



# **ESPE**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

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

**TEMA: ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE FRENOS EN  
DIFERENTES CONDICIONES DE USO EN UN AUTOMOVIL SEDAN  
ELECTRICO BYD E5 300.**

**AUTOR: MEDINA MOREJÓN, JHOSEP ADRIÁN**

**DIRECTOR: ING. CEVALLOS CARVAJAL, ALEX SANTIAGO**

**LATACUNGA**

**2020**



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

### CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE FRENOS EN DIFERENTES CONDICIONES DE USO EN UN AUTOMOVIL SEDAN ELECTRICO BYD E5 300**” fue realizado por el señor **MEDINA MOREJÓN, JHOSEP ADRIÁN** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 13 de enero del 2020

Firma manuscrita en tinta azul del Ing. Cevallos Carvajal Alex Santiago.

**DIRECTOR**

**Ing. Cevallos Carvajal Alex Santiago**

C.C.: 0502530447



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

### *AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD*

Yo, **Medina Morejón, Jhosep Adrián**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE FRENOS EN DIFERENTES CONDICIONES DE USO EN UN AUTOMOVIL SEDAN ELECTRICO BYD E5 300”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

**Latacunga, 13 de enero del 2020**

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir 'Jhosep Adrián Medina Morejón'. La firma está sobre una línea punteada horizontal.

**Medina Morejón, Jhosep Adrián**

C.C.:172618347-6



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

### *AUTORIZACIÓN*

Yo, **Medina Morejón, Jhosep Adrián**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE FRENOS EN DIFERENTES CONDICIONES DE USO EN UN AUTOMOVIL SEDAN ELECTRICO BYD E5 300”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 13 de enero del 2020

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jhosep Adrián Medina Morejón', written over a horizontal dotted line.

**Medina Morejón, Jhosep Adrián**

C.C.:172618347-6

## **DEDICATORIA**

A quienes nunca permitieron que me rindiera, quienes fueron pilares fundamentales durante esta y todas las etapas de mi vida, el mérito es suyo por siempre estar presentes.

A todos ustedes familia.

A mi madre por no haberme dejado solo ni un solo segundo solo, por ser mi inspiración y fuerza en todo momento al motivarme y presionarme cada día por dar el máximo aun sin entender lo que hago recordándome que nada es imposible.

J. ADRIÁN MEDINA M.

## AGRADECIMIENTO

A mi madre María Antonieta porque no hay palabras para agradecerte todo lo q haces por mí, por toda la paciencia que siempre me has tenido y por haberme reprendido y corregido ya que gracias a eso es que hoy estoy aquí, por levantarme en todo momento por exigirme cada día ser mejor que el anterior y por apoyarme en cada locura q eh hecho, gracias hermosa sin ti no soy nada.

A mis hermanos Javier y Bernardo por siempre haberme ayudado, por aconsejarme y regañar para que pueda aprender de sus experiencias, por guiarme en cada paso.

A mi padre Fausto que a tu forma siempre supiste guiarme para ser un hombre de bien, y enseñarme las prioridades de la vida.

A todos mis amigos que han estado y hecho que esta etapa de la vida sea un poco mas divertida, que las desveladas de estudio sean más llevaderas, gracias animalitos.

J. ADRIÁN MEDINA M.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

## CARÁTULA

|                                 |      |
|---------------------------------|------|
| CERTIFICACIÓN .....             | i    |
| AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD..... | ii   |
| AUTORIZACIÓN .....              | iii  |
| DEDICATORIA.....                | iv   |
| AGRADECIMIENTO .....            | v    |
| ÍNDICE DE TABLAS.....           | x    |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....         | xiii |
| ÍNDICE DE ECUACIONES.....       | xvii |
| RESUMEN.....                    | xix  |
| ABSTRACT.....                   | xx   |

## CAPÍTULO I

### MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

|   |   |
|---|---|
| 1.1. Antecedentes investigativos .....              | 1 |
| 1.2. Planteamiento del problema .....               | 3 |
| 1.3. Descripción resumida de la investigación ..... | 4 |
| 1.4. Justificación e importancia .....              | 5 |

|        |                                      |    |
|--------|--------------------------------------|----|
| 1.5.   | Objetivos.....                       | 6  |
| 1.5.1. | Objetivo general.....                | 6  |
| 1.5.2. | Objetivos específicos.....           | 6  |
| 1.6.   | Metas.....                           | 7  |
| 1.7.   | Hipótesis.....                       | 7  |
| 1.8.   | Variables de investigación.....      | 8  |
| 1.8.1. | Variable independiente.....          | 8  |
| 1.8.2. | Variable dependiente.....            | 8  |
| 1.9.   | Metodología de la investigación..... | 9  |
| 1.9.1. | Método de observación directa.....   | 9  |
| 1.9.2. | Método inductivo.....                | 9  |
| 1.9.3. | Método deductivo.....                | 10 |
| 1.9.4. | Método experimental.....             | 10 |
| 1.9.5. | Método de análisis de contenido..... | 10 |
| 1.9.6. | Método analítico.....                | 11 |
| 1.9.7. | Método sintético.....                | 11 |

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

|      |                           |    |
|------|---------------------------|----|
| 2.1. | Vehículos Eléctricos..... | 15 |
|------|---------------------------|----|

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 2.1.1. | Partes que componen un coche eléctrico .....            | 15 |
| 2.1.2. | Energía .....   | 16 |
| 2.1.3. | Consumo. ....   | 17 |
| 2.2.   | Automóvil BYD E5 300 .....                              | 22 |
| 2.2.1. | Características del vehículo eléctrico BYD E5 300 ..... | 23 |
| 2.2.2. | Ficha técnica del automóvil eléctrico E5 300 .....      | 23 |
| 2.3.   | Sistema de frenos de disco.....                         | 24 |
| 2.3.1. | Funcionamiento de los frenos .....                      | 26 |
| 2.3.2. | Partes del sistema de frenos de disco .....             | 27 |
| 2.4.   | Parámetros de frenado .....                             | 32 |
| 2.4.1. | Superficies de contacto.....                            | 32 |
| 2.4.2. | Energía disipada por el sistema de frenos.....          | 33 |
| 2.4.3. | Fuerza de factor de roce sobre las pastillas .....      | 34 |
| 2.4.4. | Longitud de frenado .....                               | 34 |
| 2.4.5. | Tiempo de frenado.....                                  | 35 |
| 2.4.6. | Desaceleración del vehículo .....                       | 35 |
| 2.4.7. | Velocidades de frenado .....                            | 36 |
| 2.4.8. | Temperatura de un disco de freno .....                  | 37 |
| 2.4.9. | Esfuerzo cortante debido al par de freno .....          | 39 |

|   |    |
|---|----|
| 2.4.10. Par de rozamiento del disco de freno .....                                | 39 |
| 2.4.11. Potencia de fricción.....   | 41 |
| 2.4.12. Relación de diámetros para la fuerza de fricción del disco de freno ..... | 41 |
| 2.5. Freno regenerativo.....  | 42 |
| 2.5.1. Motor eléctrico .....  | 42 |
| 2.5.2. Generador.....   | 43 |
| 2.5.3. Freno regenerativo en motor de magneto permanente (sin escobillas) .....   | 44 |
| 2.6. Neumáticos.....  | 44 |
| 2.6.1. Materiales de composición de neumáticos .....                              | 45 |
| 2.6.2. Fabricación del neumático .....  | 46 |
| 2.6.3. Partes del neumático .....   | 48 |
| 2.6.4. Información técnica del neumático.....                                     | 49 |
| 2.6.5. Dimensiones de los neumáticos .....  | 50 |
| 2.6.11. Tip de inflado .....  | 54 |
| 2.6.12. Selección adecuada del neumático. ....                                    | 54 |
| 2.6.13. Comportamiento dinámico del neumático.....                                | 56 |
| 2.6.14. Mecanismo de fricción neumático-carretera .....                           | 58 |
| 2.6.15. Causas de deterioro de los neumáticos.....                                | 62 |
| 2.7. Distribución del esfuerzo durante el frenado.....                            | 65 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 2.7.1. | Cálculo del centro de gravedad de un vehículo .....                          | 65 |
| 2.7.2. | Análisis de carga en un vehículo .....                                       | 66 |
| 2.7.3. | Cinemática de frenado de un vehículo.....                                    | 68 |
| 2.8.   | Ensayos para determinar propiedades mecánicas en las pastillas de freno..... | 68 |
| 2.8.1. | Norma NTE INEN-ISO 6311 .....  | 68 |
| 2.8.2. | Norma NTE INEN-ISO 6310 .....  | 69 |

### **CAPÍTULO III**

#### **MODELADO, SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE FRENOS Y MEDICIONES DEL DESGASTE DE NEUMÁTICOS Y PASTILLAS**

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 3.1.   | Cálculos del sistema de frenos .....                                   | 71 |
| 3.1.1. | Cálculo térmico en disco de freno.....                                 | 71 |
| 3.1.2. | Cálculo del centro de gravedad .....                                   | 74 |
| 3.1.3. | Fuerzas y momentos que actúan durante el frenado.....                  | 75 |
| 3.1.4. | Dinámica de frenado del vehículo.....                                  | 75 |
| 3.1.5. | Eficiencia de frenado .....  | 76 |
| 3.2.   | Materiales que componen la pastilla de freno.....                      | 77 |
| 3.3.   | Simulación de los componentes del sistema de freno .....               | 78 |
| 3.3.1. | Modelado del sistema de frenos del vehículo eléctrico BYD E5 300 ..... | 78 |
| 3.4.   | Simulación de los componentes del sistema de freno .....               | 80 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 3.4.1. | Propiedades de los materiales utilizados en la simulación ..... | 80 |
| 3.4.2. | Simulación para análisis térmico del disco de freno. ....       | 81 |
| 3.4.3. | Simulación para el análisis estructural Disco-Pastilla .....    | 84 |
| 3.4.4. | Resultados de la simulación .....                               | 87 |
| 3.5.   | Medición de desgaste de neumáticos.....                         | 88 |
| 3.6.   | Toma de medidas de desgaste de pastillas.....                   | 92 |

## **CAPÍTULO IV**

### **PROTOCOLOS DE PRUEBAS Y ENSAYOS**

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 4.1.   | Introducción .....  | 94  |
| 4.2.   | Equipos.....  | 94  |
| 4.2.1. | Medidor digital de profundidad de banda de rodadura.....        | 94  |
| 4.2.2. | Termómetro infrarrojo láser .....                               | 96  |
| 4.2.3. | Manómetro de presión de neumáticos.....                         | 97  |
| 4.2.4. | Equipo para prueba de compresión .....                          | 99  |
| 4.2.5. | Máquina de ensayos universales.....                             | 100 |
| 4.2.6. | Placa de calentamiento.....                                     | 101 |
| 4.2.7. | Instrumentos para prueba de resistencia interna al corte .....  | 102 |
| 4.3.   | Ensayo de deformación por compresión en pastilla de freno. .... | 103 |
| 4.3.1. | Muestra.....  | 103 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 4.3.2. | Ciclo de ensayo .....                              | 104 |
| 4.3.3. | Ensayo a temperatura ambiente .....                | 104 |
| 4.3.4. | Ensayo de calentamiento.....                       | 105 |
| 4.3.5. | Resultados.....                                    | 107 |
| 4.4.   | Ensayo de resistencia interna al corte .....       | 109 |
| 4.4.1. | Muestra.....                                       | 109 |
| 4.4.2. | Cálculo del área de la sección transversal.....    | 110 |
| 4.4.3. | Procedimiento .....                                | 110 |
| 4.4.4. | Resultados.....                                    | 111 |
| 4.5.   | Medición de desgaste .....                         | 112 |
| 4.5.1. | Determinación de la ruta de prueba.....            | 112 |
| 4.5.2. | Designación de ocupantes en la ruta de prueba..... | 113 |
| 4.5.3. | Designación de posiciones de ocupantes.....        | 113 |
| 4.5.4. | Cálculo de carga.....                              | 114 |

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 5.1.   | Análisis del desgaste de neumáticos vs carga. .... | 115 |
| 5.1.1. | Análisis del desgaste con carga simulada .....     | 115 |
| 5.1.2. | Análisis del desgaste con carga viva .....         | 121 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 5.2.   | Análisis térmico de la simulación Disco-Pastilla .....     | 124 |
| 5.2.1. | Análisis térmico del disco de freno.....                   | 124 |
| 5.2.2. | Análisis de fricción en función de la temperatura.....     | 127 |
| 5.2.3. | Análisis térmico de la pastilla de freno.....              | 127 |
| 5.3.   | Análisis estructural de la simulación Disco-Pastilla.....  | 130 |
| A.     | Análisis de la presión en el ensamble Disco-Pastilla ..... | 130 |
| B.     | Análisis de los esfuerzos Disco-Pastilla.....              | 131 |
| 5.4.   | Análisis de resultados .....                               | 132 |
| 5.4.1. | Análisis de mediciones de neumáticos .....                 | 132 |
| 5.4.2. | Análisis de ensayos en las pastillas de frenos.....        | 133 |
| 5.4.3. | Análisis de simulación en la pastilla de freno.....        | 134 |

## **CAPÍTULO VI**

### **MARCO ADMINISTRATIVO**

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 6.1.   | Recursos.....  | 135 |
| 6.1.1. | Recursos humanos.....                                  | 135 |
| 6.1.2. | Recursos tecnológicos.....                             | 135 |
| 6.1.3. | Recursos materiales .....                              | 136 |
| 6.2.   | Análisis de costos de la investigación .....           | 136 |
| 6.2.1. | Presupuesto para materiales y equipos de medición..... | 136 |

|   |     |
|---|-----|
| 6.2.2. Costos de pruebas de laboratorio ..... | 137 |
| 6.2.3. Costo total de la investigación .....  | 138 |
| CONCLUSIONES.....                             | 139 |
| RECOMENDACIONES .....                         | 141 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....              | 143 |
| ANEXOS.....                                   | 149 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1.</b> <i>Variable independiente: Características específicas de frenos y neumáticos</i> ..... | 8  |
| <b>Tabla 2.</b> <i>Variable dependiente: Características y parámetros de desgaste</i> .....             | 8  |
| <b>Tabla 3.</b> <i>Análisis de la metodología de investigación</i> .....                                | 11 |
| <b>Tabla 4.</b> <i>Ficha técnica del automóvil eléctrico BYD E5 300</i> .....                           | 23 |
| <b>Tabla 5.</b> <i>Coeficientes de adherencia</i> .....   | 34 |
| <b>Tabla 6.</b> <i>Propiedades termo físicas del hierro fundido gris</i> .....                          | 38 |
| <b>Tabla 7.</b> <i>Factor de servicio basado en la aplicación para frenos</i> .....                     | 40 |
| <b>Tabla 8.</b> <i>Valores de coeficientes de rodadura a diferentes condiciones de superficie</i> ..... | 61 |
| <b>Tabla 9.</b> <i>Ficha técnica GITI® TOUR 900</i> .....   | 65 |
| <b>Tabla 10.</b> <i>Nomenclatura para el ensayo de resistencia interna al corte</i> .....               | 69 |
| <b>Tabla 11.</b> <i>Símbolos y unidades del ensayo de deformación por compresión</i> .....              | 70 |
| <b>Tabla 12.</b> <i>Datos para el cálculo térmico del conjunto Disco-Pastilla</i> .....                 | 72 |
| <b>Tabla 13.</b> <i>Valores de cargas y distribución de carga por eje</i> .....                         | 75 |
| <b>Tabla 14.</b> <i>Eficiencia de frenado</i> .....   | 77 |
| <b>Tabla 15.</b> <i>Componentes de la pastilla de freno</i> .....                                       | 77 |
| <b>Tabla 16.</b> <i>Componentes del sistema de frenos</i> .....   | 79 |
| <b>Tabla 17.</b> <i>Datos para el análisis térmico</i> .....  | 82 |
| <b>Tabla 18.</b> <i>Parámetros para la simulación de análisis estructural</i> .....                     | 84 |
| <b>Tabla 19.</b> <i>Primera medición de desgaste de neumáticos en la disposición (a)</i> .....          | 89 |
| <b>Tabla 20.</b> <i>Segunda medición desgaste de neumáticos en la disposición (a)</i> .....             | 89 |
| <b>Tabla 21.</b> <i>Primera medición desgaste de neumáticos en la disposición (b)</i> .....             | 90 |
| <b>Tabla 22.</b> <i>Segunda medición desgaste de neumáticos en la posición (b)</i> .....                | 91 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 23.</b> <i>Medición desgaste de neumáticos en la posición (c)</i> .....                 | 92  |
| <b>Tabla 24.</b> <i>Mediciones de las pastillas de freno</i> .....                               | 93  |
| <b>Tabla 25.</b> <i>Características del medidor de profundidad de la banda de rodadura</i> ..... | 95  |
| <b>Tabla 26.</b> <i>Partes del medidor de profundidad</i> .....                                  | 96  |
| <b>Tabla 27.</b> <i>Características del termómetro infrarrojo laser</i> .....                    | 96  |
| <b>Tabla 28.</b> <i>Partes del termómetro laser infrarrojo</i> .....                             | 97  |
| <b>Tabla 29.</b> <i>Características del manómetro digital de presión de neumáticos</i> .....     | 98  |
| <b>Tabla 30.</b> <i>Partes del manómetro</i> .....   | 98  |
| <b>Tabla 31.</b> <i>Valores muestra 1 a temperatura ambiente</i> .....                           | 107 |
| <b>Tabla 32.</b> <i>Valores muestra 1 a temperatura de calentamiento</i> .....                   | 107 |
| <b>Tabla 33.</b> <i>Valores muestra 2 a temperatura ambiente</i> .....                           | 108 |
| <b>Tabla 34.</b> <i>Valores muestra 2 a temperatura de calentamiento</i> .....                   | 108 |
| <b>Tabla 35.</b> <i>Dimensiones de las probetas NTE INEN-ISO 6311.</i> .....                     | 109 |
| <b>Tabla 36.</b> <i>Dimensiones de las probetas para el ensayo</i> .....                         | 110 |
| <b>Tabla 37.</b> <i>Resultado prueba de resistencia interna</i> .....                            | 111 |
| <b>Tabla 38.</b> <i>Ocupantes según etapa de prueba.</i> .....                                   | 114 |
| <b>Tabla 39.</b> <i>Cálculo de carga viva</i> .....  | 114 |
| <b>Tabla 40.</b> <i>Relación de ocupantes y kilometraje recorrido por etapas</i> .....           | 121 |
| <b>Tabla 41.</b> <i>Variación de la temperatura en función del tiempo</i> .....                  | 126 |
| <b>Tabla 42.</b> <i>Temperatura de la pastilla en el tiempo</i> .....                            | 128 |
| <b>Tabla 43.</b> <i>Recursos humanos</i> .....   | 135 |
| <b>Tabla 44.</b> <i>Recursos tecnológicos</i> .....  | 135 |
| <b>Tabla 45.</b> <i>Recursos materiales</i> .....  | 136 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Tabla 46.</b> <i>Presupuesto de materiales y equipos</i> ..... | 137 |
| <b>Tabla 47.</b> <i>Costos de pruebas de laboratorio</i> .....    | 137 |
| <b>Tabla 48.</b> <i>Inversión total de la investigación</i> ..... | 138 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Árbol de problemas.....  | 4  |
| <b>Figura 2.</b> Consumo de vehículos .....   | 18 |
| <b>Figura 3.</b> Rendimiento de vehículos eléctricos .....                            | 19 |
| <b>Figura 4.</b> Rendimiento eléctrico .....  | 20 |
| <b>Figura 5.</b> Automóvil eléctrico BYD modelo E5 300 .....                          | 22 |
| <b>Figura 6.</b> Sistema de frenos de disco .....                                     | 25 |
| <b>Figura 7.</b> Disco de freno.....  | 26 |
| <b>Figura 8.</b> Sistema de frenos hidráulicos de disco .....                         | 27 |
| <b>Figura 9.</b> Disco de freno no ventilado (izquierda) y ventilado (derecha) .....  | 28 |
| <b>Figura 10.</b> Pastilla de freno .....   | 29 |
| <b>Figura 11.</b> Pastilla de freno vehículo BYD E5 300, con sus características..... | 30 |
| <b>Figura 12.</b> Mordaza de disco .....  | 31 |
| <b>Figura 13.</b> Mordaza flotante .....  | 31 |
| <b>Figura 14.</b> Mordaza fija .....  | 32 |
| <b>Figura 15.</b> Contacto de la superficie del disco y la pastilla .....             | 32 |
| <b>Figura 16.</b> Campo de fuerzas magnéticas .....                                   | 43 |
| <b>Figura 17.</b> Estructura de neumáticos .....                                      | 46 |
| <b>Figura 18.</b> Gráfica de composición .....  | 46 |
| <b>Figura 19.</b> Componentes de neumáticos .....                                     | 47 |
| <b>Figura 20.</b> Partes del neumático .....  | 49 |
| <b>Figura 21.</b> Designación de neumáticos.....                                      | 50 |
| <b>Figura 22.</b> Dimensión del neumático. ....                                       | 51 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 23.</b> Valores de presión de neumáticos.....                                     | 54 |
| <b>Figura 24.</b> Dibujo del neumático PRIMACY 3.....                                       | 55 |
| <b>Figura 25.</b> Dibujo del neumático X Multi T .....                                      | 56 |
| <b>Figura 26.</b> Fuerzas en el neumático .....   | 56 |
| <b>Figura 27.</b> Sistema de referencia del neumático.....                                  | 57 |
| <b>Figura 28.</b> Resistencia a la rodadura en función de la velocidad.....                 | 60 |
| <b>Figura 29.</b> Variación de los coeficientes $f_o$ y $f_s$ en función de la presión..... | 61 |
| <b>Figura 30.</b> Diagrama para el cálculo del centro de gravedad.....                      | 65 |
| <b>Figura 31.</b> Diagrama de cuerpo libre en condición de reposo.....                      | 66 |
| <b>Figura 32.</b> Cinemática de frenado de un vehículo .....                                | 68 |
| <b>Figura 33.</b> Resultados de la cromatografía aplicada a la pastilla de freno.....       | 78 |
| <b>Figura 34.</b> Ensamble del disco con las pastillas de freno .....                       | 79 |
| <b>Figura 35.</b> Propiedades del material del disco de freno.....                          | 81 |
| <b>Figura 36.</b> Propiedades del material de la pastilla de freno. ....                    | 81 |
| <b>Figura 37.</b> Método de mallado .....   | 83 |
| <b>Figura 38.</b> Valor de temperatura inicial para la simulación .....                     | 83 |
| <b>Figura 39.</b> Coeficiente de fricción de la pastilla.....                               | 83 |
| <b>Figura 40.</b> Temperatura obtenida en la simulación.....                                | 84 |
| <b>Figura 41.</b> Ensamble y mallado para el análisis estructural Disco-Pastilla. ....      | 85 |
| <b>Figura 42.</b> Coeficiente de fricción para simulación .....                             | 86 |
| <b>Figura 43.</b> Determinación de las caras de fricción.....                               | 86 |
| <b>Figura 44.</b> Determinación de la velocidad de rotación para la simulación. ....        | 87 |
| <b>Figura 45.</b> Presión en la pastilla de freno .....                                     | 87 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 46.</b> Disposición (a) neumáticos del sedán eléctrico E5 300.....    | 88  |
| <b>Figura 47.</b> Disposición (b) neumáticos del sedán eléctrico E5 300.....    | 90  |
| <b>Figura 48.</b> Disposición (c) neumáticos del Sedan Eléctrico E5 300.....    | 92  |
| <b>Figura 49.</b> Partes del medidor de profundidad.....                        | 95  |
| <b>Figura 50.</b> Termómetro láser .....  | 97  |
| <b>Figura 51.</b> Manómetro .....   | 98  |
| <b>Figura 52.</b> Máquina de compresión .....                                   | 100 |
| <b>Figura 53.</b> Máquina universal de ensayos .....                            | 101 |
| <b>Figura 54.</b> Placa de calentamiento .....                                  | 102 |
| <b>Figura 55.</b> Accesorios ensayo resistencia al corte.....                   | 102 |
| <b>Figura 56.</b> Muestra Tipo I.....   | 103 |
| <b>Figura 57.</b> Puntos de medición de la muestra.....                         | 104 |
| <b>Figura 58.</b> Ensayo a temperatura ambiente.....                            | 105 |
| <b>Figura 59.</b> Ensayo de calentamiento .....                                 | 106 |
| <b>Figura 60.</b> Lecturas tomadas en X.....                                    | 106 |
| <b>Figura 61.</b> Probetas para el ensayo de resistencia interna al corte. .... | 110 |
| <b>Figura 62.</b> Ensayo de resistencia interna al corte .....                  | 111 |
| <b>Figura 63.</b> Recorrido del automóvil eléctrico BYD E5 300 .....            | 112 |
| <b>Figura 64.</b> Designación de posiciones de ocupantes.....                   | 113 |
| <b>Figura 65.</b> Profundidad de la escultura a los 5730 Km. ....               | 116 |
| <b>Figura 66.</b> Porcentaje de conservación y desgaste a los 5730 Km. ....     | 117 |
| <b>Figura 67.</b> Profundidad de la escultura del neumático a los 10250 km..... | 117 |
| <b>Figura 68.</b> Porcentaje de desgaste y conservación a los 10250Km. ....     | 118 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 69.</b> Profundidad de la escultura del neumático a los 20520 km.....    | 119 |
| <b>Figura 70.</b> Porcentaje de desgaste y conservación a los 20520 km. ....       | 119 |
| <b>Figura 71.</b> Profundidad de la escultura a los 25685 km.....                  | 120 |
| <b>Figura 72.</b> Porcentaje de desgaste y conservación a los 25685 km. ....       | 120 |
| <b>Figura 73.</b> Profundidad de la escultura del neumático a los 25685 Km .....   | 121 |
| <b>Figura 74.</b> Porcentaje de conservación y desgaste de neumáticos P1 y P3..... | 122 |
| <b>Figura 75.</b> Desgaste total de los neumáticos. ....                           | 123 |
| <b>Figura 76.</b> Temperatura máxima y mínima en el disco .....                    | 124 |
| <b>Figura 77.</b> Temperatura máxima y mínima en la pastilla. ....                 | 125 |
| <b>Figura 78.</b> Temperatura máxima y mínima en el sistema Disco-Pastilla. ....   | 125 |
| <b>Figura 79.</b> Gráfico temperatura vs tiempo del ensamble Disco-Pastilla.....   | 126 |
| <b>Figura 80.</b> Temperatura del sistema con factor de rozamiento de 0,325.....   | 127 |
| <b>Figura 81.</b> Mallado de la pastilla de freno .....                            | 128 |
| <b>Figura 82.</b> Gráfico temperatura vs tiempo de la pastilla de freno.....       | 129 |
| <b>Figura 83.</b> Temperatura de la pastilla de freno (frontal) .....              | 129 |
| <b>Figura 84.</b> Temperatura de la pastilla de freno (posterior) .....            | 129 |
| <b>Figura 85.</b> Presión en la pastilla de freno en la simulación .....           | 130 |
| <b>Figura 86.</b> Pastilla de freno montada en el vehiculo .....                   | 130 |
| <b>Figura 87.</b> Deformación total del ensamble Disco-Pastilla.....               | 131 |
| <b>Figura 88.</b> Deformación total en la pastilla de freno.....                   | 132 |

## ÍNDICE DE ECUACIONES

|  |    |
|--|----|
| <b>Ecuación 1.</b> Energía disipada.....                               | 33 |
| <b>Ecuación 2.</b> Fuerza de roce.....                                 | 34 |
| <b>Ecuación 3.</b> Longitud de frenado.....                            | 35 |
| <b>Ecuación 4.</b> Tiempo de frenado.....                              | 35 |
| <b>Ecuación 5.</b> Desaceleración del vehículo.....                    | 35 |
| <b>Ecuación 6.</b> Velocidad angular del disco de freno.....           | 36 |
| <b>Ecuación 7.</b> Radio del neumático.....                            | 36 |
| <b>Ecuación 8.</b> . Velocidad en función del tiempo.....              | 37 |
| <b>Ecuación 9.</b> Velocidad inicial y final del automóvil.....        | 37 |
| <b>Ecuación 10.</b> Temperatura de un disco de freno.....              | 38 |
| <b>Ecuación 11.</b> Esfuerzo cortante debido al par de freno.....      | 39 |
| <b>Ecuación 12.</b> Par de torsión.....                                | 40 |
| <b>Ecuación 13.</b> Potencia de fricción.....                          | 41 |
| <b>Ecuación 14.</b> Relación de diámetros para fuerza de fricción..... | 41 |
| <b>Ecuación 15.</b> Resistencia a la rodadura.....                     | 58 |
| <b>Ecuación 16.</b> Cálculo del coeficiente de rodadura.....           | 59 |
| <b>Ecuación 17.</b> Factor de resistencia a la rodadura.....           | 60 |
| <b>Ecuación 18.</b> Porcentaje de conservación.....                    | 62 |
| <b>Ecuación 19.</b> Porcentaje de desgaste.....                        | 62 |
| <b>Ecuación 20.</b> Cálculo del centro de gravedad.....                | 66 |
| <b>Ecuación 21.</b> Carga total estática del neumático trasero.....    | 67 |
| <b>Ecuación 22.</b> Carga total estática del neumático delantero.....  | 67 |

**Ecuación 23. Eficiencia de frenado ..... 77**

## RESUMEN

En la presente investigación se estudió y analizó el desgaste y la durabilidad del conjunto Disco-Pastilla del sistema de frenos, así como de la banda de rodadura del neumático utilizados en el vehículo eléctrico BYD E5 300 determinando cuáles son los aspectos primordiales que influyen en su desgaste. Se utilizan como fuentes de información para la recolección de datos los manuales del fabricante chino, así como las fichas técnicas de los componentes en cuestión. Se establece un circuito de pruebas de 1.2km por vuelta en el que se desarrollaran pruebas prácticas en las que el vehículo estará sometido a diferentes condiciones de trabajo, entre ellas la variación de la carga viva simulada en diferentes etapas representando el peso de los ocupantes del vehículo, del mismo modo se realizan pruebas a diferentes presiones de inflado de los neumáticos, estos datos se los tabulan para determinar la incidencia en el sistema de frenos, que será comparado con los ensayos de laboratorio siguiendo la norma NTE INEN-ISO 6310:2009, de deformación por compresión y resistencia interna al corte evaluado según los parámetros de la normativa NTE INEN-ISO 6311:2009, para posteriormente realizar un modelado CAD para el análisis en un software CAE con el fin de validar los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio con el fin de realizar la comparativa y determinar los parámetros y las zonas de mayor incidencia en el desgaste de los componentes estudiados.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **AUTOMÓVILES - NEUMATICOS**
- **AUTOMÓVILES - SISTEMA DE FRENOS**
- **SEDAN ELECTRICO BYD E5 300**

## **ABSTRACT**

In the present investigation, the wear and durability of the Disc-Brake pad assembly of the brake system, as well as the tread of the tire used in the BYD E5 300 electric vehicle were studied and analyzed, determining the main aspects that influence its wear. The Chinese manufacturer's manuals, as well as the technical data sheets of the components in question, are used as sources of information for data collection. A test circuit of 1.2km per lap is established in which practical tests will be developed in which the vehicle will be subjected to different working conditions, including the variation of the simulated live load in different stages representing the weight of the occupants of the vehicle, in the same way tests are performed at different tire inflation pressures, these data are tabulated to determine the incidence in the brake system, which will be compared with laboratory tests following the NTE INEN-ISO 6310: 2009 standard , of compression deformation and internal resistance to the cut evaluated according to the parameters of NTE INEN-ISO 6311: 2009, to subsequently perform a CAD modeling for analysis in a CAE software in order to validate the data obtained in the tests of laboratory in order to make the comparison and determine the parameters and areas of greatest incidence in the wear of the components studied allied

### **KEY WORDS:**

- **AUTOMOBILE - TIRE SCULPTURE**
- **CARS - BRAKE SYSTEM**
- **ELECTRIC CAR BYD E5 300**

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Antecedentes investigativos

En la historia de la evolución tecnológica industrial, pocos sectores han marcado una pauta comparable al del proceso del desarrollo del vehículo automóvil. Sus características han servido, no solo a la mejora de vehículos, sino también de ejemplo para distintos sectores industriales, al incluir modificaciones a los sistemas de producción industrial y al modo de entender la cadena de suministros. Ejemplo de ello es la fabricación en cadena de Ford, o el Mantenimiento Productivo Total de Toyota, basado en los innovadores métodos de calidad japoneses posteriores a 1945.

Sin embargo, la producción de vehículos no ha sido la única faceta de esta industria que ha sido pionera en el uso de modernas técnicas, sino que también, el diseño de vehículos ha ido evolucionando de manera paralela a las más altas exigencias de una sociedad cada vez más competitiva. Es por ello que nuestros abuelos jamás pudieron imaginar que algún día los vehículos podrían utilizar combustibles ecológicamente inocuos, o que un ordenador incorporado a nuestro vehículo, podría alertar y en su caso, evitar el sufrir un accidente de circulación. Es gracias a ese nivel de exigencia que el vehículo automóvil es, posiblemente el producto industrial más completo desde el punto de vista ingenieril, y el que más sometido está a continuas modificaciones e innovaciones.

Este vanguardismo en el diseño ha permitido a los ingenieros de automoción desarrollar modelos teóricos de los vehículos permitiendo un estudio independiente, pero al tiempo integral, de todos y cada uno de los componentes desde la carrocería hasta la

suspensión. Ese estudio previo del diseño ha logrado reducir mucho los costes, elevar el porcentaje de prototipos que pasan las pruebas de calidad. (Salvat Editores, 1981)

Los neumáticos fueron inventados por un escocés R.W. Thomson, quien patentó su invento en 1845. En un carruaje tirado por caballos se montó un juego de neumáticos fabricados según el proyecto de Thomson, los cuales recorrieron más de 1600 km antes de que fuera necesario sustituirlos. Sin embargo, hasta medio siglo después no se fundó una industria moderna dedicada a fabricarlos, lo cual se debió al irlandés J.B. Dunlop

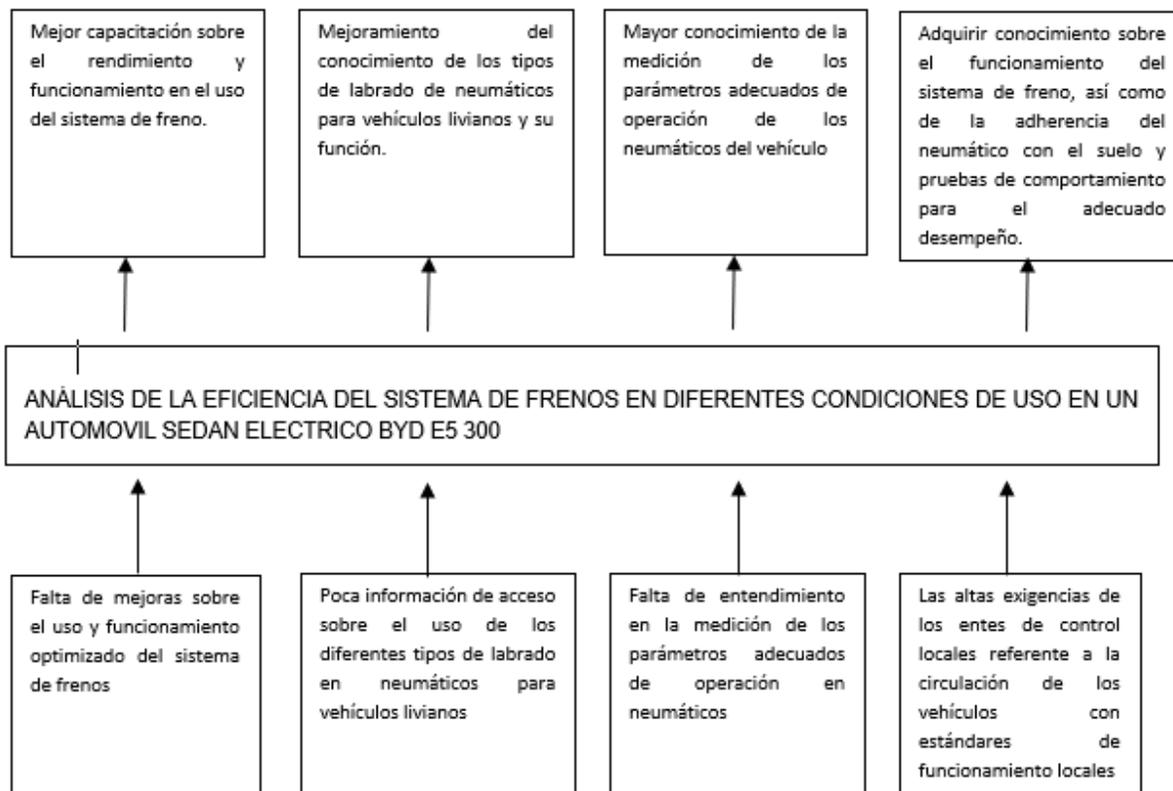
A lo largo de las últimas décadas ha cobrado gran interés el desarrollo de modelos de neumáticos que permiten modelar y predecir las fuerzas y momentos que se generan en el neumático. La mayoría de los sistemas de control propuestos para mejorar el comportamiento longitudinal del vehículo durante el frenado o la tracción y mantener la estabilidad lateral requieren modelos de neumáticos precisos que estimen el estado del vehículo. (Pacejka, 1989)

A nivel nacional se utilizan ciertas normativas técnicas para la validación de las características constructivas de los elementos que componen el sistema de frenos como lo son la norma NTE INEN-ISO 6310:2009 que es un método de ensayo en el que se comprueba la deformación por compresión en el revestimiento de las pastillas de freno y la norma NTE INEN-ISO 6311:2009 para evaluar la resistencia interna al corte de igual manera en el revestimiento de la pastilla de freno.

## 1.2. Planteamiento del problema

El conocimiento de estas fuerzas y sus peculiaridades, así como de las características diversas de los neumáticos permite una mejora en los diseños de nuevas y más fiables y seguras versiones de neumáticos que contribuyen a la necesidad general de obtener más y mejores prestaciones de los vehículos eléctricos.

(Castro G. , 2008) afirma que “La matriz de caucho más utilizada es el copolímero estireno-butadieno (SBR), en el que la proporción es de aproximadamente un 25 % en peso de estireno, o una mezcla de caucho natural y SBR. Todos los tipos de cauchos poseen diferentes propiedades, pero también con algo en común: todos, una vez vulcanizados, pueden ser muy duraderos, por lo que necesitarían una gran cantidad de tiempo para su degradación. La combinación se realiza de modo que los cauchos naturales proporcionen elasticidad y los sintéticos, estabilidad térmica. Esta combinación de efectos favorece la durabilidad y la capacidad de adaptarse a las nuevas exigencias del tránsito.”



**Figura 1.** Árbol de problemas

### 1.3. Descripción resumida de la investigación

La investigación "Análisis de la eficiencia del sistema de frenos en diferentes condiciones de uso en un automóvil sedan eléctrico BYD E5 300" se tomará en cuenta los siguientes aspectos: El inicio de esta investigación es la recopilación bibliográfica tomando en cuenta su procedencia considerando únicamente fuentes confiables como son base de datos digitales, textos, tesis, manuales, fichas técnicas y normas.

Se realizarán pruebas seleccionando un trazado de terreno con un recorrido específico en el que se tenga en cuenta las condiciones a las que un vehículo de uso cotidiano se encuentra expuesto, así como los diferentes tipos de terreno y parámetros adversos de

funcionamiento como podrán ser tipos de terreno, carga del vehículo, presión de neumáticos.

También se realizó un cálculo del porcentaje de desgaste y conservación de material de neumáticos que será verificado constantemente en base al kilometraje recorrido por el vehículo teniendo en cuenta el tipo de compuesto de los neumáticos y el tipo de labrado. Del mismo modo se considerará la eficiencia de los componentes del sistema de freno en cuanto a la durabilidad de los materiales y de los componentes del mismo.

Al final de la investigación se tabulará, analizará y comparará los resultados obtenidos según los datos generados por las diferentes pruebas y mediciones determinando cuales son los parámetros de funcionamiento ideales y cuáles son los más óptimos para el vehículo.

#### **1.4. Justificación e importancia**

El proyecto de titulación busca incrementar el estudio como también el conocimiento sobre el funcionamiento del sistema de frenado y la incidencia en la durabilidad y rendimiento de los neumáticos, para el beneficio de los estudiantes y público en general que posee o conduce diariamente un vehículo en la localidad.

Las mediciones que se van a obtener son de profundidad y espesor de los materiales de los componentes en cuestión, además de cálculos del porcentaje de conservación y desgaste, así como la eficiencia de los materiales en tiempo real según los kilómetros de trabajo, esto se lo realizará con instrumentos de medición Automotriz de precisión como son, Calibrador pie de Rey, Profundímetro, Manómetros de presión,

Termómetro laser.

Todos estos factores serán evaluados en el vehículo eléctrico debido a que la incidencia del desgaste debe ser menor en los componentes del sistema de freno ya que en este tipo de vehículos funciona el freno regenerativo que ejerce una resistencia al desplazamiento del vehículo, al contrario de los neumáticos que por el peso superior del automotor eléctrico referente al de un automóvil con motor de combustión interna influye en un mayor desgaste en la banda de rodadura de los neumáticos.

Analizar la eficiencia del sistema de freno con relación al rendimiento de neumáticos mediante el cálculo del porcentaje de desgaste y conservación en diferentes condiciones de uso de un automóvil sedan eléctrico BYD E5 300

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo general**

Analizar la eficiencia del sistema de frenos con relación al rendimiento de neumáticos mediante el cálculo de porcentaje de desgaste y conservación en diferentes condiciones de uso de un automóvil sedan eléctrico BYD E5 300

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Analizar la influencia del sistema de frenos en el desgaste de los neumáticos.
- Examinar el desgaste presente en neumáticos en diferentes condiciones de trabajo.
- Diagnosticar la influencia del desgaste de neumáticos al considerar la temperatura del asfalto.
- Comparar cómo se desgasta el neumático según la presión de inflado en

diferentes tipos de terreno y humedad del mismo.

- Identificar la eficiencia del sistema de freno según las condiciones del neumático.
- Realizar la prueba de resistencia en el material de las pastillas de frenos del vehículo eléctrico.
- Calcular la durabilidad de los componentes del sistema de freno en el vehículo eléctrico.
- Tabular y analizar los resultados de cada una de las pruebas para obtener su eficiencia.

#### **1.6. Metas**

Con la elaboración de la presente investigación se pretende determinar la vida útil de un neumático montado en un vehículo liviano comercial BYD E5 300 sometido a las diferentes condiciones climáticas, así como los terrenos por los que este transitará cotidianamente teniendo en cuenta las diferentes circunstancias de trabajo como la cantidad de pasajeros y la presión de llenado de los neumáticos y la incidencia de estos factores en el sistema de frenos del vehículo.

#### **1.7. Hipótesis**

El análisis de los parámetros de funcionamiento de los neumáticos de un vehículo liviano mejorarán los conocimientos sobre la aplicación de los mismos así como las condiciones de trabajo óptimas para los neumáticos y a su vez del sistema de frenos del vehículo ayudara en la comprensión sobre el comportamiento según la variación de los distintos factores que inciden en el desempeño del vehículo, esto permite desarrollar un

mejor aprendizaje para los futuros ingenieros automotrices el cual nos guía para la puesta a punto de los vehículos eléctricos.

## 1.8. Variables de investigación

### 1.8.1. Variable independiente

**Tabla 1**

*Variable independiente: Características específicas de frenos y neumáticos*

| Concepto   | Categoría   | Indicadores                            | Ítem            | Técnicas                              | Instrumentos   |
|--|-------------|--|-----------------|---------------------------------------|--|
| <b>Características que determinan el comportamiento de los componentes del sistema del Vehículo eléctrico BYD E5 300</b> | Materiales  | Resistencia de pastillas de freno      | HB              | Ensayo mecánico<br>Ensayo destructivo | Penetrador<br>Probeta de pastilla de freno                         |
|  | Tecnológica | Cantidad de variaciones de             | Km              | Comprobación                          | Tacómetro  |
|  | Académica   | condiciones de operación en neumáticos | °C<br>PSI<br>mm |                                       | Temperatura<br>Manómetro<br>Calibrador pie de rey<br>Profundimetro |

### 1.8.2. Variable dependiente

Parámetros de operación para el desgaste e incidencia en el frenado.

**Tabla 2.**

*Variable dependiente: Características y parámetros de desgaste*

| Concepto              | Categoría                | Indicadores          | Ítems | Técnicas | Instrumentos |
|-----------------------|--------------------------|----------------------|-------|----------|--------------|
| <b>Son parámetros</b> | Tecnológica<br>Académica | Presiones de inflado | Psi   | Medición | Manómetro    |

**CONTINÚA** →

|  |                        |                                       |            |          |                             |
|--|------------------------|---------------------------------------|------------|----------|-----------------------------|
| <b>para la comprobación y análisis del desgaste en la banda de rodadura del neumático y la superficie de contacto en el sistema de freno</b> |                        | de neumáticos y presión de carga.     |            |          |                             |
|  | Tecnológica            | Temperaturas de operación de asfalto. | °C         | Medición | Termómetro                  |
|  | Académica              |                                       |            |          |                             |
|  | Desgaste de neumáticos | Profundidad de labrado                | mm<br>inch | Medición | Profundímetro<br>Calibrador |

## 1.9. Metodología de la investigación

### 1.9.1. Método de observación directa

Es de suma importancia utilizar instrumentos de medición que garanticen precisión tales como profundímetro, calibrador vernier y termómetro láser ya que con ellos se realizara el acopio de información de los datos evaluados para su posterior simulación en el software CAD.

### 1.9.2. Método inductivo

En el presente método, se medirá el deterioro de los componentes de fricción del sistema de frenos, así como en los neumáticos mediante la utilización de herramientas de medición especializadas para dicho propósito y de este modo adquirir datos de desgaste para tabulación.

### **1.9.3. Método deductivo**

En presente método tiene como propósito instaurar los agentes de mayor incidencia en el desgaste del sistema de frenos a partir de la comparativa real con la simulación de un software CAD y de este modo poder diagnosticar su rendimiento.

### **1.9.4. Método experimental**

Este método se llevará a cabo mediante un protocolo de pruebas controladas para la variación de factores en las cuales se cambiará la carga viva con la que el automóvil trabajara, así como el recorrido del mismo, en el que se realizaran mediciones periódicas con el fin de llevar un registro para el análisis del desgaste de los componentes. análisis del resultado de desgaste.

### **1.9.5. Método de análisis de contenido**

Para empezar el desarrollo de la investigación es de suma importancia iniciar con la recopilación de información de fuentes confiables como pueden ser: artículos científicos, revistas, libros, manuales técnicos, investigaciones previas, en las cuales se analizara su contenido para asegurar que esta información es fidedigna.

Como segundo punto es el reconocimiento de los componentes del vehículo, así como también se realiza la toma de datos experimentales y la medición de las condiciones iniciales para el posterior análisis cuantitativo.

Posteriormente se procede a la realización de las pruebas físicas con fundamento en los datos iniciales y se procede al análisis de resultados obtenidos durante la experimentación, una vez recopilado todos los datos de las respectivas pruebas se

someterá a una validación y estudio para de esta manera poder emitir conclusiones y recomendaciones sustentando la investigación científica.

### 1.9.6. Método analítico

Mediante la utilización del software CAD y configurando en el las especificaciones de los componentes se realiza el análisis de resultados para validarlos con los datos obtenidos en las diferentes pruebas realizadas.

### 1.9.7. Método sintético

A partir de los ensayos que se realizaran se obtendrán datos de los neumáticos y de las pastillas de freno que facilitaran el diagnostico de los factores que inciden en el desgaste, todo esto mediante el cálculo matemático y simulación CAE.

**Tabla 3**

*Análisis de la metodología de investigación*

| Metodología                    | Descripción   | Equipo   | Laboratorio   |
|--------------------------------|---|--|---|
| <b>Documento Bibliográfico</b> | La investigación inicia con la recolección de información, obteniendo diferentes fuentes de bibliografía como: libros, revistas, investigaciones, artículos, normas, manuales, que serán seleccionadas examinando su contenido y su fuente de información, comprobando que es una información veraz, para utilizarla en el desarrollo de estudio. | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tesis</li> <li>• Libros</li> <li>• Artículos científicos</li> <li>• Manuales</li> </ul>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Biblioteca ESPE-L</li> </ul>   |
| <b>Deductivo</b>               | Permite determinar los factores, parámetros y a su vez las relaciones existentes de estas condiciones partiendo de lo general a lo específico como son: el vehículo eléctrico BYD, instrumentos para la toma de datos y los factores que inciden en desgaste de los neumáticos y pastillas de freno   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Neumáticos del vehículo sedan eléctrico E5 300</li> <li>• Pastillas de frenos del vehículo sedan</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Laboratorio de ensayo de materiales</li> <li>• Laboratorio de ensayos destructivo</li> </ul> |

**CONTINÚA** →

eléctrico E5  
300

|                     |  |  |   |
|---------------------|--|--|---|
| <b>Inductivo</b>    | <p>Se determina con precisión el número de elementos que forman el objeto de estudio, como son:</p> <p>En los neumáticos el desgaste en la banda de rodadura y las pastillas de freno según el kilometraje y con la variación en la carga viva del vehículo.</p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Neumáticos del vehículo sedan eléctrico E5 300</li> <li>• Pastillas de frenos del vehículo sedan eléctrico E5 300</li> <li>• Discos de freno BYD</li> </ul> |   |
| <b>De medición</b>  | <p>Se genera la información y detalle de datos numéricos respecto del desgaste de la banda de rodadura del neumático lo cual se determinará en milímetros en base al kilometraje recorrido por el vehículo, así como la obtención de la información para comprobación de la eficacia del sistema de frenos realizando el respectivo análisis en las variantes de condiciones establecidas en el periodo de pruebas</p>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Termómetro digital infrarrojo</li> <li>• Calibrador pie de rey</li> <li>• Profundímetro</li> </ul>  | Laboratorio de mecánica de patio  |
| <b>Analítico</b>    | <p>Con el uso de este método de investigación se nos permite identificar y analizar los resultados de realizadas en base a los datos iniciales y las condiciones establecidas para fijar los parámetros de diseño de los elementos que son sujetos a análisis en la presente investigación y la realización de la simulación en el sistema CAD para establecer los factores que implican un desgaste crítico en los elementos,</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Computado, suite informática Microsoft Office Excel.</li> </ul>   | Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE_L   |
| <b>Experimental</b> | <p>Se utiliza este método en la presente investigación para la experimentación según las pruebas establecidas con las condiciones</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Termómetro digital infrarrojo</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Laboratorio de ensayo de materiales</li> </ul> |

**CONTINÚA** →

|                                    |  |   |   |
|------------------------------------|--|---|---|
|                                    | físicas planteadas con los instrumentos de medición seleccionados.   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Calibrador pie de rey</li> <li>• Profundímetro</li> </ul>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• laboratorio de ensayos destructivo</li> </ul>        |
| <b>Observacional sistematizado</b> | Este método permite lograr un nivel elevado de precisión a la hora de evaluar el entorno de desempeño de los procesos de análisis permitiendo de este modo evitar situaciones de riesgo como puede ser cruce o interferencia en el cableado que pueda generar algún corto circuito en el sistema eléctrico del vehículo. | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipo de Protección personal</li> <li>• Guantes de nitrilo</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE_L</li> </ul> |
| <b>Análisis</b>                    | Este punto permite llegar al objetivo planteado en la investigación que requiere desempeñar cada uno de los lineamientos señalados, analizando justificadamente las causas y efectos que se obtuvieron en la investigación, así como señalar los puntos críticos de la misma   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Software de diseño CAD</li> </ul>                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE_L</li> </ul> |
| <b>Matematización</b>              | Con este método se analizarán los resultados obtenidos en las pruebas de forma numérica será necesaria la validación cuantitativa de los factores analizados mediante la ecuación del porcentaje de desgaste y conservación, según los parámetros establecidos de la investigación.                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Computador personal</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul>   |
| <b>De concordancia</b>             | Con los resultados obtenidos de las pruebas realizadas y realizado la comparación con las condiciones iniciales establecidas para especificar las diferencias entre los criterios de estudio   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Computador</li> <li>• Microsoft office</li> </ul>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE_L</li> </ul> |
| <b>Síntesis</b>                    | En este punto se plasma la información obtenida referente del análisis y el estudio comparativo para determinar una conclusión sustentada con las respectivas evidencias de las pruebas realizadas   |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul>   |

para posteriormente aprobar el índice de desgaste

## ***CAPÍTULO II***

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Vehículos Eléctricos**

Un automóvil eléctrico es un vehículo propulsado por uno o más motores eléctricos que emplea la energía eléctrica almacenada en baterías recargables y la transforma en cinética. A diferencia de los vehículos de combustión interna, que funcionan quemando combustible, un coche eléctrico obtiene la tracción de los motores eléctricos. Esta energía es almacenada en sistemas recargables, baterías, que luego consumen la energía almacenada durante su desplazamiento. El motor de un coche eléctrico puede ser de corriente alterna o de corriente continua.

La tecnología más avanzada hoy en día en vehículos eléctricos es la de baterías de iones de litio.

También son automóviles eléctricos los híbridos enchufables, que combinan un motor eléctrico con otro de combustión. Unos y otros están cada vez más presentes en el parque automovilístico español. (Guarnieri, 2012)

##### **2.1.1. Partes que componen un coche eléctrico**

**Motor:** El motor de un coche eléctrico puede ser un motor de corriente alterna o de corriente continua. Puede tener uno o varios, dependiendo del diseño. También recupera energía.

**Cargador:** Absorbe la electricidad de forma alterna directamente desde la red y la transforma en corriente continua, para de este modo poder cargar la batería principal.

**Baterías:** Las baterías de iones de litio almacenan la energía proveniente del cargador en forma de corriente continua. Así se alimenta todo el coche eléctrico. En los

coches eléctricos que tienen un motor eléctrico de corriente alterna, la batería va conectada a un inversor.

**Transformadores:** Los transformadores convierten la corriente alterna, que es la que se suministra por la red, en corriente continua, que es la que se acumula en las baterías.

**Inversores:** Los inversores transforman la corriente continua en corriente alterna.

**Controladores:** Comprueban el correcto funcionamiento por eficiencia y seguridad y regulan la energía que recibe o recarga el motor. (Peugeot, 2018)

### 2.1.2. Energía

A diferencia de un vehículo con un motor de combustión interna (abreviadamente denominado vehículo de combustión) que está diseñado específicamente para funcionar quemando combustible, un vehículo eléctrico obtiene la tracción de los motores eléctricos, pero la energía puede ser suministrada de los modos siguientes:

- Alimentación externa del vehículo durante todo su recorrido, con un aporte constante de energía, como es común en el tren eléctrico y el trolebús.
- Energía proporcionada al vehículo en forma de un producto químico almacenado en el vehículo que, mediante una reacción química producida a bordo, produce la electricidad para los motores eléctricos. Ejemplo de esto es el coche híbrido no enchufable, o cualquier vehículo con pila de combustible.
- Energía generada a bordo usando energía nuclear, como son el submarino y el portaaviones nuclear.
- Energía generada a bordo usando energía solar generada con placas fotovoltaicas, que es un método no contaminante durante la producción eléctrica, mientras que los otros métodos descritos dependen de si la

energía que consumen proviene de fuentes renovables para poder decir si son o no contaminantes.

- Energía eléctrica suministrada al vehículo cuando está parado, que es almacenada a bordo con sistemas recargables, y que luego consumen durante su desplazamiento.
- Las principales formas de almacenamiento son:
- Energía química almacenada en las baterías como en el llamado vehículo eléctrico de batería, especialmente en baterías de litio que parece ser la tecnología más desarrollada hoy. Es preciso destacar las nuevas inversiones que se están haciendo en el mayor yacimiento de litio (Salar de Uyuni-Bolivia) para la fabricación de estas baterías, aunque hay otros tipos de baterías recargables que se pueden utilizar.
- Energía eléctrica almacenada en supercondensadores. Tecnología aún muy experimental.
- Almacenamiento de energía cinética, con volante de inercia sin rozamiento.
- También es posible disponer de vehículos eléctricos híbridos, cuya energía proviene de múltiples fuentes, tales como:
- Almacenamiento de energía recargable y un sistema de conexión directa permanente.
- Almacenamiento de energía recargable y un sistema basado en la quema de combustibles, incluye la generación eléctrica con un motor de explosión y la propulsión mixta con motor eléctrico y de combustión. (Mitchell, Borroni-Bird, & Burns, 2010)

### **2.1.3. Consumo.**

Los vehículos eléctricos destacan por su alto rendimiento en la transformación de la energía eléctrica de la batería en la energía mecánica con la que se moverá el vehículo (60-85%), frente al rendimiento de la transformación de la energía del depósito de gasolina

en la energía mecánica que mueve un vehículo de gasolina (15-20%).<sup>32</sup> El presente y futuro de las baterías del vehículo eléctrico parece pasar por la batería de ion de litio, que cada vez se fabrica con mayor densidad de carga y longevidad permitiendo mover motores más potentes, aunque por ahora la autonomía media de un utilitario eléctrico se encuentra en torno a los 150 km. No obstante, deportivos eléctricos más caros han conseguido aumentar esa autonomía hasta los 483 km, como el modelo de 70 kWh del Tesla Roadster. , Con el objetivo de saber el consumo que supone el vehículo eléctrico, existen distintas herramientas, como el programa CEVNE<sup>33</sup> o el usar tablas de consumo cada 100 km de los principales vehículos eléctricos salidos y por salir en un corto plazo de tiempo y el consumo de kWh de la batería por cada 100 km de cada uno de ellos y de la media. (Kampman, 2010)

kWh<sub>B</sub>/100km que consumen los principales vehículos eléctricos

| Modelo                           | (kWh)        | Autonomía (km) | kWh <sub>Batería</sub> /100km |
|----------------------------------|--------------|----------------|-------------------------------|
| Mega e-City <sup>34</sup>        | 9            | 100            | 9                             |
| Reva L-ion <sup>35</sup>         | 11           | 120            | 9,17                          |
| Think City <sup>36</sup>         | 25           | 200            | 12,50                         |
| Mitsubishi i-Miev <sup>37</sup>  | 16           | 130            | 12,31                         |
| Citroën C-Zero <sup>38 39</sup>  | 16           | 130            | 12,31                         |
| Renault Fluence ZE <sup>40</sup> | 24           | 175            | 13,71                         |
| Nissan Leaf <sup>41</sup>        | 24           | 160            | 15,00                         |
| Tesla Roadster 42                | 42           | 257            | 16,34                         |
| Tesla Roadster 70 <sup>42</sup>  | 70           | 483            | 14,49                         |
| <b>MEDIA</b>                     | <b>26,11</b> | <b>193</b>     | <b>12,76</b>                  |

**Figura 2.** Consumo de vehículos

Fuente: (Kampman, 2010)

#### 2.1.4. Rendimiento

Entendemos con esto (sin tomar en cuenta el Mega e-City que fue añadido a la tabla después), que el consumo medio cada 100 km de un vehículo eléctrico actualmente

es de 13,78 kWh. Sin embargo, solo es el consumo de los kWh que contiene la batería. Como el proceso de carga de la batería o el transporte y distribución de la electricidad tienen pérdidas causadas por no tener un rendimiento perfecto, la cantidad de kWh que necesitan extraerse de una toma de corriente o que se fabrican en la central eléctrica son algo superiores. Para obtenerlos debemos atender a la siguiente tabla de rendimiento del paso de la electricidad por cada elemento del sistema que va desde la energía del medio hasta la energía mecánica que mueve el vehículo. (R.Bargalló, 2009)

### Rendimiento/Eficiencia del Vehículo Eléctrico en España

| Sistema                   | Notación   | Rend. (%)    |
|---------------------------|--|--------------|
| Central (Ponderación)     | $\eta_g$   | 48,47        |
| Transporte y Distrib.     | $\eta_t$   | 93,70        |
| Convertidor Eléctrico     | $\eta_c$   | 97,00        |
| Batería                   | $\eta_b$   | 98,80        |
| Rend. Enchufe-Batería     | $\eta_c \cdot \eta_b$  | 95,84        |
| Rend. Central-Batería     | $\eta_t \cdot \eta_c \cdot \eta_b$   | 89,80        |
| Sist. Mec. Vehículo       | $\eta_{mec}$   | 80,00        |
| Motor y Sist. Eléc.       | $\eta_m$   | 88,30        |
| Rend. Batería-EMec        | $\eta_{mec} \cdot \eta_m$  | 70,64        |
| Rend. Central-EMec        | $\eta_t \cdot \eta_c \cdot \eta_b \cdot \eta_{mec} \cdot \eta_m$                                       | 63,43        |
| <b>TOTAL (Medio-EMec)</b> | <b><math>\eta = \eta_g \cdot \eta_t \cdot \eta_c \cdot \eta_b \cdot \eta_{mec} \cdot \eta_m</math></b> | <b>30,75</b> |

**Figura 3. Rendimiento de vehículos eléctricos**

Fuente: (Kampman, 2010)

Cabe apuntar que  $\eta_g$  hace referencia al rendimiento medio de la Red Eléctrica Española, que ha sido corregida siguiendo datos extraídos la propia web, ya que recientemente se ha situado sobre la media europea, que está entorno al 38 %. Con esto podemos calcular la energía real que debe pasar por cada elemento del sistema para que lleguen esos 13,78 kWh a la batería de un coche eléctrico cada 100km. (Kampman, 2010)

| $kWh_{E_{Mec}}/100\text{ km}$  | $kWh_B/100\text{ km}$                                 | $kWh_E/100\text{ km}$   | $kWh_C/100\text{ km}$  | $kWh_M/100\text{ km}$   |
|--|---|---|--|---|
| Son los kWh que cada 100 km se transforman en energía mecánica aprovechable, a partir de los 13,78 kWh de la batería | Son los kWh que cada 100 km se consumen de la batería | Son los kWh que cada 100 km es necesario extraer del enchufe de carga para proporcionar los 13,78 kWh a la batería. Son los kWh que pagamos cada 100 km | Son los kWh que cada 100 km se han producido en la central para proporcionar los 13,78 kWh a la batería. Son los kWh empleados para los cálculos de contaminación de $kgCO_2/kWh$ de las centrales | Son los kWh que cada 100 km es necesario extraer del medio para proporcionar los 13,78 kWh a la batería |
| 9,73   | 13,78   | 14,38   | 15,35  | 31,66   |

**Figura 4. Rendimiento eléctrico**

Fuente: (Kampman, 2010)

Así, de esos 13,78 kWh consumidos de la batería de un coche eléctrico cada 100 km: se transforman en energía mecánica para desplazar el vehículo 9,73 kWh, será necesario extraer de una toma de corriente 14,38 kWh, será necesario producir en una central eléctrica 15,35 kWh y será necesario extraer del medio 31,66 kWh. Por los motivos antes apuntados (diferente  $\eta_g$  respecto de Europa) el dato de los 31,66 kWh es solo válido para España, mientras que como media Europea sería algo superior, en torno a 40 kWh.

Debido a que se necesita extraer de la toma de corriente 14,38 kWh para recorrer 100 km en un vehículo eléctrico, este será el número de kWh que aparecerá en la factura por cada 100 km recorridos. Y, estando en España el costo por kWh para pequeños consumidores en aproximadamente 0,115 €. El costo que supone proporcionar la energía necesaria a un vehículo eléctrico en España es de unos 1,65€/100km. (ORIENTAL, 2010)

### 2.1.5. Tipos de Coches Eléctricos

Como se detalla en la página web del fabricante (GOODYEAR, GO KILOMETROS QUE CUENTAN, 2018) “Los coches eléctricos se diferencian por categorías y tipos que hacen referencia a la mecánica que usan. ¿Conoces las siglas que los clasifican? ¿Qué significan BEV o PHEV?

BEV (battery electric vehicle): vehículo eléctrico (VE) con batería. Hace uso de uno o varios motores eléctricos que son alimentados por baterías, normalmente de iones de litio.

REEV (range extender EV): VE con batería y extensor de rango (pequeño motor de gasolina que actúa como generador para recargar la batería, no para alimentar el motor).

FCEV (fuel cell EV): VE con celdas de combustible alimentadas por hidrógeno. En España, los vehículos FCEV no son tan conocidos como en otros países como Japón. Se caracterizan porque hacen uso del hidrógeno a modo de carburante.

HEV (hybrid Electric Vehicle): coche híbrido eléctrico, también se les conoce como híbridos convencionales o híbridos no enchufables. Combina motor de combustión y motor eléctrico y un paquete de baterías que se autorecargan gracias al motor térmico y el sistema de recuperación de energía durante la frenada.

PHEV (plug-in hybrid EV): coche eléctrico que combina un motor de combustión interna con una batería y motor eléctrico. A diferencia de los coches híbridos eléctricos, los enchufables tienen que ser conectados a la red eléctrica para recargar sus baterías.

MHEV (Mild Hybrid Electric Vehicle): coche eléctrico semihíbrido con motor de combustión interna como eje central de la mecánica, pero con motor eléctrico que proporciona un par extra de potencia.”

## 2.2. Automóvil BYD E5 300

El fabricante especifica en su página web que (BYD, BYD Electricos, 2016) “BYD e5 es un sedán de gran autonomía, totalmente eléctrico, con tracción en las ruedas delanteras y espacioso. Perfecto para suplir la demanda creciente de taxis eléctricos. Sin el uso de sistemas de potencia tradicionales el e5 viene con tecnología de primer nivel, la batería de hierro fosfato de BYD garantiza una autonomía de 305km con una sola carga. Eficiencia, tranquilidad y comodidad hacen de este sedan la mejor opción eco-amigable que contribuye en gran medida a la sociedad y medio ambiente.”



**Figura 5.** Automóvil eléctrico BYD modelo E5 300  
Fuente (BYD, BYD Electricos, 2016)

### 2.2.1. Características del vehículo eléctrico BYD E5 300

Dentro de las principales bondades del automóvil eléctrico sedan BYD E5 300 se encuentran como afirma (BYD, BYD Electricos, 2016) “No requiere cambios de batería, se realiza un mantenimiento de cada 10.000 km vs 5.000 km en autos a combustible, las baterías BYD aún mantienen el 80% de su capacidad después de 4.000 ciclos de carga, que se cumple en aproximadamente 15 años, los vehículos BYD son amigables con el medio ambiente, producen cero emisiones de CO<sub>2</sub>. Además, nuestras baterías de hierro-fosfato no contienen materiales tóxicos, a diferencia de otras baterías para vehículos eléctricos. Además, poseen un sistema de frenos regenerativo. Regeneración de carga de sus baterías a través del frenado y desaceleración que va de la mano de una gran autonomía, 300km con una sola carga.”

### 2.2.2. Ficha técnica del automóvil eléctrico E5 300

La casa china BYD fabricantes del automóvil E5 300 presenta en su virtual web una ficha de especificaciones técnicas de este modelo de vehículo en la cuales se presentan las dimensiones, así como ciertas características concretas de los algunos de los sistemas más característicos del sedán, datos que serán utilizados para los cálculos de la presente investigación.

**Tabla 4**

*Ficha técnica del automóvil eléctrico BYD E5 300*

| E5 300               |         |
|----------------------|---------|
| Largo                | 4680 mm |
| Ancho                | 1750 mm |
| Alto                 | 1500 mm |
| Distancia entre ejes | 2660mm  |

**CONTINÚA** →

|  |  |
|--|--|
| <b>Distancia al suelo</b>                      | ≥120mm                                       |
| <b>Min radio de giro</b>                       | ≤5.3m  |
| <b>Peso en vacío</b>                           | 1900kg                                       |
| <b>Neumáticos</b>                              | 205 / 55 R16                                 |
| <b>Angulo de aproximación (carga completa)</b> | ≥16°   |
| <b>Angulo de salida (carga completa)</b>       | ≥18°   |
| <b>Capacidad de cajuela</b>                    | 450 Lts.                                     |
| <b>Velocidad máxima</b>                        | ≥130km                                       |
| <b>Aceleración 0 – 100km/h</b>                 | ≤14s   |
| <b>Llantas</b>                                 | 295/80 R 22.5                                |
| <b>Potencia máxima</b>                         | 160KW / 214,56 Hp                            |
| <b>Torque máximo</b>                           | 310 Nm                                       |
| <b>Voltaje</b>                                 | 604,8V (168 celdas)                          |
| <b>Batería</b>                                 | Hierro-Fosfato                               |
| <b>Capacidad</b>                               | 60,5 kWh                                     |
| <b>Tipo de carga</b>                           | Corriente alterna                            |
| <b>Potencia de carga</b>                       | Electrolinera 40kW / cargador de casa 7 kW / |
| <b>Tiempo de carga</b>                         | Electrolinera 1,5h / Cargador de casa 6 a 7h |

Fuente: (BYD, BYD ECUADOR, 2018)

### 2.3. Sistema de frenos de disco

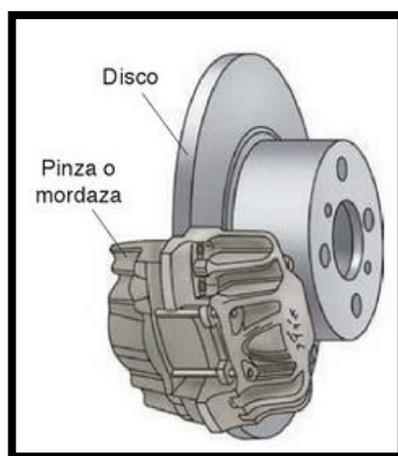
El sedán eléctrico E5 300 está provisto con disco de frenos a las cuatro ruedas y sistema de freno antibloqueo (ABS). Por consecuente se detallará primordialmente el sistema de frenos de disco, y todos los elementos que lo componen.

El sistema de frenos de disco es el más utilizado en la actualidad en vehículos livianos debido a su alto nivel de fiabilidad conjuntamente con la reducción de peso en comparación a los frenos accionados por zapatas de freno de tambor. Y es a raíz de

estas prestaciones que al día de hoy se utiliza en gran porcentaje de vehículos del parque automotor

“El freno de disco basa su funcionamiento y constitución en principios mecánicos e hidráulicos sencillos, la bomba transmite la presión en el circuito, y por medio de émbolos de las pinzas, se transforman en fuerzas de empuje sobre las pastillas. El disco gira solidario a la rueda y a las pastillas lo presionan hasta detenerlo.

El accionamiento hidráulico de las pinzas se basa en el más elemental de los principios hidráulicos: el principio de Pascal” (Domínguez & Ferrer, 2012).



**Figura 6.** Sistema de frenos de disco

Fuente: (Domínguez & Ferrer, 2012)

(Granell, 2019) afirma que “Los discos de freno son los dispositivos empleados para garantizar la reducción de la velocidad de cada una de las ruedas de nuestro vehículo, hasta llegar a detenerlo. Esto se debe a la fricción que se crea cuando los frenos atrapan el disco al accionar el pedal.”

Para que los frenos de disco activen el freno de estacionamiento, poseen un tambor de freno en el disco que tiene el funcionamiento común.

“El desgaste de los discos de freno no se produce tempranamente ya que se trata de elementos que han sido fabricados en metal, al contrario de lo que sucede con otros elementos del sistema como las pastillas de freno, fabricadas con un componente de fricción.” (Granell, 2019).



**Figura 7.** Disco de freno

Fuente: (ATE, 2019)

Los frenos de disco son mucho más fiables que los de tambor, debido a su simplicidad mecánica; tienen menos piezas, su ajuste es más sencillo y disipan mejor el calor.

El disco proporciona una superficie de fricción, para que la energía cinética sea convertida en calorífica por medio del rozamiento con las pastillas de freno. Y de este modo se opone al giro de cada disco y lo detiene (GARCÍA, 2013)

### **2.3.1. Funcionamiento de los frenos**

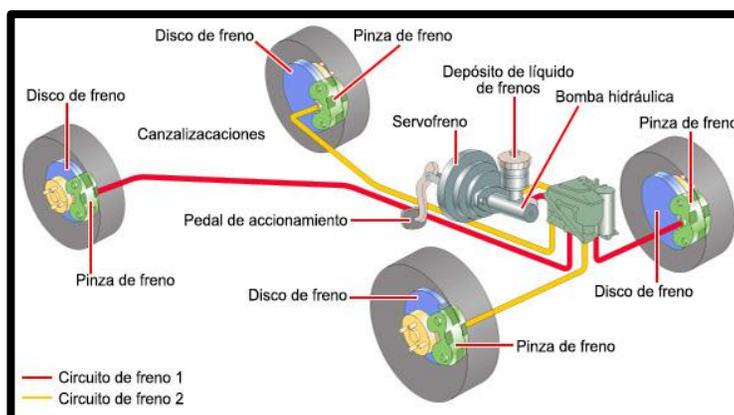
La ley de la inercia es la encargada de regir el sistema de frenado de un automóvil. El principio básico para que ocurra el correcto funcionamiento de los frenos es la fricción.

El proceso de frenado consiste en que un cuerpo se ponga en contacto con otro en direcciones opuestas. Esto genera una fuerza que se conoce como fricción, la cual se opone al movimiento del cuerpo hasta conseguir detenerlo.

La fricción depende de 2 elementos importantes:

- Área de contacto entre cada cuerpo.
- Fuerza que se aplica entre los cuerpos.

En un automóvil, el área de contacto comprende los elementos que consiguen que el auto se detenga. Se refiere al área de contacto entre los discos y las pastillas, que son los elementos de frenado. En el caso de los frenos de tambor utilizan bandas y campanas. Otras áreas de contacto son las llantas y la superficie donde marcha el automóvil. (GARCÍA, 2013)



**Figura 8.** Sistema de frenos hidráulicos de disco  
Fuente: (GARCÍA, 2013)

### 2.3.2. Partes del sistema de frenos de disco

- **Discos de freno**

El fabricante Ate aclara que los discos de frenos son los que crean la acción de frenado, y estos comúnmente son con aleaciones como acero aleado ya que la fricción del frenado genera altas temperaturas y este componente debe poder soportarlas sin sufrir deformaciones.

Existen dos tipos básicos de discos de freno:

- Discos no ventilados, que son macizos.
- Discos ventilados, que tienen orificios en su interior para disipar el calor.



**Figura 9.** Disco de freno macizo y ventilado

Fuente: (ATE, 2019)

Los discos de freno Ate, montados en el sistema del Vehículo eléctrico BYD E5 300 son comúnmente elaborados con hierro fundido, para soportar las altas temperaturas que se pueden presentar, que entre sus beneficios se tiene:

- La conductividad térmica mejorada conduce a una distorsión térmica reducida y, por lo tanto, a una vibración del freno minimizada.

- Mayor resistencia a la carga gracias a una optimización de la dinámica de frenado.
- Protección contra la corrosión
- Reducción del ruido de frenado (menos susceptible a los chirridos)

### **Pastillas de freno**

Son forros de fricción de una composición muy similar a la de los forros de un disco de embrague. Poseen unas virutas de un componente metálico que tiene como misión proporcionar a la pastilla una mayor rigidez mecánica. (ATE, 2019)



**Figura 10.** Pastilla de freno

Fuente: (Borja, Fenoll, & Seco de Herrera, 2009)

El componente que se utilizaba anteriormente era el amianto ya que este brinda rigidez a la pastilla de freno, pero tiene efectos secundarios que afectan al ser humano por su contacto con el aire pudiendo llegar a ocasionar problemas en la salud como el cáncer.

Xiayi County Huaihai Foundry Co. Es el fabricante de la pastilla de freno estudiada, que a su vez lleva manufactura de la empresa de frenos Ate que utiliza el material de

fricción con la denominación FF424, este material tiene características y bondades como, ser libre de asbestos, posee fibras adhesivas y adicionalmente un bajo porcentaje de fibras de acero, soporta temperaturas mayores a los 300°C y cuenta con un 9% de cobre. La hoja de datos del producto nos especifica que posee 9%, se pueden desarrollar hidrocarburos de CO, H, fenólicos, aromáticos y alifáticos según el catálogo del fabricante.



**Figura 11.** Pastilla de freno vehículo BYD E5 300, con sus características

- **Mordazas, pinzas o cálipers**

“La pinza de freno encierra el disco, como una pinza. Asistidos por uno o varios pistones operados hidráulicamente, los segmentos de acero o aluminio con material de fricción aplicada que se mueven axialmente se presionan contra el disco. Son posibles fuerzas de presión de superficie muy altas debido a la fuerza de tensión opuesta. Al aumentar el desgaste de los forros de fricción, los pistones se extienden más y reajustan la trayectoria de desgaste. La holgura del freno, que debe garantizarse después de cada operación, permanece constante. Volumen adicional de fluido requerido para que esto fluya desde un reservorio. Las tapas protectoras de los pistones y los pernos de guía evitan que el freno se atasque debido a la suciedad y corrosión” (Teran, 2019)



**Figura 12.** Mordaza de disco

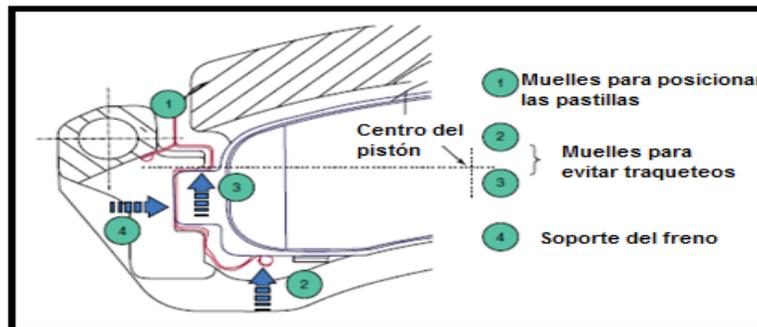
Fuente: (Drexler & Leiter, 2014)

Existen dos tipos de mordazas de freno:

- Mordazas flotantes:

Son las que son accionadas por un solo pistón, al momento en el que este recibe la fuerza, mueve la mordaza hacia el otro lado y de esta manera presiona los dos lados del disco de freno, empezando la fricción para detener el automóvil. (Teran, 2019)

Las mordazas flotantes son utilizadas en los vehículos livianos como por ejemplo vehículos turismo. (FABIÁN AYALA VEGA, 2005)



**Figura 13.** Mordaza flotante

Fuente: (Nieto, 2016)

- Mordazas estacionarias o fijas:

Son las que poseen más de un pistón en cada lado de la mordaza, con lo cual, al

momento de frenar, las dos pastillas son presionadas por igual para llevar a cabo la fricción. La potencia y el peso del vehículo son los factores que inciden en la cantidad de pistones que tengan. Los frenos de mordaza fijos son construidos hasta con ocho pistones por lado. (Nieto, 2016)



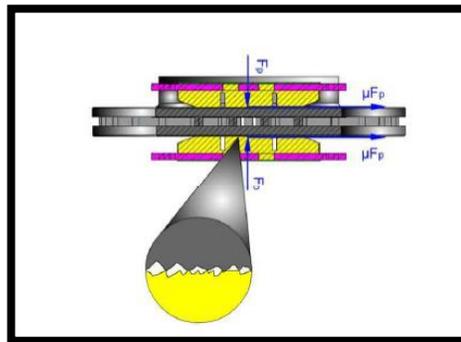
**Figura 14.** Mordaza fija

Fuente: (Nieto, 2016)

## 2.4. Parámetros de frenado

### 2.4.1. Superficies de contacto

Las superficies pulidas, que son consideradas lisas, poseen gran cantidad de imperfecciones que a simple vista no son observadas, pero a escala microscópica, estas se pueden apreciar. Las imperfecciones de las dos superficies tienden a juntarse, generando un área real de contacto, la cual incrementa cuando también lo hace la presión. (Nieto, 2016)



**Figura 15.** Contacto de la superficie del disco y la pastilla

Fuente: (Nieto, 2016)

(Teran, 2019) especifica que “Los metales tienden a soldarse en frío, debido a las fuerzas de atracción que ligan a las moléculas de una superficie con la molécula de otra. Estas soldaduras tienen que romperse para que el deslizamiento se produzca. Además, existe siempre la incrustación de los picos con los valles. Este es el origen del rozamiento estático.”

“Cuando el disco se desliza sobre las pastillas las soldaduras en frío se rompen y se rehacen constantemente. Pero la cantidad de soldaduras que haya en cualquier momento se reduce por debajo del valor estático, de modo que el coeficiente de rozamiento cinético es menor que el coeficiente de rozamiento estático” (Teran, 2019)

#### **2.4.2. Energía disipada por el sistema de frenos**

En el momento del frenado se genera una energía calórica en consecuencia de la fricción entre el disco y la pastilla de freno porque esta energía se la calcula mediante la ecuación 1

$$E_f = \frac{k \times m \times (v_i^2 - v_f^2)}{2}$$

#### ***Ecuación 1.* Energía disipada**

Es necesario conocer la velocidad a la que circula el vehículo en el momento de iniciar el frenado ya que se debe considerar adicionalmente la masa del vehículo y según este valor establecer el factor de corrección de masas rodantes. (k)

El factor de corrección de masas para vehículos livianos es una constante que tiene un rango de variación de 1,05 y 1,15

### 2.4.3. Fuerza de factor de roce sobre las pastillas

Es imprescindible considerar el factor de adherencia que existe entre el neumático y la calzada para determinar la fuerza de roce en la pastilla de freno.

Los datos se obtienen de la tabla 5

**Tabla 5**  
Coeficientes de adherencia

| Velocidad de marcha (Km/H) | Estado de los neumáticos | Carretera Seca (M) | Carretera Mojada (M) |
|----------------------------|--------------------------|--------------------|----------------------|
| 50                         | Nuevo                    | 0.85               | 0.65                 |
|                            | Usado                    | 1                  | 0.5                  |
| 80                         | Nuevo                    | 0.8                | 0.6                  |
|                            | Usado                    | 0.95               | 0.2                  |
| 120                        | Nuevo                    | 0.75               | 0.55                 |
|                            | Usado                    | 0.9                | 0.2                  |

Fuente: (García & Flórez, 2018)

Mediante la tabla mencionada, se puede determinar la fuerza de roce con la siguiente ecuación:

$$Fr = u_b \times Fn$$

#### **Ecuación 2.** Fuerza de roce

En donde  $u_b$  es el coeficiente de adherencia (Tabla 6) y  $Fn$  la fuerza normal que ejerce el vehículo.

### 2.4.4. Longitud de frenado

Se denomina así a la distancia que recorre el vehículo desde que se presiona el freno hasta que el vehículo se detiene, para encontrar este valor es necesario saber la

masa del vehículo ( $m$ ), la fuerza de factor de roce sobre las pastillas ( $Fr$ ) y la velocidad a la que se comienza a frenar el vehículo ( $V_i$ ). (Teran, 2019)

$$l = \frac{1}{2} \times \frac{m}{g \times Fr} \times (V_i^2 - V_f^2)$$

**Ecuación 3.** Longitud de frenado

#### 2.4.5. Tiempo de frenado

Es el tiempo que transcurre desde que inicia la desaceleración del vehículo siendo el punto de inicio el instante en el que el conductor acciona el pedal de freno hasta el momento en el que el vehículo se detiene por completo. Este valor se determina mediante la ecuación 4

$$t = 0.28 \frac{v_{x1}}{a_x}$$

**Ecuación 4.** Tiempo de frenado

Por ende, es imprescindible conocer la velocidad ( $v_{x1}$ ) a la que circula el móvil y la desaceleración ( $a_x$ ) del mismo.

#### 2.4.6. Desaceleración del vehículo

el accionamiento del pedal de freno es el punto de partida para el inicio de la desaceleración de un vehículo que comanda el funcionamiento del sistema hidráulico de acuerdo a la ecuación 5.

$$a_x = \mu_n \pm i$$

**Ecuación 5.** Desaceleración del vehículo

Donde:

$a_x$  = desaceleración

$\mu_n$  = coeficiente de adherencia del neumático al suelo

$i$  = inclinación del suelo

#### 2.4.7. Velocidades de frenado

La velocidad angular inicial del disco de freno depende de la velocidad del vehículo

$$\omega = 277,8 * \frac{v_x}{r_n}$$

**Ecuación 6.** Velocidad angular del disco de freno.

Donde:

$v_x$  = velocidad instantánea

$r_n$  = radio del neumático

Para el cálculo del radio del neumático se utiliza la siguiente ecuación:

$$r_n = \left( \frac{Dl}{2} + An * Ran \right)$$

**Ecuación 7.** Radio del neumático.

Donde:

$Dl$  = diámetro de la llanta en pulgadas

$An$  = ancho de la llanta en milímetros

$Ran$  = relación altura- ancho del neumático

Siendo  $t_f$  el tiempo de frenado debe saberse que la velocidad línea a la que circula un móvil cambia en función del tiempo asumiendo que la desaceleración del vehículo es uniforme, es así:

$$v_x(t) = v_x \left( 1 - \frac{t}{t_f} \right)$$

**Ecuación 8.** Velocidad en función del tiempo

Y a medida que esta disminuye con ella la velocidad  $V_{x1}$  y  $V_{x2}$  se convierte en:

$$v_{x1} = v_x \left( 1 - \frac{t - \Delta t}{t_f} \right)$$

$$v_{x2} = v_x \left( 1 - \frac{t}{t_f} \right)$$

**Ecuación 9.** Velocidad inicial y final del automóvil

#### 2.4.8. Temperatura de un disco de freno

En el disco se ejercen diferentes flujos de calor ocasionados por diferentes factores entre ellos la radiación de ambiente y la convección en el sistema, adicionalmente la conducción entre el disco y la pastilla. Por lo que el calor de entrada y la magnitud de disipación termina influyen en la temperatura de equilibrio.

Para lo cual con el fin de obtener la temperatura final se debe realizar un balance energético con la ecuación 10.

$$T = \frac{T_{Fr} * \omega * t_f + m_d * c_d * T_o + h * A_c * T_{amb}}{m_d * c_d + h * A_c}$$

**Ecuación 10.** Temperatura de un disco de freno

Donde:

$T_{Fr}$ = par de rozamiento del disco de freno

$\omega$  = velocidad angular

$t_f$ = tiempo de frenado

$m_d$  = masa del disco de freno.

$c_d$  = capacidad de calor específico del disco de freno.

$T_o$  = temperatura inicial del disco de freno.

$h$ = coeficiente de convección del disco de freno

$A_c$ = área de convección del disco de freno en contacto con la pastilla

$T_{amb}$ = temperatura ambiente.

**Tabla 6**

*Propiedades termo físicas del hierro fundido gris*

| Propiedades                    | Valores mínimos | Valores máximos | Unidades |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|----------|
| Punto de fusión                | 1.4e3           | 1.65e3          | K        |
| Temperatura máxima de servicio | 623             | 723             | K        |
| Temperatura mínima de servicio | 123             | 223             | K        |

**CONTINÚA** →

|  |     |     |            |
|--|-----|-----|------------|
| <b>Conductividad térmica</b>             | 42  | 48  | W/m°C      |
| <b>Capacidad de calor específico</b>     | 460 | 505 | J/Kg°C     |
| <b>Coefficiente de expansión térmica</b> | 11  | 13  | μstrain/°C |
| <b>Calor latente de fusión</b>           | 270 | 275 | kJ/kg      |

Fuente: (Venegas W. , 2012)

#### 2.4.9. Esfuerzo cortante debido al par de freno

En el disco de freno se ejerce un par de fricción total que genera un esfuerzo cortante en él y para lo cual se debe tener en cuenta el momento de inercia propio del disco como se muestra en la ecuación 11.

$$\tau = \frac{T_{Fr} * r}{J}$$

**Ecuación 11.** Esfuerzo cortante debido al par de freno

Donde:

J= momento polar de inercia del disco de freno.

T<sub>Fr</sub> = par de rozamiento del disco de freno

r = radio del disco de freno

#### 2.4.10. Par de rozamiento del disco de freno

La potencia con la que el motor impulsa el sistema interviene en la capacidad torsional requerida, por lo tanto, este par de rozamiento se calcula según la ecuación 12.

$$T_{fr} = P_f * \frac{K}{\omega}$$

**Ecuación 12.** Par de torsión

Donde:

$T_{fr}$  = par de torsión del disco.

$P_f$  = potencia de fricción.

$\omega$  = velocidad angular.

$K$  = factor de servicio basado en la aplicación para frenos.

**Tabla 7**

*Factor de servicio basado en la aplicación para frenos.*

| Aplicaciones  | Factor de servicio basado en la aplicación |
|---|--|
| Para frenos bajo condiciones promedio   | 1  |
| Para frenos en servicio ligero, donde el eje de salida toma su carga normal solo después de que está en su velocidad  | 1.5  |
| Para freno en servicio pesado donde se debe acelerar grandes cargas conectadas  | 3  |
| Para frenos que tienen carga variable, usa un factor K al menos igual al factor por el cual el par torsional máximo del motor es mayor que el par torsional de carga total: |  |
| Para un motor industrial típico (diseño NEMA B)   | 2.75                                       |
| Para un motor con alto par torsional de arranque (diseño NEMA C)  | 4  |
| Para freno en sistema impulsado para motores de gasolina, diésel u otras máquinas impulsoras  | 5  |

Fuente: (Venegas W. , 2012)

### 2.4.11. Potencia de fricción

Para realizar el frenado es necesaria una potencia que se representa así, basado en la ecuación 2 que muestra la distancia de frenado, la fuerza de roce, el número de ruedas que realizan la fricción y el tiempo de frenado, calculándose como se muestra en la ecuación 13

$$P_f = \frac{F_r \times D_f}{t_f}$$

La potencia en un solo punto de trabajo se calcula de la siguiente forma:

$$P_f = \frac{\frac{F_r \times D_f}{t_f}}{n}$$

**Ecuación 13.** *Potencia de fricción*

Donde:

$F_r$ = fuerza de roce

$D_f$  = distancia de frenado

$t_f$ = tiempo de frenado

$n$ = número de ruedas que realizan el trabajo de fricción

### 2.4.12. Relación de diámetros para la fuerza de fricción del disco de freno

El radio del neumático conjuntamente con el radio del disco de freno se empareja para formar la relación de diámetros para la cual se determina utilizando la siguiente ecuación:

$$r_k = \frac{r_n}{r}$$

**Ecuación 14.** Relación de diámetros para fuerza de fricción

Donde

$r_k$  = relación de diámetros

$r_n$  = radio del neumático

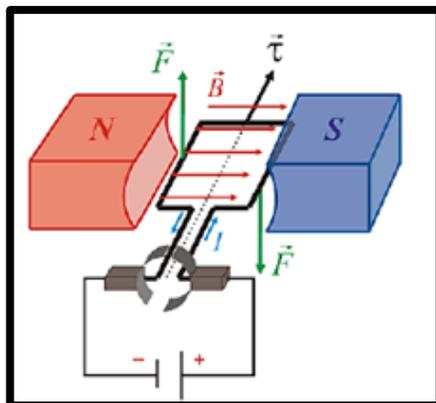
$r$  = radio del disco de freno

## **2.5. Freno regenerativo**

(Teran, 2019) especifica en su trabajo que “El freno regenerativo es un sistema de freno utilizado en vehículos eléctricos e híbridos principalmente, su objetivo se basa en recuperar parte de la energía del movimiento en energía que va a ser utilizada para recargar las baterías de alto voltaje, la idea del freno regenerativo se llevó desde antes de los años cincuenta, con el uso de elevadores eléctricos se utilizaba la corriente eléctrica para llevar a cabo el frenado. Los sistemas de frenos en un motor eléctrico pueden ser electromecánicos y netamente eléctricos. Para comprender el funcionamiento de este sistema es necesario revisar algunos conceptos”

### **2.5.1. Motor eléctrico**

Como menciona (Méndez, Cely, & Monar, 2016) “Un motor eléctrico es una máquina eléctrica rotatoria que transforma la energía eléctrica en energía mecánica mediante un proceso electromagnético. Se puede observar las múltiples ventajas en relación al motor de combustión interna, como eficiencia mayor, limpieza de las partes, comodidad debido al tamaño, además de la seguridad de funcionamiento”



**Figura 16.** Campo de fuerzas magnéticas  
Fuente: (Méndez, Cely, & Monar, 2016)

El principio del funcionamiento está basado en el campo electromagnético, en el cual una fuente de energía alimenta al campo magnético, produciendo un momento de fuerzas y una rotación, convirtiendo de esta manera una energía eléctrica inicial en una energía mecánica. (R. Bargalló, 2009)

### 2.5.2. Generador

El generador eléctrico tiene un principio contrario al motor eléctrico, en el cual es necesario un movimiento rotatorio para generar energía eléctrica, que posteriormente puede ser utilizada en varios aparatos, es decir requiere energía mecánica para ser convertida en energía eléctrica. (R. Bargalló, 2009)

(Méndez, Cely, & Monar, 2016) establece que “El generador sigue el principio de la ley de inducción electromagnética, que dice que al tomar en cuenta el giro de una espira dentro de un campo magnético se producirá una variación del flujo del mismo tipo a través del campo, generando así una corriente eléctrica. La fuerza electromotriz inducida depende del ritmo de cambio del flujo, mas no del número de líneas de campo que atraviesa el circuito, es decir solo de su variación en el tiempo y se produce por el movimiento relativo de los conductores sobre el estator dentro de un campo magnético.”

### **2.5.3. Freno regenerativo en motor de magneto permanente (sin escobillas)**

“En los motores sin escobillas, por lo general se utiliza el campo generado por el paso del rotor (imán permanente) a través de los embobinados del estator, y así excitar los sensores de efecto Hall montados sobre el rotor, de esta manera se genera señales para controlar el motor. La teoría electromagnética dice que se produce un campo, proporcional a la velocidad, cuando se mueve un dipolo magnético en el espacio” (Escobar, Martínez, & Téllez, 2005).

A diferencia del motor con escobillas, en donde las utiliza para hacer el cambio de polaridad en el rotor mientras están conectadas al colector.

“Este campo es inducido en las bobinas, de las que están compuestas las fases del motor, de esta manera forma una f.e.m de retorno en el embobinado. En el caso de los motores sin escobillas, la energía aplicada a cada fase debe ser mayor que la f.e.m de retorno inducida para tener un torque mayor a cero. Esta energía se puede utilizar cuando el motor deja de ser excitado, es decir cuando se está frenando debido a que es proporcional a la velocidad y por lo tanto a la inercia, y es en ese momento donde se recargan las baterías” (Escobar, Martínez, & Téllez, 2005).

## **2.6. Neumáticos**

Es la parte del automóvil, motocicleta o autobús que cumple con una función en específico la cual es transmitir la potencia motriz y la del freno contra el suelo además de guiar la trayectoria que se dirige el vehículo, así como también participar como elemento activo de la suspensión y soportar el peso del vehículo.

Las características principales que posee un neumático son: la adherencia a los distintos tipos de suelo, como seco o mojado y buen comportamiento en curva como en recta, así como también una baja resistencia a la rodadura. Los materiales más utilizados en la fabricación de los neumáticos es el caucho natural, los neumáticos de caucho natural superan en prestaciones a los sintéticos salvo a altas velocidades donde estos superan en cuanto a fenómenos vibratorios. (Teran, 2019)

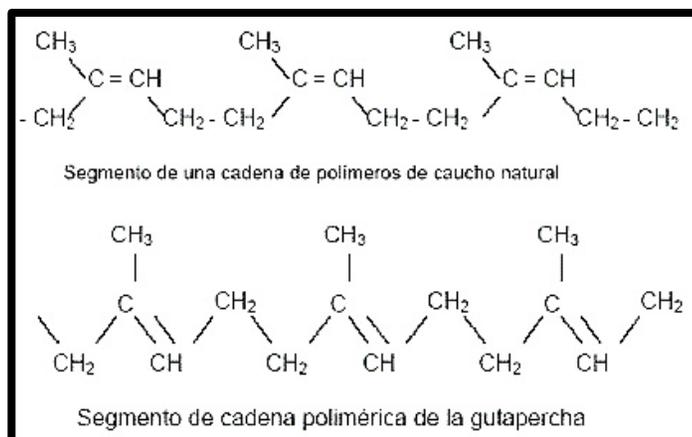
### **2.6.1. Materiales de composición de neumáticos**

La matriz de caucho más utilizada es el copolímero estireno-butadieno (SBR), en el que la proporción es de aproximadamente un 25 % en peso de estireno, o una mezcla de caucho natural y SBR. (Castro G. , 2008)

Todos los tipos de cauchos poseen diferentes propiedades, pero también con algo en común: todos, una vez vulcanizados, pueden ser muy duraderos, por lo que necesitarían una gran cantidad de tiempo para su degradación. (Castro I. G., 2008)

La combinación se realiza de modo que los cauchos naturales proporcionen elasticidad y los sintéticos, estabilidad térmica. Esta combinación de efectos favorece la durabilidad y la capacidad de adaptarse a las nuevas exigencias del tránsito. La estructura de los cauchos naturales está formada por cis-1,4 polisopreno mezclado con pequeñas cantidades de proteínas, lípidos y sales inorgánicas, entre otros. Se encuentra así un polímero de cadena larga y enredada en forma de espiral, de peso molecular medio,  $5 \times 10^5$  g/mol, que a temperatura ambiente está en un estado de agitación continua. Este comportamiento general es debido en parte al impedimento estérico del grupo metilo y el átomo de hidrógeno, en el mismo lado del doble enlace carbono-carbono. Esta

cadena se complementa con otro isómero estructural llamado gutapercha (Castro I. G., 2008)

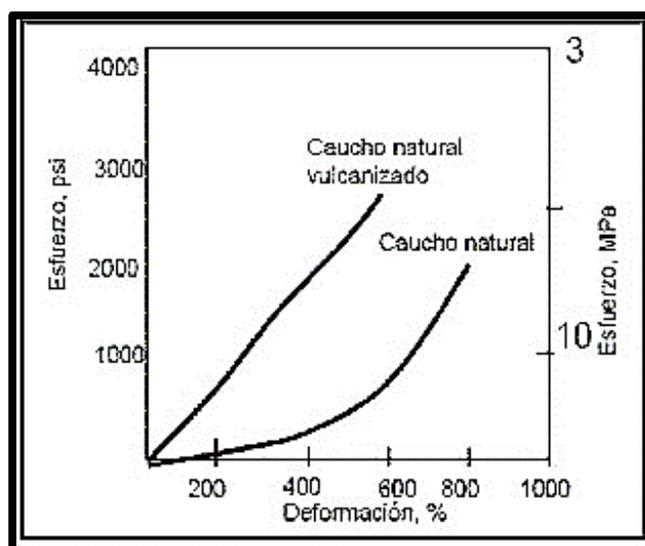


**Figura 17.** Estructura de neumáticos

Fuente: (Castro I. G., 2008)

### 2.6.2. Fabricación del neumático

Los neumáticos son sometidos a un entrelazamiento de cadenas que es el proceso de vulcanización en el que se lo calienta a altas temperaturas con polímeros de azufre.



**Figura 18.** Gráfica de composición

Fuente: (Castro I. G., 2008)

En el proceso de vulcanización el caucho pasa de ser un material termoplástico a ser uno elastomérico. Las posibilidades de deformación son muy diferentes, como se ilustra en la Figura. La adición de cargas hace abaratar el valor del neumático, dándole cuerpo y rigidez, se utilizan negro de humo y arcillas modificadas. (Teran, 2019)

Se agregan además, otros materiales al caucho para mejorar sus propiedades, tales como: suavizantes, que aumentan la trabajabilidad del caucho, antes de la vulcanización; óxido de Zinc y de Magnesio, comúnmente denominados activadores, pues son mezclados para reducir el tiempo de vulcanización de varias a horas a pocos minutos; antioxidantes, para dar mayor vida al caucho sin que se degrade por la acción del oxígeno y el ozono; y finalmente negro de humo, especie de humo negro obtenido por combustión incompleta de gases naturales, que entrega mayor resistencia a la abrasión y a la tensión. (Castro I. G., 2008)

| Componentes    | Tipo vehículo            |                       | Función                   |
|----------------|--------------------------|-----------------------|---------------------------|
|                | Automóviles<br>% en peso | Camiones<br>% en peso |                           |
| Cauchos        | 48                       | 45                    | Estructural – deformación |
| Negro humo     | 22                       | 22                    | Mejora oxidación          |
| Óxido de zinc  | 1,2                      | 2,1                   | Catalizador               |
| Materia textil | 5                        | 0                     | Esqueleto estructural     |
| Acero          | 15                       | 25                    | Esqueleto estructural     |
| Azufre         | 1                        | 1                     | Vulcanización             |
| Otros          | 12                       |                       | Juventud                  |

**Figura 19.** Componentes de neumáticos

Fuente: (Castro I. G., 2008)

### 2.6.3. Partes del neumático

Como especifica (Martín, 2007) en su trabajo “Los neumáticos están compuestos de tres partes principales los cuales son: cubierta, válvula y cámara si lleva esta.

- La Cámara

Es el componente de goma que almacena el aire y le proporciona la forma al neumático. Hoy en día los neumáticos en su mayoría no tienen cámara (tubeless) y tienen la ventaja que en el caso de un pinchazo se desinfla más lentamente pudiéndose.

- La válvula

Es la sección por la cual se infla el neumático y tiene como función mantener la presión, existen varios tipos de válvulas y todos estos están normalizados.

- La cubierta

La cubierta es la porción principal del neumático y está compuesta de las siguientes partes:

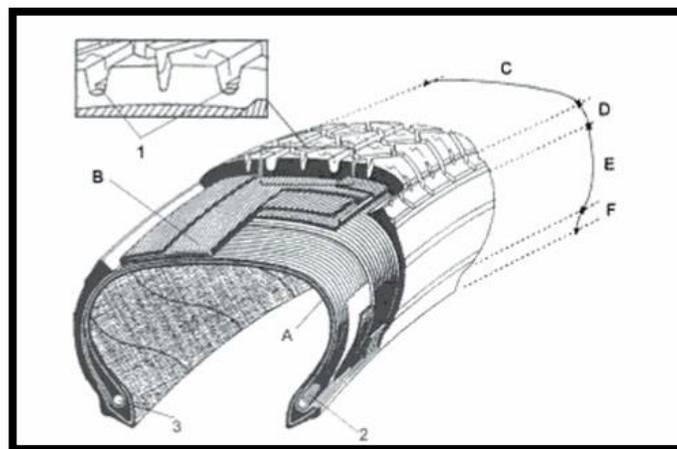
A) Carcasa: cuya función es dar la firmeza a la cubierta la cual soporta los esfuerzos de la carga aplicada, del exterior y de la propia presión de inflado. Está compuesta de una o más telas engomadas que a su vez se componen de cuerda de material flexible y resistente. Va revestida de una capa de goma que le brinda impermeabilidad.

B) Cintura: está ubicado en las cubiertas de la estructura radial y la función principal que cumple es la de proporcionar firmeza al cubrimiento soportando su carga. Se compone de varias telas en la parte superior de la carcasa dándole una forma plana en esa área.

C) Banda de rodamiento: es la franja de la cobertura que tiene contacto directo con el piso la función principal es de proteger a la carcasa de los golpes y de la abrasión. Su dibujo está formado por tacos y surcos que determinan la adherencia al suelo. La banda de rodadura dispone de indicadores de desgaste.

D) Hombros: son las porciones de unión entre la banda de rodadura y el flanco de cubierta. Su trabajo es el de impedir los golpes desde los lados que se den en el neumático.

E) Talones: la misión principal es anclar la estructura de refuerzo en el neumático y transferir parte de los movimientos de aumento de velocidad y frenado.”

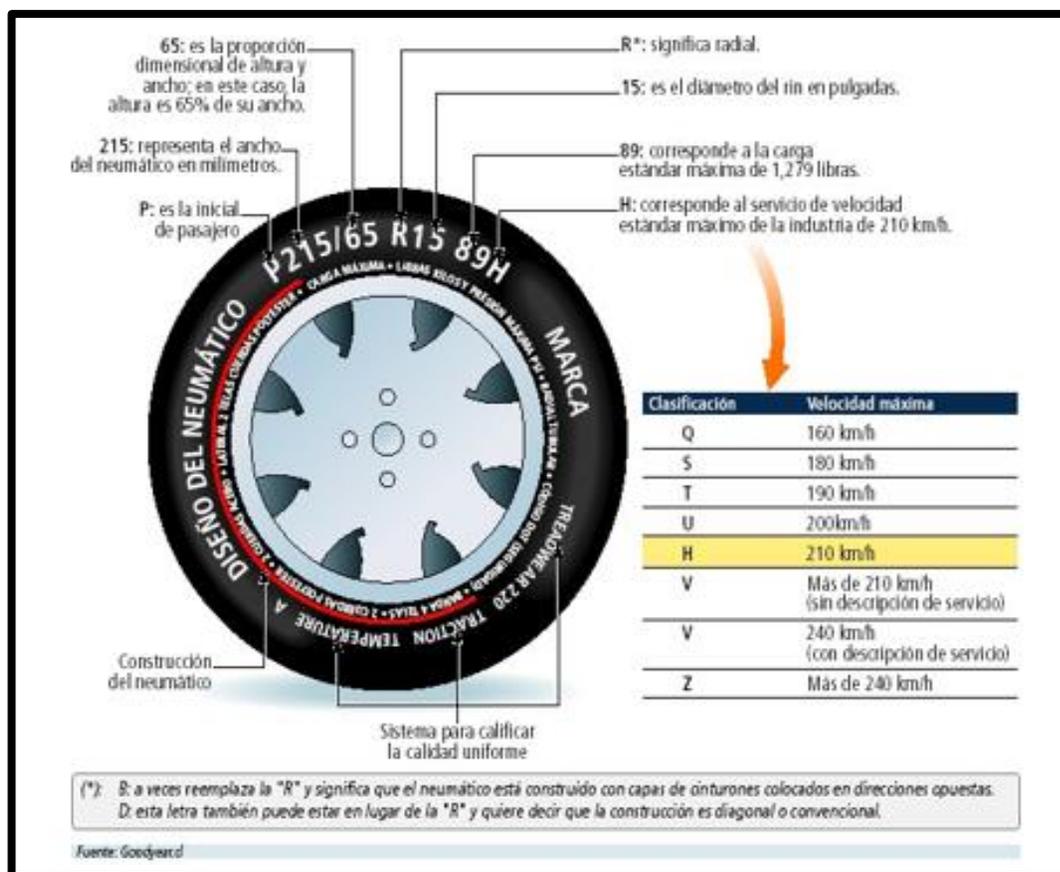


**Figura 20.** Partes del neumático

Fuente: (Martín, 2007)

#### 2.6.4. Información técnica del neumático

El neumático de la figura 8 utiliza el sistema métrico norteamericano denominado P-metric.



**Figura 21.** Designación de neumáticos

Fuente: (VELÁSQUEZ, 2005)

### 2.6.5. Dimensiones de los neumáticos

Según menciona (Bridgestone, 2018) en su sitio web "Ancho total: es medida de la sección transversal del neumático es decir la zona que va asentada en el suelo, incluyendo los costados de la llanta.

Ancho de sección: es el ancho total sin considerar los rebordes de la llanta.

Ancho de la sección de rodadura: distancia ubicada entre los extremos de la banda de rodadura, al estar sin carga el neumático.

Profundidad de la sección de rodadura: la medición más grande de profundidad de la ranura ubicada entre la banda de rodadura y su base.

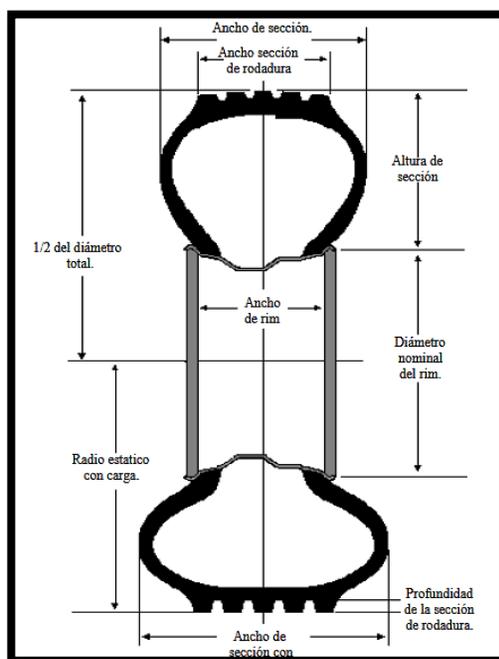
Altura de sección: distancia entre el asiento de ceja hasta la banda de rodadura, estando el neumático sin carga.

Ancho de rim: longitud transversal entre los laterales del asiento de la ceja del rin.

Diámetro nominal de rin: distancia del rin desde el asiento de ceja hasta el extremo opuesto del mismo, es decir el diámetro

Radio estático con carga: longitud comprendida entre el centro del eje del vehículo y la zona de rodamiento estando el neumático cargado a su máxima capacidad.

Ancho de sección con carga: es la distancia entre el ancho de sección máximo que la llanta alcanza al estar llevando su carga máxima de capacidad”



**Figura 22.** Dimensión del neumático

Fuente: (Bridgestone, 2018).

### 2.6.6. Llantas radiales.

Las capas están dispuestas en forma radial, esto es, paralelas las unas a las otras, en un ángulo de 90 grados a la circunferencia de la llanta. Los cinturones de soporte son

colocados sobre las capas a lo largo de la periferia de la llanta. Estos cinturones de soporte pueden ser fabricados de acero (como en las llantas radiales con cinturones de acero). (GOODYEAR, GO KILOMETROS QUE CUENTAN, 2018)

Las llantas radiales son la opción más común, tienen menor resistencia al rodamiento que otros tipos de llantas y, por lo tanto, mejoran el rendimiento de combustible, la maniobrabilidad del vehículo y el diseño de la banda de rodadura; debido a la construcción radial, ofrecen mejor comportamiento. (VELÁSQUEZ, 2005)

#### **2.6.7. Llantas convencionales y llantas con cinturón**

Aún están disponibles. Se deben tomar precauciones para no mezclar llantas de diferentes tipos de construcción. Debido a la gran diferencia de comportamiento entre radiales y otros tipos de construcción, colocar dos tipos diferentes de llantas en el mismo extremo del vehículo puede ser peligroso. (BARRAS, 2010)

#### **2.6.8. Llantas radiales ahorradoras de combustible**

Están diseñadas para ser infladas considerablemente más que las llantas radiales comunes. Este incremento de presión hace a la llanta más dura y por lo tanto reduce la resistencia al rodadura y el consumo de combustible.

Muchos vehículos nuevos son equipados con este nuevo tipo de llanta (como equipo de serie) que le ahorran combustible (BARRAS, 2010)

### **2.6.9. Llantas radiales para toda temporada.**

Ofrecen lo último en tecnología en llantas. Son diseñadas para comportarse adecuadamente bajo todas las condiciones de manejo y son generalmente del tipo ahorradoras de combustible. Las llantas radiales para toda temporada son una buena inversión para mucha gente, porque no es necesario cambiarlas en invierno o en verano. Sin embargo, debido a que el diseño del piso de las llantas radiales para toda temporada es una combinación entre un diseño para verano y para invierno, el comportamiento bajo condiciones adversas de manejo será ligeramente más pobre que aquellas llantas diseñadas para esas condiciones. (VELÁSQUEZ, 2005)

### **2.6.10. PRESIÓN DE INFLADO**

Según especifica (Teran, 2019) en su investigación “Los neumáticos son diseñados y construidos con gran cuidado para proveer de miles de kilómetros de excelente servicio. Pero para obtener un máximo beneficio de ellos, se debe tener un buen mantenimiento de estos Los factores más importantes en el cuidado de estos son”

- Una adecuada presión de inflado.
- Carga adecuada del vehículo.
- Inspección oportuna.
- Buenos hábitos de manejo.
- Condiciones del vehículo. (Guillén, 1993)

### 2.6.11. Tip de inflado

(Carnicer, 1994) evidencia que al “Revisar la presión de inflado de los neumáticos (incluyendo la llanta de refacción) por lo menos una vez al mes y antes de cualquier recorrido largo.

Las llantas deben de ser revisadas cuando estén frías; esto es cuando hayan recorrido menos de 1 kilómetro.

Al llegar a la estación de servicio, medir la presión de cada llanta, después infla la llanta caliente hasta el nivel correspondiente de presión “en caliente”, más lo desinflado correspondiente en frío”.

|  |   |
|--|---|
| <p><i>Delantera Izquierda</i><br/>Frío 35 psi<br/>Caliente 38 psi</p>  | <p><i>Delantera Derecha</i><br/>Frío 35 psi<br/>Caliente 38 psi</p>                       |
| <p><i>Trasera Izquierda</i><br/>Frío 35 psi<br/>Caliente 38 psi</p>   | <p><i>Trasera Izquierda</i><br/>Frío 29 psi<br/>Caliente 32 psi<br/>(Agregar 6 psi)</p>  |

**Figura 23.** Valores de presión de neumáticos

Fuente (Carnicer, 1994)

### 2.6.12. Selección adecuada del neumático.

(Michellin, 2019). Muestra en su sitio web “Dimensión adecuada del neumático

La carga máxima que soporta cada eje viene especificada por el fabricante del vehículo de acuerdo a las normativas vigentes. Es necesario que se equipe el eje con neumáticos adecuados y que soporten dichas cargas recomendadas

Dibujo adecuado del neumático

Es necesario aclarar que existen tres tipos principales de ejes en los vehículos pesados: eje de dirección, eje motriz y eje portador.

Para un eje de dirección.

Son rayados o el dibujo diseñados y fabricados para actuar de manera correcta en los ejes de dirección de los vehículos: carga dinámica, ángulos de la geometría de los ejes, rendimientos kilométricos elevado.”



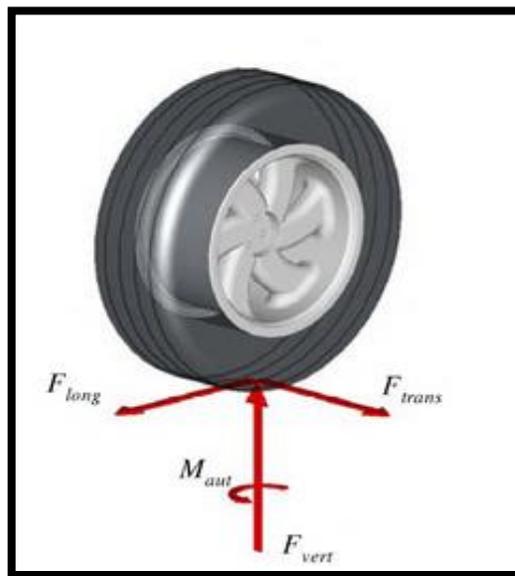
**Figura 24.** Dibujo del neumático PRIMACY 3  
Fuente: (Michellin, 2019)



**Figura 25.** Dibujo del neumático X Multi T  
Fuente: (Michellin, 2019)

### 2.6.13. Comportamiento dinámico del neumático

(Rodríguez Luque, Alvarez, & Vera, 2005). Establece que “El análisis dinámico de los neumáticos, se refiere a las fuerzas que se ejercen sobre el neumático y la respuesta a los factores en función de las diferentes características operativas y de diseño. Las fuerzas que actúan concisamente sobre el vehículo, son la fuerza longitudinal, transversal, vertical y momento autoalineante”



**Figura 26.** Fuerzas en el neumático  
Fuente: (Rodríguez Luque, Alvarez, & Vera, 2005)



#### 2.6.14. Mecanismo de fricción neumático-carretera

Las fuerzas de fricción que actúan en el contacto del neumático y el suelo se deben a dos fenómenos diferentes, las cuales son la adhesión e histéresis. Dichas fuerzas de adhesión se producen por la atracción entre las moléculas de las dos superficies de contacto en áreas con una elevada presión localizada, esto se produce por el giro que realiza la rueda o en el deslizamiento, el enlace entre moléculas se rompe y se genera constantemente, disipando energía y dando lugar a las fuerzas de fricción.

“Las fuerzas que se producen por el fenómeno de histéresis se producen de acuerdo a la constante deformación que se sufre la banda de rodadura por las irregularidades de la superficie de la carretera, las irregularidades de la carpeta asfáltica. Estas irregularidades tienen longitudes de onda que varían entre 0,5 y 50 mm con amplitudes entre 0,01 y 20mm. En el momento que se deforma la banda de rodadura, hay una fuerza que actúa en el sentido contrario para recuperar su forma. La influencia de ambos fenómenos en la fuerza de rozamiento final depende de diferente factor. La fuerza de adhesión es predominante en rodadura” (Luque, Álvarez, & Vera, 2004)

- Resistencia a la rodadura

Según el autor (Ramírez, 2017) menciona que “La resistencia a la rodadura siempre se opone al movimiento del vehículo, ayudando así al momento de frenar”. La fuerza de resistencia a la rodadura se calcula como:

$$R_r = f_r + (W_f + W_r) = f_r W$$

**Ecuación 15.** Resistencia a la rodadura

Donde:

$W_f$  y  $W_r$  = fuerza normal que experimentan las llantas de los vehículos con la carretera, representando el peso dinámico llevado a las llantas traseras y delanteras.

$f_r$  = es el coeficiente de resistencia de rodadura.

$W$  = es el peso del vehículo actuando sobre el centro de gravedad.

- Cálculo del coeficiente de rodadura ( $f_r$ )

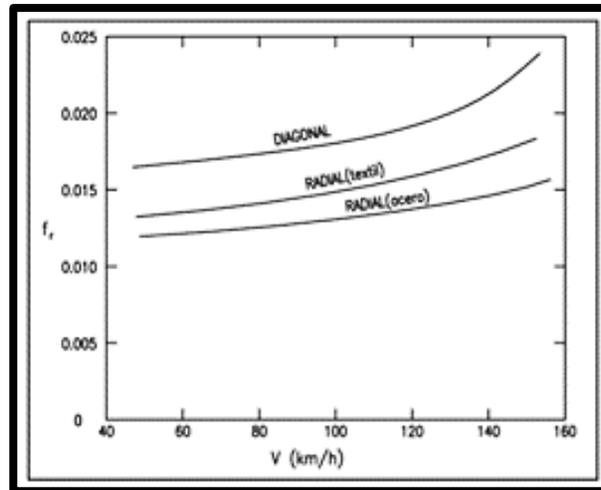
Afirma (Font Jaumandreu, 2014) que “El estado de equilibrio en dirección longitudinal atribuye la existencia de una fuerza igual y contraria generada en el área de contacto neumático-suelo, esta fuerza horizontal es conocida como resistencia a la rodadura ( $R_r$ ) y la relación entre esta fuerza y la carga normal a la superficie de rodadura ( $W$ ) aplicada a la rueda, se denomina coeficiente de resistencia a la rodadura ( $f_r$ ).”

$$f_r = \frac{R_r}{W}$$

**Ecuación 16.** Cálculo del coeficiente de rodadura

- Coeficiente de resistencia a la rodadura en función de la velocidad

El coeficiente de resistencia a la rodadura se lo puede calcular en función de la velocidad de circulación, como podemos observar en la figura 21.



**Figura 28.** Resistencia a la rodadura en función de la velocidad

Fuente: (Font Jaumandreu, 2014).

El tipo de calzada por la que circula el vehículo también tiene una atribución importante sobre el valor de la resistencia a la rodadura.

Para nuestro caso el bus BYD K11A circula sobre hormigón para lo cual según el autor (Font Jaumandreu, 2014) menciona que “para neumáticos de vehículos, sobre pavimento de hormigón, el coeficiente de resistencia a la rodadura puede calcularse por la ecuación:

$$f_r = f_o + f_s \cdot \left(\frac{V}{100}\right)^{2,5}$$

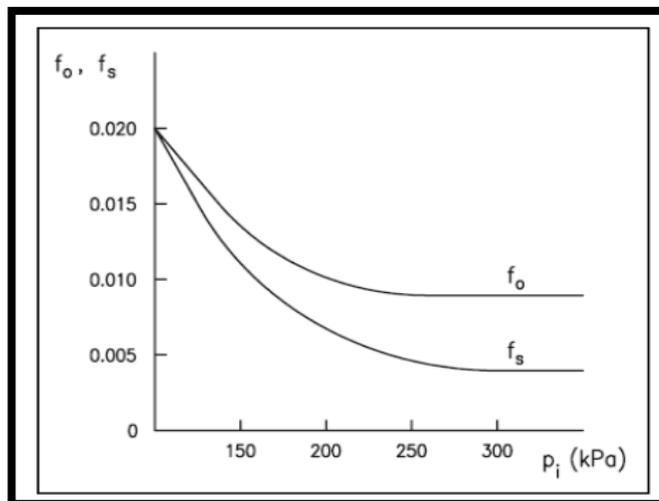
**Ecuación 17.** Factor de resistencia a la rodadura.

Donde:

$f_r$ = resistencia a la rodadura

$f_o$  y  $f_s$  = parámetros que dependen de la presión de inflado

$V$ = velocidad del vehículo en Km/h.



**Figura 29.** Variación de los coeficientes  $f_o$  y  $f_s$  en función de la presión

Fuente: (Font Jaumandreu, 2014)

Como referencia en la siguiente tabla se presentan los valores del coeficiente, en función del tipo de neumático, según el tipo de vehículo y el tipo del suelo o calzada.

**Tabla 8**

*Valores de coeficientes de rodadura a diferentes condiciones de superficie*

| Tipo de Vehículo        | Tipo de Superficie |              |       |
|-------------------------|--------------------|--------------|-------|
|                         | Hormigón/ Asfalto  | Dureza Media | Arena |
| <b>Turismo</b>          | 0,015              | 0,08         | 0,3   |
| <b>Camiones / Buses</b> | 0,012              | 0,06         | 0,25  |
| <b>Tractores</b>        | 0,020              | 0,04         | 0,2   |

Fuente: (Font Jaumandreu, 2014)

- Cálculo del porcentaje de conservación del neumático.

El cálculo del porcentaje de conservación del neumático está dado por la profundidad promedio de las mediciones del neumático y la profundidad de la escultura de fábrica.

$$C\% = \frac{\textit{promedio profundidad}}{\textit{profundidad de fábrica}} * 100$$

**Ecuación 18.** Porcentaje de conservación

- Cálculo del porcentaje de desgaste

El cálculo del porcentaje de desgaste del neumático viene dado por la profundidad de medidas promedio multiplicado por la profundidad de fábrica.

$$D\% = 100 - \frac{\textit{profundidad promedio} * 100}{\textit{profundidad de fábrica}}$$

**Ecuación 19.** Porcentaje de desgaste

### 2.6.15. Causas de deterioro de los neumáticos

(Paredes & Sánchez, 2008) aseveran que: "Un gran número de neumáticos para uso de Ingeniería se deterioran como consecuencia de:

- Un inflado insuficiente: Se la reconoce como la flexión del neumático, produciendo el aumento de la temperatura dentro del mismo.
- Sobre inflado: Se da cuando presenta un desgaste precoz de la banda de rodadura, y presenta mayor sensibilidad a los choques o los daños por cortes.
- Sobrecarga: Desgaste a corto plazo de la banda de rodadura, se presenta sensibilidad de los flancos y aumento de la flexión del neumático, lo que da lugar a un incremento de la temperatura al interior del neumático.
- Velocidad excesiva: Aumento de la temperatura al interior del neumático y desgaste precoz de la banda de rodadura."(p.32).

## **2.6.16. Factores que influyen en la duración de vida de los neumáticos**

### A) La temperatura interna de funcionamiento

Cuando un neumático se encuentra en rodamiento, se incrementa la temperatura como consecuencia de:

- El trabajo realizado.
- El incremento de temperatura en los discos de freno.
- El calentamiento de los reductores.

### B) Injerencia de la presión en la vida útil del neumático

La presión es uno de los factores principales para la estimación de vida de un neumático.

A título indicativo

- Un inflado insuficiente en un 10% disminuye la vida útil del neumático en un 10%.
- Un inflado insuficiente en un 20% acorta la duración del neumático en un 25%
- Un inflado limitado en un 30% disminuye la vida útil del neumático en un 50%.
- Un sobre inflado de un 10% reduce la duración del neumático en un 5%.
- Un sobre inflado de un 20% disminuye la duración del neumático en un 10%.
- Un sobre inflado de un 30% reduce la duración del neumático en un 20%.

### C) Influencia de las condiciones climáticas

Dependiendo de que la temperatura sea elevada o de que el clima sea seco o húmedo, el neumático sufrirá las consecuencias. (Paredes & Sánchez, 2008)

### D) Posición de los neumáticos en el vehículo

Se permite que los neumáticos colocados sobre ruedas motrices tienen una vida útil por desgaste inferior en un 25% en comparación con los montados sobre ruedas directrices.

(Paredes & Sánchez, 2008)

#### E) La sobrecarga

En ocasiones podemos encontrar una carga excesiva en los neumáticos, sobrecarga que se debe, a la naturaleza y al tipo de material trasladado, así como la manera en que se efectúa la carga.

A título indicativo

- Un exceso de carga del 10% limita la duración del neumático en un 15%.
- Un exceso de carga del 20% limita la duración del neumático en un 30%.
- Un exceso del 30% limita la duración del neumático en un 50%.

#### F) Sobrecarga permanente

Es conveniente no sobrecargar el vehículo de una forma permanente. El material o carga viva transportada puede tener una densidad más alta que de costumbre.

#### G) Sobrecarga puntual

A una carga que no es la correcta, hace que la mayor parte de la carga se apoye sobre un eje, un lado, un neumático (Paredes & Sánchez, 2008).

### **2.6.17. Ficha técnica del neumático Giti Tour 900**

En la página web del fabricante de neumáticos Giti muestra una ficha de algunas de las especificaciones técnicas del modelo global equivalente a las que usa el vehículo de la casa china BYD que es el modelo Giti Tour 900 en la cual se muestran dimensiones, datos que serán utilizados posteriormente para cálculos.

**Tabla 9**

Ficha técnica GITI® TOUR 900

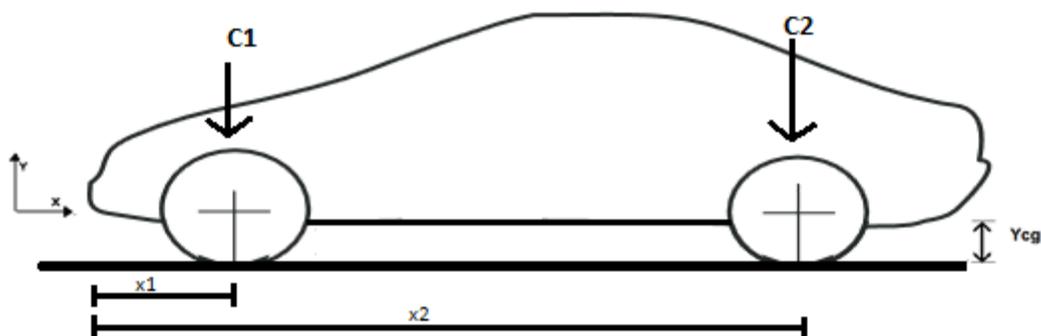
| Dimensión                        | 205/55 R16 |
|----------------------------------|------------|
| Ancho (mm)                       | 205        |
| Índice de carga/velocidad        | H94        |
| Velocidad máxima                 | 240km/h5   |
| Carga máxima                     | 670kg      |
| Presión máxima                   | 50psi      |
| Profundidad de la escultura (mm) | 8,4        |
| Profundidad de resurcaje (mm)    | 1,6        |

Fuente: (Tires, 2019)

## 2.7. Distribución del esfuerzo durante el frenado.

### 2.7.1. Cálculo del centro de gravedad de un vehículo

Acorde a la figura 30 se hace coincidir el eje de las abscisas con el punto centro de los ejes del vehículo, que a su vez esta distancia se la verifica en la ficha técnica especificada por el fabricante de vehículo eléctrico BYD E5 300.



**Figura 30.** Diagrama para el cálculo del centro de gravedad.

Este valor se calcula mediante las siguientes ecuaciones:

$$X_{cg} = \frac{C1X1 + C2X2}{C1 + C2}$$

**Ecuación 20.** Cálculo del centro de gravedad.

Donde:

$X_{cg}$  = es la distancia desde el eje de coordenadas hasta el centro de gravedad.

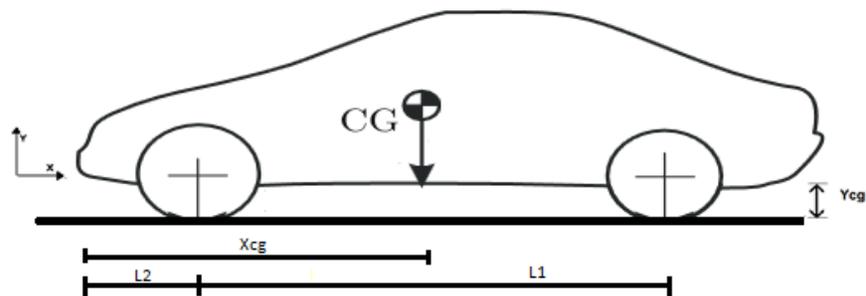
$Y_{cg}$  = es la distancia desde el centro del eje del vehículo hacia el suelo.

$C1, C2$  = es la carga que soporta cada eje del vehículo.

$X1, X2$  = es la distancia desde el centro del eje del vehículo hasta el centro de coordenadas.

### 2.7.2. Análisis de carga en un vehículo

Analizando el diagrama de cuerpo libre del vehículo se establecen las cargas en el estado de reposo con el fin de determinar el esfuerzo producido en el frenado.



**Figura 31.** Diagrama de cuerpo libre en condición de reposo.

Aplicando la primera ley de Newton

$$\sum Fy = 0$$

$$4 * Ft + 4 * Fm + 2 * Fd = m * g$$

$$\sum Mo = 0$$

$$2Ft * (L2) + 2Fd * (L1 + L2) = mg * Xcg$$

$$Ft = \frac{W * Xcg - 2Fd * (L1 + L2)}{2(L2)}$$

**Ecuación 21.** Carga total estática del neumático trasero.

$$Fd = \frac{mg - 2Ft}{2}$$

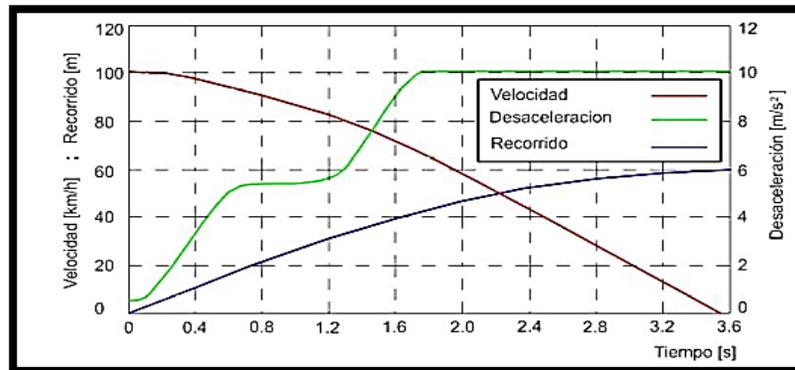
**Ecuación 22.** Carga total estática del neumático delantero.

Donde:

Fd = carga total estática del neumático delantero.

Ft = carga total estática del neumático trasero.

### 2.7.3. Cinemática de frenado de un vehículo



**Figura 32.** Cinemática de frenado de un vehículo

Fuente: (Venegas W. , 2012)

La fuerza aerodinámica que se considera en el vehículo solo en velocidades altas ya que es en esa circunstancia que la velocidad del flujo de viento crea una fuerza sobre el mismo, lo que no sucede en velocidades bajas en las que no existe resistencia al viento ya que es el sistema de frenos el que se encarga de realizar todo el trabajo.

## 2.8. Ensayos para determinar propiedades mecánicas en las pastillas de freno

### 2.8.1. Norma NTE INEN-ISO 6311

En el momento de frenado se genera un esfuerzo cortante sobre el material friccionaste de las pastillas de freno por lo que se designa la normativa (INEN N. , 2009) para determinar la resistencia interna al corte.

#### A. Objeto

Esta norma tiene por objeto establecer el método de ensayo para determinar la resistencia interna al corte de los materiales de fricción.

## B. Símbolos, unidades y definiciones

En la tabla que se presenta se describe los símbolos, unidades y definiciones que ayudan a comprender mejor el alcance que posee la norma 6311.

**Tabla 10**

*Nomenclatura para el ensayo de resistencia interna al corte.*

| Descripción               | Símbolo | Unidad            |
|---------------------------|---------|-------------------|
| <b>Esfuerzo de corte</b>  | T       | N/mm <sup>2</sup> |
| <b>Fuerza de corte</b>    | F       | N                 |
| <b>Área bajo esfuerzo</b> | A       | mm <sup>2</sup>   |

Fuente: NTE INEN 6311

- Esfuerzo interno de corte.

Corresponde a la relación de la fuerza de corte respecto al área bajo esfuerzo.

- Fuerza de corte.

Representa la fuerza vertical que se ejerce sobre la pastilla o material de fricción, que causa la ruptura de la probeta.

### 2.8.2. Norma NTE INEN-ISO 6310

En la norma se aclara que la compresibilidad del material friccionante de una pastilla de freno es un factor que debe ser considerado en su diseño ya que debe soportar la deformación que se produce por la compresión ejercida por el sistema hidráulico.

## A. Objeto

Se especifica además el procedimiento a seguir para la medición de la muestra, así como el protocolo de pruebas de deformación por compresión.

## B. Símbolos, unidades y definiciones

En la siguiente tabla se muestra toda la nomenclatura utilizada en los ensayos de la normativa utilizada

**Tabla 11**

*Símbolos y unidades del ensayo de deformación por compresión.*

| Descripción | Símbolo  | Unidad             |
|-------------|--|--------------------|
| i           | Muestra de ensayo                                  | -                  |
| X           | Carga de ensayo                                    | -                  |
| $\bar{d}_i$ | Espesor promedio de $i$                            | $\mu\text{m}$      |
| n           | Numero de muestras del ensayo                      | -                  |
| t1          | Temperatura de ensayo para ensayo de calentamiento | $^{\circ}\text{C}$ |
| t2          | Temperatura más alta de ensayo de calentamiento    | $^{\circ}\text{C}$ |

Fuente: NTE INEN 6310

- Deformación por compresión.

La normativa específica que las medidas deben realizarse en la dirección en la que se aplica la fuerza, realizando una medición inicial para posteriormente comprimir la muestra, someterla a altas temperaturas y poder determinar la reducción del espesor del revestimiento de la pastilla de freno.

## CAPÍTULO III

### 3. MODELADO, SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE FRENOS Y MEDICIONES DEL DESGASTE DE NEUMÁTICOS Y PASTILLAS

#### 3.1. Cálculos del sistema de frenos

##### 3.1.1. Cálculo térmico en disco de freno

El cálculo térmico referente al disco de freno se lo determina en base a los parámetros anteriormente revisados, para este fin el par de frenado y la velocidad angular son necesarios como describe la ecuación 6.

Con esta referencia se consideran las dimensiones del neumático del automóvil eléctrico BYD E5 300 el cual es: 205/55 R 16 mostrado en la tabla 9, de este modo se calcula el radio del neumático de la siguiente forma.

$$r_n = \left( \frac{Dl}{2} + An * Ran \right)$$

$$r_n = \left( \frac{16 \text{ in} * 25,4 \text{ mm}}{2} + 205 * 0,55 \right)$$

$$r_n = 315,95$$

La velocidad angular de la ecuación 6 se calcula por:

$$\omega = 277,8 * \frac{v_x}{r_n}$$

$$\omega = 277,8 * \frac{40}{315,95}$$

$$\omega = 35,17 \text{ rad/s}$$

Para determinar la temperatura máxima que alcanza el disco de freno en un ciclo de trabajo es necesario establecer los parámetros iniciales que se muestran en la tabla 12 para de esta forma simular las condiciones reales de funcionamiento del sistema de frenos, siendo necesarios los datos específicos del material especificados en la tabla 6 con el fin de validar los datos de fabricación del material.

**Tabla 12**

*Datos para el cálculo térmico del conjunto Disco-Pastilla*

|  |   |
|--|---|
| Temperatura inicial del disco de freno   | 20,5 °C                                 |
| Temperatura ambiente                     | 20,5°C                                  |
| Masa del disco de freno                  | 8.84 kg                                 |
| Área de convección del disco de freno    | 2765,25 mm <sup>2</sup>                 |
| Calor específico del disco de freno      | 482,5 J/Kg°C                            |
| Coeficiente de convección del disco      | 4x10 <sup>-5</sup> W/mm <sup>2</sup> °C |
| Conductividad térmica del disco de freno | 45 W/m°C                                |
| Distancia de frenado                     | 19m                                     |
| Tiempo de frenado                        | 3s.                                     |
| Coeficiente de adherencia                | 0.85                                    |
| Fuerza normal                            | 22317.75 N                              |
| Velocidad angular                        | 35,17 rad/s                             |
| Velocidad del vehículo                   | 40 Km/h=11.11m/s                        |
| Masa del vehículo                        | 2275 Kg                                 |

La energía disipada durante el frenado se calcula utilizando la ecuación 1.

$$E_f = \frac{k \times m \times (v_i^2 - v_f^2)}{2}$$

$$E_f = \frac{1,25 \times 2275 \times (11,11^2 - 0)}{2}$$

$$E_f = 175,505 \text{ KJ}$$

La distribución de frenado se distribuye directamente en sus dos ejes según la capacidad de carga de cada uno de ellos, la cual se especifica en la tabla 13, de este modo se calcula el porcentaje representativo del eje más cargado que es el frontal y se determina la energía disipada en dicho eje con la siguiente ecuación:

$$E_{frontal} = E_f \times 60\%$$

$$E_{frontal} = 175505,0172 \times 60\%$$

$$E = 105303.0103 \text{ J}$$

Según menciona (Lillo, 2006), la energía absorbida por la pastilla es de un 10%, mientras que la del disco de freno es de un 90%, para lo cual se procede:

$$E_{disc} = E_{delantero} \times 0,9$$

$$E_{disc} = 105303.01 \times 0.9$$

$$E_{disc} = 94772.709 \text{ J}$$

La energía absorbida por el disco de freno se calcula teniendo en consideración que el eje frontal posee dos discos de freno por lo cual se realiza lo siguiente:

$$E = E_{disc}/2$$

$$E = 94772.709 \text{ J}/2$$

$$E = 47386.354 \text{ J}$$

$$E = 47.386 \text{ KJ}$$

En este punto se calcula la potencia de fricción, a partir de la ecuación 2 de fuerza de rozamiento, seguido se utilizando la ecuación 13, y comprobando los datos obtenidos en la tabla 12

$$F_r = u_b * F_n$$

$$F_r = 0,85 \times 22317.75$$

$$Fr = 18970.08 \text{ N}$$

$$P_f = \frac{F_r * Df}{n * t_f}$$

$$P_f = \frac{18970.08 * 19}{3 * 4}$$

$$P_f = 30035.96 \text{ W}$$

Continuando el proceso de cálculo, se determina el par de rozamiento del disco, tomando la ecuación 12 y posteriormente la ecuación 10, para determinar la temperatura del disco de freno T

$$T_{fr} = P_f * \frac{K}{\omega}$$

$$T_{fr} = \frac{30035.96 * 1.5}{35,17}$$

$$T_{fr} = 1921.55 \text{ J/rad}$$

$$T = \frac{T_{Fr} * \omega * t_f + m_d * c_d * T_o + h * A_c * T_{amb}}{m_d * c_d + h * A_c}$$

$$T = \frac{1921.55 * 35,17 * 3 + 8.84 * 482,5 * 20,5 + 4x10^{-5} * 2765,25 * 20.5}{8.84 * 482,5 + 4x10^{-5} * 2765.25}$$

$$T = 68.03^\circ\text{C}$$

### 3.1.2. Cálculo del centro de gravedad

El centro de gravedad se calculó tomando en cuenta la carga que soporta cada eje del vehículo eléctrico y el eje de coordenadas como se muestra en la figura 30. Para esto se realiza la medición desde el centro del neumático hasta el suelo para calcular la componente en el eje Y y aplicando la ecuación 20 para la componente en el eje X.

$$X_{cg} = \frac{C1X1 + C2X2}{C1 + C2 + C3}$$

$$X_{cg} = \frac{1365 * 985 + 910 * 1035}{985 + 1035}$$

$$X_{cg} = 1131.868$$

$$Y_{cg} = 60.62$$

### 3.1.3. Fuerzas y momentos que actúan durante el frenado

La ecuación 21 y 22 son utilizadas para determinar las fuerzas y momentos que actúan sobre el eje trasero y delantero respectivamente como se lo indica en la tabla 13, adicionalmente se muestra el porcentaje carga fija impuesta sobre los ejes.

**Tabla 13**

*Valores de cargas y distribución de carga por eje*

| Disposición de carga en el neumático  | Valor (N) | Distribución de carga en los ejes (%) |
|---------------------------------------|-----------|---------------------------------------|
| Carga total en el neumático delantero | 1365      | 60                                    |
| Carga total en el neumático posterior | 910       | 40                                    |
| Carga total                           | 2275      | 100                                   |

Fuente: (BYD-Ecuador, 2018)

### 3.1.4. Dinámica de frenado del vehículo

Dentro de la dinámica del frenado existen ciertos factores que inciden en su resultado como son, la fuerza de fricción que produce la pastilla y el disco, la fuerza debe ser reubicada en el radio del neumático para este estudio ya que este factor se calcula mediante la ecuación 14.

$$r_k = \frac{r_n}{r}$$

$$r_k = \frac{60,62}{130}$$

$$r_k = 0,465$$

### 3.1.5. Eficiencia de frenado

En este caso se ha trabajado tomando medidas en el circuito establecido para las pruebas de ruta, utilizando el segmento plano comprendido entre los puntos "A" y "B"

Se realiza la toma de medidas del tiempo basadas en la calzada y la velocidad del vehículo. Así como también del coeficiente de adherencia entre el neumático y el terreno el cual es de 1 para carretera seca y 0,85 para neumáticos usados y nuevos respectivamente a 50 km/h.

Para establecer el tiempo que transcurre en el frenado se toma como punto base el del momento en el que se presiona el pedal del freno hasta el momento en el que se detiene el vehículo y se lo registra con un cronometro.

La medida de la inclinación de la carretera, se efectuó con el uso de una aplicación móvil, en la cual se determina el valor de 2°.

Cuando el vehículo está circulando normalmente según el protocolo de pruebas establecido se toma el dato de la velocidad inicial comprobando el velocímetro del tablero de instrumentos del vehículo expresados en la tabla 15

Por último, se define la eficiencia de frenado basado en la desaceleración y el tiempo de frenado conforme a las ecuaciones 4 y 5 respectivamente, utilizando los coeficientes de adherencia de la tabla 5, a 50 Km/h.

La eficiencia de frenado viene dada por la ecuación

$$\eta = \frac{a_x}{g}$$

**Ecuación 23.** Eficiencia de frenado

Donde:

$a_x$  = desaceleración

$g$  = gravedad

**Tabla 14**  
*Eficiencia de frenado*

| Coeficiente de adherencia | Desaceleración ( $m/s^2$ )<br>$a_x$ | Tiempo de frenado (s)<br>$t_f$ | Eficiencia de frenado<br>$\eta$ |
|---------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 0,85                      | 7,13                                | 1.76                           | 73%                             |
| 1                         | 8,63                                | 1,46                           | 88%                             |

### 3.2. Materiales que componen la pastilla de freno

Como menciona (Teran, 2019) “Para determinar en la simulación el material del cual se compone la pastilla de freno dentro del software CAE es necesario conocer los materiales por los que está conformado la pastilla de freno por este motivo se realizó un estudio de Cromatografía, el cual es una técnica denominada Cromatografía de Gases/Masas (GC-MS) que es capaz de separar gases y detectar masas, ya que esta combinación permite realizar el análisis, cuantificación de materiales orgánicos”

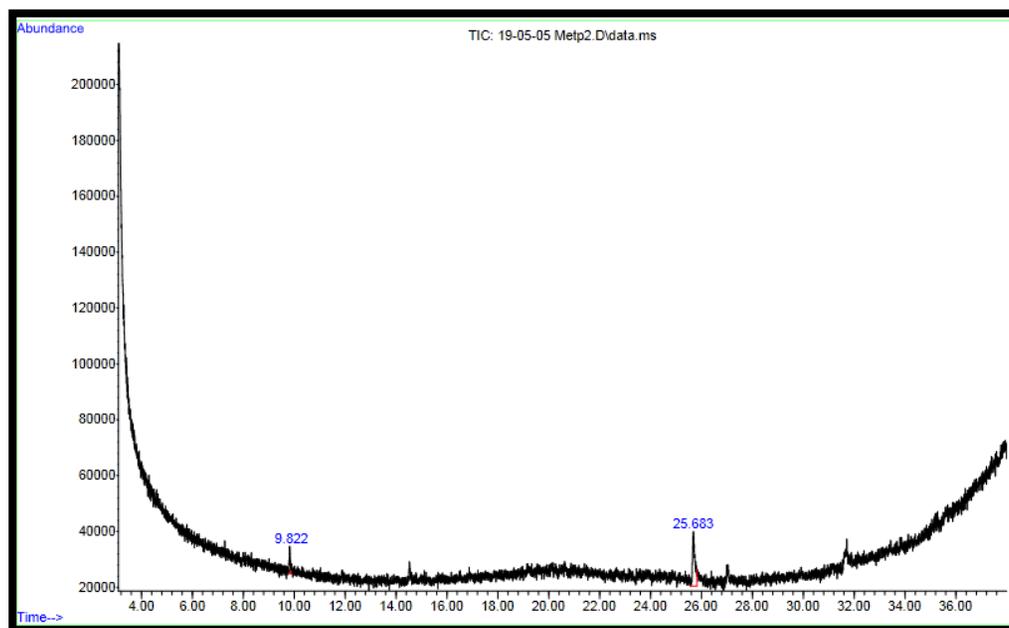
**Tabla 15**  
*Componentes de la pastilla de freno*

| Determinación  | Unidad | Método | Resultado |
|----------------|--------|--------|-----------|
| Nonadecatrieno |        |        | 17,76     |

**CONTINÚA** →

|                    |            |   |       |
|--------------------|------------|---|-------|
| <b>Benzofenona</b> | % Relativo | Método interno<br>Cromatografía de<br>(GC-MS) | 82,24 |
|--------------------|------------|---|-------|

Fuente: (Teran, 2019)



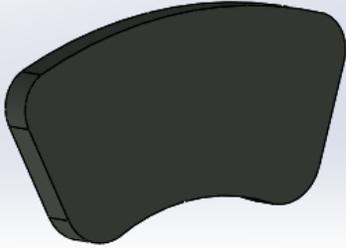
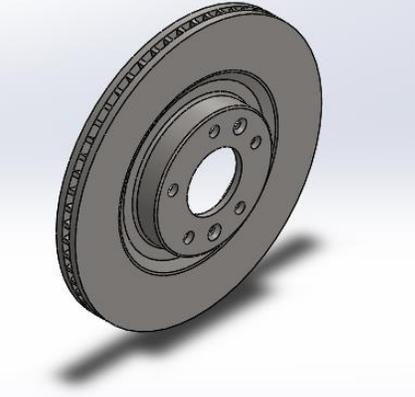
**Figura 33.** Resultados de la cromatografía aplicada a la pastilla de freno  
Fuente: (Teran, 2019)

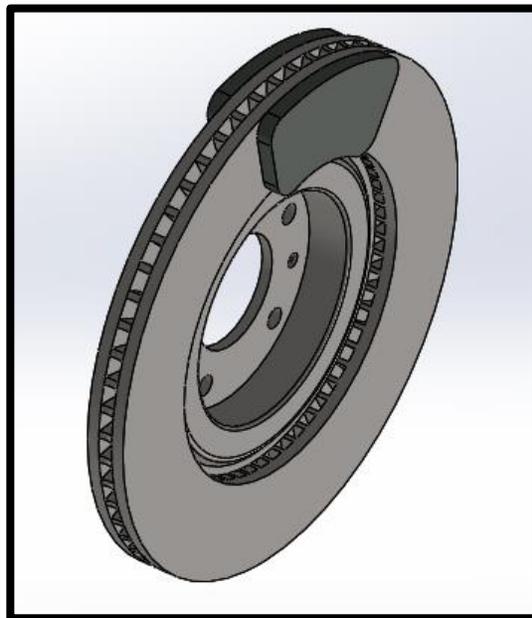
### 3.3. Simulación de los componentes del sistema de freno

#### 3.3.1. Modelado del sistema de frenos del vehículo eléctrico BYD E5 300

A la hora de realizar la simulación del sistema de frenos se tomaron en consideración los principales elementos que actúan en el frenado que son, el disco de freno y las pastillas de freno, tomando las medidas reales de dichos componentes.

**Tabla 16**  
*Componentes del sistema de frenos*

| Componente        | Gráfico   |
|-------------------|---|
| Pastilla de freno |   |
| Disco de freno    |  |



**Figura 34.** Ensamble del disco con las pastillas de freno

### **3.4. Simulación de los componentes del sistema de freno**

Transient-Thermal es el entorno en el que se realiza la simulación de la pastilla y el disco de freno ya que permite interactuar con diferentes estados como son temperatura, radiación, flujo de calor y demás, de este modo en función del tiempo se analizan las temperaturas máximas y mínimas para determinar la conducta térmica del ensamble.

En el entorno Transient Structural las simulaciones pueden ser lineales o no lineales, permitiendo analizar deformaciones largas, plasticidad y de contacto que es la función que requiere para analizar la simulación de fricción entre el disco y la pastilla basado en el coeficiente de fricción requerido, obtenido de las especificaciones de material de los componentes del ensamble para que en la simulación se cumplan las condiciones reales de funcionamiento.

#### **3.4.1. Propiedades de los materiales utilizados en la simulación**

El ensamble Disco-Pastilla posee propiedades mecánicas que deben ser consideradas al realizar la simulación del comportamiento térmico y mecánico y que de esta forma conseguir resultados para lo cual se utilizó los valores especificados en la tabla 6.

- Propiedades del material correspondientes al disco de freno

Se establecieron en la simulación las propiedades del material hierro fundido gris para el disco de freno.

| Properties of Outline Row 4: Gray Cast Iron |   |                 |                    |     |
|---|---|-----------------|--------------------|-----|
|   | A   | B               | C                  | D E |
| 1   | Property  | Value           | Unit               |     |
| 3   | Density   | 7,3E-06         | kg m <sup>-3</sup> |     |
| 4   | Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion |                 |                    |     |
| 5   | Coefficient of Thermal Expansion                  | 1,1E-05         | C <sup>-1</sup>    |     |
| 6   | Isotropic Elasticity                              |                 |                    |     |
| 7   | Derive from                                       | Young's Modu... |                    |     |
| 8   | Young's Modulus                                   | 1,38E+05        | MPa                |     |
| 9   | Poisson's Ratio                                   | 0,26            |                    |     |
| 10  | Bulk Modulus                                      | 9,5833E+10      | Pa                 |     |
| 11  | Shear Modulus                                     | 5,4762E+10      | Pa                 |     |
| 12  | Tensile Yield Strength                            | 243,5           | MPa                |     |
| 13  | Compressive Yield Strength                        | 485             | MPa                |     |
| 14  | Tensile Ultimate Strength                         | 240             | MPa                |     |
| 15  | Compressive Ultimate Strength                     | 820             | MPa                |     |

**Figura 35.** Propiedades del material del disco de freno

- Propiedades correspondientes al material de la pastilla de freno

El material de la pastilla de freno fue simulado estableciendo las propiedades de la aleación de cobre siguiendo las especificaciones del fabricante ATE.

| Properties of Outline Row 3: Copper Alloy |   |                 |                    |     |
|---|---|-----------------|--------------------|-----|
|   | A   | B               | C                  | D E |
| 1   | Property  | Value           | Unit               |     |
| 3   | Density   | 3100            | kg m <sup>-3</sup> |     |
| 4   | Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion |                 |                    |     |
| 5   | Coefficient of Thermal Expansion                  | 1,8E-05         | C <sup>-1</sup>    |     |
| 6   | Isotropic Elasticity                              |                 |                    |     |
| 7   | Derive from                                       | Young's Modu... |                    |     |
| 8   | Young's Modulus                                   | 1,1E+11         | Pa                 |     |
| 9   | Poisson's Ratio                                   | 0,34            |                    |     |
| 10  | Bulk Modulus                                      | 1,1458E+11      | Pa                 |     |
| 11  | Shear Modulus                                     | 4,1045E+10      | Pa                 |     |
| 12  | Tensile Yield Strength                            | 2,8E+08         | Pa                 |     |
| 13  | Compressive Yield Strength                        | 2,8E+08         | Pa                 |     |
| 14  | Tensile Ultimate Strength                         | 4,3E+08         | Pa                 |     |
| 15  | Compressive Ultimate Strength                     | 0               | Pa                 |     |

**Figura 36.** Propiedades del material de la pastilla de freno.

### 3.4.2. Simulación para análisis térmico del disco de freno.

Se utiliza un software CAE para realizar el análisis del disco de freno ya que este no permite determinar la variación en las temperaturas de trabajo mediante la

configuración de las características técnicas del material de composición del disco de freno.

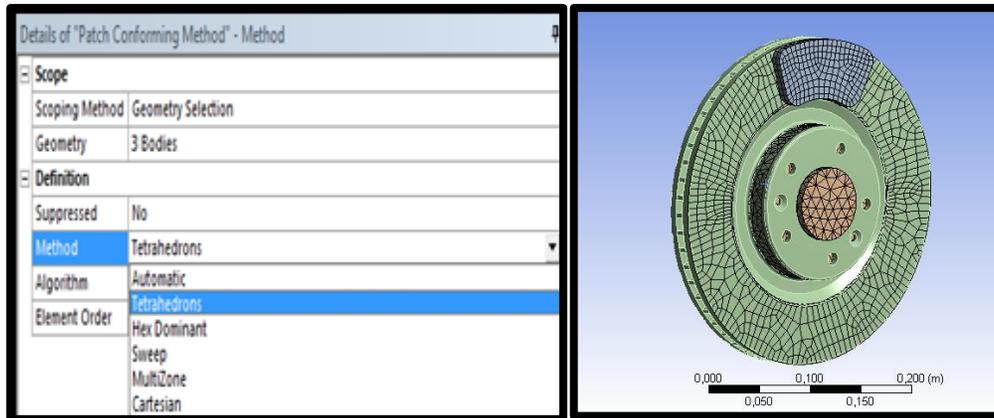
En la tabla 18 se muestran los parámetros utilizados en la simulación, ya que estos son necesarios para establecer las condiciones iniciales de trabajo en el software CAE, el coeficiente de fricción se escoge del promedio entre los valores específicos.

**Tabla 17**  
*Datos para el análisis térmico*

| Parámetro               | Valor     | Unidad |
|-------------------------|-----------|--------|
| Temperatura inicial     | 20.5      | °C     |
| Coeficiente de fricción | 0,325     | -      |
| Temperatura ambiente    | 20.5      | °C     |
| Tipo de mallado         | Tetraedro | -      |
| Tiempo de simulación    | 1         | Seg.   |

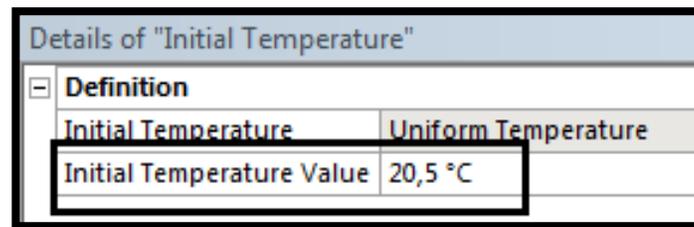
Es fundamental establecer los parámetros iniciales con el fin de simular el ensamble Disco-Pastilla con las condiciones reales de funcionamiento a las que están sometidos los componentes del sistema. Inicialmente es necesario establecer el mallado en el ensamble para de esta manera obtener resultados más precisos.

Se escoge la opción de Tetraedros en la selección del método de mallado como se muestra en la figura.



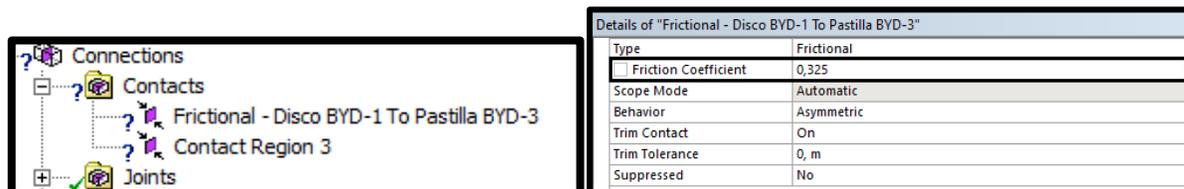
**Figura 37.** Método de mallado

La temperatura inicial así como la temperatura ambiente serán establecidas como se muestra en la figura 38



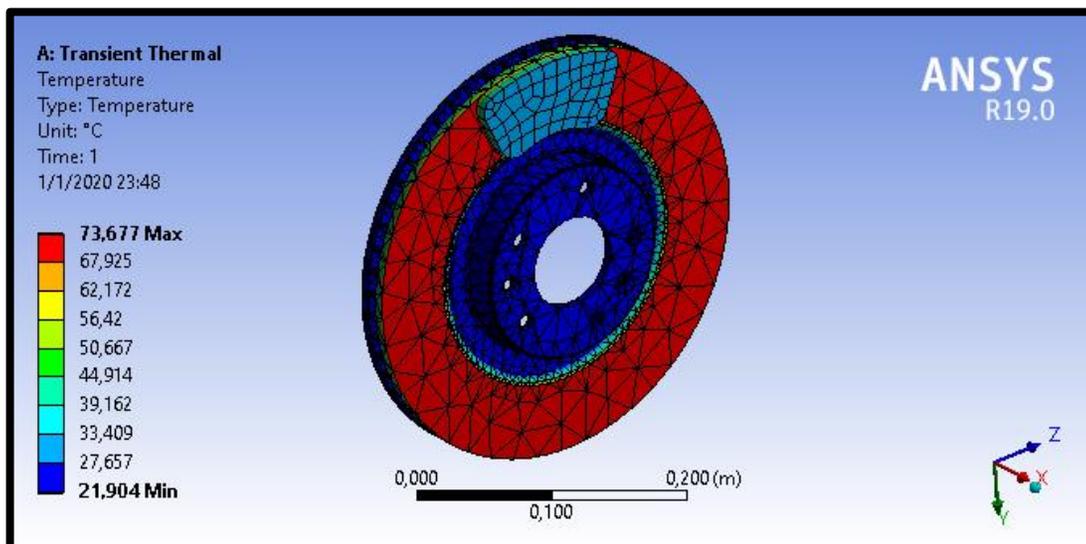
**Figura 38.** Valor de temperatura inicial para la simulación

Es necesario establecer las regiones de contacto entre las caras del ensamble, del mismo modo se debe configurar el coeficiente de fricción en el apartado de contactos del software CAE. Como se muestra en la figura 39



**Figura 39.** Coeficiente de fricción de la pastilla

Para realizar la simulación se partió de los datos iniciales ingresando los valores de los parámetros anteriormente obtenidos, de este modo se pudo determinar como se distribuye la temperatura sobre cada elemento y así mismo sobre toda la geometría.



**Figura 40.** Temperatura obtenida en la simulación

### 3.4.3. Simulación para el análisis estructural Disco-Pastilla

Del mismo modo esta simulación se la realiza en software CAE pero en este caso se aplica la velocidad de rotación en el instante del frenado de este modo se ejerce la fuerza que aplica el pistón hidráulico para el desplazamiento de la pastilla hasta entrar en contacto con el disco y así poder determinar los factores a evaluar como son, la temperatura que causa la fricción entre los componentes así como la deformación total.

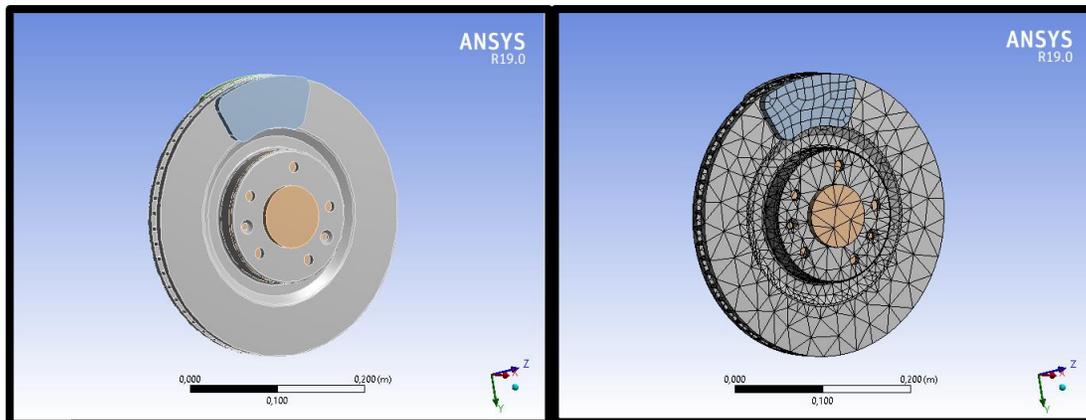
**Tabla 18**

*Parámetros para la simulación de análisis estructural*

| Parámetro                | Valor | Unidad |
|--------------------------|-------|--------|
| Coefficiente de fricción | 0,325 | -      |
| Velocidad angular        | 35,17 | Rad/s  |

|                      |             |      |
|----------------------|-------------|------|
| Temperatura ambiente | 20.5        | °C   |
| Tipo de mallado      | Por defecto |      |
| Tiempo de simulación | 1           | Seg. |
| Presión aplicada     | 3           | MPa  |

Para obtener un resultado propicio es fundamental obtener el mallado de la geometría, debido a esto este es el primer paso que se debe realizar para la simulación en la cual el mallado está definido por el análisis de elementos finitos del software.



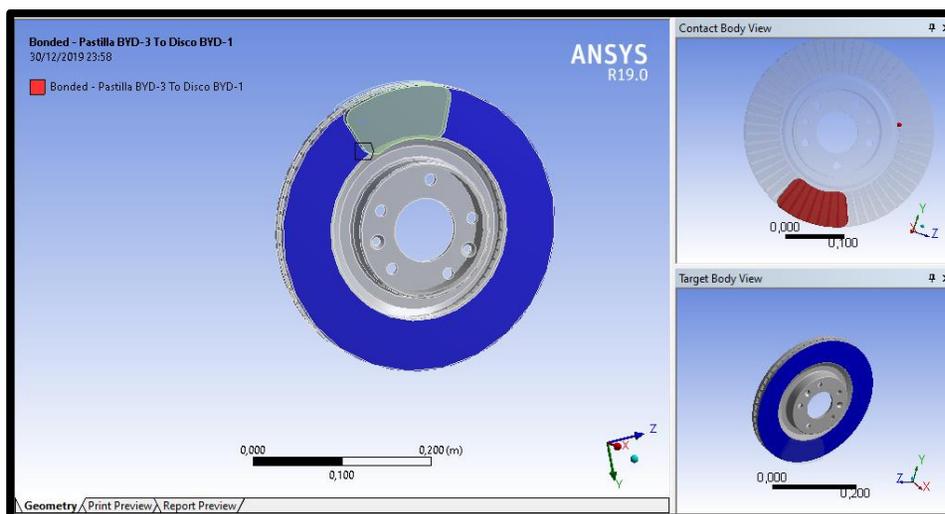
**Figura 41.** Ensamble y mallado para el análisis estructural Disco-Pastilla.

Uno de los parámetros importantes para la simulación del sistema es coeficiente de fricción de los elementos de fricción sistema Disco-Pastilla y el coeficiente de fricción de la pastilla que se obtiene del manual del fabricante.

| Details of "Frictional - Disco BYD-1 To Pastilla BYD-3" |            |
|---|------------|
| Type  | Frictional |
| <input type="checkbox"/> Friction Coefficient           | 0,325      |
| Scope Mode  | Automatic  |
| Behavior  | Asymmetric |
| Trim Contact  | On         |
| Trim Tolerance  | 0, m       |
| Suppressed  | No         |

**Figura 42.** Coeficiente de fricción para simulación

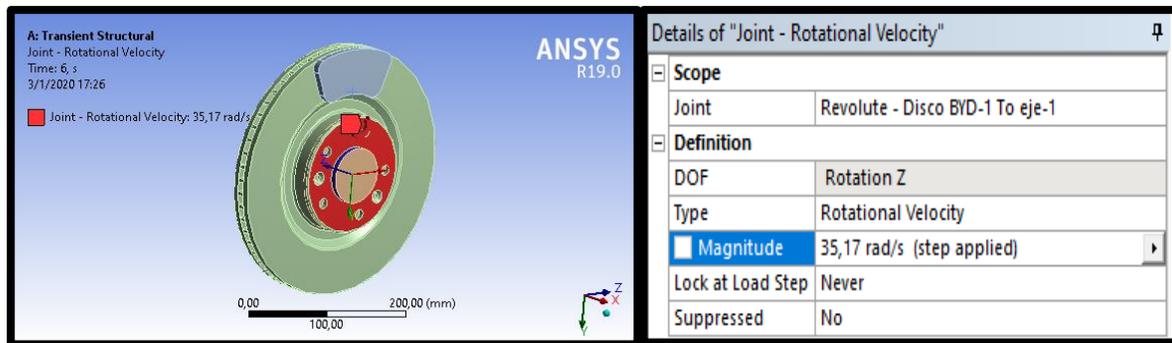
Es primordial seleccionar las superficies de contacto del sistema Disco-Pastilla ya que estas serán las que intervengan en el análisis de fricción.



**Figura 43.** Determinación de las caras de fricción

La velocidad rotacional se establece en base a lo previamente calculado en concordancia con las dimensiones del disco y la velocidad a la que se realizaron las pruebas en el capítulo anterior, siguiendo el sentido de giro de los componentes.

Al ensamble Disco-Pastilla se le coloca un eje central fijo para que el disco pueda realizar el giro en condiciones normales de funcionamiento referente de este eje y de esta manera determinar las resultantes en la simulación de fricción.



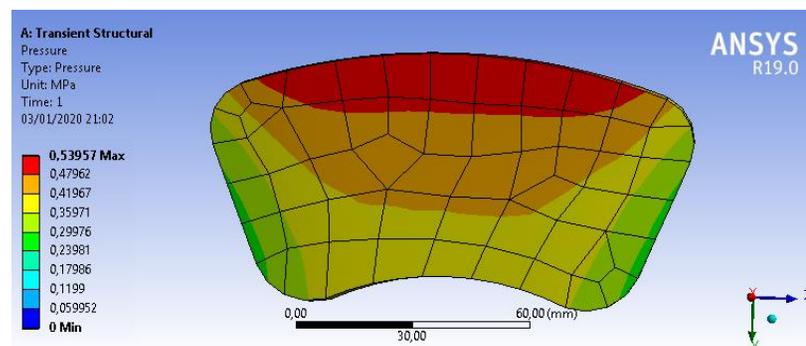
**Figura 44.** Determinación de la velocidad de rotación para la simulación.

### 3.4.4. Resultados de la simulación

El sistema de frenos fue simulado ingresando las condiciones de trabajo, así como las características de los materiales de composición de los elementos que componen el conjunto Disco-Pastilla y de este modo se obtuvieron los resultados siguientes:

- **Presión de la pastilla de freno**

En este campo se obtiene como resultado las zonas en las cuales se ejerce la presión del sistema hidráulico y por consecuente el sector de la pastilla donde se presenta el mayor rozamiento en el momento del frenado.



**Figura 45.** Presión en la pastilla de freno

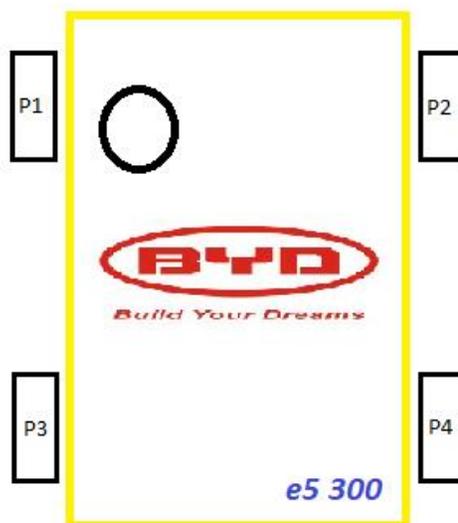
### 3.5. Medición de desgaste de neumáticos

Para ejecutar la medición de desgaste en los neumáticos del vehículo eléctrico BYD E5 300 se efectuó en dos condiciones, la primera se la realizo con el automóvil sin carga es decir sin ocupantes ni carga simulada, la segunda se la ejecuto con la carga simulada especificada para la cantidad de ocupantes del vehículo.

- **Medición de desgaste de neumáticos con carga total simulada**

En esta fase se utilizaron costales de arena para simular la carga vida teniendo un peso de 70kg por costal, estableciendo que la rotación de los neumáticos se lo realizo de la siguiente manera:

a) Posición inicial de los neumáticos



**Figura 46.** Disposición (a) neumáticos del sedán eléctrico E5 300

Las ecuaciones 18 y 19 representan el porcentaje de conservación y de desgaste respectivamente, usadas con los datos obtenidos de las mediciones periódicas en la disposición (a) de los neumáticos y reflejados en la tabla 19 y 20.

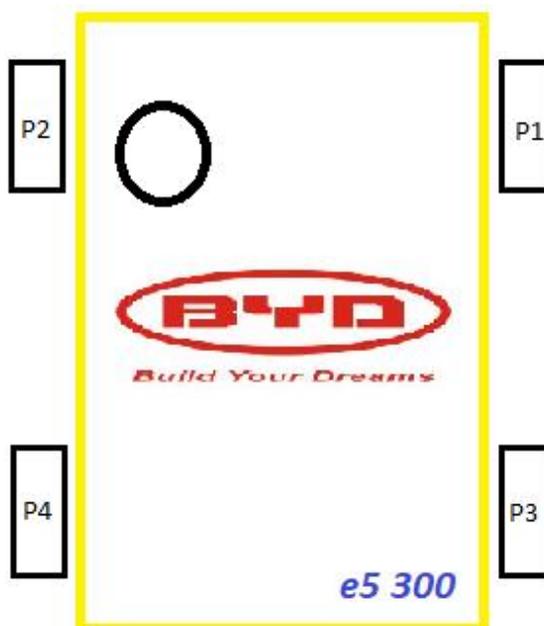
**Tabla 19.**  
*Primera medición de desgaste de neumáticos en la disposición (a)*

| Mediciones de desgaste |                             |                            |                                |                            |
|------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| <b>Fecha</b>           | 01/09/2019                  | <b>Marca de neumático</b>  | Gititaxi 900                   |                            |
| <b>Kilometraje</b>     | 5730                        | <b>Medida de neumático</b> | 205/55 R 16                    |                            |
| MEDIDAS                |                             |                            |                                |                            |
| Posición               | Profundidad de la escultura | Presión (PSI)              | Porcentaje de conservación (%) | Porcentaje de desgaste (%) |
| <b>P1</b>              | 7,71                        | 40                         | 92,04                          | 7,962                      |
| <b>P2</b>              | 7,46                        | 40                         | 89,09                          | 10,91                      |
| <b>P3</b>              | 8,28                        | 39                         | 98,845                         | 1,92                       |
| <b>P4</b>              | 8,23                        | 39                         | 98,243                         | 1,756                      |
| <b>P11(emergencia)</b> | 8,376                       | 42                         | 100                            | 0                          |

**Tabla 20.**  
*Segunda medición desgaste de neumáticos en la disposición (a)*

| Mediciones de desgaste |                             |                            |                                |                            |
|------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| <b>Fecha</b>           | 01/10/2019                  | <b>Marca de neumático</b>  | Gititaxi 900                   |                            |
| <b>Kilometraje</b>     | 10250                       | <b>Medida de neumático</b> | 205/55 R 16                    |                            |
| MEDIDAS                |                             |                            |                                |                            |
| Posición               | Profundidad de la escultura | Presión (PSI)              | Porcentaje de conservación (%) | Porcentaje de desgaste (%) |
| <b>P1</b>              | 4,893                       | 38                         | 58,387                         | 41,612                     |
| <b>P2</b>              | 4,556                       | 38                         | 54,371                         | 45,628                     |
| <b>P3</b>              | 6,94                        | 37                         | 82,861                         | 17,138                     |
| <b>P4</b>              | 6,513                       | 37                         | 77,729                         | 22,27                      |
| <b>P11(emergencia)</b> | 8,376                       | 42                         | 100                            | 0                          |

b) Forma de disposición después de la rotación y mantenimiento



**Figura 47.** Disposición (b) neumáticos del sedán eléctrico E5 300

Se realiza un cambio en las posiciones de los neumáticos de la disposición (a) a la disposición (b), con el fin de analizar la incidencia de la posición en el desgaste de los neumáticos y del mismo modo se realizan las mediciones a distintos kilometrajes como lo muestra en las tablas 21 y 22

**Tabla 21.**

*Primera medición desgaste de neumáticos en la disposición (b)*

| Mediciones de desgaste |                             |                            |               |                            |
|------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------|----------------------------|
| <b>Fecha</b>           | 01/11/2019                  | <b>Marca de neumático</b>  | Gititaxi 900  |                            |
| <b>Kilometraje</b>     | 15260                       | <b>Medida de neumático</b> | 205/55 R 16   |                            |
| MEDIDAS                |                             |                            |               |                            |
| <b>Posición</b>        | Profundidad de la escultura | Presión (PSI)              | Porcentaje de | Porcentaje de desgaste (%) |

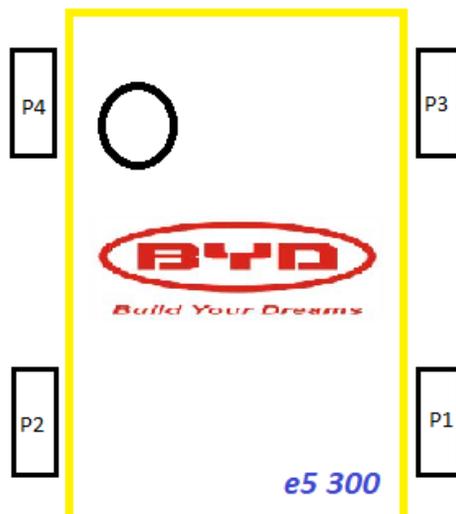
**CONTINÚA** →

|                        |       |    | conservación (%) |        |
|------------------------|-------|----|------------------|--------|
| <b>P1</b>              | 3,24  | 38 | 38,637           | 61,362 |
| <b>P2</b>              | 3,466 | 38 | 41,349           | 58,65  |
| <b>P3</b>              | 5,903 | 37 | 70,438           | 29,561 |
| <b>P4</b>              | 4,38  | 37 | 52,272           | 47,727 |
| <b>P11(emergencia)</b> | 8,376 | 42 | 100              | 0      |

**Tabla 22.**  
*Segunda medición desgaste de neumáticos en la posición (b)*

| Mediciones de desgaste |                             |                            |                                |                            |
|------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| <b>Fecha</b>           | 01/12/2019                  | <b>Marca de neumático</b>  | Gititaxi 900                   |                            |
| <b>Kilometraje</b>     | 20520                       | <b>Medida de neumático</b> | 205/55 R 16                    |                            |
| MEDIDAS                |                             |                            |                                |                            |
| <b>Posición</b>        | Profundidad de la escultura | Presión (PSI)              | Porcentaje de conservación (%) | Porcentaje de desgaste (%) |
| <b>P1</b>              | 4,893                       | 38                         | 58,387                         | 41,612                     |
| <b>P2</b>              | 4,556                       | 38                         | 54,371                         | 45,628                     |
| <b>P3</b>              | 6,94                        | 37                         | 82,861                         | 17,138                     |
| <b>P4</b>              | 6,513                       | 37                         | 77,729                         | 22,27                      |
| <b>P11(emergencia)</b> | 8,376                       | 42                         | 100                            | 0                          |

Se realiza una última rotación de los neumáticos en la posición (c)



**Figura 48.** Disposición (c) neumáticos del Sedan Eléctrico E5 300

**Tabla 23**

*Medición desgaste de neumáticos en la posición (c)*

| Mediciones de desgaste |                             |                            |                                |                            |
|------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| <b>Fecha</b>           | 01/01/2020                  | <b>Marca de neumático</b>  | Gititaxi 900                   |                            |
| <b>Kilometraje</b>     | 25685                       | <b>Medida de neumático</b> | 205/55 R 16                    |                            |
| MEDIDAS                |                             |                            |                                |                            |
| Posición               | Profundidad de la escultura | Presión (PSI)              | Porcentaje de conservación (%) | Porcentaje de desgaste (%) |
| <b>P1</b>              | 0                           | 32                         | 0                              | 100                        |
| <b>P2</b>              | 1,273                       | 37                         | 15,156                         | 84,843                     |
| <b>P3</b>              | 3,926                       | 37                         | 46,84                          | 53,159                     |
| <b>P4</b>              | 3,896                       | 37                         | 46,47                          | 53,529                     |
| <b>P11(emergencia)</b> | 8,376                       | 42                         | 100                            | 0                          |

### 3.6. Toma de medidas de desgaste de pastillas

Esta etapa de medición del desgaste en las pastillas de freno se realizó a la par con las mediciones del desgaste de neumáticos cada 5000km aproximadamente, cabe

aclarar que debido a las condiciones en las que se realizaban las pruebas en la universidad las condiciones de frenado no eran exigentes, es decir no correspondían a una conducción cotidiana y debido a la velocidad a la que circulaba el vehículo de 40km/h como máximo el frenado por fricción actuaba mínimamente ya que el freno regenerativo del vehículo era suficiente para detenerlo

Adicionalmente se realizó la medición de las pastillas nuevas, reflejando los resultados a continuación presentados:

**Tabla 24.**

*Mediciones de las pastillas de freno*

| Mediciones de las pastillas de freno |                               |                               |
|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Posición                             | Medidas pastillas en uso (mm) | Medidas pastillas nuevas (mm) |
| P1                                   | 16,47                         |                               |
| P2                                   | 16,51                         |                               |
| P3                                   | 16,62                         | 17                            |
| P4                                   | 16,63                         |                               |

## **CAPÍTULO IV**

### **4. PROTOCOLOS DE PRUEBAS Y ENSAYOS**

#### **4.1. Introducción**

En el presente capítulo se detallan materiales, equipos y procedimientos utilizados para el desarrollo del estudio de desgaste de las pastillas de freno y neumáticos del automóvil BYD E5 300, para el respectivo ensayo destructivo de deformación por compresión y su resistencia interna al corte.

Por otro lado, para las pruebas de medición del desgaste en neumáticos se efectuó utilizando un profundímetro digital o medidor de profundidad de labrado, teniendo en cuenta medidas periódicas, adicionalmente se emplea un medidor de presión de aire y termómetro laser para control de temperaturas en las diferentes circunstancias de prueba del vehículo.

Los ensayos de compresión y deformación se ejecutaron en una máquina universal de ensayos, para el ensayo de compresión a alta temperatura se usó una placa de calentamiento, a través de una niquelina que cedía su calor a la placa, midiéndose el espesor en puntos específicos del ensayo. (Teran, 2019)

#### **4.2. Equipos**

##### **4.2.1. Medidor digital de profundidad de banda de rodadura**

(Quinteros, 2016) indica que “se trata de un dispositivo que tiene como función medir profundidades, mediante la extensión de una vara dirigida hacia el interior del canal de la banda de rodamiento del neumático. Existen aparatos analógicos y digitales, en los primeros se procede a la lectura de la distancia observando un reloj o regla milimetrada,

mientras que en los digitales solo basta con efectuar la medición y leer el valor obtenido en la pantalla de esta herramienta, pudiendo llegar a obtener décimas, centésimas y milésimas de precisión, además de la posibilidad de seleccionar la unidad de medida” (p 11).

El mencionado medidor de profundidad del labrado de los neumáticos se lo utilizo para la toma de datos del desgaste paulatino de la banda de rodadura en condiciones normales de operación con ocupantes en el vehículo eléctrico BYD E5 300.

**Tabla 25.**  
*Características del medidor de profundidad de la banda de rodadura*

| Especificación                  | Valor   |
|---------------------------------|---|
| <b>Resolución</b>               | 0,01 mm (0,0005")   |
| <b>Rango</b>                    | 0-25 mm (0-1")  |
| <b>Precisión</b>                | ±0,02 mm (±0,001")  |
| <b>Funciones</b>                | Botón de cero, selección de unidades (mm, in), prendido y apagado |
| <b>Tipo de batería</b>          | SR44(1,5 V)   |
| <b>Temperatura de operación</b> | 0- +40°   |

Fuente: (Impormel, 2019)

- Partes del medidor de profundidad



**Figura 49.** Partes del medidor de profundidad  
Fuente: (Mitutoyo, 2011)

**Tabla 26.**  
*Partes del medidor de profundidad*

| Número | Parte                          |
|--------|--------------------------------|
| 1      | Unidades: milímetros/ pulgadas |
| 2      | Conexión RS-232                |
| 3      | Botón Encendido/Apagado        |
| 4      | Botón encendedor               |
| 5      | Recubrimiento de batería       |

Fuente: (Mitutoyo, 2011)

#### 4.2.2. Termómetro infrarrojo láser

Un apartado de la norma NTE INEN ISO 6311 especifica que debe realizarse una prueba de compresión con la probeta a una temperatura de 400°C y es en este momento en el que entra en acción el termómetro laser ya que para realizar este ensayo se debe utilizar una placa de calentamiento para trasferir la temperatura a la pastilla de freno y con el termómetro se verifica la temperatura alzada de la misma.

Este instrumento se utiliza para valorar la temperatura sin necesidad de contacto, mediante una luz infrarroja. La precisión se ve aumentada debido al láser incorporado que señala el objetivo, los valores de temperatura medidos se muestran en una pantalla LCD en diferentes escalas que son a elección del operador. (Instruments, 2015)

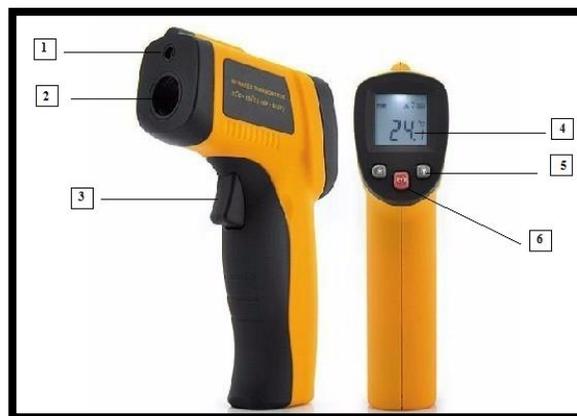
**Tabla 27.**  
*Características del termómetro infrarrojo laser*

| Especificación    | Valor                             |
|-------------------|-----------------------------------|
| Rango de medición | -20 ~ 450 °C / (-4 °F ~ 662 °F)   |
| Emisividad        | 0.95                              |
| Campo de visión   | 12: 1                             |
| Precisión         | -20 ~ 50 °C ± 2,5 °C, 51 ~ 350 °C |

**CONTINÚA** →

**Potencia del láser** <1 mW

Fuente: (Instruments, 2015)



**Figura 50.** Termómetro láser  
Fuente: (Instruments, 2015)

**Tabla 28**

*Partes del termómetro laser infrarrojo*

| Número | Parte  |
|--------|--|
| 1      | Haz del puntero láser                          |
| 2      | Sensor IR                                      |
| 3      | Gatillo de medida                              |
| 4      | Pantalla LCD                                   |
| 5      | Botones de luz de fondo                        |
| 6      | Interruptor de unidades de temperatura (°C/°F) |

Fuente: (Instruments, 2015)

#### 4.2.3. Manómetro de presión de neumáticos

Para determinar de una forma precisa la presión de inflado de los neumáticos de un vehículo es necesario la utilización de este equipo ya que permite obtener una medición eficaz.

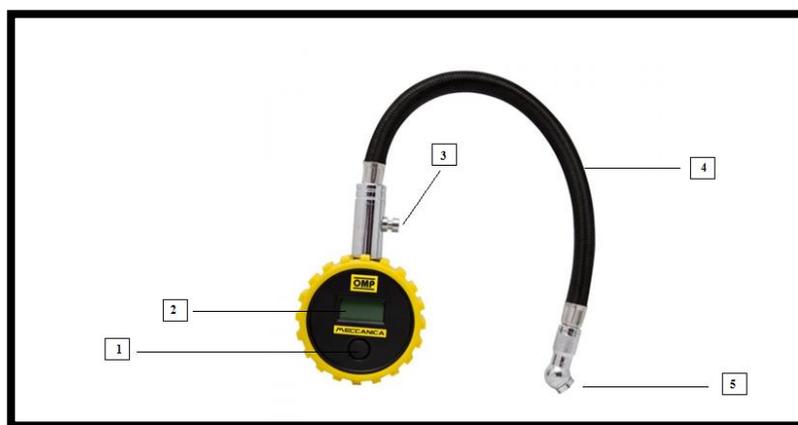
Esta herramienta fue empleada para comprobar y cotejar los valores idóneos de presión de los neumáticos acorde a lo que recomienda el fabricante para una vida útil apropiada. (OMP, 2019)

**Tabla 29**

*Características del manómetro digital de presión de neumáticos*

|   |  |
|---|--|
| <b>Características del manómetro digital de presión de neumáticos</b> | <b>Despliega tres unidades de medición: PSI, BAR y KPA.</b>      |
|   | Cuenta con una pantalla LCD para mejor lectura de las mediciones |
|   | Posee un rango operativo de: 3-150 PSI                           |
|   | Encendido y Apagado automático al detectar presión de aire       |

Fuente: (OMP, 2019)



**Figura 51.** Manómetro

Fuente: (OMP, 2019)

**Tabla 30**

*Partes del manómetro*

| Número | Parte                              |
|--------|------------------------------------|
| 1      | Botón ON/OFF, unidades de medición |
| 2      | Pantalla LCD                       |

**CONTINÚA** →

|   |                                 |
|---|---------------------------------|
| 3 | Válvula de alivio de presión    |
| 4 | Tubería flexible                |
| 5 | Acople de boquilla de neumático |

Fuente: (OMP, 2019)

#### 4.2.4. Equipo para prueba de compresión

Semejante a una prensa, el mecanismo pertenece a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE matriz (Sangolquí), marca MTS edición de E43.104/E43.104E de las capacidades que varían que se extienden de 5N a 5kN y que se encuentra en el laboratorio de Resistencia de Materiales del Departamento de Energía y Mecánica. Consta de los siguientes elementos:

- Panel de mando
- Carátula de agujas (medidas)
- Mordazas de sujeción manuales
- Guía de pisón
- Pisón
- Unidad de poder



**Figura 52.** Máquina de compresión

Esta máquina se utiliza para ensayos en los que la fuerza aplicada no deba sobrepasar los 5kN por lo que se utiliza este equipo debido a que el requerimiento es de 2,5kN.

#### **4.2.5. Máquina de ensayos universales**

Este equipo corresponde a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Matriz (Sangolquí), marca Amsler MEM-29 que posee una capacidad de 10 Toneladas y se encuentra en el laboratorio de Resistencia de Materiales del Departamento de Energía y Mecánica. Consta de los siguientes componentes:

- Panel de mando
- Monitor
- Carátula de agujas (medidas)
- Pistón doble para compresión
- Pistón doble para tensión
- Mordazas de sujeción

- Unidad de poder
- Circuito hidráulico
- Rieles guías



**Figura 53.** Máquina universal de ensayos

Este equipo de ensayos universales será empleado para realizar las pruebas de compresión tanto en frío como en caliente, posee una capacidad de 10 toneladas lo cual es ideal ya que la carga que se necesita aplicar es de 2,2 toneladas para la pastilla de freno del vehículo eléctrico.

#### **4.2.6. Placa de calentamiento**

Es preciso utilizar una placa de calentamiento para el ensayo de con temperatura, para lo cual se fabricó un soporte a partir de una platina que es capaz de soportar la temperatura de 400°C que establece la prueba y esto se lo realiza mediante una niquelina y un regulador de temperatura. En la elaboración se emplearon dos platinas de 10mm de

espesor unidas mediante suelda a cuatro segmentos de acero de transmisión que serán los pilates de la base en cuestión.



**Figura 54.** Placa de calentamiento

#### **4.2.7. Instrumentos para prueba de resistencia interna al corte**

Siguiendo las dimensiones de las probetas de prueba que especifica la normativa INEN 6311 se fabricaron los instrumentos de los ensayos que fueron construidos en acero con los que se efectuaron los ensayos se los construyo de acero que constan de dos placas de acero idénticas (45mm de alto x 50mm de ancho x 5mm de espesor) con una cavidad central destinada para ubicar la probeta, sujetas en paralelo mediante tornillos, adicional una placa cortante de ( 25mm de alto x 50mm de ancho x 3mm de espesor).



**Figura 55.** Accesorios ensayo resistencia al corte

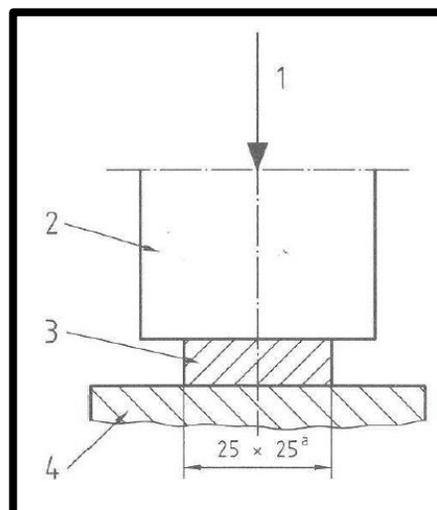
### 4.3. Ensayo de deformación por compresión en pastilla de freno.

La norma técnica NTE INEN – ISO 6310:2009 es la seleccionada para realizar los ensayos de deformación por compresión en pastillas de freno, en la cual es utilizada como procedimiento de ensayo para los sistemas de freno con pastilla en el caso de freno de disco y zapatas para freno con tambor, éste analiza cómo se comporta y la relación que se presenta entre la reducción del espesor de material de fricción de las pastilla de freno a razón de las fuerzas de compresión y a las temperaturas en comparación con su espesor al inicio de la prueba, el cual es medido en el mismo sentido de la fuerza aplicada y perpendicular a la superficie de contacto.

Para el ensayo se utilizó el procedimiento A, expresado en la norma el cual es aplicar una fuerza para dar una presión por unidad de área.

#### 4.3.1. Muestra

La muestra Tipo II que describe la norma es la utilizada para este ensayo ya que describe una pastilla de freno sin placa de respaldo sobre la placa de calentamiento, la cual se presenta en la figura.



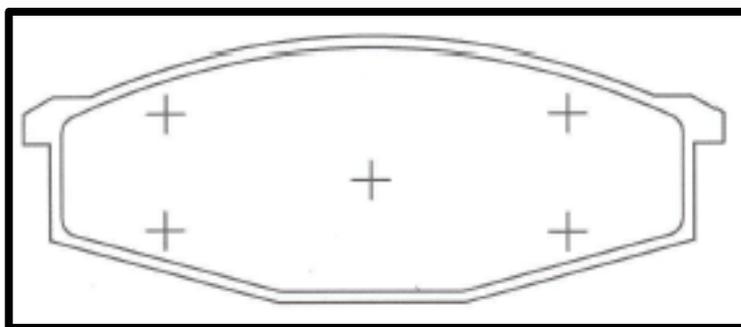
**Figura 56.** Muestra Tipo I  
Fuente: Norma NTE INEN – ISO 6310:2009.

## Simbología

1. Carga
2. Pisón.
3. Muestra de ensayo.
4. Placa de calentamiento.

### 4.3.2. Ciclo de ensayo

Utilizando un micrómetro se deben realizar las medidas en los puntos especificados por la norma para la muestra de pastilla sin ranura muestra la figura.



**Figura 57.** Puntos de medición de la muestra  
Fuente: Norma NTE INEN – ISO 6310:2009

### 4.3.3. Ensayo a temperatura ambiente

Este ensayo debe realizarse a temperatura ambiente del laboratorio ( $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ), después se realizó los tres ciclos de carga y descarga correspondientes comenzando con una precarga de 0,5 MPa manteniéndola esta por 1 segundo y luego aumentando a la presión máxima (8 MPa). (INEN-ISO, 2009)



**Figura 58.** Ensayo a temperatura ambiente

En este punto el equipo permite registrar valores de deflexión en tiempo real aplicando la carga del mismo modo refleja el desplazamiento con la carga máxima en el primer y tercer ciclo.

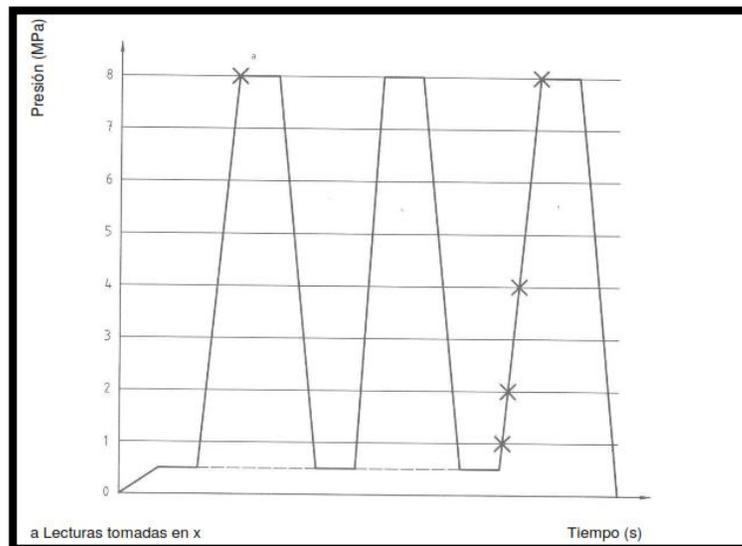
#### **4.3.4. Ensayo de calentamiento**

En el ensayo se debe calentar la placa a  $400^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$  para después colocar la muestra en la placa y mantener esta por 10 minutos para asegurar un buen contacto térmico al igual que en el ensayo de temperatura ambiente se debe realizar dos ciclos comenzando con una precarga de 0,5 MPa manteniéndola esta por 1 segundo y luego aumentando a la presión máxima (8 MPa). (INEN-ISO, 2009)



**Figura 59.** Ensayo de calentamiento

Los datos se toman como se indica en la figura:



**Figura 60.** Lecturas tomadas en X  
Fuente: Norma NTE INEN – ISO 6310:2009

#### 4.3.5. Resultados

**Tabla 31**

*Valores muestra 1 a temperatura ambiente*

| MUESTRA 1                              |                         |                                      |
|--|-------------------------|--------------------------------------|
| Valor promedio del espesor $\bar{d}_i$ | 10,23 mm                |                                      |
| Número de ciclos                       | 3                       |                                      |
| Tamaño de la muestra (área)            | 2765,25 mm <sup>2</sup> |                                      |
| Temperatura del ensayo                 | 20.5°C                  |                                      |
| Presión (MPa)                          | Espesor (mm)            | Diferencia respecto al promedio (mm) |
| 8                                      | 10,076                  | 0,154                                |
| 1                                      | 10,223                  | 0,007                                |
| 2                                      | 10,194                  | 0,036                                |
| 4                                      | 10,142                  | 0,088                                |
| 8                                      | 10,081                  | 0,149                                |

**Tabla 32**

*Valores muestra 1 a temperatura de calentamiento*

| MUESTRA 1                              |                         |                                      |
|--|-------------------------|--------------------------------------|
| Valor promedio del espesor $\bar{d}_i$ | 10,153 mm               |                                      |
| Número de ciclos                       | 3                       |                                      |
| Tamaño de la muestra (área)            | 2765,25 mm <sup>2</sup> |                                      |
| Temperatura del ensayo                 | 390°C                   |                                      |
| Presión (MPa)                          | Espesor (mm)            | Diferencia respecto al promedio (mm) |
| 8                                      | 9,876                   | 0,277                                |
| 1                                      | 10,010                  | 0,143                                |
| 2                                      | 10                      | 0,153                                |
| 4                                      | 9,969                   | 0,184                                |
| 8                                      | 9,838                   | 0,315                                |

**Tabla 33***Valores muestra 2 a temperatura ambiente*

| MUESTRA 2                              |                         |                                      |
|--|-------------------------|--------------------------------------|
| Valor promedio del espesor $\bar{d}_i$ | 10.02 mm                |                                      |
| Número de ciclos                       | 3                       |                                      |
| Tamaño de la muestra (área)            | 2765,25 mm <sup>2</sup> |                                      |
| Temperatura del ensayo                 | 20.5°C                  |                                      |
| Presión (MPa)                          | Espesor (mm)            | Diferencia respecto al promedio (mm) |
| 8                                      | 9,862                   | 0.158                                |
| 1                                      | 9,982                   | 0,038                                |
| 2                                      | 9,961                   | 0.059                                |
| 4                                      | 9,942                   | 0,078                                |
| 8                                      | 9,843                   | 0,177                                |

**Tabla 34***Valores muestra 2 a temperatura de calentamiento*

| MUESTRA 2                              |                         |                                      |
|--|-------------------------|--------------------------------------|
| Valor promedio del espesor $\bar{d}_i$ | 10,123 mm               |                                      |
| Número de ciclos                       | 3                       |                                      |
| Tamaño de la muestra (área)            | 2765,25 mm <sup>2</sup> |                                      |
| Temperatura del ensayo                 | 395°C                   |                                      |
| Presión (MPa)                          | Espesor (mm)            | Diferencia respecto al promedio (mm) |
| 8                                      | 9,727                   | 0.396                                |
| 1                                      | 9,969                   | 0.154                                |
| 2                                      | 9,838                   | 0.285                                |
| 4                                      | 9,887                   | 0.236                                |
| 8                                      | 9,708                   | 0.415                                |

#### 4.4. Ensayo de resistencia interna al corte

La normativa NTE INEN – ISO 6311:2009 muestra el procedimiento de ensayo para determinar la resistencia interna al corte de los materiales de fricción para pastillas de freno. Utilizando la relación entre la fuerza cortante y el área bajo esfuerzo, con una fuerza vertical que se aplica sobre la probeta de la pastilla de freno, que es la causante del rompimiento de dicha probeta.

##### 4.4.1. Muestra

Se deben realizar 5 muestras como mínimo y esta muestra será escogida para la prueba en un plano paralelo al plano o superficie de esfuerzo en condiciones normales de servicio. Las probetas deben ser planas y deben cumplir con las siguientes dimensiones. (INEN N. , 2009)

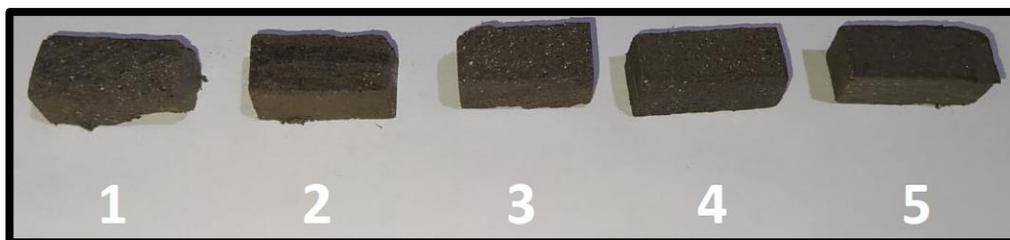
**Tabla 35**

*Dimensiones de las probetas NTE INEN-ISO 6311.*

|                |                             |
|----------------|-----------------------------|
| <b>Largo</b>   | 20 mm ± 0,1 mm              |
| <b>Ancho</b>   | 20 mm ± 0,1 mm              |
| <b>Espesor</b> | 5 mm ± 0,1 ó 10 mm ± 0,1 mm |

Fuente: Norma NTE INEN – ISO 6311:2009

Siguiendo las medidas especificadas por la norma se realizó el corte y el cálculo de la sección transversal del eje paralelo al área de esfuerzo.



**Figura 61.** Probetas para el ensayo de resistencia interna al corte.

#### 4.4.2. Cálculo del área de la sección transversal

Utilizando un calibrador con precisión de 0,05 mm se realizó las mediciones para el cálculo del área en la sección transversal paralelo al eje de trabajo.

**Tabla 36**

*Dimensiones de las probetas para el ensayo.*

| Número de probeta | Largo (mm) x Ancho (mm) | Área transversal (mm <sup>2</sup> ) |
|-------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| 1                 | 19.32 x 10.05           | 194.166                             |
| 2                 | 19.58 x 10.01           | 195.995                             |
| 3                 | 19.61 x 9.93            | 194.727                             |
| 4                 | 19.53 x 9.90            | 193.347                             |
| 5                 | 19.59 x 10.04           | 196.683                             |

#### 4.4.3. Procedimiento

“En este ensayo la carga debe aplicarse sin golpes y la tasa de incremento debe ser la tasa instantánea dentro de los límites de 4500 N/s  $\pm$  2500 N/s cuando la fuerza cortante sea mayor a los 5000 N.

Para el ensayo se debe colocar en el dispositivo y aplicar progresivamente la carga en dirección paralela a la dirección de esfuerzo en condiciones normales de servicio” (INEN N. , 2009).



**Figura 62.** Ensayo de resistencia interna al corte

#### 4.4.4. Resultados

**Tabla 37**

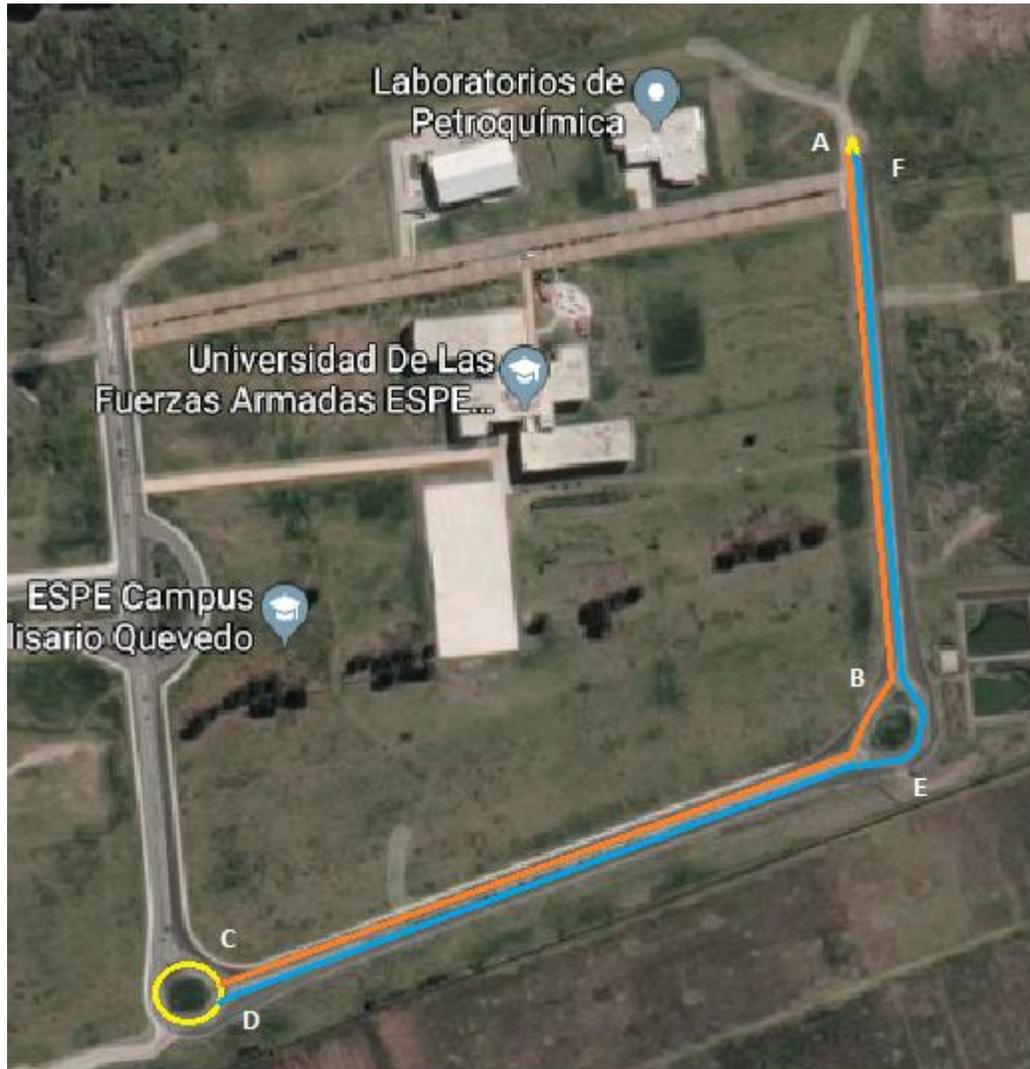
*Resultado prueba de resistencia interna*

| Parámetro        | Área sección transversal ( $mm^2$ ) | Carga máxima aplicada (N) | Fuerza interna de corte ( $N/mm^2$ ) |
|------------------|-------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| <b>Muestra 1</b> | 199,191                             | 1965                      | 9,865                                |
| <b>Muestra 2</b> | 198,00                              | 1255                      | 6,338                                |
| <b>Muestra 3</b> | 195,42                              | 1744                      | 8,924                                |
| <b>Muestra 4</b> | 193,35                              | 1126                      | 5,824                                |
| <b>Muestra 5</b> | 196,68                              | 1140                      | 5,796                                |

## 4.5. Medición de desgaste

### 4.5.1. Determinación de la ruta de prueba

El vehículo eléctrico BYD E5 300 circulara en el interior del campus Belisario Quevedo de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga, en la ruta marcada por la figura 59.



**Figura 63.** Recorrido del automóvil eléctrico BYD E5 300

Fuente: Adrián Medina

- La ruta marcada es en donde se realizaron todas las pruebas de manejo para su toma de datos del desgaste tanto en neumáticos como en pastillas de freno, cabe aclarar

que dentro del circuito la velocidad máxima permitida por las entidades de control de la Universidad fue de 40km/h, este circuito tiene una extensión de 1,2km por vuelta, recorriendo un kilometraje promedio de 300km diarios

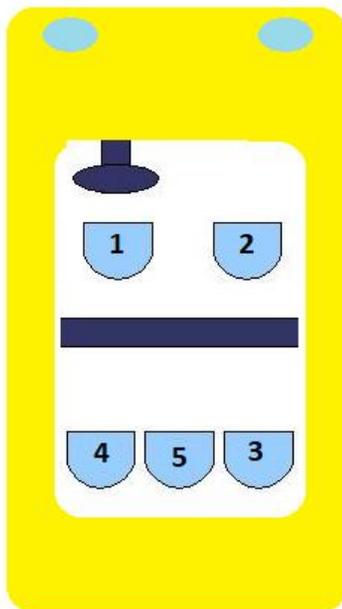
#### 4.5.2. Designación de ocupantes en la ruta de prueba.

Para la realización de las pruebas se designó la cantidad de ocupantes por etapa teniendo en cuenta que se utilizaron costales de arena para simular la carga viva teniendo un promedio de 70kg por ocupante.

La designación fue realizada como se muestra en la tabla 38

#### 4.5.3. Designación de posiciones de ocupantes

La designación de posiciones se la realizo en base a la figura 64 para tener un control de la carga viva y sus posiciones de acuerdo a los asientos del vehículo eléctrico BYD E5 300



**Figura 64.** Designación de posiciones de ocupantes

**Tabla 38.**  
*Ocupantes según etapa de prueba.*

| Etapa   | No. Ocupantes | Designación de espacio |
|---------|---------------|------------------------|
| Etapa 1 | 1             | 1                      |
| Etapa 2 | 2             | 1 y 2                  |
| Etapa 3 | 3             | 1, 2 y 3               |
| Etapa 4 | 4             | 1, 2, 3 y 4            |
| Etapa 5 | 5             | 1, 2, 3, 4 y 5         |

#### 4.5.4. Cálculo de carga

La norma INEN 1323 establece que para determinar la carga vida se define como masa mínima de un ocupante 70 kg, de esta forma y teniendo en cuenta la designación de ocupantes por etapas se determina la carga viva en cada una de estas, como se muestra en la tabla 39

**Tabla 39.**  
*Cálculo de carga viva*

| ETAPA   | PASAJEROS | CARGA VIVA (Kg) |
|---------|-----------|-----------------|
| Etapa 1 | 1         | 70              |
| Etapa 2 | 2         | 140             |
| Etapa 3 | 3         | 210             |
| Etapa 4 | 4         | 280             |
| Etapa 5 | 5         | 350             |

## ***CAPÍTULO V***

### **5. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **5.1. Análisis del desgaste de neumáticos vs carga.**

Con el fin de determinar el desgaste que presentan los neumáticos debido al uso del vehículo fue necesario establecer parámetros y fases de prueba basados en la cantidad de ocupantes presentes en el vehículo llevándolo de desde la carga más ligera que transportara el mismo hasta su capacidad máxima de ocupantes, en el circuito de pruebas establecido para la investigación con el fin de conseguir resultados parables para la tabulación de datos que se muestra en este capítulo.

##### **5.1.1. Análisis del desgaste con carga simulada**

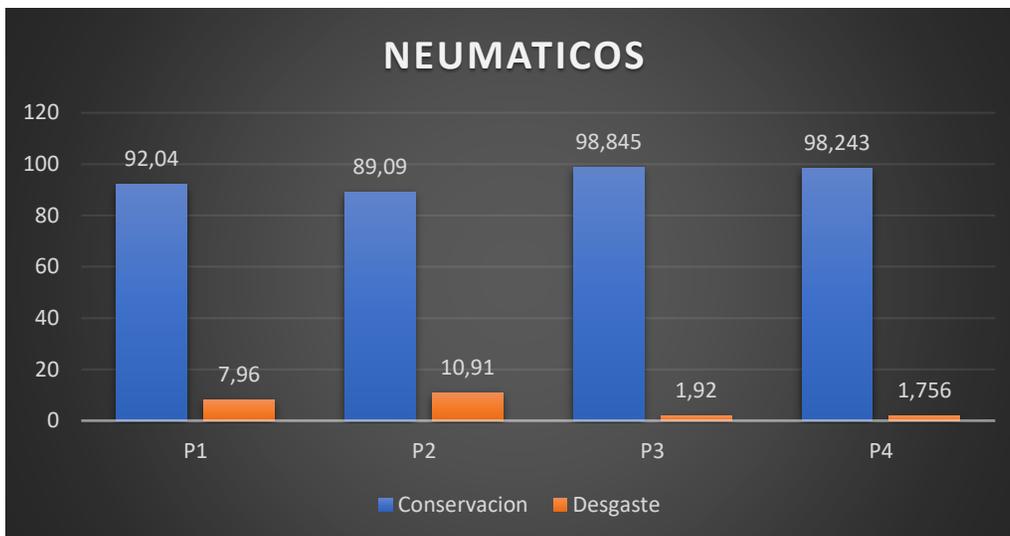
En el proceso de pruebas para este análisis el vehículo eléctrico fue cargado con un peso de 350kg en total que representaría el vehículo lleno con 5 ocupantes, así mismo se tiene como punto base la altura del labrado del neumático nuevo de 8,4 mm, adicionalmente se realizaron diferentes pruebas enfocadas a otro perfil de estudio como lo es capacidad de arranque a diferentes gradientes según el porcentaje de carga de la batería, distancia de frenado entre otros, por lo cual se registraron medidas periódicamente y se muestran a continuación.

- Luego de que el vehículo recorriera 5730 Km se realiza el cálculo del porcentaje de conservación de material y de desgaste en la escultura del neumático que se muestra en la figura 66 en base a la profundidad medida en el labrado de los neumáticos.



**Figura 65.** Profundidad de la escultura a los 5730 Km.

El desgaste evaluado a los 5730 kilómetros se muestra en la figura 65, estas medidas fueron realizadas al fin de la primera etapa de pruebas del vehículo que se cumple en el primer mes de trabajo de la investigación, en este punto ya se puede evidenciar que el desgaste más pronunciado se presenta en las dos ruedas delanteras, esto es a razón de que en la parte frontal del vehículo se encuentra el motor eléctrico y la transmisión es decir que en la parte frontal se sitúa la mayor carga del vehículo y por ende al ser estas ruedas las de tracción el desgaste aumentara respecto a las del eje trasero.



**Figura 66.** Porcentaje de conservación y desgaste a los 5730 Km.

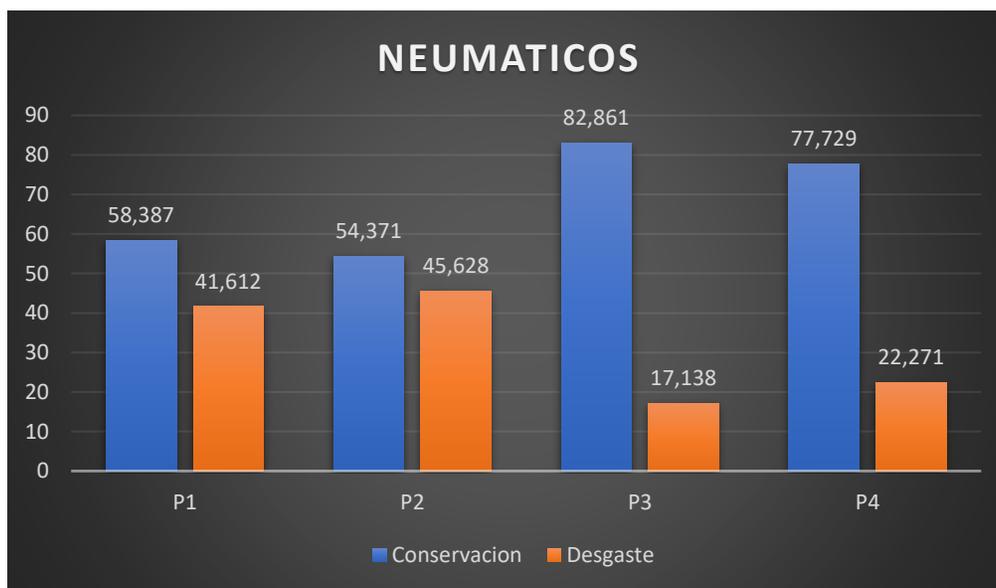
En la figura 66 se puede constatar los porcentajes de conservación y desgaste sin un desgaste inusual ni excesivo en todas sus posiciones.

- Tras haber recorrido 10250 kilómetros se vuelven a tomar los datos de la profundidad y con ello se realiza el cálculo de los porcentajes de conservación y desgaste en el labrado del neumático.



**Figura 67.** Profundidad de la escultura del neumático a los 10250 km.

En la figura 67 se visualiza que ya se presenta un desgaste mayor en el tren delantero del vehículo y esto es debido a que en esta etapa se aumentó la cantidad de ocupantes en la posición frontal dentro de un mantenimiento programado por parte de la empresa se realizó una rotación de neumáticos de la siguiente manera:



**Figura 68.** Porcentaje de desgaste y conservación a los 10250Km.

Analizando la figura 68 se determina que en la segunda etapa de pruebas del vehículo en la que ha recorrido 4520 km las ruedas delanteras es decir P1 y P2 se acercan a un porcentaje del 50% de desgaste en la escultura del neumático, adicionalmente las ruedas posteriores presentan un desgaste mínimo que se puede asumir como normal.

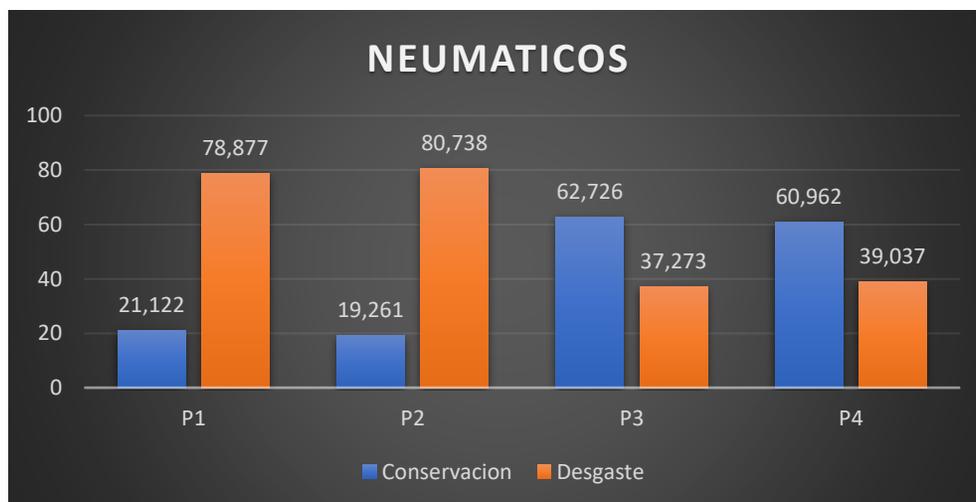
Al finalizar estas mediciones se realizó un cambio de ruedas en paralelo de los siendo así las posiciones P1, P2, P3, P4 ahora P2, P1, P4, P3 respectivamente.

- Procediendo con la etapa 3 de pruebas el recorrido al final de esta es de 20520 km y en este punto al igual que en las otras etapas se realiza la medición de la profundidad del neumático y el cálculo de los porcentajes respectivos.



**Figura 69.** Profundidad de la escultura del neumático a los 20520 km.

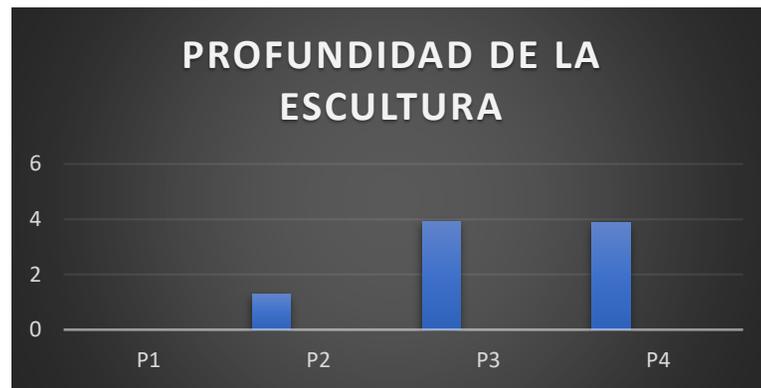
- A los 20520 Km se presenta un desgaste en la profundidad del labrado de los neumáticos especificado en la figura 69



**Figura 70.** Porcentaje de desgaste y conservación a los 20520 km.

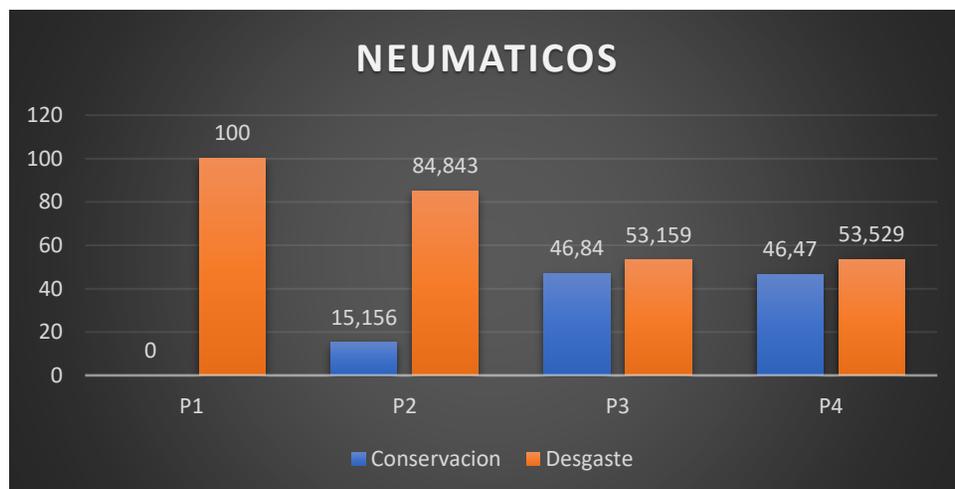
En esta etapa se presenta en la figura 70. Donde se evidencia el desgaste excesivo en las posiciones p1 y p2 alcanzando 78% y 80% respectivamente por lo que se realiza una rotación de los neumáticos a P4, P3, P2 y P1 respecto de las posiciones originales.

- Profundidad y porcentajes de conservación y desgaste del labrado del neumático luego de un kilometraje de 25685 Km mostrado en el odómetro.



**Figura 71.** Profundidad de la escultura a los 25685 km.

En este punto se puede apreciar que la banda de rodadura del neumático en P1 ha llegado a su límite máximo de funcionamiento y que el neumático en P2 ya cumplió su límite recomendado de operación.



**Figura 72.** Porcentaje de desgaste y conservación a los 25685 km.

### 5.1.2. Análisis del desgaste con carga viva

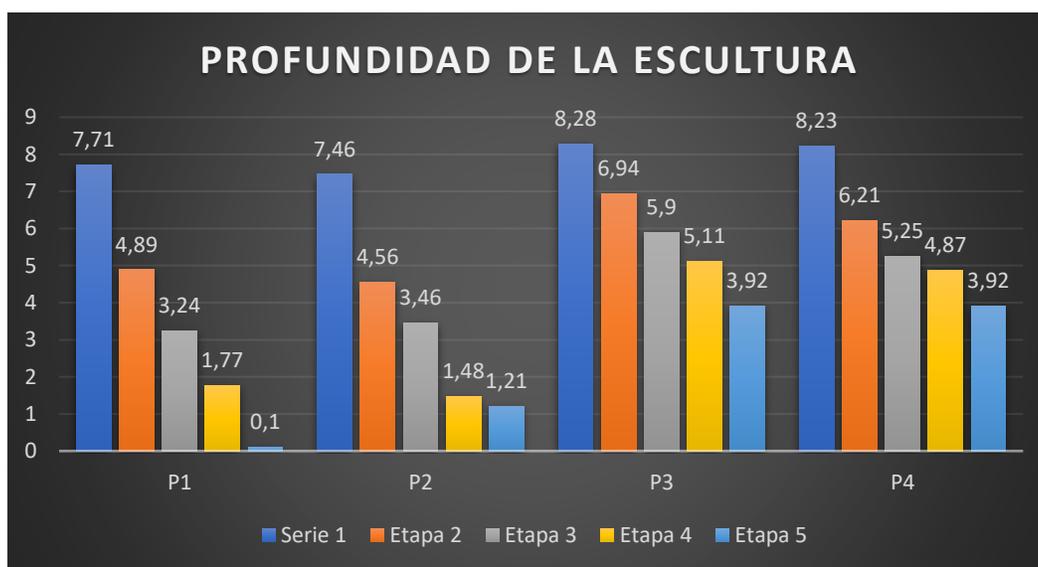
Para determinar el desgaste que ocasiona en los neumáticos la carga de los ocupantes se realiza una comparativa según las etapas de prueba planteadas para así determinar la incidencia en el desgaste prematuro o prolongado de la escultura de los neumáticos, simulando las condiciones normales de trabajo del vehículo eléctrico

**Tabla 40.**

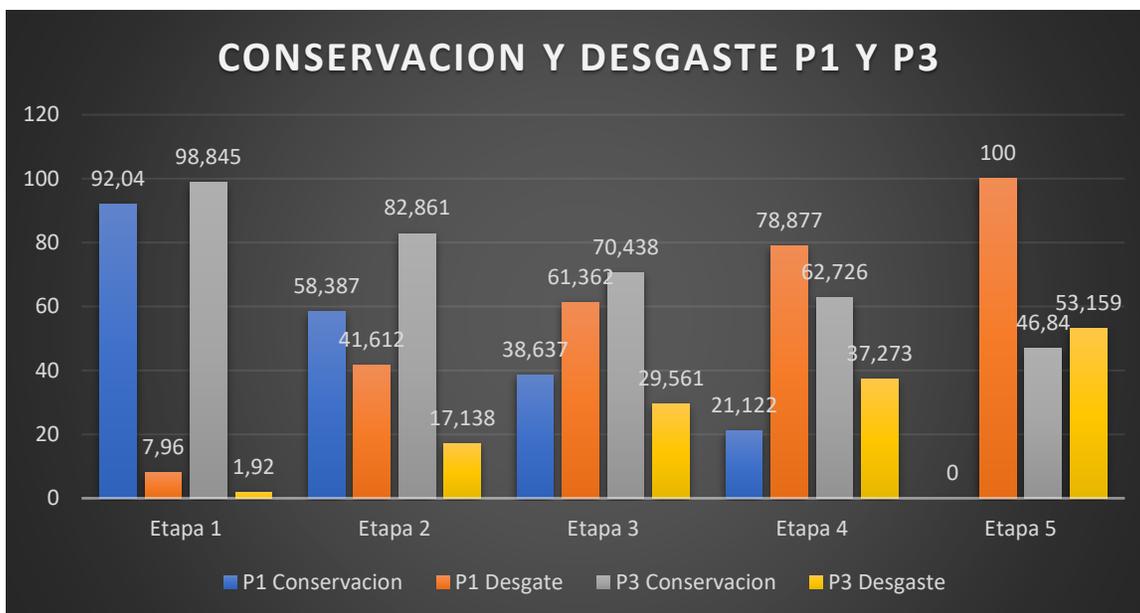
*Relación de ocupantes y kilometraje recorrido por etapas*

|                              | ETAPA 1 | ETAPA 2 | ETAPA 3 | ETAPA 4 | ETAPA 5 |
|------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <b>NO. OCUPANTES</b>         | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       |
| <b>KILOMETRAJE RECORRIDO</b> | 5730    | 10250   | 15260   | 20520   | 25685   |

Con este sustento de la cantidad de ocupantes del vehículo se obtuvieron los siguientes resultados del desgaste de neumáticos en condiciones normales de operación.



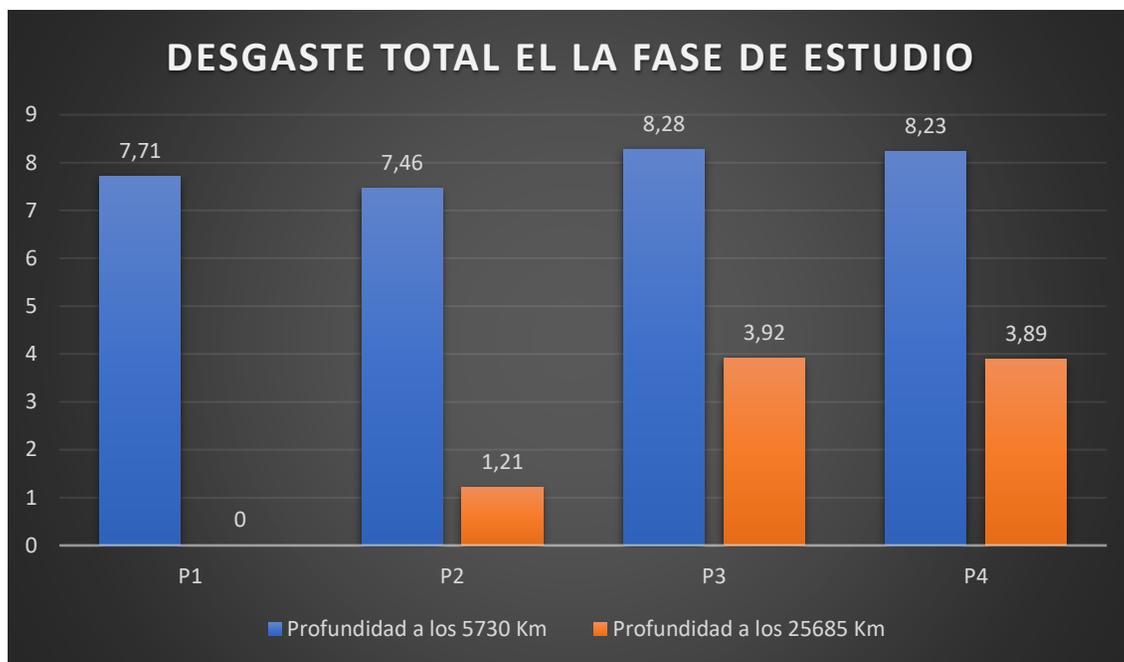
**Figura 73.** Profundidad de la escultura del neumático a los 25685 Km



**Figura 74.** Porcentaje de conservación y desgaste de neumáticos P1 y P3.

En la Figura 74 se realiza la comparativa de los neumáticos P1 vs P3 ya que fueron los que mayor y menor desgaste presentaron respectivamente, en el que se puede evidenciar los porcentajes de desgaste y conservación a lo largo de las etapas de prueba realizadas

A razón de determinar el desgaste que se presenta en los neumáticos durante la fase de estudio se hace relación a la cantidad de ocupantes del vehículo y el kilometraje recorrido del mismo siendo este un promedio de 250 km diarios se obtuvieron los siguientes resultados



**Figura 75.** Desgaste total de los neumáticos.

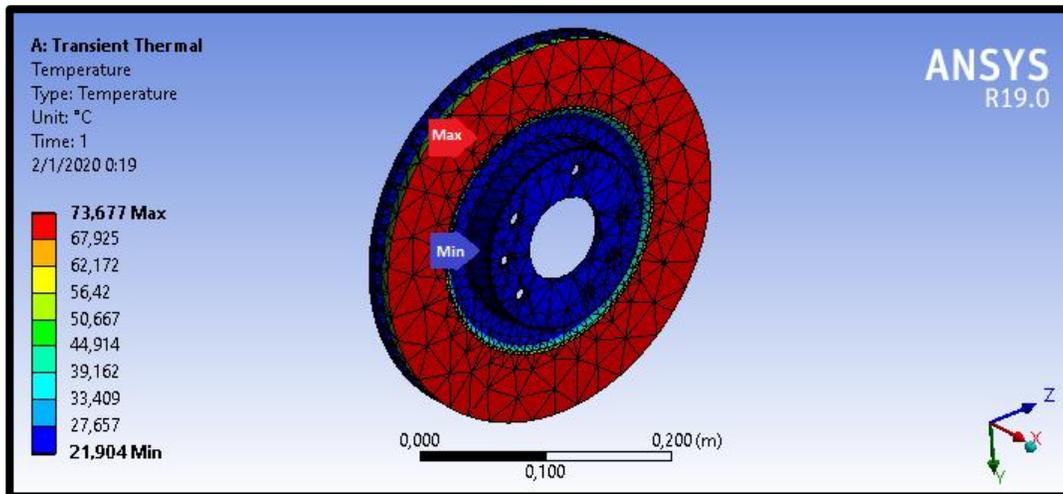
En la figura 75 se puede evidenciar que el recorrido total de la fase de pruebas es de 24955km teniendo en cuenta el kilometraje que contaba el vehículo al iniciar la fase de pruebas con cargas simuladas, las posiciones P1 y P2 muestran un valor de 7,585mm en promedio a los 5730 km mientras que a los 25685 Km presentan un valor de 0,605 mm como promedio debido a la carga del motor, transmisión y baterías del vehículo eléctrico así como la carga viva de los ocupantes, lo cual indica que la mayor afectación se presenta en estas ruedas que pertenecen al tren delantero, por otro lado en las posiciones P3 y P4 se muestra un desgaste promedio a los 57300 km de 8,255 mm versus el promedio de 3,905 mm a los 25685 km que evidencia que estas posiciones que representan al tren trasero del vehículo no presentan un desgaste tan prematuro como sus opuestas.

## 5.2. Análisis térmico de la simulación Disco-Pastilla

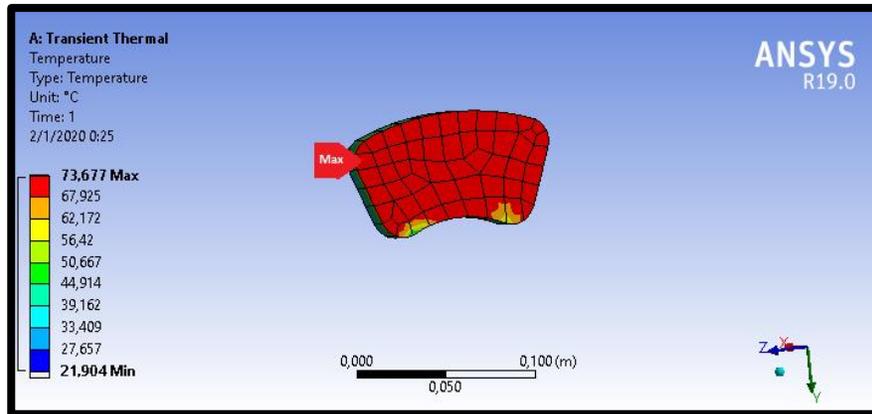
En el software CAE se realizó el estudio de distribución de temperaturas en el ensamble Disco-Pastilla mediante la utilización del entorno Transient-Structural (transitorio-estructural) en el cual es posible evaluar la incidencia de las cargas aplicadas en la geometría seleccionada en función del tiempo conforme a la dinámica del ensamble.

### 5.2.1. Análisis térmico del disco de freno

La distribución de temperatura del ensamble Disco-Pastilla se la analiza en función del tiempo en un software CAE de elementos finitos en el cual se puede visualizar la temperatura en toda la geometría y de este modo determinar en qué zonas la fricción producida por la pastilla sobre el disco tiene mayor incidencia en el momento de frenado.

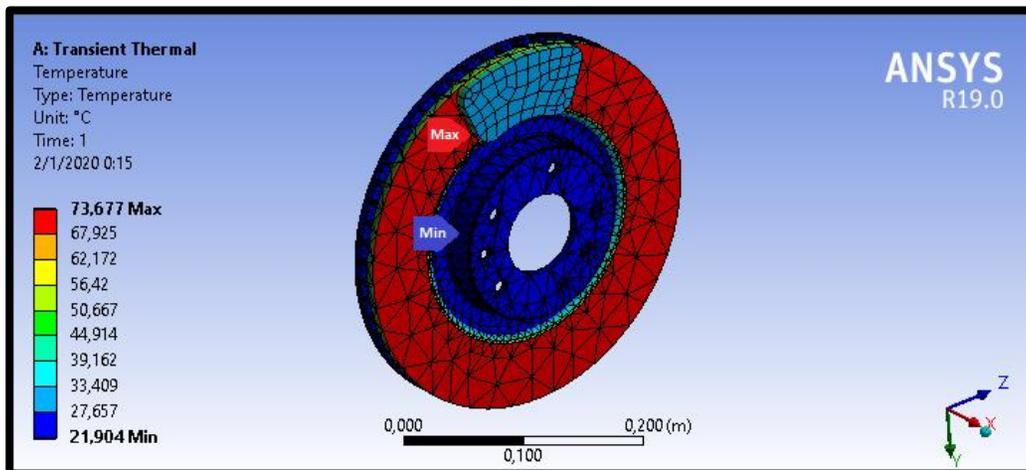


**Figura 76.** Temperatura máxima y mínima en el disco



**Figura 77.** Temperatura máxima y mínima en la pastilla.

La temperatura es distribuida a lo largo de las superficie de las zonas de trabajo de las pastilla y el disco, del mismo modo se evidencia la discipacion de temperatura presenten en los canales de ventilacion internos del disco de freno.



**Figura 78.** Temperatura máxima y mínima en el sistema Disco-Pastilla.

La figura temperatura vs tiempo se la obtiene en base a los valores obtenidos en la simulacion en la que se muestra como varia la temperatura en funcion del tiempo que se presentan en la tabla 41.

**Tabla 41.**  
Variación de la temperatura en función del tiempo

| Tiempo (s) | Temperatura (°C) | Tiempo (s) | Temperatura (°C) |
|------------|------------------|------------|------------------|
| 0,01       | 21,9             | 0,44       | 47,692           |
| 0,02       | 28,936           | 0,54       | 50,667           |
| 0,03       | 33,409           | 0,64       | 56,42            |
| 0,14       | 36,148           | 0,74       | 62,172           |
| 0,24       | 39,162           | 0,84       | 67,925           |
| 0,34       | 42,571           | 0,94       | 70,421           |
| 0,039      | 44,914           | 1          | 73,67            |

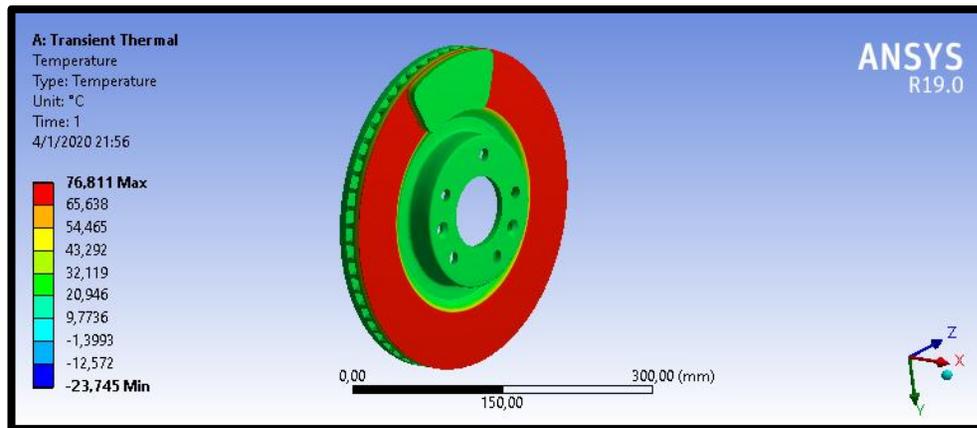


**Figura 79.** Gráfico temperatura vs tiempo del ensamble Disco-Pastilla

Se visualiza que en la figura 79 existe la variación de la temperatura presente en el sistema según la simulación en el ambiente Transient Thermal desde una temperatura inicial del 21,9°C se eleva hasta 73,67°C que son comparados con el valor de temperatura obtenido mediante el cálculo en el cual se obtuvo una temperatura del disco de 68,03°C.

### 5.2.2. Análisis de fricción en función de la temperatura

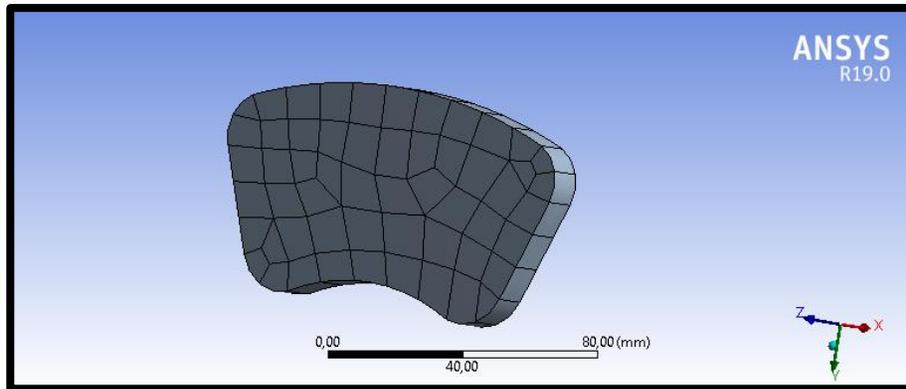
Los resultados de temperatura presentan una variación según el coeficiente de fricción ingresado en la simulación en comparación a los parámetros iniciales configurados en el software. Adicional se realiza una comparada con la variación de los valores especificados por el fabricante.



**Figura 80** Temperatura del sistema con factor de rozamiento de 0,325

### 5.2.3. Análisis térmico de la pastilla de freno

En el software CAE se establecen las propiedades de del material de composición de la pastilla de freno para el análisis térmico de la misma y de esta forma obtener la variación de temperatura reflejada en la gráfica de la figura 82.

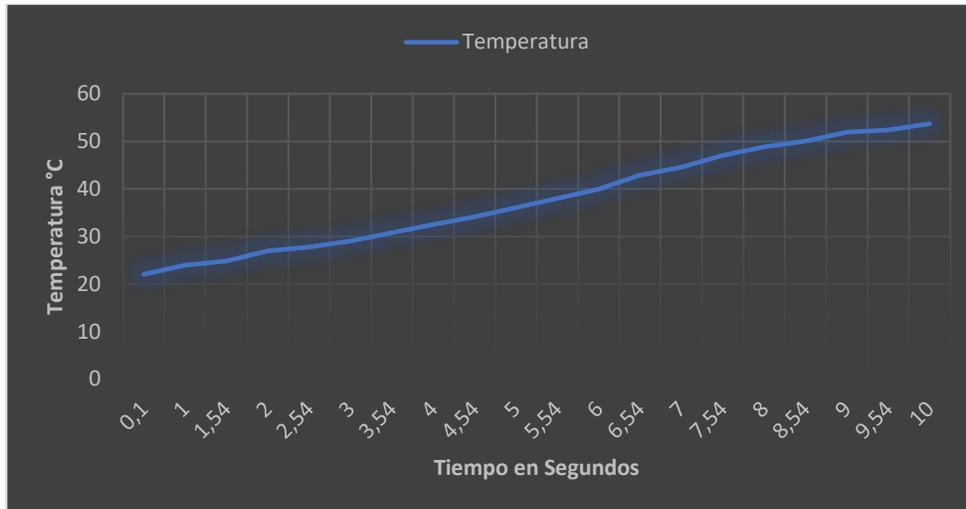


**Figura 81.** Mallado de la pastilla de freno

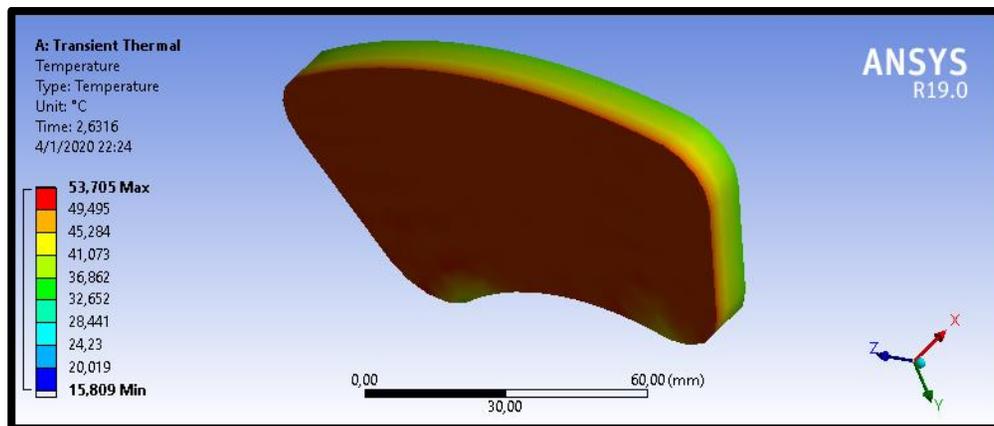
**Tabla 42.**

*Temperatura de la pastilla en el tiempo*

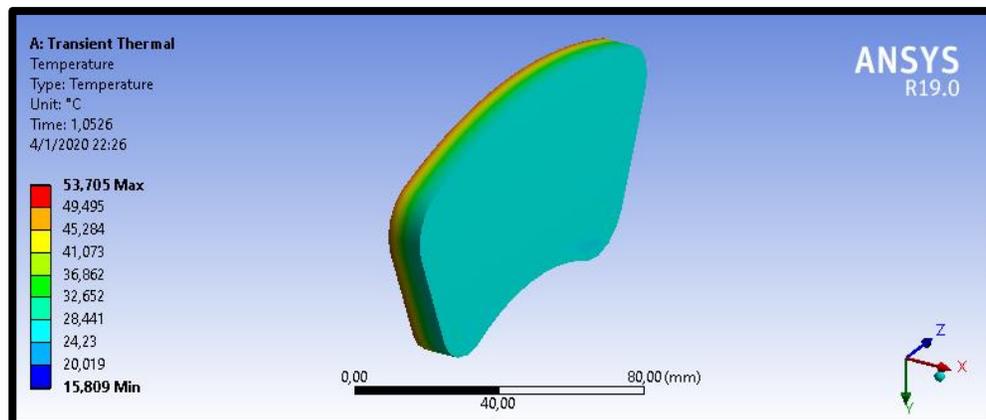
| Tiempo (s)    | Temperatura (°C) | Tiempo (s)  | Temperatura (°C) |
|---------------|------------------|-------------|------------------|
| <b>0,1001</b> | 22,035           | <b>5,54</b> | 37,992           |
| <b>1</b>      | 23,936           | <b>6</b>    | 39,941           |
| <b>1,54</b>   | 24,859           | <b>6,54</b> | 42,859           |
| <b>2</b>      | 26,957           | <b>7</b>    | 44,591           |
| <b>2,54</b>   | 27,074           | <b>7,54</b> | 47,037           |
| <b>3</b>      | 29,045           | <b>8</b>    | 48,837           |
| <b>3,54</b>   | 30,749           | <b>8,54</b> | 50,025           |
| <b>4</b>      | 32,496           | <b>9</b>    | 51,925           |
| <b>4,54</b>   | 34,152           | <b>9,54</b> | 52,386           |
| <b>5</b>      | 36,048           | <b>10</b>   | 53,705           |



**Figura 82.** Gráfico temperatura vs tiempo de la pastilla de freno



**Figura 83.** Temperatura de la pastilla de freno (frontal)



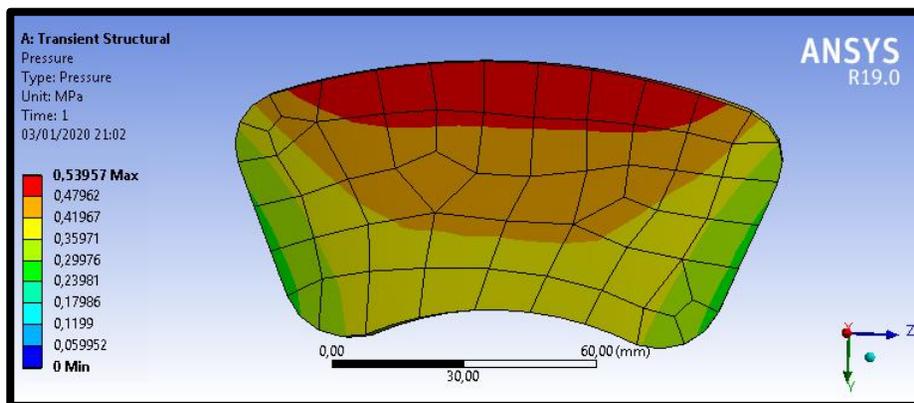
**Figura 84.** Temperatura de la pastilla de freno (posterior)

### 5.3. Análisis estructural de la simulación Disco-Pastilla

El entorno Transient-Structural del software CAE es empleado para el análisis estructural del conjunto Disco-Pastilla ya que permite evaluar el ensamble con parámetros como la velocidad de giro, el sentido de giro, el mallado y valorarlos en función del tiempo.

#### A. Análisis de la presión en el ensamble Disco-Pastilla

En la figura 85, se visualiza cómo se comporta la pastilla de freno al recibir la presión del sistema de freno ejercida por el pistón hidráulico, y esto se puede validar con el desgaste presente en la pastilla utilizada en el vehículo en la figura 86.



**Figura 85.** Presión en la pastilla de freno en la simulación

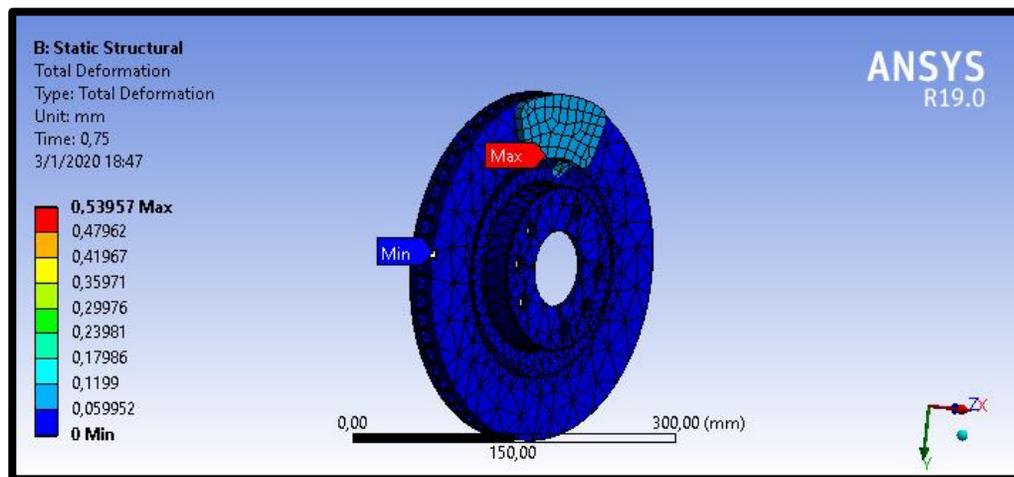


**Figura 86.** Pastilla de freno montada en el vehículo

## B. Análisis de los esfuerzos Disco-Pastilla

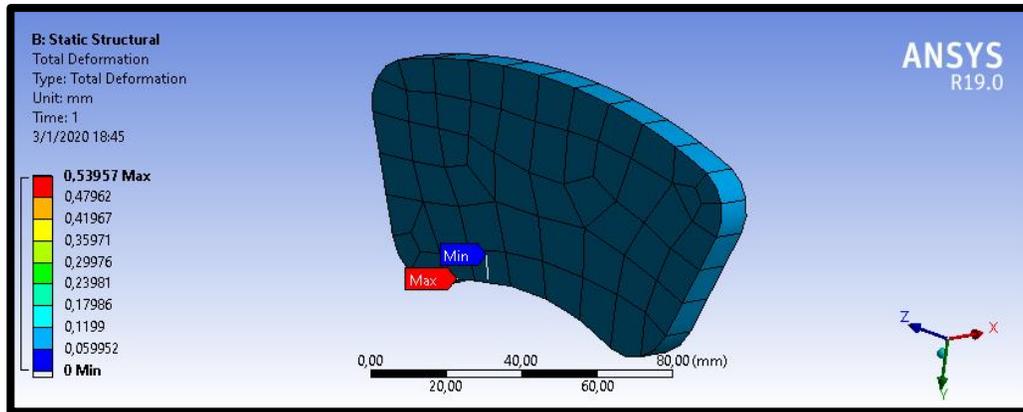
- **Deformación total**

En la figura 87 se muestra el análisis del software CAE en el que se obtuvo un resultado de deformación de acuerdo a la carga aplicada al ensamble de 0.539 mm con lo que se puede evidenciar que es en el disco en donde se presenta la deformación principal a razón de recibir la compresión provocada por las pastillas de freno al ser presionadas por el sistema hidráulico.



**Figura 87.** Deformación total del ensamble Disco-Pastilla.

Del mismo modo se presenta la deformación presente en la pastilla de freno al efectuar la desaceleración hacia el disco mediante la presión ejercida por el sistema hidráulico, así la superficie de contacto llega a tener una deformación de 0,59 mm como valor máximo y 0,05 como valor mínimo.



**Figura 88.** Deformación total en la pastilla de freno

## 5.4. Análisis de resultados

### 5.4.1. Análisis de mediciones de neumáticos

Con el fin de analizar el desgaste en los neumáticos se realizó las mediciones y la toma de datos de forma periódica según las etapas de prueba establecidas. En la primera medición que se realiza el vehículo tiene un kilometraje de 740 km y al culminar el estudio el kilometraje es de 25685 Km, obteniéndose un recorrido experimental de 24945 Km, siendo este el recorrido aprovechado para el estudio.

Al culminar el periodo de estudio de los neumáticos muestra que el desgaste que en las posiciones P1 y P2 se presentó una mayor disminución en la escultura referente de las otras, teniendo en consideración que estos, se encontraban en el eje delantero hasta los 10250 Km, señalando que tanto el motor como las baterías y la transmisión se encuentran en este eje presentando un porcentaje de desgaste promedio de 43,62%, y por otro lado posiciones P3 y P4 presentan un porcentaje de 19,70%.

Adicional a lo mencionado previamente, en los neumáticos de las posiciones P1 y P2, se evidencia una disminución de 2.216 mm de escultura en los primeros 10000 Km. aproximadamente por lo que se realiza una proyección de la vida útil de los neumáticos dichas posiciones y se puede estimar que tendrían que ser cambiados luego de 20577 Km más de recorrido, es decir cuando el odómetro presente 30577 Km y en un tiempo aproximado de 4 meses más de trabajo.

Del mismo modo los neumáticos de las posiciones P3, P4 reflejan una reducción promedio de 0.885 mm de escultura por cada 10000 Km. recorridos, con lo cual se estima una vida útil de 66565 Km más de recorrido, se proyecta su reemplazo cuando el odómetro marque los 76564,9 Km y en un tiempo aproximado de 13 meses.

#### **5.4.2. Análisis de ensayos en las pastillas de frenos**

Se demostró en los ensayo de resistencia interna al corte la carga máxima soportada por cada probeta del material de fricción, dentro de este ensayo la muestra 1 resulto ser la de mayor resistencia con 9.865 N/mm<sup>2</sup> y la muestra 5 es la más baja con 5,796 N/mm<sup>2</sup>, esta variación se presenta debido a la diferencia en el área de las sección transversal de las probetas experimentales con 199,191 mm<sup>2</sup> y 196,68 mm<sup>2</sup> respectivamente, siendo la muestra 2 la que presenta la medida más idónea para el ensayo con 198,00 mm<sup>2</sup> y una fuerza interna de corte de 6,338 N/mm<sup>2</sup> siendo esta el valor promedio de las propiedades físicas que menciona el fabricante y demostrando sus prestaciones.

Dentro de los ensayos especificados por la normativa INEN-ISO 6310 se consiguió resultados en primera instancia a temperatura ambiente (20.5°C) y posteriormente en

calentamiento (390°C), para lo cual se utilizaron dos muestras, que presentaron un valor de compresibilidad promedio a temperatura ambiente de 0.0944 mm y un valor promedio de 0.255 mm en el ensayo de calentamiento, evidenciándose de esta forma que la temperatura incide en el desgaste de la pastilla de freno en condiciones reales de funcionamiento.

#### **5.4.3. Análisis de simulación en la pastilla de freno**

Se evidencia en la simulación que la distribución de presión presenta una variación si es que se cambia el valor del coeficiente de fricción del material, ya que están directamente relacionados y del mismo modo aumentara la temperatura en consecuencia de la fricción de los componentes, es por esto que estos valores deben mantenerse en el rango especificado por el fabricante de 0.65 y 0.8 MPa en cuanto a la presión y 0.31 a 0.34 el coeficiente de fricción de la pastilla de freno.

## CAPÍTULO VI

### 6. MARCO ADMINISTRATIVO

#### 6.1. Recursos

En el progreso de este proyecto de investigación, se procedió de forma ordenada y metódica con el propósito de optimizar los recursos, que se especifican a continuación:

##### 6.1.1. Recursos humanos

La realización de la investigación “Análisis de la eficiencia del sistema de frenos en diferentes condiciones de uso en un automóvil sedan eléctrico BYD E5 300” fue elaborado por:

**Tabla 43.**  
*Recursos humanos*

| Investigadores:           | Adrián Medina        | Investigador  |
|---------------------------|----------------------|---|
| Tutor:                    | Ing. Alex Cevallos   | Director de Tesis                                   |
| Colaboradores científicos | Ing. Francisco Navas | Colaborador Laboratorio Mecánica de Materiales-Espe |

##### 6.1.2. Recursos tecnológicos

En la investigación se utilizaron recursos tecnológicos que fueron imprescindibles para el desarrollo y culminación de la misma, estos se detallan a continuación:

**Tabla 44.**  
*Recursos tecnológicos*

| ORDEN | NOMBRE                       |
|-------|------------------------------|
| 1     | Máquina universal de ensayos |
| 2     | Profundimetro                |

**CONTINÚA** →

|   |                            |
|---|----------------------------|
| 3 | Termómetro laser           |
| 4 | Medidor de presión digital |
| 5 | Cronómetro                 |
| 6 | Computadora                |
| 7 | Smartphone                 |

### 6.1.3. Recursos materiales

Los materiales utilizados a lo largo de toda la investigación son detallados en la tabla

45

#### Tabla 45.

##### *Recursos materiales*

| Orden | Nombre              |
|-------|---------------------|
| 1     | Pastillas de freno  |
| 2     | Llantas             |
| 3     | Platinas            |
| 4     | Ejes de transmisión |
| 5     | Cocina eléctrica    |

### 6.2. Análisis de costos de la investigación

A lo largo de toda la investigación se realizan inversiones en diferentes ítems que son necesarios para el desarrollo de cada etapa de estudio, que es dividida por categorías y se detallan a continuación.

#### 6.2.1. Presupuesto para materiales y equipos de medición.

Los datos evaluados en la investigación requieren de equipos específicos de precisión para que su toma de datos sea idónea y así obtener resultados fiables en la investigación, instrumentos que se detallan en la tabla 46.

**Tabla 46.**  
*Presupuesto de materiales y equipos*

| Descripción                 | Cantidad | Valor Unitario | Valor total   |
|-----------------------------|----------|----------------|---------------|
| Juego de pastillas de freno | 1        | 197.50         | 197.50        |
| Juego de llantas            | 1        | 271            | 271           |
| Termómetro                  | 1        | 20             | 20            |
| Profundímetro               | 1        | 18             | 18            |
| Platinas                    | 2        | 25             | 50            |
| Ejes de transmisión         | 5        | 2              | 10            |
| Cocineta eléctrica          | 1        | 16             | 16            |
| Cortes pastilla             | 5        | 4,40           | 22            |
| Manómetro                   | 1        | 20             | 20            |
| <b>TOTAL</b>                |          |                | <b>624.50</b> |

### 6.2.2. Costos de pruebas de laboratorio

Dentro de las pruebas de laboratorio intervienen los ensayos realizados mediante las normativas técnicas INEN ISO 6310 y 6311, que no presentan costo alguno debido a que se las realiza en las instalaciones y con equipo de la universidad.

**Tabla 47.**  
*Costos de pruebas de laboratorio*

| DESCRIPCIÓN                            | CANTIDAD | VALOR TOTAL |
|--|----------|-------------|
| Prueba de Resistencia Interna al Corte | 1        | 0           |
| Prueba de Deformación por Compresión   | 1        | 0           |
| <b>TOTAL</b>                           |          | <b>0</b>    |

### 6.2.3. Costo total de la investigación

En este apartado se aglomeran las inversiones parciales realizadas durante el desarrollo de la investigación para determinar el coste total de la misma, incluyendo los valores referentes a alimentación, transporte y materiales de oficina.

**Tabla 48.**  
*Inversión total de la investigación*

| Descripción   | Valor  |
|---|--------|
| Costo de materiales y equipos                         | 624.5  |
| Costo de pruebas de laboratorio                       | 0      |
| Costo de movilización del vehículo (Loja – Latacunga) | 500    |
| Costo de movilización                                 | 250    |
| Material de oficina                                   | 50     |
| Alimentación  | 300    |
| Valor total   | 1724.5 |

## CAPÍTULO VII

### 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1. Conclusiones

- Se pudo evidenciar que al poseer el vehículo un sistema de freno regenerativo reduce la acción del sistema de frenos por lo que en circunstancias ordinarias de trabajo al estar exento de realizar frenados bruscos no se aumenta bruscamente la temperatura del compuesto del neumático por lo que se prolonga la vida del mismo.
- Se pudo evidenciar que al variar las condiciones de trabajo del vehículo eléctrico BYD E5 300 en diferentes regímenes de carga la incidencia de esta sobre el desgaste del neumático es directa ya que al realizar las pruebas en la etapa 5 que describe el uso del vehículo con 5 ocupantes los neumáticos trabajan al 97% de su capacidad por lo que el desgaste del mismo se ve amentado.
- Se concluye que la temperatura del asfalto tiene una leve incidencia del 5% en el desgaste del neumático ya que el rango de temperatura del asfalto en el circuito de pruebas en el que se desarrolló el vehículo eléctrico varía entre 20.8°C en condiciones de lluvia y 39°C en el punto más caluroso del día en la ciudad de Latacunga con lo cual no sobrepasa la temperatura ideal del trabajo del compuesto del neumático Giti Tour 900.
- Se logro determinar que el índice de presión de inflado del neumático si influye directamente en el desgaste del vehículo debido a que la presión carga inflado recomendado por el fabricante del vehículo es del 38 psi y al ser este un neumático diseñado para alta carga requiere de una presión de inflado de 38-40 psi, por lo que un inflado inferior aumentara la superficie de contacto con el asfalto y

ocasionara que el hombro del neumático se deforme ocasionando un desgaste irregular en la escultura disminuyendo el porcentaje de conservación promedio de material en un 23,66%.

- Se analizo la eficiencia del frenado en los diferentes estados del neumático por lo que se puede comprobar que la capacidad de adherencia del compuesto de la banda de rodadura se ve afectado a medida que disminuye la escultura, así como la capacidad de disipar la humedad.
- Se realizo los ensayos de resistencia del material en la prueba de resistencia interna al corte de la pastilla de freno que posee el vehículo eléctrico BYD E5 300 según la norma NTE INEN – ISO 6311 llevándolo a sus puntos más críticos, es así que en la muestra 3 se evidencia una carga máxima de 1744N que resulta en una fuerza interna al corte de 8,924 N/mm<sup>2</sup> este valor se presenta en un cortante doble que valida lo especificado por el fabricante.
- Se realizo la prueba de compresibilidad del material de fricción de las pastilla basado en la norma NTE INEN ISO 6310 en la cual se especifica que se debe aplicar la carga por ciclos siendo estos 1-2-4-8 -Mpa respectivamente a temperatura ambiente y en una entapa de calentamiento a 400°C, determinando así una compresibilidad promedio a temperatura ambiente de 20.5°C de 87µm, y para la prueba de calentamiento se la realizo a 390°C y presento una compresibilidad promedio de 186 µm
- Se calculo la durabilidad de los componentes del sistema de freno mediante una proyección, con lo cual se puede aseverar que en condiciones normales de trabajo

del vehículo eléctrico la durabilidad de las pastillas de freno se puede extender hasta los 180 000 km debido a la asistencia automática del freno regenerativo.

- Al realizar la tabulación de los datos estudiados, así como los valores obtenidos en las pruebas realizadas a lo largo de la investigación se pudo determinar que el eje trasero presenta una eficiencia y durabilidad promedio del 17% más que el eje delantero del vehículo debido a la diferencia de carga aplicada en ambos ejes.

## **7.2. Recomendaciones**

- Es importante tener muy en cuenta los parámetros principales de funcionamiento del vehículo eléctrico como lo son la velocidad promedio a la que circulara el mismo, el trazado de pruebas y el estado inicial de los componentes que serán estudiados, ya que de esto dependerá el análisis posterior de las pruebas realizadas.
- Se recomienda designar una ruta de pruebas con diferentes trazados en los que se involucre carretera, una zona urbana y por último una vía de segundo orden para poder considerar todas las posibles rutas de un vehículo de servicio público y de este modo conseguir los resultados más cercanos a la realidad posibles.
- Para la toma de datos es importante realizarlo antes y después de cada etapa o fase de pruebas para poder determinar el desgaste por etapas, adicional es recomendable realizar tres mediciones para determinar una media entre estas y de este modo conseguir resultados reales.
- Para evitar un desgaste prematuro en los neumáticos se recomienda realizar un mantenimiento preventivo en cuanto a alineación y balanceo cada 5000 km para

evitar que la convergencia de las ruedas del vehículo se vea afectada debido al peso del mismo y así llegar a la vida útil estimada del neumático

- Es importante también llevar un control de la presión de inflado de los neumáticos como lo recomienda el fabricante ya que de verse reducido este factor el desgaste de los neumáticos se incrementará debido a la deformación del neumático.
- Para el reemplazo de los neumáticos es importante tener en cuenta el límite de altura de la escultura recomendado por los entes de control de 1,6 mm medido desde el final del labrado, o a su vez tener en cuenta el límite físico que posee el neumático en su escultura.
- A la hora de realizar el análisis estructural se recomienda tener en cuenta la pérdida de energía calórica por transferencia de calor con el ambiente debido al flujo de aire que recibe el sistema de frenos con el vehículo en movimiento para de este modo conseguir un resultado más acercado a la realidad.
- Se debe respetar el límite en el espesor del material de fricción de las pastillas de freno que es de 2 mm recomendado por el fabricante para precautelar la seguridad de los ocupantes del vehículo.

## **8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- BYD. (05 de 2018). BYD ELÉCTRICO. Recuperado el 13 de Junio de 2019 Obtenido de <https://bydelectrico.com>
- Castillo, M., & Serrano, D. (10 de Junio de 2018). 240 vehículos eléctricos circulan en Ecuador. El Comercio.
- Di Rado, G., Presta, D., & Devincenzi, G. (2016). MODELO DE SIMULACIÓN DE DESACELERACIÓN DE UN AUTOMÓVIL UTILIZANDO FRENO POR FRICCIÓN. Asociación Argentina de Mecánica Computacional, 2755-2766.
- García, R., Echavez, R., & Solano, E. (2018). Análisis termodinámico de un disco de freno automotriz con pilares de ventilación tipo NACA 66-209. Inge CUC.
- Luque, P., Álvarez, D., & Vera, C. (2004). Ingeniería del automóvil: sistemas y comportamiento dinámico. Paraninfo.
- 10 automoviles.com. (2013). Recuperado el 13 de Junio de 2019 Obtenido de <http://www.10automoviles.com/paises.htm>
- Askeland, D. R., Fulay, P. P., & Wright, W. J. (2012). Ciencia e Ingeniería de los materiales. Mexico D.F.: Cengage Learning Editores S.A.
- Balageas, D. L. (Octubre de 2007). IV Conferencia Panamericana de END. Recuperado el 14 de Junio de 2019 Obtenido de <http://www.ndt.net/article/panndt2007/papers/128.pdf>
- Ballesteros, D. A. (2014). DISEÑO del PUESTO de CONDUCCIÓN de un AUTOMÓVIL basado en la. Madrid: PFC Ingeniería Industrial Universidad Carlos III.
- BYD. (15 de Noviembre de 2016). BYD Electricos. Recuperado el 15 de Junio de 2019 Obtenido de <http://bydelectricos.com/producto-detalle/autos/4/byd-e5>
- BYD. (JULIO de 2018). BYD ECUADOR.
- Cantillo, I. A. (11 de Marzo de 2014). AUTOSOPORTE. Recuperado el 15 de Junio de 2019 Obtenido de Computadora Automotriz y Problemas en Sensor MAP: <http://www.autosoporte.com/blog-automotriz/item/307-computadora-automotriz-problemas-sensor-map>
- Castro, I. G. (2008). MATERIALES Y COMPUESTOS PARA LA INDUSTRIA DEL NEUMATICO. DEPARTAMENTO DE ENERGIA MECANICA F.I.U.B.A.
- E-AUTO. (s.f.). Para mecanicos . Recuperado el 16 de Junio de 2019 Obtenido de <http://e-auto.com.mx/enuw/index.php/85-boletines-tecnicos/6780-codigo-obdii-p0107-sensor-de-presion-absoluta>

- Flores Larsen S, M. H. (2014). Determinación de la reflectancia infrarroja de las superficies especulares mediante. *Renewable Energy*, 8.
- GOODYEAR. (09 de Marzo de 2018). KILOMETROS QUE CUENTAN. Recuperado el 17 de Junio de 2019 Obtenido de <http://kilometrosquecuentan.com/como-funciona-coche-electrico/>
- GVNS, J. (2010). JOSH GVNS. Recuperado el 17 de Junio de 2019 Obtenido de <http://joshgvns.blogspot.com/2015/07/actuadores-de-inyeccion-electronica.html>
- Kampman, B. (2010). Green Power for Electric Cars. *GreenPeace*, 21.
- ORIENTAL, J. C. (2010). EVOLUCION DE PRECIOS MERCADO ELECTRICO PERIODO 2008 A 2010.
- Orovio Astudillo, M. (2010). Tecnología del Automovil. Madrid: Paraninfo, SA.
- Pacejka, H. B. (1989). A new tire model with application in vehicle. *SAE transactions*.
- Panero, J. (1996). Las dimensiones humanas en los espacios interiores. Barcelona- España: 7 ed.
- Peugeot. (23 de Agosto de 2018). Peugeot España. Recuperado el 19 de Junio de 2019 Obtenido de <https://www.peugeot.es/que-es-un-coche-electrico.html>
- R.Bargalló, J. L. (2009). EL VEHICULO ELECTRICO Y LA EFICIENCIA ENERGETICA GLOBAL. Barcelona: EUETIB-C.
- Romo, L. (1993). Emulsiones Fundamentos Físicoquímicos Formulación y Aplicaciones. Quito: Editorial Universitaria.
- Rulers, F. S. (2 de Septiembre de 2016). Formula SAE. Recuperado el 21 de Junio de 2019 Obtenido de <http://www.fsaonline.com/content/2017-18%20FSAE%20Rules%209.2.16a.pdf>
- SAE. (22 de Marzo de 2017). Formula SAE. Recuperado el 22 de Junio de 2019 Obtenido de <https://www.fsaonline.com>
- Salvat Editores, S. (1981). Cómo funciona. Salvat Editores, S.A.
- Smith, W. F. (1998). Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los materiales. Madrid: McGRAW-HILL INTERAMERICANA DE ESPAÑA S.A.
- Smith, W. F. (2006). Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. México, D.F.: McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S. A.
- VELÁSQUEZ, N. J. (2005). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA. LATACUNGA: ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO.
- ATE. (22 de Agosto de 2019). *Frenos ATE*. Recuperado el 22 de Junio de 2019 Obtenido de ATE brakes : <https://www.frenos-ate.es/productos/disco-de-freno/discos-de-freno-originales-ate/discos-de-freno-con-tornillos-de-fijacion/>

- BARRAS, D. C. (2010). *ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE LA BANDA DE RODADURA DE UN NEUMÁTICO*. Madrid: UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID.
- Borja, J., Fenoll, J., & Seco de Herrera, J. (2009). *Sistema de transmisión y frenado*. Macmillan Iberia, S.A.
- Bridgestone. (11 de Agosto de 2018). *Data Truck Tire*. Recuperado el 24 de Junio de 2019 Obtenido de Bridgestone tires: <https://commercial.bridgestone.com/content/dam/bcs-sites/bridgestone-ex/products/Databooks/TBR/Bridgestone-TBR-DataBook-08-07-2018.pdf>
- BYD. (15 de Noviembre de 2016). *BYD Electricos*. Recuperado el 24 de Junio de 2019 Obtenido de BYD Electricos: <http://bydelectricos.com/producto-detalle/autos/4/byd-e5>
- BYD. (JULIO de 2018). *BYD ECUADOR*.
- BYD-Ecuador. (2018). *BYD e-Motors Ecuador*. Recuperado el 07 de Julio de 2019 Obtenido de <https://bydelectrico.com/buses-electricos/bus-electrico-k11a/>
- Carnicer, E. (1994). *Aire Comprimido*. España: Editorial Paraninfo.
- Castillo, M., & Serrano, D. (10 de Junio de 2018). 240 vehículos eléctricos circulan en Ecuador. *El Comercio*.
- Castro, G. (2008). *Materiales y compuestos para la industria del neumatico*. departamento de ingenieria mecanica f.i.u.b.a.
- Castro, I. G. (2008). *MATERIALES Y COMPUESTOS PARA LA INDUSTRIA DEL NEUMATICO*. DEPARTAMENTO DE ENERGIA MECANICA F.I.U.B.A.
- Di Rado, G., Presta, D., & Devincenzi, G. (2016). Modelo de simulación de desaceleración de un automóvil utilizando freno por fricción. *Mecánica Computacional Vol XXXIV*, 2755-2766.
- Doblado, J. A. (2017). *Vehículos eléctricos e híbridos*. Madrid: Paraninfo,SA.
- Domínguez, E., & Ferrer, J. (2012). *Elementos y piezas del sistema de frenos (Sistemas de transmisión y frenado)*. EDITEX.
- Drexler, C., & Leiter, R. (2014). Brake Systems, an Overview. *Encyclopedia of Automotive Engineering*.
- Escobar, C., Martínez, J., & Téllez, G. (2005). *Control de un motor Brushless DC con frenado regenerativo*. Bogotá.
- FABIÁN AYALA VEGA, J. S. (2005). *DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN SISTEMA AUXILIAR DE FRENOS CON CONTROL ELECTRÓNICO*. Latacunga.
- Font Jaumandreu, M. (2014). *Estudio de la relación del conjunto neumático-llanta de un automóvil, con el consumo energético y la seguridad vial*. Barcelona.
- Fraemma. (2019). *Fraemma*.

- García, & Flórez. (2018). *Análisis termodinámico de un disco de freno*.
- GARCÍA, J. C. (2013). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DEL*. GUAYAQUIL: UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR.
- García, R., Acosta, M., & Solano, E. (2014). *Análisis del comportamiento de los frenos de disco de los vehículos a partir de la aceleración del proceso de corrosión*.
- García, R., Echavez, R., & Flórez-Solano, E. (2018). Análisis termodinámico de un disco de freno automotriz con pilares de ventilación tipo NACA 66-209. *INGE CUC*, 9-18.
- GOODYEAR. (09 de Marzo de 2018). *GO KILOMETROS QUE CUENTAN*. Recuperado el 13 de Agosto de 2019, de Kilometros que cuentan: <http://kilometrosquecuentan.com/como-funciona-coche-electrico/>
- GOODYEAR. (09 de Marzo de 2018). *KILOMETROS QUE CUENTAN*. Recuperado el 13 de Agosto de 2019 Obtenido de <http://kilometrosquecuentan.com/como-funciona-coche-electrico/>
- Granell, A. (2019). *Red Operativa de Desguaces Españoles*. Recuperado el 15 de Agosto de 2019 Obtenido de <https://www.ro-des.com/mecanica/discos-freno-funcionamiento-mantenimiento/>
- Guarnieri, M. (2012). Looking back to electric cars. *The Origins of Electrotechnologies* (págs. 3rd Region-8). HISTELCON.
- Guillén, A. (1993). *Introducción a la Neumática*. España: Editorial Marcombo.
- Impormel. (2019). *Mercado Libre*.
- Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (1999). *Fundamentos de la Transferencia de Calor” 4ª Ed*. Mexico D.F: Prentice Hall.
- INEN. (1984). *Frenos neumáticos, presiones en cañerías y eficiencia del frenado*.
- INEN. (2009). *VEHÍCULOS AUTOMOTORES – REVESTIMIENTOS DE FRENO - MÉTODO DE ENSAYO DE LA DEFORMACIÓN POR COMPRESIÓN*. Quito.
- INEN, N. (2009). *VEHÍCULOS AUTOMOTORES. REVESTIMIENTO PARA FRENOS MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA INTERNA AL CORTE*. Quito.
- INEN-ISO. (2009). *VEHÍCULOS AUTOMOTORES – REVESTIMIENTOS DE FRENO - MÉTODO DE ENSAYO DE LA DEFORMACIÓN POR COMPRESIÓN*. Quito.
- Instruments, P. (2015). *Manual de Instrucciones Termómetro por Infrarrojos PCE-889A*. Santiago de Chile.
- Kampman, B. (2010). Green Power for Electric Cars. *GreenPeace*, 21.
- Lillo, S. (2006). *Comportamiento termomecánico en un disco de freno macizo y uno auto-ventilado*. Valdivia.

- Limpert, R. (1999). Brake design and safety. En *Temperature Analysis* (pág. 112). Pennsylvania: SAE.
- Luque, P., Álvarez, D., & Vera, C. (2004). *Ingeniería del automóvil: sistemas y comportamiento dinámico*. Madrid: Thomson.
- Martín, J. C. (2007). *Mecánica del automóvil actual*. Zaragoza: Reverte.
- Méndez, A., Cely, M., & Monar, W. (2016). Diseño del Sistema de Freno Regenerativo de Automóviles Híbridos. *Revista Politécnica*.
- Michelin. (2017). *Conauto*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2019 Obtenido de <http://www.conauto.com.ec/>
- Michellin. (2019). *Consejos- guías de neumático*. Recuperado el 13 de Septiembre de 2019 Obtenido de <https://camion.michelin.es/Consejos/Gu%C3%ADa-del-neum%C3%A1tico>
- Mitchell, W. J., Borroni-Bird, C., & Burns, L. D. (2010). *Reinventing the Automobile: Personal Urban Mobility for the 21st Century*.
- Mitutoyo. (2011). *Tire Tread Depth Gauge User's Manual*.
- Nieto, L. B. (2016). *Estudio de la eficiencia de frenado para valorar pastillas de freno de producción nacional mediante norma ECE 13H*. Quito: UIDE.
- OMP. (2019). *Amazon*. Recuperado el 17 de Septiembre de 2019 Obtenido de <https://www.amazon.es>
- ORIENTAL, J. C. (2010). *EVOLUCION DE PRECIOS MERCADO ELECTRICO PERIODO 2008 A 2010*.
- Pacejka, H. B. (1989). *A new tire model with application in vehicle*. SAE transactions.
- Paredes, & Sánchez. (2008). *Eficiencia en tiempo de vida de neumáticos con relación a rotación de posiciones uno y dos en volquetes Komatsu 930 E-3*. Lima.
- Peugeot. (23 de Agosto de 2018). *Peugeot España*. Recuperado el 21 de Septiembre de 2019 Obtenido de <https://www.peugeot.es/que-es-un-coche-electrico.html>
- Puiggrós, C. D. (2016). Cálculo del porcentaje de conservación y desgaste de neumáticos. *Skopein*, 10-12.
- Quinteros, N. A. (2016). Análisis e Investigación de Maniobras. *skopein*, 11.
- R. Bargalló, J. ... (2009). *El vehículo eléctrico y la eficiencia energética global*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- R. Bargalló, J. L. (2009). *EL VEHICULO ELECTRICO Y LA EFICIENCIA ENERGETICA GLOBAL*. Barcelona: EUETIB-C.
- Ramírez, J. (2017). *ESTUDIO DE LA DINÁMICA DE TRACCIÓN DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO*. Pereira.

- Rodriguez Luque, P., Alvarez, D., & Vera, C. (2005). *Ingeniería del automóvil: sistemas y comportamiento dinámico*. Madrid: Paraninfo.
- Salvat Editores, S. (1981). *Cómo funciona*. Salvat Editores, S.A.
- Teran, T. D. (2019). *ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA, DESGASTE Y RENDIMIENTO DE LOS FRENOS Y NEUMÁTICOS DEL BUS ARTICULADO BYD K11A DE 160 PASAJEROS*. Latacunga.
- Textar. (12 de 2015). Obtenido de <https://textar.com/>
- Tires, G. (2019). *Giti-Tires*. Obtenido de <https://giti-tire.eu/es>
- VELÁSQUEZ, N. J. (2005). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA*. LATACUNGA: ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO.
- Venegas, W. (2012). *Análisis por el método de elementos finitos de un disco de freno con sistema de mordaza*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Venegas, W. (2012). *Análisis por el método de elementos finitos de un disco de freno con sistema de mordaza*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

# ANEXOS



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**  
**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo de titulación fue desarrollado por el señor  
MEDINA MOREJÓN JHOSEP ADRIÁN.

En la ciudad de Latacunga a los 13 días del mes de enero del 2020.

Aprobado por:

  
ING. CEVALLOS CARVAJAL, ALEX SANTIAGO  
C.C.: 0502530447

  
ING. DANILO ZAMBRANO LEÓN  
DIRECTOR DE CARRERA

  
ABG. DARWIN ALBÁN  
SECRETARIO ACADÉMICO

