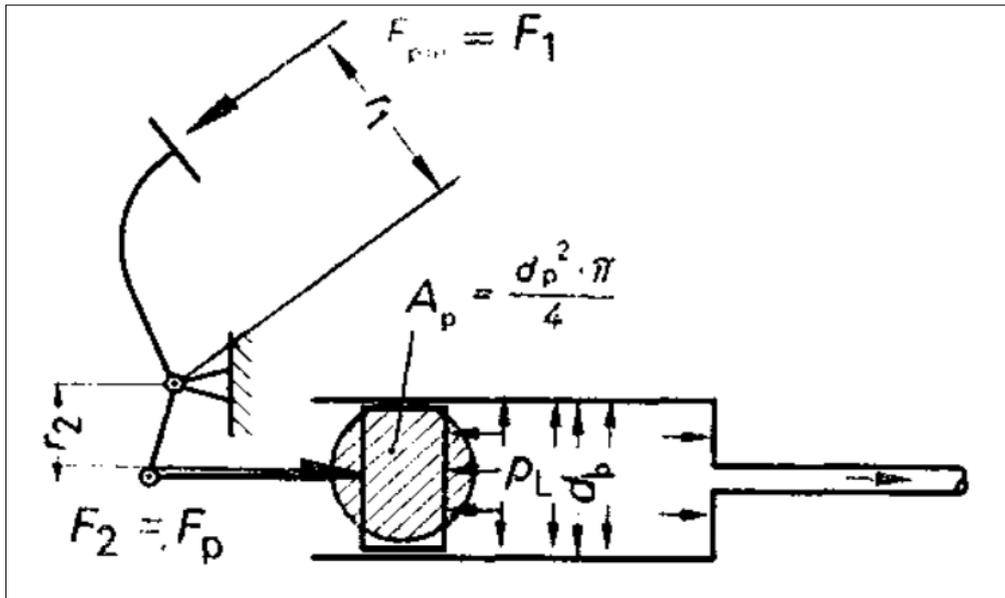


Figura 7-3: Generación de la presión del circuito en el cilindro principal de frenado.
Fuente: (KINDLER, y otros, 1986 pág. 204)

3.15. Presiones generadas en la bomba principal

La principal función de la bomba del sistema de freno es la de generar la presión hidráulica correcta para enviar el líquido hidráulico hacia los distintos circuitos del sistema de frenado. (LUQUE, y otros, 2008 pág. 184)

Las partes de la bomba de frenos es la siguiente:

- Depósito de líquido de frenos.
 - Un cilindro interno de la bomba.
 - Un pistón émbolo que se encuentra en el interior del cilindro y es accionado directamente por el pedal del freno a través de la varilla de accionamiento.
 - Una cámara donde el pistón comprime el líquido de frenos para crear la presión.
 - El orificio de compensación, que comunica la cámara con el depósito.
 - Distintos conductos dirigidos hacia las distintas ruedas.
 - Un muelle dimensionado a una presión determinada que apoya directamente sobre el pistón.
- (LUQUE, y otros, 2008 pág. 184)

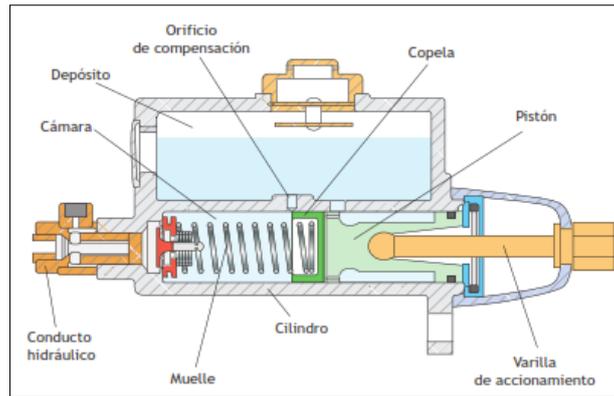


Figura 8-3: Partes de la bomba de freno

Fuente: (LUQUE, y otros, 2008 pág. 184)

La presión en el circuito hidráulico se obtiene mediante la ecuación, (KINDLER, y otros, 1986 pág. 206);

$$P_L = \frac{F_p}{A_p} \quad (34)$$

$$P_L = 1,70206 \frac{N}{mm^2} = 1,70206 MPa$$

Donde;

F_p = Es la fuerza de salida a la bomba principal.

A_p = Es el área del cilindro principal.

La presión en la bomba es de 1,70206 MPa.

3.16. Presiones en las cañerías

Un fluido que está encerrado tiene como función transmitir sin reducción alguna la presión a todas las partes y paredes del recipiente que lo contiene. La presión que es ejercida dentro de la bomba se transfiere por medio del cilindro conector a un pistón de mayor área. La presión aplicada es la misma en ambos cilindros, así que (HUGH, y otros, 2009 pág. 460);

$$P = \frac{F}{A} \quad (35)$$

La presión es de 1,70206 MPa.

3.17. Fuerzas de apriete generadas en cada mordaza

Pinzas de freno

También llamada mordazas de freno que mediante uno o dos pistones empujan las pastillas de freno para que friccionen con el disco. Dichas pinzas de freno están empernadas al buje de la rueda. Mediante estas fuerzas de apriete las mordazas de freno presionan en los tambores de freno, (KINDLER, y otros, 1986 pág. 206);

$$F_{RD} = P_L * A_{RD} \quad (36)$$

$$F_{RD} = 1,70206 \frac{N}{mm^2} * \frac{\pi * (55mm)^2}{4} = 4043,82(N)$$

$$F_{RA} = P_L * A_{RA} \quad (37)$$

$$F_{RA} = 1,70206 \frac{N}{mm^2} * \frac{\pi * (55mm)^2}{4} = 4043,82(N)$$

P_L = Es la presión del fluido

A_{RD} = Es el área del pistón de la mordaza delantera.

A_{RA} = Es el área del pistón de la mordaza trasera.

F_{RD} = Fuerza de apriete disco delantero

F_{RA} = Fuerza de apriete disco trasero.

La fuerza de apriete en la mordaza delantera y trasera es de 4043,82(N)

3.18. Fuerza de fricción disco- pastilla

Los discos de freno son elementos friccionantes de vital uso en el sistema de freno, están fabricados con acero aleado con cromo, por esta razón soportan elevadas temperaturas de funcionamiento sin sufrir deformaciones excesivas en su aplicación. Existen dos tipos básicos de discos de freno (LUQUE, y otros, 2008 pág. 173)

Los discos no ventilados, que son macizos.



Figura 9-3: Discos de frenos no ventilados
Fuente: (LUQUE, y otros, 2008 pág. 173)

Los discos ventilados, que tienen orificios en su interior para disipar el calor.



Figura 10-3: Discos de frenos ventilados
Fuente: (LUQUE, y otros, 2008 pág. 173)

Los discos macizos suelen ir colocados en los ejes traseros y los ventilados en los ejes delanteros.

Actualmente, el diseño de los vehículos se intenta canalizar un flujo de aire generado en la marcha para mejorar la refrigeración de los discos de freno. (LUQUE, y otros, 2008 pág. 173)

Como los frenos de discos constan de dos pares de rozamientos la formula se expresa así, (KINDLER, y otros, 1986 pág. 210);

$$F_{TD} = 2 * \mu * F_R \quad (38)$$

$$F_{TD} = 2 * 0.45 * 4043,82(N) = 3639,438(N)$$

$$F_{TT} = 2 * \mu_t * F_{Rt} \quad (39)$$

$$F_{TT} = 2 * 0.45 * 4043,82(N) = 3639,438(N)$$

Donde;

F_R = Es la fuerza fricción disco pastilla delantera.

F_{Rt} = Es la fuerza fricción disco pastilla trasera.

μ = Es el coeficiente de fricción de las pastillas delanteras.

μ_t = Es el coeficiente de fricción de las pastillas traseras.

2 Corresponde a las dos caras de contacto.

Tenemos la fuerza de fricción disco-pastilla delantera y trasera de 3639,438(N)

3.19. Fuerza de frenado generado por los discos-pastillas-frenada en una rueda

Tabla 2-3: Especificación del disco y neumáticos

| | |
|------------------------------------|-----------|
| Caras de fricción | 2 |
| Diámetros disco delantero (mm)-(m) | 256 |
| Diámetros disco trasero (mm)-(m) | 258 |
| Radio efectivo, d(mm) | 128 |
| Radio efectivo, t(mm) | 129 |
| Radio dinámico del neumático (mm) | 299,21892 |

Fuente: Autores

En una rueda en proceso de frenado aparecen los siguientes pares o momentos, para los frenos de discos, (KINDLER, y otros, 1986 pág. 211);

$$F_{FR} = \frac{F_{TD} * r_m}{r_{din}} \quad (40)$$

$$F_{FR} = \frac{3639,438(N) * \frac{256mm}{2}}{299,2189mm} = 1555,7413(N)$$

$$F_{FR} = \frac{F_{TA} * r_m}{r_{din}} \quad (41)$$

$$F_{FR} = \frac{3639,438(N) * \frac{258mm}{2}}{299,2189mm} = 1569,0436(N)$$

Por lo que;

F_{TD} = Es la fuerza periférica del disco delantero.

F_{TA} = Es la fuerza periférica del disco trasero.

r_m = Es el radio del disco de freno delantero y trasero respectivamente.

r_{din} = Es el radio dinámico del neumático.

La fuerza de frenado en el disco delantero es de 1555,7413(N) y el trasero 1569,0436(N) .

3.20. Pares de frenado

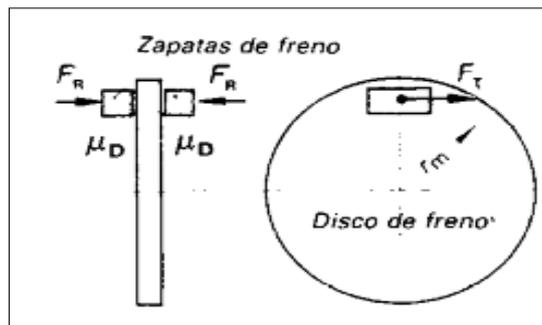


Figura 11-3: Fuerzas en los frenos de disco
Fuente: (KINDLER, y otros, 1986 pág. 210)

La fuerza periférica F_T en el tambor del freno actúa con el radio R_t (en los frenos de disco con el brazo de palanca r_m y genera así el frenado), (KINDLER, y otros, 1986 pág. 210).

En una rueda en proceso de frenado aparecen los siguientes pares o momentos, para los frenos de discos, (KINDLER, y otros, 1986 pág. 211);

$$F_{FR} = \frac{F_{TD} * r_m}{r_{din}} \quad (42)$$

$$M = F_{TD} * r_m \quad (43)$$

$$M = 3639,438(N) * \frac{256mm}{2} = 465,8480(N * m)$$

$$Mt = F_{TA} * r_m \quad (44)$$

$$Mt = 3639,438(N) * \frac{258mm}{2} = 469,4875(N * m)$$

Donde;

M = Es el momento en el disco delantero.

Mt = Es el momento en el disco trasero.

F_{TD} = Es la fuerza periférica del disco delantero.

F_{TA} = Es la fuerza periférica del disco trasero.

r_m = Es el radio del disco de freno delantero y trasero respectivamente.

Para los dos frenos de las ruedas delanteras y las dos traseras, se adquiere la ecuación (KINDLER, y otros, 1986 pág. 211);

$$MD = 2 * M \quad (45)$$

$$MD = 2 * 465,8480(N * m) = 931,696(N * m)$$

$$MT = 2 * Mt \quad (46)$$

$$MT = 2 * 469,4875(N * m) = 938,975(N * m)$$

MD = Es el momento en el eje delantero.

MT = Es el momento en el eje trasero.

2 Es el conjunto de discos en el eje delantero y trasero respectivamente.

El par delantero es de 931,696(N * m) y el trasero de 938,975(N * m).

3.21. Tiempo de frenado

Es el que se necesita para la total detención del vehículo. Se calcula mediante la siguiente expresión matemática, (BORJA, y otros, 2000 pág. 171);

$$t = \frac{v}{a} \quad (47)$$

$$t = \frac{27,77 \frac{m}{s}}{5,88 \frac{m}{s^2}} = 4,72(seg)$$

v = Velocidad expresada en $\frac{m}{s}$

a = Deceleración en $\frac{m}{s^2}$

El tiempo de frenado es de 4.72 seg

3.22. Distancia de frenado

Con el cálculo de la distancia de frenado se puede estimar el rendimiento del sistema de freno. Se calcula con la siguiente fórmula matemática, (BORJA, y otros, 2000 pág. 171);

$$e = \frac{v^2}{2 * a} \quad (48)$$

$$e = \frac{(27,77 \frac{m}{s})^2}{2 * 5,88 \frac{m}{s^2}} = 65,57 (m)$$

v = Velocidad expresada en $\frac{m}{s}$

a = Deceleración en $\frac{m}{s^2}$

El espacio de frenado es de 65,57 (m).

3.23. Motor eléctrico BLCD

En un motor/generador síncrono se produce un campo magnético en el rotor ya sea, en el diseño de este como un imán permanente o mediante el uso de corriente continua a su devanado para originar un electro imán. Esta zona magnética giratoria induce un conjunto de voltajes dentro de los devanados del estator del generador. (Chapman, 2012 pág. 147)

Para poder encontrar la frecuencia eléctrica del estator se utiliza la ecuación: (Chapman, 2012 pág. 151)

$$f_e = \frac{n_m P}{120} \quad (49)$$

Dónde:

f_e = frecuencia eléctrica en Hz

n_m =Velocidad del rotor en RPM

P= número de polos

Para poder comprender lo que sucede cuando se cambia el resistor de campo de un motor CC. Si se incrementa la resistencia de campo, disminuye la resistencia de campo, y con forme disminuye a corriente de campo también disminuye el flujo. Una reducción de flujo origina un decremento fugaz de voltaje externo, este origina un gran incremento de corriente del inducido de la maquina (Chapman, 2012 pág. 356)

3.24. Calculo de freno de mano

Para el cálculo de sistema de freno de mano se tiene los siguientes datos

Tabla 3-3: Datos para cálculos de freno de mano

| Datos | |
|---------------------------------|-------|
| Brazo 1 | 0.3 |
| Brazo 2 | 0.1 |
| Fuerza del brazo | 400 |
| Diámetro del cilindro principal | 0.025 |

Fuente: Autores

La fuerza del cilindro principal es:

$$fuerza\ del\ cilindro\ principal = \frac{Fuerza\ del\ brazo * brazo\ 1}{brazo\ 2} \quad (50)$$

$$fuerza\ del\ cilindro\ principal = \frac{400 * 0.3}{0.1}$$

$$fuerza\ del\ cilindro\ principal = 12000$$

La fuerza del cilindro principal es de 12000 N

El área de la bomba será la siguiente

$$Area\ de\ la\ bomba = \frac{\pi * Diametro^2}{4} \quad (51)$$

$$Area\ de\ la\ bomba = \frac{\pi * 0.025^2}{4}$$

$$fuerza\ del\ cilindro\ principal = 0,0000490874$$

La presión en la bomba será:

$$presion\ en\ la\ bomba = \frac{Fuerza\ de\ la\ bomba}{Área} \quad (52)$$

$$presion\ en\ la\ bomba = \frac{12000}{0,0000490874}$$

$$presion\ en\ la\ bomba = 24446199.26$$

La presión en la bomba será 2,444619926 MPa la cual será la misma para las cañerías

Las fuerzas en la pinza de freno serán:

$$Fuerzas\ en\ la\ pinza\ de\ fren = Presión\ en\ la\ bomba * Area\ del\ cilindro\ de\ la\ mordaza \quad (53)$$

$$Fuerza\ en\ la\ pinza\ de\ freno = \frac{24446199.26 * \pi * (0.055^2)}{4}$$

$$Fuerza\ en\ la\ pinza\ de\ freno = 580N$$

Las fuerzas en las pinzas de freno es 58080N la suficiente para mantener al vehículo estático cuando este en reposo.

CAPITULO IV

4. Implementación para el Sistema Hidráulico y sistema de respaldo del freno regenerativo

4.1. Elección de la bomba de freno

Para la elección del tipo de sistema que se acoplo al trabajo, se optó por un circuito hidráulico, el líquido hidráulico va hacer transportado por las cañerías de acero de 3 mm las cuales soportan la presión interna del sistema, la presión va hacer generada por una bomba de un Toyota stout 2200, se eligió este tipo de bomba ya que en su interior contiene 2 cámaras las cuales abastecerán al circuito por eje, es decir queremos que una cámara se ocupe del eje delantero y la otra de la trasera, además la bomba mantiene e diámetro adecuado para generar la presión en el sistema, utilizamos discos con sus respectivas pinzas o mordazas como mecanismo de accionamiento del sistema debido a que el sistema generara calor y este sistema es más eficaz al momento de disiparlo.



Figura 1-4: bomba de freno de Toyota 2200

Fuente: (frenos)

Para la fijación de la bomba se soldó una platina en el chasis del vehículo y se la atornilló con pernos número 10, la platina también fue soldada al pedal de freno y esta a su vez al chasis



Figura 2-4: soldadura del pedal de freno

Fuente: Autores

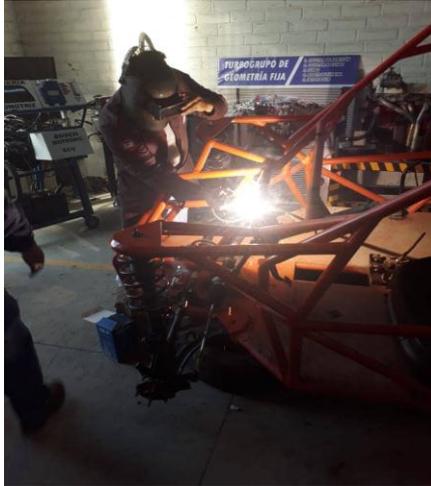


Figura 3-4: Soldadura de la platina
Fuente: Autores

4.1.1. Cañería de alta presión

Para el transporte de líquido de freno se utilizó cañerías de acero de 3 mm de grosor. Estas cañerías soportan la presión de 1,70206 MPa. Están diseñadas para soportar una presión de hasta 5 MPa.

Para la unión de las distintas partes de las cañerías se las hizo con uniones en “T” u con uniones normales.



Figura 4-4: Tuberías de alta presión
Fuente: (2013)

4.1.2. Mordaza o Cáliper

Las mordazas ocupadas en el sistema de freno fueron de Chevrolet Aveo en las cuatro ruedas, este tipo de mordazas se acoplan en el sistema de suspensión del vehículo, con los agujeros en el lugar determinado sin tener que modificarlo, además el otro motivo por lo que se utilizó este tipo de mordazas fue al momento de accionamiento de estas los cilindros de accionamiento tienen el diámetro óptimo para el funcionamiento del sistema.



Figura 5-4: Cáliper

Fuente: (Repuesto)

Al momento de colocar las cañerías de acero se procedió doblar las cañerías, para ello se ocupó 6 partes las cuales fueron unidas por uniones en “T”, que permite al circuito enviar el flujo a dos lugares distintos con la misma presión, las cañerías se sujetaron al chasis por medio de correas de pastico para evitar demasiado movimiento al momento de que el vehículo se encuentre en marcha, para unir las cañerías a los cáliper o pinzas de freno, se utilizó mangueras las cuales son más flexibles y esto nos ayuda al momento de que el vehículo tome una curva o al momento de trabajar la suspensión.



Figura 6-4: Dobles de cañerías

Fuente: Autores

4.1.3. Disco de Freno

Para la selección de discos se utilizó dos tipos de discos, los cuales son de tipo ventilado para mejorar la refrigeración, se utilizó discos un Aveo Family y un Chevrolet Optra, esto se lo realizo debido a que las manzanas del vehículo son estas, tomando a demás como referencia el diámetro de cada uno se realizó los cálculos para que el sistema las soporte.



Figura 7-4: Disco de freno Chevrolet Aveo
Fuente: (24.com)

Después de colocar las cañerías en su lugar se procedió a poner el cáliper y discos de freno en sus respectivos lugares tanto posterior como delantero, ajustamos los pernos de la mordaza con el dado 14 mm.



Figura 8-4: colocación de discos y cáliper
Fuente: Autores

4.1.4. Pedal de freno

El pedal de freno que se adquirió para el trabajo es un pedal de un camión, se optó por este tipo ya que el pedal es lo suficiente mente largo para para de esta manera poder adquirir una mayor fuerza de palanca al momento de pisar el freno



Figura 9-4: Pedal de freno
Fuente: Autores

4.1.5. Pastillas de freno

Para la selección de pastillas de freno se lo realizo mediante dos especificaciones, la primera es de acuerdo tipo de mordaza adquirida, y la segunda que las medidas internas de la misma no causen daños al disco al momento de montarlas para ello se tomó las siguiente:



Figura 10-4: Pastillas de freno
Fuente: (clasf)

4.1.6. Análisis térmico disco-pastilla

Para el análisis termodinámico de funcionamiento, se utilizó el software de diseño CAD solid works, y para analizar el flujo térmico se ocupó Ansys workbnech , los materiales para la pastilla de freno en su máxima composición es de óxido de titanio, el cual brinda una mayor abrasión y menos desgaste al momento de entrar en contacto con el disco de freno, por su parte dicho freno de disco se compone de metal, aportando brillo y una resistencia mecánica satisfactoria al momento de la selección de partes

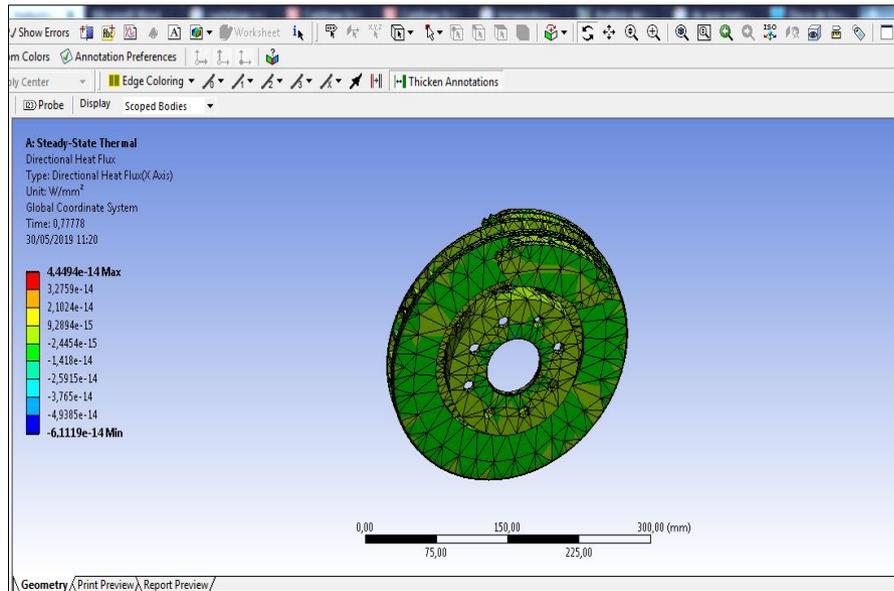


Figura 11-4: Análisis térmico disco-pastilla
Fuente: Autores

4.1.7. Análisis de desgaste disco-pastilla

Para dicho estudio estructural del sistema de freno, a continuación observaremos el desgaste producido debido al roce constante entre disco-pastilla, cabe tener en cuenta la desmultiplicación que se ejerce en el diferencial q es de 2.9:1, de esta manera el análisis que obtendremos será el casi real al funcionamiento que se ejerce en el sistema.

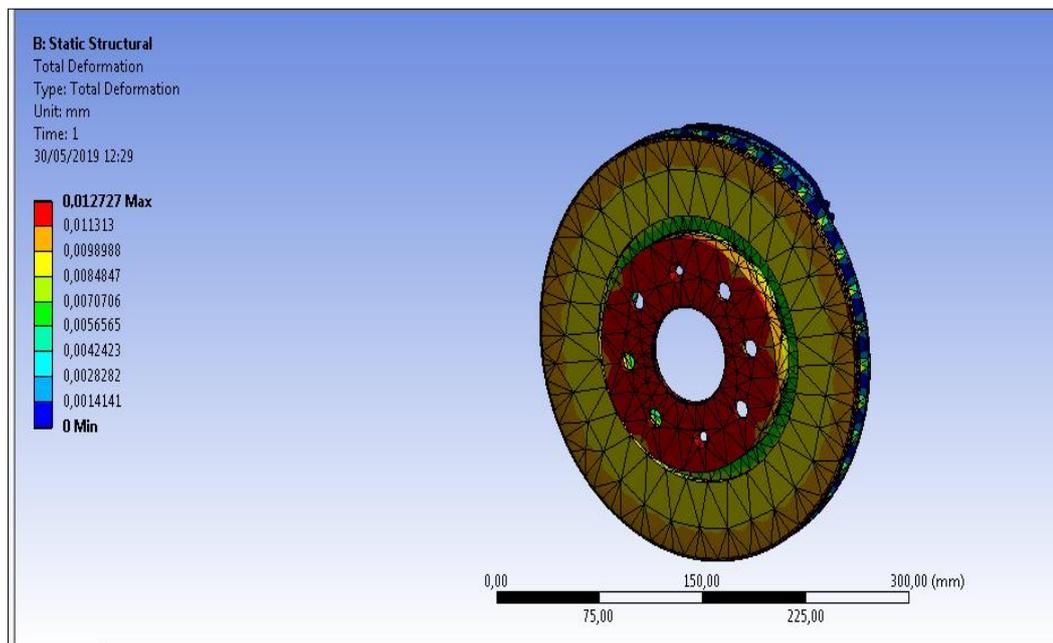


Figura 12-4: Análisis desgaste disco-pastilla
Fuente: Autores

4.1.8. Análisis dinámico disco-pastilla

El análisis de movimiento se tomó en cuenta las rpm a la salida del diferencial, por lo que también existe la desmultiplicación a su máximo giro del motor eléctrico, tomando en cuenta también el material del disco, pastilla, de esta forma se realizó el estudio dinámico, se observan a continuación la gráfica de deformaciones máxima y su respectivo análisis.

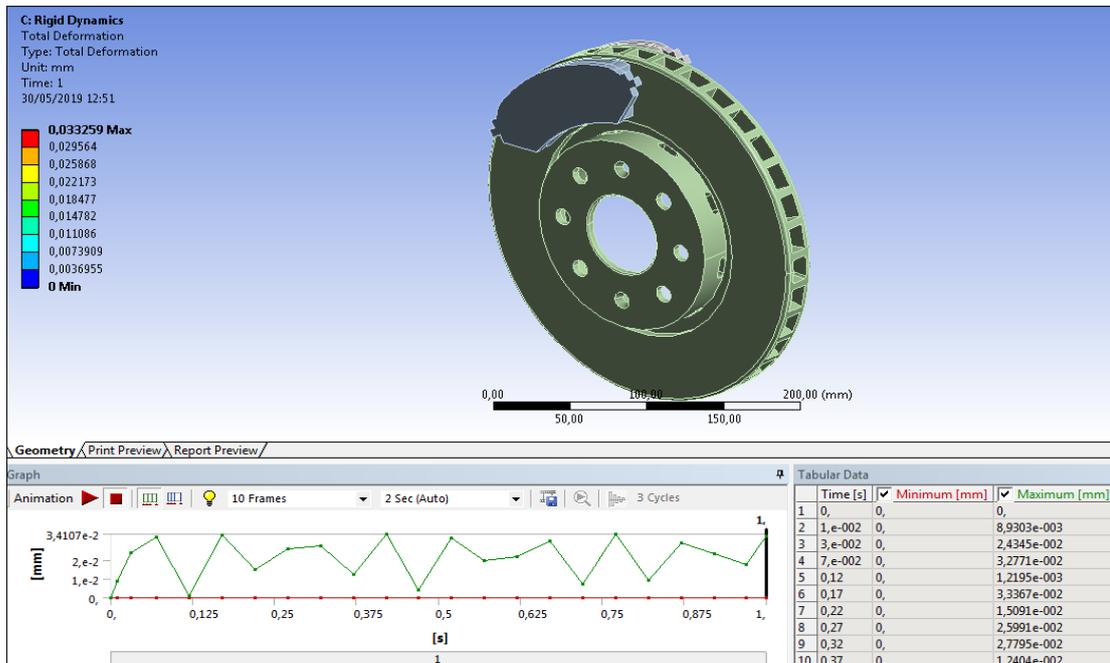


Figura 13-4: Análisis dinámico disco-pastilla

Fuente: Autores

Al momento de colocar las pastillas de freno se adquirió silenciadores para el evitar el ruido de las pastillas al momento de pisar de freno y que se puedan ajustar al cáliper, para poner estas en su lugar se desmonto los cáliper y se colocaron las pastillas en su lugar



Figura 14-4: Silenciadores

Fuente: (mae00a@gmail.com)

Luego de haber ajustado las cañerías y el cáliper de freno se procede a colocar el líquido de freno dot 3 para el buggy.



Figura 15-4: Colocación líquido de freno DOT3
Fuente: Autores

Para eliminar el aire dentro del sistema de freno se realiza su purgado respectivo, en el cáliper tiene una válvula para el purgado, normalmente se utiliza la llave 10 mm y se necesita la ayuda de otra persona para que realice el bombeo, primero en la parte delantera y luego en la posterior de esta forma se elimina poco a poco todo el aire en el sistema, así se obtiene un correcto funcionamiento en el sistema.



Figura 16-4: Purgado del sistema de freno
Fuente: Autores

4.1.9. Freno de mano

El accionamiento del freno de mano regularmente se realiza al interactuar los cables que son accionados por una palanca en el interior del vehículo, expanden los cilindros en el interior del tambor de freno, como es de conocimiento el presente trabajo de titulación no contiene tambores de freno, para ello se ha optado por accionar el pedal de freno mediante cables, para lo cual al momento de accionar la palanca interna de freno de mano tensara un cable de acero que será el encargado accionar el pedal haciendo que actúen los cáliper, teniendo en conocimiento que la

palanca tendrá tensado el cable en todo momento el vehículo quedara frenado mediante las 4 ruedas.

Se realiza el diseño de las bases en solid works, con las medidas que vamos a necesitar para hacer las bases.

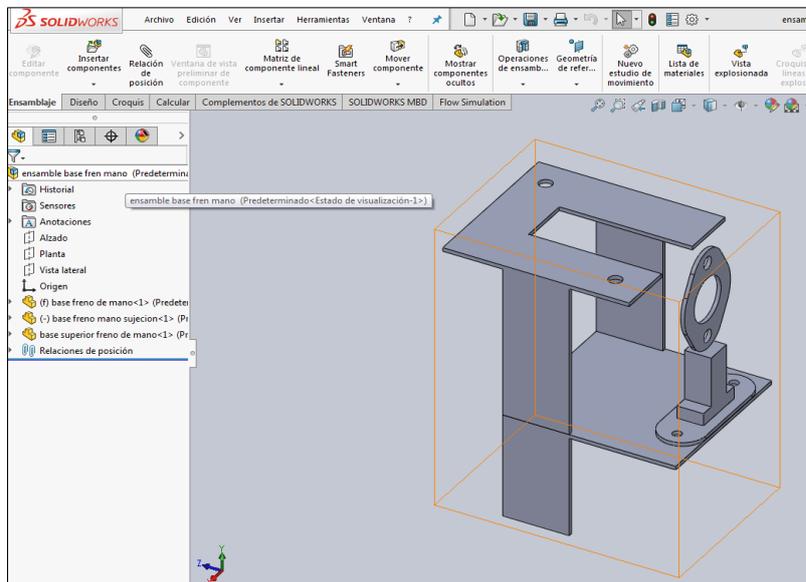


Figura 17-4: Base para el sistema de freno de mano
Fuente: Autores

Tendremos en cuenta que la platina es de acero A36 con un espesor de 3mm, para su configuración soldamos con electrodos 6011, y se implementa en nuestro sistema.



Figura 18-4: Freno de mano
Fuente: Autores

4.2. Freno Regenerativo

4.2.1. Motor Eléctrico / generador

El Motor eléctrico adquirido es de 8 a 20 kW de potencia, su consumo es de 15 amperios, este motor eléctrico es de corriente continua de 96 voltios de funcionamiento, ayudando al sistema de respaldo de freno regenerativo a completar correctamente su función para cargar las baterías.

Este es controlado por la ECU, la cual mediante un botón pulsador genera corriente al momento de utilizar el freno o consume corriente al momento de acelerar.



Figura 19-4: Motor eléctrico

Fuente: (motor)

4.2.2. Cableado

Debido a las baterías y demás sistemas, se utilizó cables de alta tensión debido a que las baterías generan voltajes 96 hasta 120 voltios, y un amperaje máximo de hasta 20 Amperios. Además, para evitar subidas de tensión en el sistema, proteger la ECU y los demás sistemas se utilizó brekes, contactor y sistemas de fusibles.



Figura 20-4: Cableado

Fuente: Autores

4.2.3. Botón Pulsador

Mediante un pulsador, el freno funciona dependiendo el uso del pedal de freno para cargar las respectivas baterías, el botón pulsador se encuentra funcionando en conjunto con la computadora de la siguiente manera:

Cuando el interruptor del freno está cerrado, el motor envía energía a la batería de acuerdo con el voltaje y la corriente de configuración.

Cuando el pulsador se encuentra abierto y sin acelerar la batería alimenta al motor sin ejercer movimiento alguno

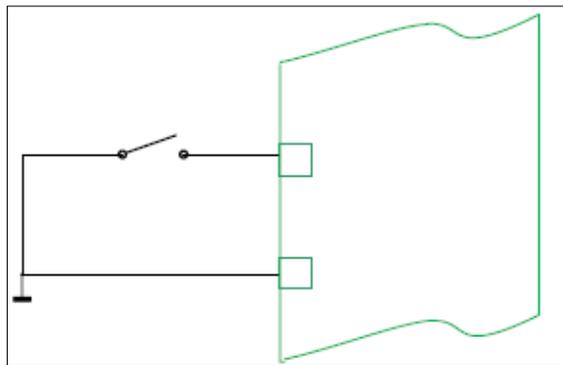


Figura 21-4: Switch abierto sin contacto
Fuente: (Ltd., 2019)

Al momento de accionar el acelerador el motor empieza a consumir corriente de las baterías produciendo el movimiento del vehículo

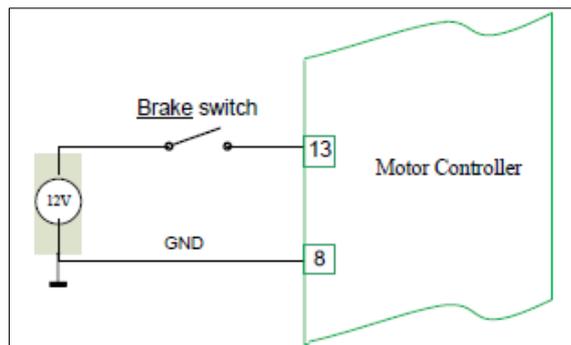


Figura 22-4: Motor en consumo de energía
Fuente: (Ltd., 2019)

Cuando cambia la señal de freno, el motor envía energía de retroalimentación a la batería de acuerdo con la escala de corriente de configuración cambiada.

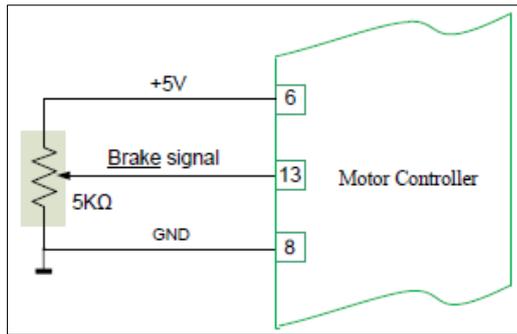


Figura 23-4: botón pulsado

Fuente: (Ltd., 2019)



Figura 24-4: botón pulsador

Fuente: Autores

4.2.4. Controlador electrónico

El controlador electrónico es energizado por las baterías con un voltaje de 96 voltios este controla todos los sistemas para el accionamiento del motor, su programación se basa en un programa establecido por la propia compañía donde se adquirió el módulo “Golden Motor”.

Posee un fusible de 100 Amperios para la seguridad, que evita que este tenga subidas de tensiones.



Figura 25-4: Módulo de control

Fuente: Autores

4.2.5. Baterías.

Para suministrar energía al motor eléctrico se utilizó baterías de níquel metal, estas generan un voltaje de 96V y un amperaje de 60A, la forma de carga de estas baterías es por medio de un cargador de baterías en modo carga lenta, el cual tarda en cargarlas su totalidad en 2 horas 10 min por paquete, un paquete consta de 12 celdas individuales de las cuales cada una genera un promedio de 7,5V.

Para el funcionamiento, el sistema, las baterías tienen que estar cargadas, para poder realizar el funcionamiento del motor BLDC.

Para el funcionamiento del freno regenerativo estas empezarán a cargar desde que las baterías se encuentren a 75V, estas absorberán el voltaje suministrado por el motor al momento de que el botón pulsador deje de estar accionado. En este momento la computadora enviara corriente para empezar a cargar las baterías.



Figura 26-4: Bloque de baterías

Fuente: Autores

CAPÍTULO V

5. PRUEBAS TEÓRICAS, FÍSICAS Y PRESUPUESTOS

5.1. Pruebas teóricas

Las pruebas teóricas se basan en los resultados obtenidos en base al capítulo 3, en la tabla 1-5 se expresan los resultados obtenidos analíticamente.

Tabla 1-5: Resultados obtenidos en los cálculos teóricos

| Calculo | Unidades | Resultado |
|---|-----------------|------------------|
| Distribución de peso delantero | N | 3920 |
| Distribución de peso trasero | N | 5880 |
| Transferencia de carga | N | 784 |
| Transferencia de carga delantera | N | 4704 |
| Transferencia de carga trasera | N | 5096 |
| Centro de gravedad c | m | 0.9 |
| Centro de gravedad b | m | 1.35 |
| Fuerza de adherencia delantera | N | 2822.4 |
| Fuerza de adherencia trasera | N | 3057.6 |
| Fuerza de frenado máximo | N | 5880 |
| Desaceleración del vehículo | $\frac{m}{s^2}$ | 5.88 |
| Diámetro específico del neumático | m | 0.606 |
| Diámetro dinámico del vehículo | m | 0.5984 |
| Par de frenado necesario delantero | J(N.m) | 844.51 |
| Par de frenado necesario trasero | J(N.m) | 914.89 |
| Reparto óptimo de frenado delantero | Porcentaje | 60 |
| Reparto óptimo de frenado trasero | Porcentaje | 40 |
| Fuerza de salida en la bomba de freno | N | 835.5 |
| Presión en el circuito | MPa | 1.70206 |
| Presión generada en la bomba | MPa | 1.70206 |
| Presión en las cañerías | MPa | 1.70206 |
| Fuerza de aprieta en el cáliper delantera | N | 4043.82 |

| | | |
|---|---------|-----------|
| Fuerza de aprieta en el cáliper trasera | N | 4043.82 |
| Fuerza de ficción disco pastilla delantera | N | 3639.438 |
| Fuerza de ficción disco pastilla trasera | N | 3639.438 |
| Fuerza de frenado generado por los discos pastillas | N | 1555.7413 |
| Fuerza de frenado generado por los discos pastillas | N | 1569.0436 |
| Pares de frenado delantero | J(N.m) | 931.696 |
| Pares de frenado trasero | J(N.m) | 938.975 |
| Tiempo de frenado | Seg | 4.72 |
| Distancia de frenado | m | 65.57 |
| Desaceleración del freno regenerativo | m/s^2 | 5.88 |
| Tiempo de parada con freno regenerativo | s | 30 |
| Voltaje suministrado | v | 96 |
| Amperaje suministrado | A | 40 |

(Continua)

Fuente: Autores

En la tabla 2-5 se puede observar los resultados obtenidos analíticamente para el freno de emergencia.

Tabla 2-5: resultados freno de mano

| Calculo | Unidades | resultado |
|------------------------------------|----------|-------------|
| Fuerza del cilindro (N) | N | 12000 |
| Brazo 1 (mm) | m | 0.3 |
| Brazo 2 (mm) | m | 0.1 |
| Fuerza del brazo (N) | N | 400 |
| Área de la bomba (m) | M | 0,000490874 |
| Diámetro del cilindro principal(m) | m | 0,025 |
| Presión de la bomba (Pa) | Pa | 24446199,26 |
| Presión de la bomba (Mpa) | MPa | 24,44619926 |
| Presión en las cañerías | Mpa | 24,44619926 |
| Fuerzas de las pinzas de freno (N) | N | 58080 |
| Área del pistón de mordaza (m) | m | 0,002375829 |

Fuente: Autores

5.2. Pruebas físicas

Las pruebas físicas realizadas son las siguientes:

- Prueba 1: Prueba de tiempo y distancia de frenado
- Prueba 2: Prueba de presión en el sistema
- Prueba 3: Pruebas del sistema de freno regenerativo
- Prueba 4: Prueba recuperación regenerativa
- Prueba 5: Prueba termográfica en el disco-pastilla

5.2.1. Prueba 1: Pruebas de tiempo y distancia de frenado

Esta prueba se la realiza con el fin de obtener resultados reales del tiempo y distancia de frenado para verificar el comportamiento del sistema.

5.2.1.1. Procedimiento.

La prueba de tiempo y distancia de frenado se realiza en un circuito de 400m, en la que consiste que a distintas velocidades se aplique el freno y se observe la distancia y el tiempo en la que el vehículo se detiene:

Se sigue los siguientes pasos:

- Cargar las baterías 2 horas con 10 min por bloque.
- Utilizar las medidas adecuadas de seguridad
- Definir el lugar de ejecución de la prueba, que tenga una distancia adecuada y brinde las condiciones necesarias de seguridad.
- Acelerar el vehículo hasta alcanzar las siguientes velocidades 5, 10, 15, 20, 25 km/h
- Aplicar el freno al alcanzar cada una de las velocidades y, tomar el tiempo y la distancia en la que el vehículo se detiene.
- En total son 5 pruebas.

5.2.1.2. Materiales

- Vehículo
- Cronómetro
- Cinta métrica
- GPS para la toma de velocidades.
- Equipo de protección personal.

5.2.1.3. Condiciones de la prueba

Para conseguir que las pruebas sean exitosas, se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Revisar que el sistema de frenos este en perfectas condiciones.
- Comprobar que el líquido de freno se encuentre a nivel estándar.
- Los neumáticos deben estar bien ajustados.
- Verificar que las baterías no se encuentren haciendo contacto con tierra

5.2.1.4. Ejecución.

- Para realizar esta prueba en primera instancia se comprobó que el bloque de baterías se encuentre cargado, para que el sistema funcione tomando en consideración que las baterías se encuentren a un voltaje superior a 98V.
- Se comprobó que todo tenga las medidas de seguridad adecuadas.
- Para el circuito donde se realizaron las pruebas se inspecciono que no existan vehículos en el interior ni tampoco en movimiento, este cuenta con una distancia aproximada de 400m



Figura 1-5: Circuito de prueba

Fuente: Google maps

- El circuito se encuentra descrito por la línea amarilla en la imagen 1-5
- El vehículo se aceleró a las velocidades de 5, 10, 15, 20 y 25 km/h, para toma las velocidades se lo realizo con un GPS
- Se aplicó el freno al llegar a las velocidades correspondientes y encada una de ellas se tomó la distancia de frenado y el tiempo de frenado cronometrado



Figura 2-5: Toma de tiempo con cronometro
Fuente: Autores

5.2.1.5. Resultados

Los resultados obtenidos de acuerdo a distintas velocidades establecida en la prueba, se cronometró el tiempo de frenado y posteriormente se midió la distancia de frenado, los datos obtenidos se detallan respectivamente en la tabla 3-5:

Tabla 3-5: Datos obtenidos en la prueba de frenado

| Velocidad (km/h) | Distancia (m) | Tiempo (s) |
|------------------|----------------|------------|
| 5 | 0.5 | 2.3 |
| 10 | 1.8 | 4.2 |
| 15 | 4 | 6.1 |
| 20 | 5.9 | 7.2 |
| 25 | 6.5 | 8 |

Fuente: Autores

5.2.1.6. Discusión

Los resultados obtenidos en la prueba si cumplen con los datos obtenidos analíticamente, en lo que respecta a tiempo y distancia de frenado, esto indica que la selección de materiales utilizados fue la óptima. Todos los datos que se obtienen cumplen adecuadamente con los parámetros de diseño adoptados de los cálculos de forma analítica.



Figura 3-5: pruebas de tiempo de frenado
Fuente: autores



Figura 4-5: pruebas de distancia frenado
Fuente: Autores

5.2.2. Prueba 2: Pruebas de presión en el sistema

Esta prueba está destinada en primer lugar a verificar que en ningún punto del sistema existan fugas de líquido, así como también se verifica el estado de funcionamiento de los elementos del sistema.

5.2.2.1. Procedimiento

Para esta prueba se debe utilizar un manómetro de presión de líquido de freno con una escala PSI y Bares, unidades utilizadas para medir presión.

Los pasos a realizar son:

- Buscar el acople de 1/8 de pulgada
- Introducirlo a la salida y observar las presiones

- Realizar el procedimiento en todo el sistema, cañerías y mordazas para verificar las presiones obtenidas en las pruebas analíticas compararlas. Materiales.

5.2.2.2. *Materiales*

- Manómetro de presión
- Vehículo
- Acoples de 1/8
- Líquido de freno
- Juego de llaves mixtas

5.2.2.3. *Ejecución*

- Para poder utilizar el manómetro de presión en el sistema se utilizó el acople de 3/8 de pulgada,
- Desacoplar la cañería de la bomba principal, se utilizó el acople en la bomba y se conectó el manómetro de presión
- Se acciono el freno y se observó la cantidad que este marcaba.



Figura 5-5: Prueba de presión del sistema en la mordaza trasera
Fuente: Autores.

5.2.2.4. *Condiciones de prueba.*

- Verificar que en el sistema no exista ningún tipo de fuga.
- Comprobar que la válvula de tres vías se encuentre en la posición adecuada.

5.2.2.5. Resultados

Los resultados obtenidos en la prueba dos: presión en el sistema se detallan y se comparan con los obtenidos analíticamente en la tabla 4-5

Tabla 4-5: Tabla de resultados de presión en el sistema

| Lugar de presión | Resultado obtenido | Resultado analítico |
|--|--------------------|---------------------|
| Presión en la bomba | 1.72 MPa | 1.70206 MPa |
| Presión en la cañería | 1.72 MPa | 1.70206 MPa |
| Presión en la mordaza delantera | 1.76 MPa | 1.70206 MPa |
| Presión en la mordaza trasera | 1.76 MPa | 1.70206 MPa |
| Presión en la mordaza trasera al ejecutar el freno de mano | 2.5 MPa | 2.4 MPa |

Fuente: Autores

5.2.2.6. Discusión

Al comparar el resultado obtenido en la prueba y los calculados analíticamente se observa que existe una ligera aproximación al cálculo previo que se realizó, son variantes de funcionamiento que permiten establecer un óptimo diseño del sistema. Al momento de realizar los cálculos se lo hizo a condiciones estables, obteniendo una tolerancia en el sistema del 5%,



Figura 6-5: Prueba de presión general en la bomba

Fuente: Autores



Figura 7-5: Prueba de presión en la mordaza trasera
Fuente: Autores



Figura 8-5: Prueba de presión en la mordaza delantera
Fuente: Autores

5.2.3. Prueba 3: Pruebas del sistema de freno regenerativo

Para esta prueba, se obtendrán la visualización de las gráficas de onda de señal por fase, de esta manera se analiza el comportamiento del sistema de recarga hacia el bloque de baterías, respectivamente de las 3 fases del motor eléctrico.

5.2.3.1. Procedimiento

En primera instancia esta prueba se realiza con el vehículo en estado de vacío, se utiliza la pinza amperimétrica en escala de voltaje de 200 V, también el osciloscopio con su respectivo atenuador de escala 20:1, el software HT1008 debe estar listo en la PC portátil, así se optimiza la visualización de la señal de onda, posterior a esto se realizan los puentes de conexión desde la pinza amperimétrica con los del osciloscopio, para ello se debe hacer lo siguiente:

- Elegir el atenuador 20:1 debido a que son voltajes muy elevados y esto podría averiar el osciloscopio.

- Conectar el cable tipo lagarto de color negro del osciloscopio al borne de corriente negativa (B-), del módulo de control.
- Conectar el cable de color rojo a cada fase del motor, en este caso fueron los bornes que van desde el motor hacia el controlador.
- Analizar las señales determinadas por el osciloscopio.

5.2.3.2. *Materiales*

- Osciloscopio Hantek 100 8C
- Software HT1008 para la visualización de señal de onda.
- PC portátil para obtener y capturar la gráfica de la señal de onda
- Cables de conexión con la configuración tipo lagarto.
- Atenuador 20:1 para visualizar mejor la señal.

5.2.3.3. *Condiciones de prueba*

- Se debe considerar primordialmente las medidas de seguridad adecuadas como es la verificación de que el sistema no haga contacto con tierra.
- Se debe utilizar el atenuador 20:1 para disminuir la visualización de señal y observar de manera detallada la señal de onda de voltaje que ingresa en el osciloscopio.
- Comprobar que el software HT1008, esté en perfecta operación.

5.2.3.4. *Ejecución*

- Se conecta la pinza amperimétrica regulada para escala de voltaje de 200 V.
- Adaptar el atenuador 20:1 en cualquier canal, en este caso se conectó en el canal 6.
- Luego se conecta los cables de lectura de medición de la pinza amperimétrica hacia el osciloscopio haciendo el respectivo puente de conexión.
- Se establece la conexión del cable USB hacia la computadora.
- Adquirir el software Hantek 1008 para la visualización de señal de onda.
- Dentro del software operando se debe establecer la escala del atenuador que es de 20:1 para su visualización detallada, aquí se captura la gráfica del comportamiento de la señal de onda
- Se analiza la señal de onda de entrada al osciloscopio, el atenuador regula dicha señal para que la visualización sea más detallada, respectivamente se verifica como es la forma de señal de onda en el sistema de recarga mediante la PC portátil.

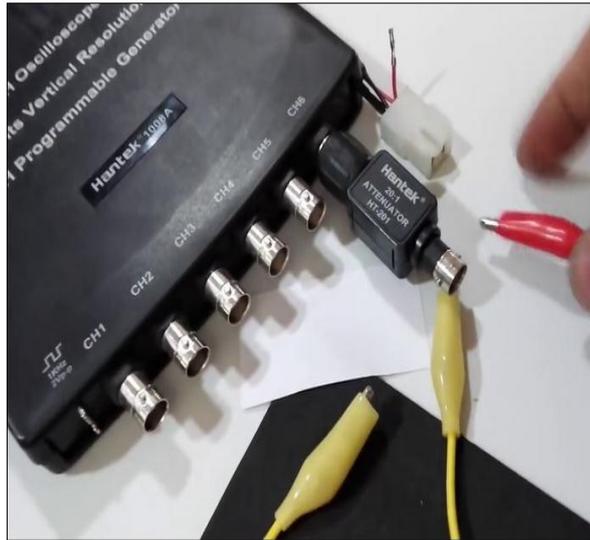


Figura 9-5: Conexión osciloscopio con atenuador
Fuente: Autores



Figura 10-5: Conexión de visualización de señal de onda
Fuente: Autores



Figura 11-5: Señal de onda de freno regenerativo al vacío
Fuente: Autores

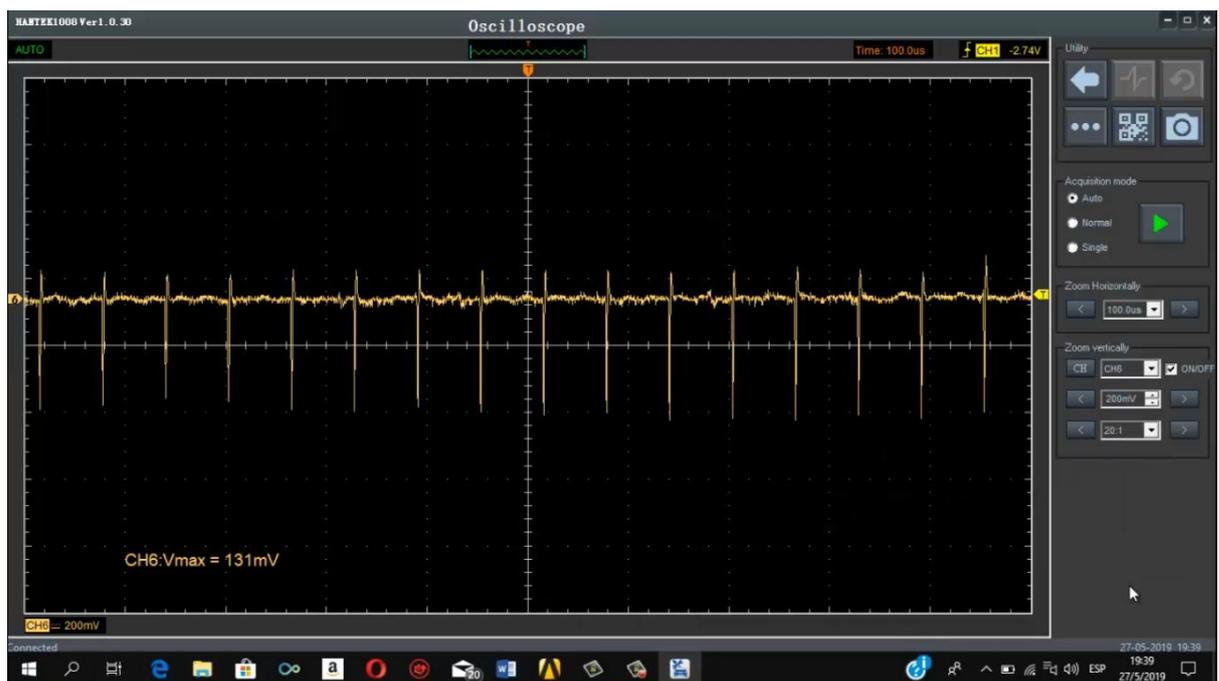


Figura 12-5: Voltaje de regeneración en la primera fase
Fuente: Autores



Figura 13-5: Voltaje regenerativo en la segunda fase
Fuente: Autores



Figura 14-5: Voltaje regenerativo en la tercera fase
Fuente: Autores

5.2.3.5. Resultado.

Los resultados obtenidos en estas pruebas fueron de dos tipos los primeros obtenidos mediante el cable de conexión módulo de control-computadora y el obtenido mediante el osciloscopio. Para el porcentaje de carga de la prueba realizada, se hizo el promedio de las tres fases de alimentación dando como resultado 101.43 V, posteriormente se hizo el promedio de voltaje de regeneración de las 3 fases que resultó de 193 V, mediante regla de 3 se obtuvo el porcentaje regenerativo de 47.44%.

Tabla 5-5: Carga de voltajes por fase y a distintas RPM

| RPM | N° de fase | Voltaje de alimentación | Voltaje de regeneración |
|------|------------|-------------------------|-------------------------|
| 3868 | Fase 1 | 99.6 | 115 |
| 4010 | Fase 2 | 95.7 | 176 |
| 3873 | Fase 3 | 105 | 172 |

Fuente: Autores

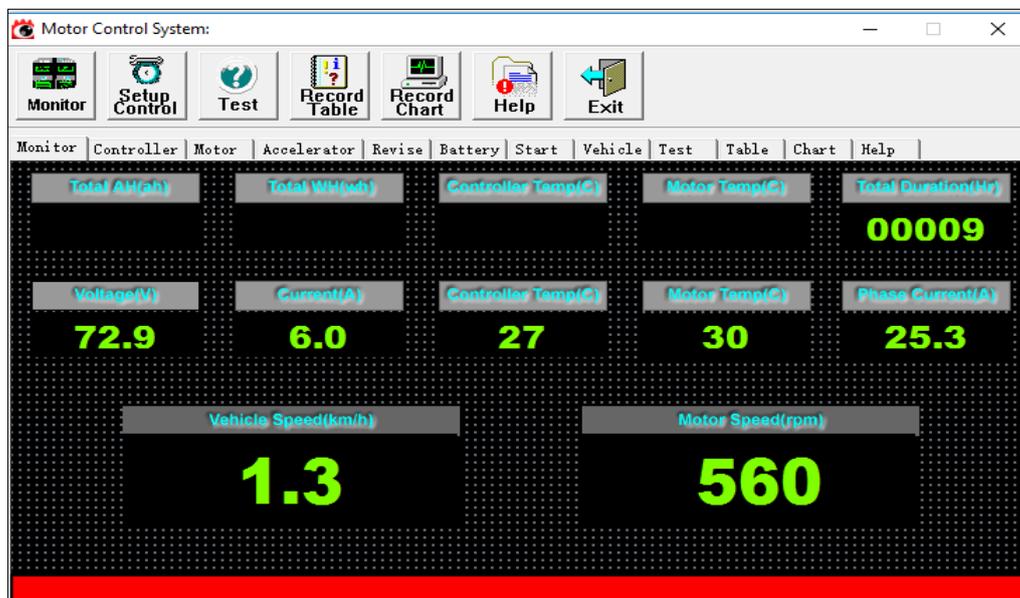


Figura 15-5: Datos de la ECU

Fuente: Autores

Las curvas obtenidas mediante el módulo de control de carga y descarga de las baterías fueron las siguientes:

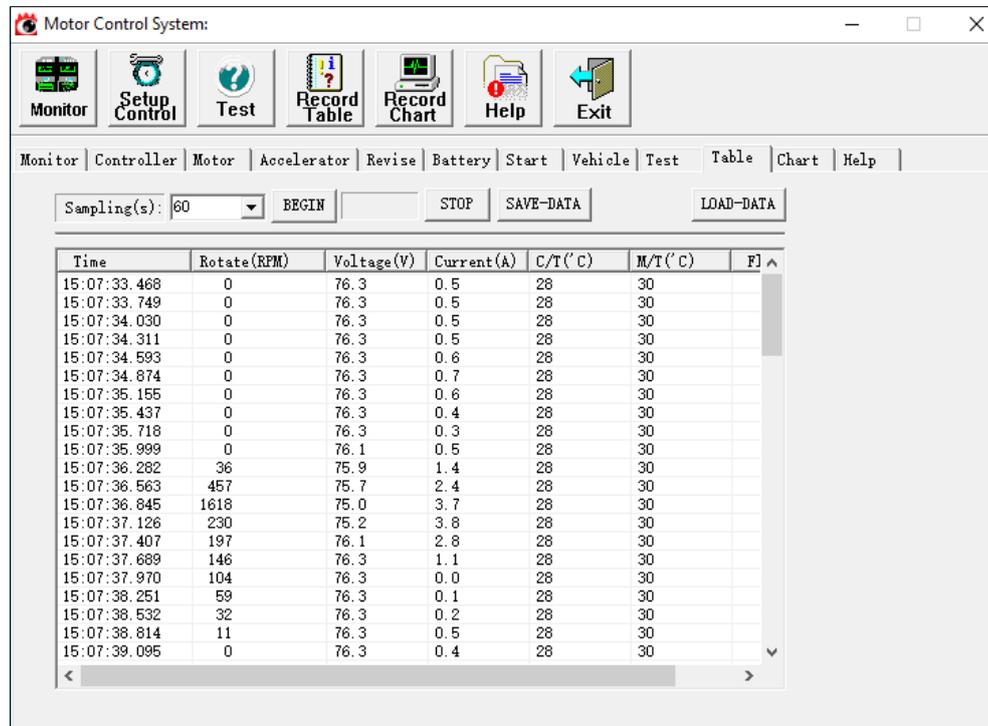


Figura 16-5: Resultados obtenidos por la ECU
Fuente: Autores

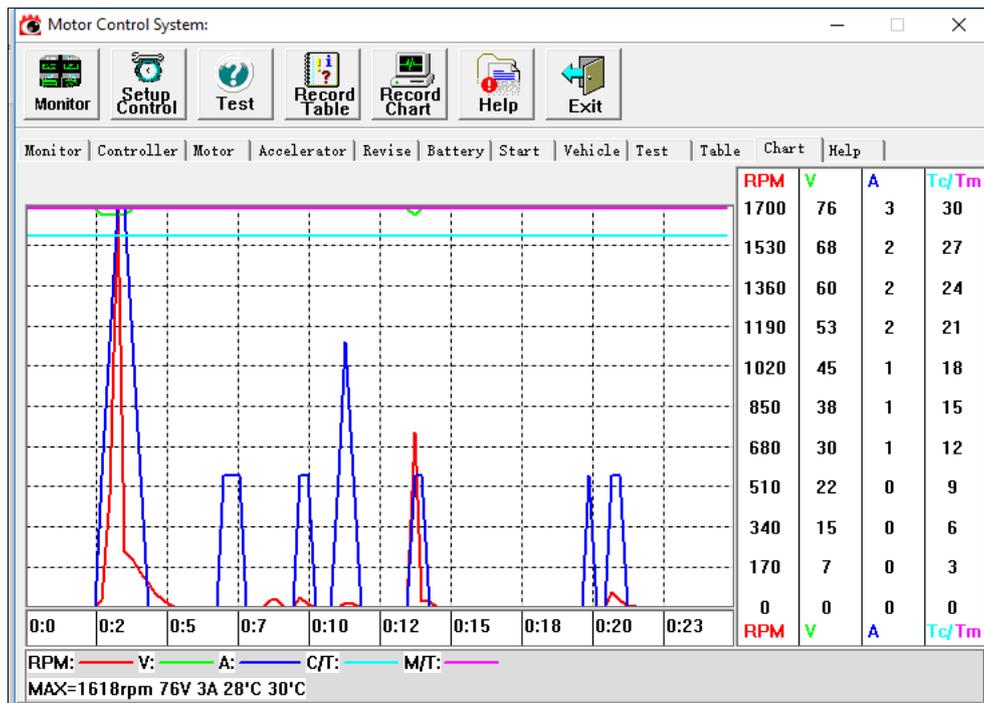


Figura 17-5: Curvas de consumo arrojadas por la ECU
Fuente: Autores

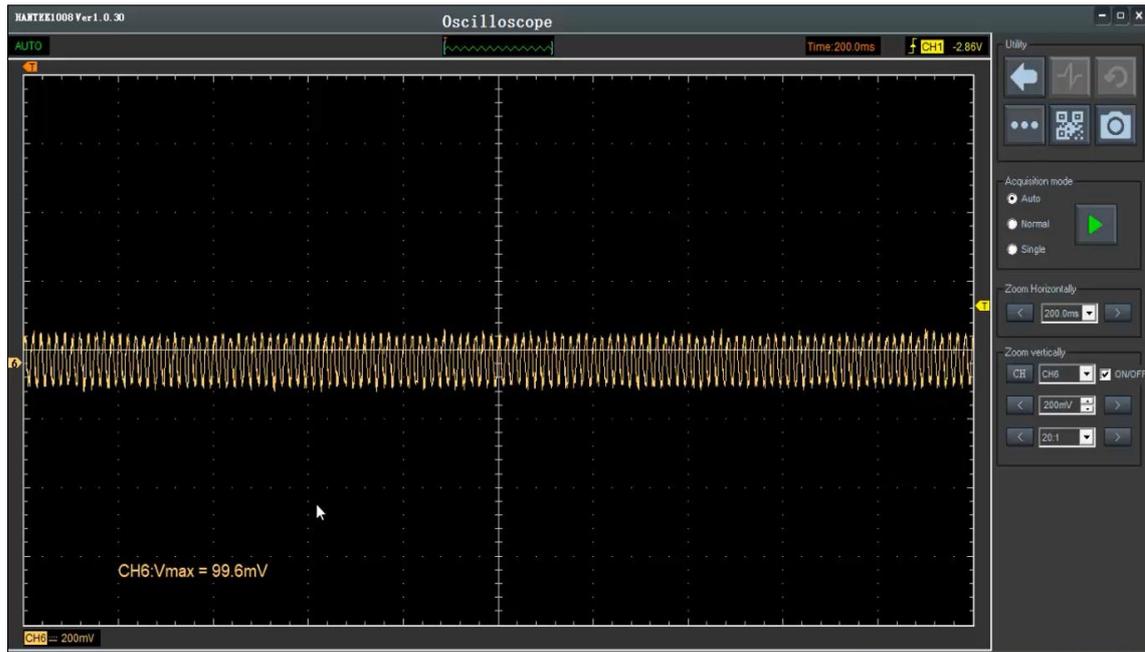


Figura 18-5: Voltaje de alimentación en la fase 1
Fuente: Autores

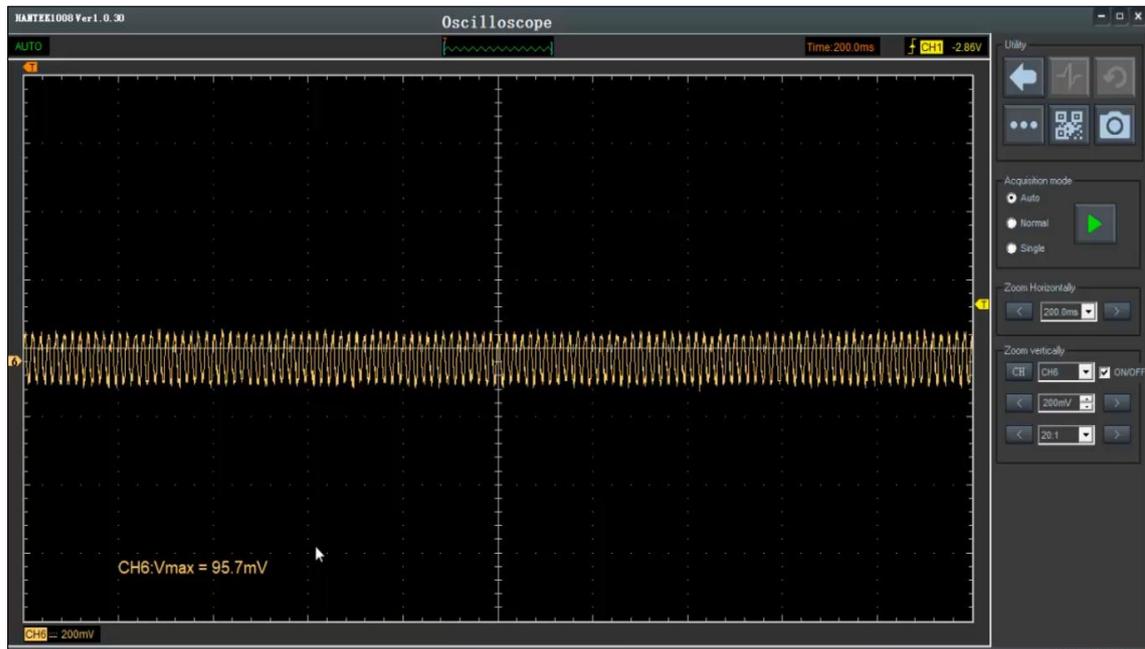


Figura 19-5: Voltaje de alimentación en la segunda fase
Fuente: Autores

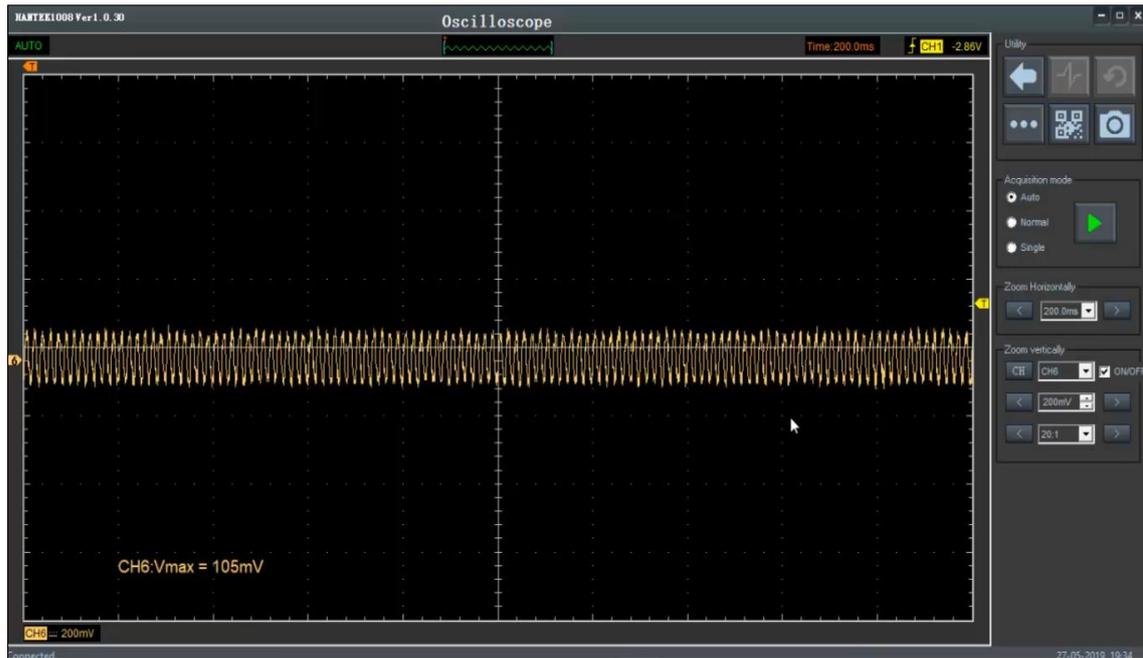


Figura 20-5: Voltaje de alimentación en la tercera fase
Fuente: Autores

5.2.3.6. *Discusión*

En dicho gráfico se visualizan las condiciones iniciales en las que se encuentra todo el funcionamiento de todo el sistema, se visualiza el voltaje de baterías, además en el grafico 11-5 se observa las velocidades del motor en rpm, el consumo requerido para el motor eléctrico y módulo de control. En la toma de datos de la imagen 12-5 se aprecia la señal de alimentación que van desde las baterías hasta la primera fase del motor eléctrico con un voltaje estimado 99.6 V, dicha configuración de escala está en mV, de esta manera la señal de onda se visualiza de forma perfecta.

5.2.4. *Prueba 4: Prueba recuperación regenerativa*

5.2.4.1. *Procedimiento*

El vehículo debe alcanzar la velocidad de 20Km/H, para comprobar la autonomía del sistema regenerativo a un circuito de 400 m, se toma medición del tiempo, y de la distancia recorrida así se determinará el tiempo y distancia de aporte en la autonomía del sistema de freno de recuperación de energía

5.2.4.2. *Materiales*

- Vehículo en perfectas condiciones (ajuste de los neumáticos).
- GPS para la velocidad del vehículo.
- Cronometro para el tiempo.
- Cinta métrica.

5.2.4.3. *Condiciones de la prueba*

- Se debe estar con sus respectivas normas de seguridad.
- Comprobar que las baterías estén totalmente cargadas.
- Revisar el ajuste mecánico de los neumáticos.

5.2.4.4. *Ejecución*

- Partiremos desde el inicio del circuito de 400m sin dar accionamiento para llegar a este punto.
- Se alcanza la velocidad de 20 Km/h, y empezaremos a pisar el pedal de freno y soltar constantemente hasta que se detenga el vehículo en los 700 m.
- Usar el primer paquete de baterías sin utilizar el freno regenerativo tomar la distancia y el tiempo en que las baterías se desgasten
- Usar el segundo paquete de baterías usando el freno regenerativo, realizar el mismo procedimiento anterior.
- Luego comprobaremos cuanto es el recorrido de aporte en el mismo circuito.



Figura 21-5: Carga de baterías

Fuente: Autores



Figura 22-5: Circuito de prueba

Fuente: Autores



Figura 23-5: Medición distancia de aporte

Fuente: Autores

5.2.4.5. *Resultados*

Tabla 6-5: Tabla de resultados de los 2 paquetes de baterías

| No de paquete | Velocidad (Km/h) | Tiempo(s) | Distancia(m) |
|---------------|------------------|--------------|--------------|
| 1 | 20 | 5 min | 700 m |
| 2 | 20 | 5 min 12 seg | 706 m |

Fuente: Autores

Tabla 7-5: Resultado obtenido en la prueba

| Velocidad (Km/h) | Tiempo(s) | Distancia(m) | % aporte autonomía |
|------------------|-----------|--------------|--------------------|
| 20 | 12 | 6 | 4 |

Fuente: Autores

5.2.4.6. *Discusión*

Al momento de comprobar el sistema de regeneración para el aporte en la autonomía, se verificó un consumo de 20 A en velocidad, mientras que al inicio el consumo es de 90 A debido a que el motor eléctrico debe vencer la inercia del vehículo, por eso se debe tener las baterías totalmente cargadas.

5.2.5. *Prueba 5: Prueba termográfica en el disco-pastilla*

5.2.5.1. *Procedimiento*

Se hará funcionar el vehículo a la velocidad máxima alcanzable por el motor eléctrico que es de 4010 rpm, el vehículo se acelera y se frena durante 10 minutos, así se observará el análisis termográfico. Para ello se utiliza la cámara termográfica apuntando hacia los elementos de funcionamiento disco-pastilla de freno, se visualiza la imagen térmica a partir de la distancia de 1 m, la resolución de la cámara termográfica es la clave ideal para que sea visible la imagen térmica del disco-pastilla de freno y se verifique el comportamiento del flujo térmico.

5.2.5.2. *Materiales*

- Cámara termográfica SATIR HOT FIND-VR.
- Vehículo para la prueba.
- Líquido de freno al nivel.

5.2.5.3. *Condiciones de la prueba*

- Se debe tener en cuenta que no exista demasiada humedad.
- Ajustar la cámara termográfica a una distancia prudente de 1m.
- Se debe tener en cuenta la temperatura ambiente en la cámara termográfica.
- Vehículo debe estar en vacío.

5.2.5.4. Ejecución

- El vehículo debe estar en vacío (embancado), para la toma de dato en temperatura ambiente.
- Posteriormente se apunta a la parte donde se realiza el funcionamiento de los elementos, en este caso disco-pastilla, con la debida distancia de visualización que es de 1m, adquiriendo la lectura térmica correcta respectiva, como se observa en la figura 22-5.
- Para la captura térmica de esta prueba, el vehículo debe entrar en funcionamiento, debido a la autonomía del vehículo se acelera hasta su máxima velocidad de 4010 rpm y se acciona el sistema de frenos hasta que se detenga, durante el transcurso de 10 minutos aproximadamente, de esta forma se obtendrá las gráficas térmicas de las temperaturas de trabajo y se verificara el comportamiento del flujo térmico.

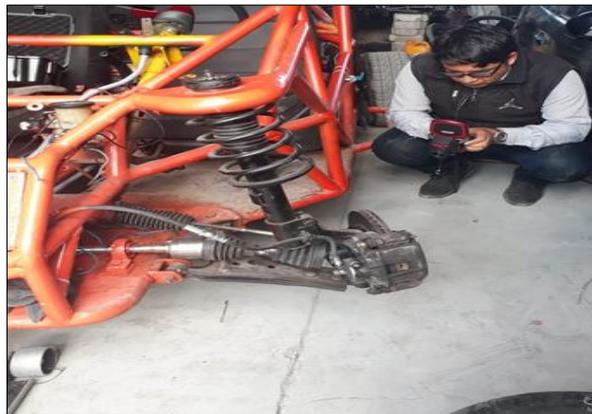


Figura 24-5: prueba termográfica inicial

Fuente: Autores

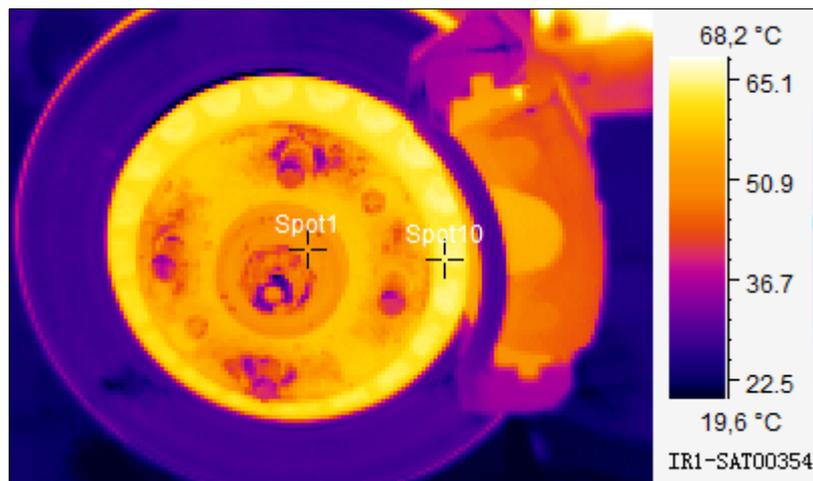


Figura 25-5: Prueba termográfica disco parte delantera

Fuente: Autores

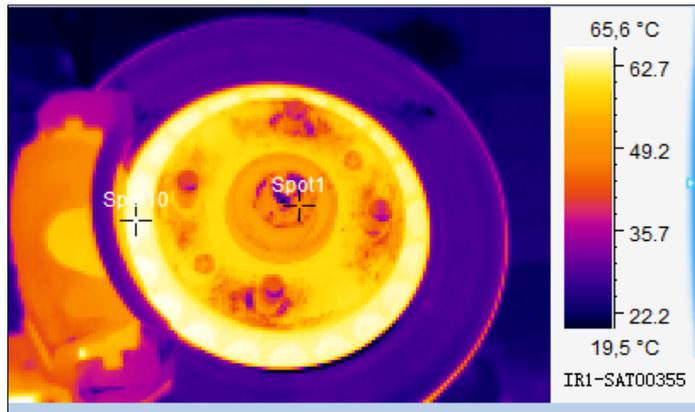


Figura 26-5: Prueba termográfica disco parte posterior
Fuente: Autores

5.2.5.5. Resultados

En esta prueba se observó el funcionamiento térmico del sistema de frenos disco-pastilla con los parámetros de entrada en la cámara termográfica, en primera instancia se tomó la temperatura ambiente en Riobamba que es de 20°C, luego se detallan los datos de lectura en la siguiente tabla;

Tabla 8-5: Resultados de prueba termográfica

| Orden | RPM | Temperatura mínima (°C) | Temperatura máxima (°C) |
|-----------------|------|-------------------------|-------------------------|
| Parte delantera | 4010 | 19.6 | 68.2 |
| Parte posterior | 4010 | 19.5 | 65.6 |

Fuente: Autores

5.2.5.6. Discusión

En la prueba se obtuvo una pequeña disminución de temperatura en el disco-pastilla en la parte posterior, esto hace referencia al efecto de transferencia de masa, la fuerza de frenado aumenta por este efecto.

La fricción generada en el disco-pastilla va aumentar y por esto incrementa o disminuye la temperatura dependiendo si está en una pendiente de subida o de bajada.

Se aclara también que se omiten factores como resistencia a la fluidez, esto con el fin de obtener un mejor diseño en el sistema de freno.

5.2 Costos

Los valores adquiridos en la siguiente tabla fueron los precios establecidos en el mercado actual de nuestra ciudad.

Tabla 9-5: Costos

| Cantidad | Material | Costo Unitario | Costo total |
|-----------------|---------------------------------|-----------------------|--------------------|
| 1 | Motor eléctrico | 1250.00 | 1250.00 |
| 1 | Convertor/ECU | 600.00 | 600.00 |
| 1 | Pedal de freno | 30.00 | 30.00 |
| 2 | Discos de freno Chevrolet Aveo | 20.00 | 40.00 |
| 2 | Discos de freno Chevrolet Optra | 25.00 | 50.00 |
| 8 | Pastillas | 4.00 | 32.00 |
| 4 | Mordaza o cáliper | 80.00 | 320.00 |
| 1 | Líquido de freno | 6.00 | 6.00 |
| 10m | Cañerías | 3.00 | 30.00 |
| 12 | Neplos | 1.00 | 12.00 |
| 2 | Uniones en “T” | 2.00 | 4.00 |
| 4 | Mangueras hidráulicas | 12.00 | 48.00 |
| 1 | Bomba de freno | 40.00 | 40.00 |
| 3 | Baterías | 600.00 | 1800 |
| 1 | Cargador de baterías | 300.00 | 300.00 |
| 1 | Válvula de 3 vías | 30.00 | 30.00 |
| 1 | Palanca de freno de mano | 30.00 | 30.00 |
| | Otros | 50.00 | 50.00 |
| Total | | | 3809.00 |

Fuente: Autores

5.3. Costos indirectos

Se detallan a continuación;

Tabla 10-5: Costos indirectos

| Detalle | Precio Total. [USD] |
|----------------------|----------------------------|
| Mano de obra | 100 |
| Costo de importación | 200 |
| Transporte | 150 |
| Impresiones | 100 |
| Empastados | 10 |
| TOTAL | 560 |

Fuente: Autores

5.4. Costos totales

Tabla 11-5: Costos Totales

| ITEM | TOTAL |
|--------------------------|--------------|
| Costos directos. | 3459 |
| Costos Indirectos | 560 |
| total | 4369 |

Fuente: Autores

CAPÍTULO VI

6.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.1 Conclusiones

Los resultados obtenidos en la prueba 1: distancia y tiempo de frenado demuestran que las distancias no sobrepasan las propuestas analíticamente, los resultados de distancia de frenado en 5, 10, 15, 20, 25 km/h fueron: 0.5m, 1.8m, 4m, 5.9m, 6.5 m respectivamente.

La selección del sistema de frenos se lo realizó mediante cálculos, las máximas cargas aplicadas fueron 2818,327273N en la parte delantera y 788,0727273N en la parte trasera esto debido a que tiene una distribución de peso 60% a 40%, la presión máxima generada en la bomba es 1.75Mpa, con esto llegamos a la conclusión que los diámetros adecuados para el funcionamiento en los discos de freno son 256mm para el eje delantero y 258mm para el eje trasero

Al realizar la prueba número 4, al realizar la prueba con el primer paquete se obtuvo que las baterías duraron 5 min de funcionamiento, con una distancia de 700m. El segundo paquete los resultados fueron 5 min con 12 seg con una distancia de 6 m, dando como resultado que el porcentaje de carga es del 4%.

Para el uso de freno de mano o freno de emergencia se acopló otra bomba la cual genera una presión de 2.44 Mpa o bien 24.4 bares, una válvula de 3 vías la cual se acciona únicamente al momento de que el vehículo se encuentre en estado de parqueo. Para la selección de esta bomba se utilizó el diámetro 0.025m, adecuada para que realice su función correspondiente.

En la prueba termográfica, se comprobó que; con la respectiva distancia de visualización correspondiente a 1m, las temperaturas que alcanzaron los discos y pastillas fueron 68.2°C en la parte delantera, y 65.6°C en la parte posterior y, se observó de manera satisfactoria que el flujo térmico se dirige hacia el centro del disco

6.1.2 Recomendaciones

- Obtener un buen diseño en base a la bibliografía adquirida, y dentro de los parámetros establecidas por las distintas normas de diseño y selección de materiales.
- Asegurar que dentro del interior del sistema no exista ninguna clase de burbujas de aire o cualquier sustancia que no sea líquido de freno, ya que esto puede hacer que el sistema falle u otras circunstancias, afectar a los componentes del sistema.
- Al momento de manipular las baterías, hacerlo con extrema precaución, sin tener objetos metálicos como anillos o cadenas, que puedan hacer tierra con el sistema. Teniendo en cuenta que las baterías trabajan con altos voltajes y amperajes que ocasionarían consecuencias catastróficas.
- Al momento de obtener las señales en el sistema de freno de respaldo por medio del osciloscopio, se debe tener en cuenta que se trabaja con voltajes elevados y para ellos se debe contar con un atenuador normalmente con una escala 20 a 1, para evitar daños en el osciloscopio y obtener una buena señal
- Para evitar descargas de corriente al momento de manipular cables del módulo de control o del motor se debe tener en cuenta en bajar el switch de alimentación de energía.
- Al momento de accionar el freno mano, verificar que la válvula doble vía se encuentre en el lugar adecuado, por lo contrario, el freno de estacionamiento no cumplirá su función.
- Regular correctamente la cámara termográfica para obtener datos reales y adquirir una excelente imagen de visualización para analizar como es el comportamiento térmico de los elementos que en este caso son el disco-pastilla tanto delantero como posterior.

CAPITULO VII

BIBLIOGRAFIA

ALONZO, José Manuel. *sistemas de transmision y frenado*. 1ª. ed. .Madrid-España. Paraninfo, 2003. ISBN 8497320344. pp.

Borja, Jaime, et al. *Sistema de transmisión y frenado*. primera edicion. Madrid-España : Macmillan. 2009. ISBN 978-84-7942-410-7.

BORJA, Jaime et al. *Sistema de Transmisión y Frenado*. Madrid-España: Macmillan Iberia, S.A. 2000. ISBN9788479429706. pp 265

CASADO, Eduardo, et al. *Sistema de transmisión y frenado*. segunda edicion. Madrid-España: Paraninfo, SA. 2011. ISBN 978-9732-059-7.

CHAPMAN, Stephen J. *Maquinas electricas*. Quinta ed. Mexico D.F-Mexico. : Mc Graw Hill. 2012. ISBN9786071507242.

COSTAS, Javier. 2009. *Historia de coche hibrido* [blog] Motorpasion. ESpaña 25 de Junio 2009. [Consulta: 24 de Noviembre de 2018.]. Disponible en: <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/historia-del-coche-hibrido-los-pioneros>.

MENCHACA TORRE, ed al. "Desempeño de un vehículo híbrido y su contraparte de combustión interna" *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 2ª. ed., Vol. 29, (2013), (Distrito Federal, México) , redalyc, págs. 219-230. ISSN 0188-4999.

DI RADO, Gustavo, et al. 2013. Asociación Argentina de Mecánica Computacional. [en linea], 2013. (Argentina) 32(1) págs. 2333-2362 [Consulta: 27 de Noviembre 2018.] Disponible en : <https://cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/viewFile/4490/4420>.

GUILLESPIE, thomas. *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Troy : SAE International. 1992. ISBN 1560911999.

GUITIAN, MANUEL ARIAS-PAZ. *Manual de automoviles*. 55va Ed. Madrid-España : Dossat. 2004. ISBN 84-89656-58-4.

HLAGUERO. 2010. SCRIBD. [En línea] 29 de Mayo 2010. [Consulta: 18 de Noviembre 2018.] Disponible en : <https://es.scribd.com/doc/32173945/S11-Ruedas>.

HUGH, D, et al. *Física Universitaria*. decimo segunda edicion. Mexico Pearson education. 2009. ISBN 978607442288

IZQUIERDO, et al. *Teoría de los Vehículos Automoviles*. Madrid-España : Universidad Politécnica De Madrid. 2001. ISBN 8474841461. pp 202-306

JGIORGE. 2008. *Cálculo radio nominal*. [En línea]. 2008. [Consulta: 28 de Noviembre 2018.] Disponible en : <https://es.scribd.com/doc/2817991/Llantas>.

KINDLER, H ; & KYNAST, H. *Matemática Aplicada para la Técnica del Automóvil*. 8va Ed. Barcelona-España : Reverté, S.A. 1986. ISBN 8429114432. pp 202-211

Golden Motor Technology Co. Golden Motor Technology Co. Ltd. *Golden Motor Technology Co. Ltd.* [En línea] 19 de febrero de 2019. [Consulta: 05 de mayo de 2019.] Disponible en : <http://www.goldenmotor.com>.

Luque, et al. *Ingeniería del Automóvil*. 1 Ed. Madrid-España : Paraninfo, SA. 2008. ISBN 9788497322829. pp 173-413

mae00a@gmail.com. Soluciones Mecanicas. [En línea]. 2009. [Consulta: 11 de Abril 2019.] Disponible en: <http://tipsautomotriz.blogspot.com/2012/06/1a-pinza-de-freno.html>.

Martínez ; & José María López. *Vehículos híbridos y eléctricos*. Madrid-España : Dextra Editorial S.I. 2015. ISBN 9788416277421. pp 51-135

motor, golden. *Motor HPC*. [En línea] 2018. [Consulta: 04 de Junio 2019.] Disponible en : <https://www.goldenmotor.com>.

OROVIO, Manuel. *Tecnología del Automóvil*. [En línea] 04 de 03 de 2005. [Consulta el: 17 de Noviembre 2018.]. Disponible en: <http://autastec.com/blog/organos-elementos/circunferencia-de-rodadura/>.

Arturo Ballester. *Concepto fundamental de vehiculos híbridos*. [En línea] 4 de junio de 2013. [Consulta: 12 Noviembre 2018.] <https://www.planap.com/blog/buggies/que-son-los-buggies>.

Repuesto, Mundo. *Caliper chevrolet aveo*. [En línea] [Consulta: 6 de Abril 2019.] Disponible en : <https://www.mundorepuesto.com/parte/caliper-de-freno-de-disco-para-chevrolet-aveochevroletaveo5-apontiac-wave-pontiac-wave5-pontiac-g3-pontiac-g3-wave-marca-ac-delco-numero-de-parte-172-2281/>.

Román, Gabriel Beltrán ; & Sánchez, Abraham Claudio. Frenado regenerativo. *revistahypatia*. [En línea]. 2016. [Consulta: 30 de Septiembre 2018.] Disponible en: https://www.revistahypatia.org/~revistah/index.php?option=com_content&view=article&id=38&Itemid=147. 2007 - 473515813.

SNOWCORN. *Ficha tecnica de neumaticos*. [En línea]. 2009. [Consulta: 28 de noviembre de 2018.]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/21731034/Manual-de-informacion-tecnica-de-neumaticos>. pp 6-7

VARGAS, Diego Alejandro. *Configuración de los vehículos híbridos*. [En línea]. [Consulta: 26 de Noviembre 2018.]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/187322432/COMPONENTES-DE-LOS-VEHICULOS-HIBRIDOS>.

