



**Estudio de los efectos de la pisada del neumático en la generación del ruido y  
vibración del neumático de un vehículo de turismo segmento C**

Tutillo Chinchuña, Cristian Andrés

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de Unidad de Integración Curricular, previo a la obtención del Título de  
Ingeniero Automotriz

Ing. Iza Tobar, Henry Heriberto MSc.

04 de febrero del 2022

Latacunga



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

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de Unidad de Integración Curricular, “**Estudio de los efectos de la pisada del neumático en la generación del ruido y vibración del neumático de un vehículo de turismo segmento C**” fue realizado por el señor **Tutillo Chinchuña, Cristian Andrés** 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 las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 04 de febrero del 2022



Firmado electrónicamente por:

**HENRY  
HERIBERTO**

---

Ing. Iza Tobar, Henry Heriberto

C.C.: 0502005242



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

REPORTE DE VERIFICACIÓN DE CONTENIDO



TRABAJO UIC\_TUTILLO ANDRES.pdf  
Scanned on: 15:22 February 4, 2022 UTC



Identical Words	48
Words with Minor Changes	52
Paraphrased Words	209
Ommited Words	0





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

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Tutillo Chinchuña, Cristian Andrés** con cédula de ciudadanía **N°0550028500**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de Unidad de Integración Curricular: **“Estudio de los efectos de la pisada del neumático en la generación del ruido y vibración del neumático de un vehículo de turismo segmento C”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 04 de febrero del 2022



---

Tutillo Chinchuña, Cristian Andrés

C.C.: 0550028500



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

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

Yo, **Tutillo Chinchuña, Cristian Andrés** con cédula de ciudadanía **N°0550028500**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de Unidad de Integración Curricular: **“Estudio de los efectos de la pisada del neumático en la generación del ruido y vibración del neumático de un vehículo de turismo segmento C”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 04 de febrero del 2022

Tutillo Chinchuña, Cristian Andrés

C.C.: 0550028500

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo de investigación de manera especial a mi madre Julia Chinchuña y a mi hermano Alexander Tutillo por haber sido mis mayores ejemplos de perseverancia y constancia para alcanzar mis metas, por su amor incondicional y porque siempre me apoyaron y estuvieron conmigo en los momentos difíciles.

**TUTILLO CHINCHUÑA, CRISTIAN ANDRÉS**

## **Agradecimiento**

Primeramente, a Dios por haberme dado la fuerza para seguir en adelante, la paciencia y el conocimiento para llegar a alcanzar la meta que me propuse alcanzar.

A mi madre Julia Imelda y a mis abuelitos que, gracias a su amor, esfuerzo y sacrificio me han ayudado para cumplir esta meta tan anhelada.

A mi hermano Guillermo Alexander por su apoyo, paciencia y por enseñarme a que nunca debo de darme por vencido sin importar las dificultades que puedan llegar a suceder.

A mis familiares y conocidos que siempre me supieron apoyar con sus palabras en el transcurso de mi vida universitaria.

A mi grupo de investigación que, a pesar de las dificultades que se dieron en el transcurso pudimos salir en adelante y logramos terminar el trabajo.

De manera especial quiero agradecer al Ing. Henry Iza por guiarme en la realización del presente trabajo.

**TUTILLO CHINCHUÑA, CRISTIAN ANDRÉS**

**Tabla de contenidos**

<b>Carátula.....</b>	<b>1</b>
<b>Certificación.....</b>	<b>2</b>
<b>Reporte de Verificación de Contenido.....</b>	<b>3</b>
<b>Autoría de Responsabilidad .....</b>	<b>4</b>
<b>Autorización de Publicación.....</b>	<b>5</b>
<b>Dedicatoria.....</b>	<b>6</b>
<b>Agradecimiento .....</b>	<b>7</b>
<b>Tabla de contenidos.....</b>	<b>8</b>
<b>Índice de Tablas .....</b>	<b>16</b>
<b>Índice de Figuras.....</b>	<b>17</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>22</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>23</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>24</b>
<b>Antecedentes investigativos.....</b>	<b>24</b>
<b>Planteamiento del problema .....</b>	<b>25</b>
<b>Justificación e importancia.....</b>	<b>26</b>
<b>Objetivos .....</b>	<b>26</b>
<b><i>Objetivo general .....</i></b>	<b>26</b>
<b><i>Objetivos específicos.....</i></b>	<b>26</b>
<b>Variables de investigación .....</b>	<b>27</b>
<b><i>Variable independiente .....</i></b>	<b>27</b>
<b><i>Variable dependiente.....</i></b>	<b>27</b>

Hipótesis .....	27
Fundamentación teórica .....	28
La llanta neumática en el vehículo .....	28
El neumático de un automóvil .....	28
<i>Definición</i> .....	28
<i>Funciones y características</i> .....	29
<i>Estructura</i> .....	29
<i>Fabricación</i> .....	30
Aprovisionamiento de materiales y fabricación de compuestos .....	30
Fabricación de componentes .....	30
Fabricación del neumático .....	30
Vulcanización .....	31
Control de calidad .....	31
<i>Tipos de construcción</i> .....	31
Neumáticos radiales .....	31
Neumáticos bias o diagonales .....	32
Variables que afectan la generación de la vibración en el automóvil .....	32
<i>Origen de una vibración en el automóvil</i> .....	32
<i>Fuerzas de excitación en automóviles</i> .....	33
<i>Fuentes de excitación en automóviles</i> .....	33
Niveles de ruido .....	34

Fuentes de ruido de los neumáticos .....	35
Parámetros que afectan al ruido del neumático .....	36
Pisada del neumático y su influencia en la vibración .....	36
<i>Geometrías de suspensión</i> .....	36
Ángulo de avance o caster .....	36
Ángulo de caída o camber .....	37
Convergencia/divergencia .....	37
<i>Presión de inflado</i> .....	38
Baja presión .....	38
Exceso de presión .....	39
Presión correcta .....	40
<i>Efectos de la sobrecarga</i> .....	41
Anomalías o desviación de las ruedas.....	41
<i>Alabeo</i> .....	41
<i>Excentricidad</i> .....	42
Cuidados y mantenimiento de los neumáticos.....	43
<i>Inspección</i> .....	43
<i>Alineación</i> .....	43
<i>Balanceo</i> .....	44
<i>Rotación de llantas</i> .....	44
<i>Recomendación para inflado correcto de neumáticos</i> .....	45

<b>Metodología de desarrollo del proyecto y resultados obtenidos.....</b>	<b>46</b>
<b>Consideraciones para realizar las pruebas.....</b>	<b>46</b>
<b>Normativa NTE INEN 2665.....</b>	<b>47</b>
<b>Configuración de los lugares de prueba.....</b>	<b>47</b>
<b><i>Características de los lugares de prueba.....</i></b>	<b>48</b>
<b>Ruta 1. Pavimento.....</b>	<b>48</b>
<b>Ruta 2. Suelo Natural.....</b>	<b>49</b>
<b>Ruta 3. Adoquín.....</b>	<b>50</b>
<b>Ruta 4. Empedrado.....</b>	<b>51</b>
<b><i>Condiciones atmosféricas.....</i></b>	<b>52</b>
<b><i>Límites de velocidad.....</i></b>	<b>53</b>
<b>Equipos de medición.....</b>	<b>54</b>
<b><i>Criterios de selección o construcción.....</i></b>	<b>54</b>
<b><i>Analizador de vibraciones.....</i></b>	<b>55</b>
<b><i>Sonómetro.....</i></b>	<b>55</b>
<b>Vehículo de prueba.....</b>	<b>56</b>
<b><i>Especificaciones.....</i></b>	<b>56</b>
<b><i>Balanceo.....</i></b>	<b>57</b>
<b><i>Alineación.....</i></b>	<b>57</b>
<b><i>Presión de inflado.....</i></b>	<b>58</b>
<b><i>Datos de los neumáticos.....</i></b>	<b>59</b>

Preparación del vehículo.....	59
<i>Revisión general</i> .....	60
<i>Proceso de balanceo</i> .....	60
<i>Proceso de alineación</i> .....	62
<i>Presión de inflado</i> .....	65
<i>Colocación de equipos de medición</i> .....	65
<i>Metodología de pruebas</i> .....	66
Proceso de medición y resultados obtenidos .....	68
<i>Pruebas con el vehículo en buenas condiciones</i> .....	68
Ruta 1 y neumático A .....	69
<i>Vibración</i> .....	69
<i>Ruido</i> .....	70
Ruta 2 y neumático A .....	71
<i>Vibración</i> .....	71
<i>Ruido</i> .....	73
Ruta 1 y neumático B .....	74
<i>Vibración</i> .....	74
<i>Ruido</i> .....	75
Ruta 2 y neumático B .....	76
<i>Vibración</i> .....	76
<i>Ruido</i> .....	77

Ruta 1 y neumático C .....	78
<i>Vibración</i> .....	78
<i>Ruido</i> .....	79
Ruta 2 y neumático C .....	80
<i>Vibración</i> .....	80
<i>Ruido</i> .....	81
Ruta 1 y neumático D .....	82
<i>Vibración</i> .....	82
<i>Ruido</i> .....	83
Ruta 2 y neumático D .....	84
<i>Vibración</i> .....	84
<i>Ruido</i> .....	85
<i>Pruebas con el vehículo con desbalanceo y desalineado</i> .....	87
Ruta 1 y neumático A .....	88
<i>Vibración</i> .....	88
<i>Ruido</i> .....	89
Ruta 2 y neumático A .....	90
<i>Vibración</i> .....	90
<i>Ruido</i> .....	91
Ruta 1 y neumático B .....	92
<i>Vibración</i> .....	93

<i>Ruido</i> .....	94
Ruta 2 y neumático B .....	95
<i>Vibración</i> .....	95
<i>Ruido</i> .....	96
Ruta 1 y neumático C .....	97
<i>Vibración</i> .....	97
<i>Ruido</i> .....	98
Ruta 2 y neumático C .....	99
<i>Vibración</i> .....	99
<i>Ruido</i> .....	100
Ruta 1 y neumático D .....	101
<i>Vibración</i> .....	102
<i>Ruido</i> .....	103
Ruta 2 y neumático D .....	104
<i>Vibración</i> .....	104
<i>Ruido</i> .....	105
Resultados de la investigación .....	107
Neumático Goodyear .....	107
Neumático Nexen.....	111
Neumático Sonar .....	114
Neumático Anchee.....	118

<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>123</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>123</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>125</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>126</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>130</b>

**Índice de Tablas**

<b>Tabla 1</b> <i>Efectos de conducir con neumáticos con baja o exceso de presión</i> .....	40
<b>Tabla 2</b> <i>Superficie de rodadura por cantón (km)</i> .....	47
<b>Tabla 3</b> <i>Superficies de rodadura consideradas en la investigación</i> .....	48
<b>Tabla 4</b> <i>Límites de velocidad para vehículos</i> .....	53
<b>Tabla 5</b> <i>Velocidades para cada tipo de superficies de rodadura</i> .....	53
<b>Tabla 6</b> <i>Especificaciones del vehículo</i> .....	56
<b>Tabla 7</b> <i>Datos de alineación del vehículo</i> .....	58
<b>Tabla 8</b> <i>Datos de presión de los neumáticos</i> .....	58
<b>Tabla 9</b> <i>Características de los modelos de neumáticos utilizados</i> .....	59
<b>Tabla 10</b> <i>Cantidad de masa colocada en las ruedas del vehículo</i> .....	62
<b>Tabla 11</b> <i>Reporte de alineación del vehículo empleado</i> .....	64
<b>Tabla 12</b> <i>Nomenclatura para lugares de prueba y neumáticos</i> .....	68

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Llanta de un automóvil</i> .....	28
<b>Figura 2</b> <i>Partes del neumático del automóvil</i> .....	29
<b>Figura 3</b> <i>Neumático obtenido</i> .....	31
<b>Figura 4</b> <i>a) Neumático radial, b) Neumático diagonal</i> .....	32
<b>Figura 5</b> <i>Niveles de ruido y sus consecuencias en el ser humano</i> .....	34
<b>Figura 6</b> <i>Fuentes de ruido en el neumático</i> .....	35
<b>Figura 7</b> <i>Ángulo de avance</i> .....	37
<b>Figura 8</b> <i>Ángulo de caída</i> .....	37
<b>Figura 9</b> <i>Convergencia y divergencia</i> .....	38
<b>Figura 10</b> <i>Presión de aire baja en el neumático</i> .....	39
<b>Figura 11</b> <i>Presión de aire excesiva en el neumático</i> .....	39
<b>Figura 12</b> <i>Presión de los neumáticos</i> .....	40
<b>Figura 13</b> <i>Vehículo sobrecargado</i> .....	41
<b>Figura 14</b> <i>Alabeo de la rueda</i> .....	42
<b>Figura 15</b> <i>Excentricidad de la rueda</i> .....	42
<b>Figura 16</b> <i>Alineación de las ruedas del automóvil</i> .....	43
<b>Figura 17</b> <i>Balaceo de la rueda del automóvil</i> .....	44
<b>Figura 18</b> <i>Rotación de las ruedas de un vehículo</i> .....	45
<b>Figura 19</b> <i>Ruta 1</i> .....	49
<b>Figura 20</b> <i>a) Punto de inicio. b) Punto final.</i> .....	49
<b>Figura 21</b> <i>Ruta 2</i> .....	50
<b>Figura 22</b> <i>a) Punto de inicio. b) Punto final.</i> .....	50
<b>Figura 23</b> <i>Ruta 3</i> .....	51
<b>Figura 24</b> <i>a) Punto de inicio. b) Punto final.</i> .....	51

<b>Figura 25</b> <i>Ruta 4</i> .....	52
<b>Figura 26</b> <i>a) Punto de inicio. b) Punto final</i> .....	52
<b>Figura 27</b> <i>Instrumento de medición terminado</i> .....	55
<b>Figura 28</b> <i>Instrumento de medición finalizado</i> .....	56
<b>Figura 29</b> <i>Vehículo empleado</i> .....	57
<b>Figura 30</b> <i>Revisión del estado del vehículo</i> .....	60
<b>Figura 31</b> <i>Proceso de balanceo</i> .....	61
<b>Figura 32</b> <i>Proceso de balanceo de la rueda delantera izquierda</i> .....	61
<b>Figura 33</b> <i>Vehículo balanceado</i> .....	62
<b>Figura 34</b> <i>Alineadora TRIGON 725</i> .....	62
<b>Figura 35</b> <i>Proceso de alineación</i> .....	63
<b>Figura 36</b> <i>Procedimiento de alineación</i> .....	63
<b>Figura 37</b> <i>Proceso de alineación</i> .....	64
<b>Figura 38</b> <i>Medición de presión de neumáticos</i> .....	65
<b>Figura 39</b> <i>Ubicación de los sensores en el neumático</i> .....	66
<b>Figura 40</b> <i>Ubicación de los sensores en la suspensión</i> .....	66
<b>Figura 41</b> <i>Procedimiento a realizar para la obtención de datos</i> .....	67
<b>Figura 42</b> <i>Condiciones climáticas de las pruebas con el vehículo del día 1</i> .....	69
<b>Figura 43</b> <i>Prueba 1.1</i> .....	69
<b>Figura 44</b> <i>Prueba 1.2</i> .....	70
<b>Figura 45</b> <i>Prueba 1.3</i> .....	70
<b>Figura 46</b> <i>Prueba 1.4</i> .....	71
<b>Figura 47</b> <i>Prueba 2.1</i> .....	72
<b>Figura 48</b> <i>Prueba 2.2</i> .....	72
<b>Figura 49</b> <i>Prueba 2.3</i> .....	73
<b>Figura 50</b> <i>Prueba 2.4</i> .....	73

<b>Figura 51</b> <i>Prueba 3.1</i> .....	74
<b>Figura 52</b> <i>Prueba 3.2</i> .....	74
<b>Figura 53</b> <i>Prueba 3.3</i> .....	75
<b>Figura 54</b> <i>Prueba 3.4</i> .....	75
<b>Figura 55</b> <i>Prueba 4.1</i> .....	76
<b>Figura 56</b> <i>Prueba 4.2</i> .....	76
<b>Figura 57</b> <i>Prueba 4.3</i> .....	77
<b>Figura 58</b> <i>Prueba 4.4</i> .....	77
<b>Figura 59</b> <i>Prueba 5.1</i> .....	78
<b>Figura 60</b> <i>Prueba 5.2</i> .....	78
<b>Figura 61</b> <i>Prueba 5.3</i> .....	79
<b>Figura 62</b> <i>Prueba 5.4</i> .....	79
<b>Figura 63</b> <i>Prueba 6.1</i> .....	80
<b>Figura 64</b> <i>Prueba 6.2</i> .....	81
<b>Figura 65</b> <i>Prueba 6.3</i> .....	81
<b>Figura 66</b> <i>Prueba 6.4</i> .....	82
<b>Figura 67</b> <i>Prueba 7.1</i> .....	82
<b>Figura 68</b> <i>Prueba 7.2</i> .....	83
<b>Figura 69</b> <i>Prueba 7.3</i> .....	83
<b>Figura 70</b> <i>Prueba 7.4</i> .....	84
<b>Figura 71</b> <i>Prueba 8.1</i> .....	85
<b>Figura 72</b> <i>Prueba 8.2</i> .....	85
<b>Figura 73</b> <i>Prueba 8.3</i> .....	86
<b>Figura 74</b> <i>Prueba 8.4</i> .....	86
<b>Figura 75</b> <i>Extracción de contrapesos de las ruedas</i> .....	87
<b>Figura 76</b> <i>Proceso de desalineación del vehículo</i> .....	87

<b>Figura 77</b> <i>Condiciones climáticas de las pruebas con el vehículo del día 2</i> .....	88
<b>Figura 78</b> <i>Prueba 9.1</i> .....	88
<b>Figura 79</b> <i>Prueba 9.2</i> .....	89
<b>Figura 80</b> <i>Prueba 9.3</i> .....	89
<b>Figura 81</b> <i>Prueba 9.4</i> .....	90
<b>Figura 82</b> <i>Prueba 10.1</i> .....	91
<b>Figura 83</b> <i>Prueba 10.2</i> .....	91
<b>Figura 84</b> <i>Prueba 10.3</i> .....	92
<b>Figura 85</b> <i>Prueba 10.4</i> .....	92
<b>Figura 86</b> <i>Prueba 11.1</i> .....	93
<b>Figura 87</b> <i>Prueba 11.2</i> .....	93
<b>Figura 88</b> <i>Prueba 11.3</i> .....	94
<b>Figura 89</b> <i>Prueba 11.4</i> .....	94
<b>Figura 90</b> <i>Prueba 12.1</i> .....	95
<b>Figura 91</b> <i>Prueba 12.2</i> .....	96
<b>Figura 92</b> <i>Prueba 12.3</i> .....	96
<b>Figura 93</b> <i>Prueba 12.4</i> .....	97
<b>Figura 94</b> <i>Prueba 13.1</i> .....	97
<b>Figura 95</b> <i>Prueba 13.2</i> .....	98
<b>Figura 96</b> <i>Prueba 13.3</i> .....	98
<b>Figura 97</b> <i>Prueba 13.4</i> .....	99
<b>Figura 98</b> <i>Prueba 14.1</i> .....	100
<b>Figura 99</b> <i>Prueba 14.2</i> .....	100
<b>Figura 100</b> <i>Prueba 14.3</i> .....	101
<b>Figura 101</b> <i>Prueba 14.4</i> .....	101
<b>Figura 102</b> <i>Prueba 15.1</i> .....	102

<b>Figura 103</b> <i>Prueba 15.2</i> .....	102
<b>Figura 104</b> <i>Prueba 15.3</i> .....	103
<b>Figura 105</b> <i>Prueba 15.4</i> .....	103
<b>Figura 106</b> <i>Prueba 16.1</i> .....	104
<b>Figura 107</b> <i>Prueba 16.2</i> .....	105
<b>Figura 108</b> <i>Prueba 16.3</i> .....	105
<b>Figura 109</b> <i>Prueba 16.4</i> .....	106
<b>Figura 110</b> <i>Comparación de los espectros de vibración del neumático Goodyear</i> .....	107
<b>Figura 111</b> <i>Comparación de los espectros de sonido del neumático Goodyear</i> .....	108
<b>Figura 112</b> <i>Comparación de los espectros de vibración del neumático Goodyear</i> .....	109
<b>Figura 113</b> <i>Comparación de los espectros de sonido del neumático Goodyear</i> .....	110
<b>Figura 114</b> <i>Comparación de los espectros de vibración del neumático Nexen</i> .....	111
<b>Figura 115</b> <i>Comparación de los espectros de sonido del neumático Nexen</i> .....	112
<b>Figura 116</b> <i>Comparación de los espectros de vibración del neumático Nexen</i> .....	113
<b>Figura 117</b> <i>Comparación de los espectros de sonido del neumático Nexen</i> .....	114
<b>Figura 118</b> <i>Comparación de los espectros de vibración del neumático Sonar</i> .....	115
<b>Figura 119</b> <i>Comparación de los espectros de sonido del neumático Sonar</i> .....	116
<b>Figura 120</b> <i>Comparación de los espectros de vibración del neumático Sonar</i> .....	117
<b>Figura 121</b> <i>Comparación de los espectros de sonido del neumático Sonar</i> .....	118
<b>Figura 122</b> <i>Comparación de los espectros de vibración del neumático Anchee</i> .....	119
<b>Figura 123</b> <i>Comparación de los espectros de sonido del neumático Anchee</i> .....	120
<b>Figura 124</b> <i>Comparación de los espectros de vibración del neumático Anchee</i> .....	121
<b>Figura 125</b> <i>Comparación de los espectros de sonido del neumático Anchee</i> .....	122

## Resumen

El presente trabajo de investigación se enfocó en determinar la influencia de diferentes tipos de neumáticos de un vehículo de turismo segmento C y las características de los determinados suelos de la ciudad de Latacunga en el ruido y las vibraciones que se producen al momento de que dichos neumáticos se encuentran en contacto con el piso, considerando como tema principal a la pisada del neumático y sus principales variables. Para el desarrollo del proyecto, se consideraron una serie de etapas a cumplir, la cual inicia en la investigación de conceptos relacionados con el tema, como siguiente se tienen los métodos prácticos a emplear haciendo énfasis a varios factores como las superficies de prueba a ensayar, los tipos de neumáticos, los instrumentos de medición necesarios para la recolección de información, las condiciones del automóvil, entre otros. Para tal efecto se consideró la construcción de los instrumentos de medición, los cuales fueron elaborados con módulos de Arduino tanto para el análisis de ruido como de vibración. En cuanto a las condiciones del automóvil se consideraron dos escenarios, pero previamente se realizó un proceso de puesta a punto del mismo con el fin de obtener valores cercanos a la realidad. En cuanto a primer escenario se consideró realizar las pruebas con el vehículo en condiciones óptimas de funcionamiento y la segunda consistió en realizar las mismas pruebas, pero con el vehículo alterado, es decir que se modificó la mayoría de su geometría de suspensión creando una significativa desalineación y desbalance en las ruedas. Al efectuar todas las pruebas establecidas se obtuvieron valores y datos característicos donde se realizó el análisis de cada una y se estableció si la pisada del neumático y sus factores influyen o no en la generación del ruido y vibración, y también si afecta de manera positiva o negativa a la cadena cinemática.

Palabras clave:

- **RUIDO DE NEUMÁTICOS**
- **VIBRACIÓN DE NEUMÁTICOS**
- **GEOMETRÍAS DE SUSPENSIÓN**

## **Abstract**

This research work focused on determining the influence of different types of tires of a segment C passenger car and the characteristics of certain soils in the city of Latacunga on the noise and vibrations that occur when these tires are in contact with the ground, considering as the main topic the tread of the tire and its main variables. For the development of the project, a series of stages were considered, which begins with the investigation of concepts related to the subject, as follows are the practical methods to be used with emphasis on several factors such as test surfaces to be tested, types of tires, measuring instruments needed for data collection, the conditions of the car, among others. For this purpose, the construction of the measuring instruments was considered, which were elaborated with Arduino modules for both noise and vibration analysis. Regarding the conditions of the car, two scenarios were considered, but previously a process of tuning the car was carried out in order to obtain values close to reality. The first scenario consisted of performing the tests with the vehicle in optimal operating conditions and the second consisted of performing the same tests, but with the vehicle altered, i.e. most of its suspension geometry was modified, creating a significant misalignment and imbalance in the wheels. When all the established tests were carried out, characteristic values and data were obtained where the analysis of each one was performed and it was established whether the tire tread and its factors influence or not in the generation of noise and vibration, and also if it affects positively or negatively the kinematic chain.

Key words:

- **TYRE NOISE**
- **TYRE VIBRATION**
- **SUSPENSION GEOMETRIES**

## Capítulo I

### 1. Introducción

#### 1.1. Antecedentes investigativos

El sonido es el resultado de pequeños y rápidos cambios de presión y se propaga en un medio fluido. El sonido no deseado se denomina ruido (Xu Wang, 2020).

El ruido y la vibración se encuentran presentes en la mayoría de las actividades del diario vivir de toda persona como por ejemplo viajar en el autobús, utilizar la computadora, conducir un vehículo e inclusive al momento de descansar.

En la práctica estos términos se pueden encontrar en las máquinas sin excepción alguna, donde cada uno posee propios valores característicos de frecuencia e intensidad. En algunos motores existen niveles de vibración y ruido que son inherentes al funcionamiento normal del propio motor, por ejemplo, el sonido característico de un motor diésel, en el que los niveles de vibración son superiores a los presentes en un motor a gasolina (Vega Galarza, 2014).

También es común que usuarios de vehículos de combustión interna detecten ruidos y vibraciones durante el uso diario ya que provienen de diversas fuentes, uno en específico y como objeto de estudio de la presente son los neumáticos.

En el caso del ruido del neumático/pavimento, el sonido no deseado se propaga a través del aire. Por tanto, cualquier cambio de la presión de aire resultante de la interacción neumático y la carretera generará ruido en el aire (Xu Wang, 2020).

El ruido del neumático/carretera (TRN) también se conoce como ruido de interacción entre el neumático y la carretera, ruido de interacción entre el neumático y el pavimento, ruido del neumático y el pavimento, o ruido de rodadura, que se define como el ruido emitido por un neumático que rueda como resultado de la interacción entre el neumático y la superficie de la carretera. El TRN comprende dos aspectos, uno es el interno, el cual los ingenieros de vehículos y la industria del neumático tratan desde la década de 1930, y el otro es el externo, que se investigó experimentalmente por primera vez en 1955. El TRN interior se ve afectado por los neumáticos y el sistema de suspensión del vehículo; mientras que para el TRN exterior los factores más importantes a tener en cuenta son la velocidad y la carretera (Xu Wang, 2020).

Con respecto a las diferentes superficies de las carreteras, estas pueden dar una gran variación en los niveles de ruido; y cuanto más rugosa sea la textura, mayor será la emisión de ruido del neumático (Sandberg, 2001).

Cabe señalar también que el ruido de los neumáticos es uno de los principales contribuyentes al ruido ambiental, lo que representa una carga para las personas que provoca malestar, trastornos del sueño o enfermedades cardiovasculares (Xu Wang, 2020).

Ante ello se pretende determinar la influencia de diversas superficies de terreno, variables presentes en la pisada y el tipo de neumático sobre el ruido y vibraciones que se generan cuando este entra en contacto con el piso.

## **1.2. Planteamiento del problema**

En la actualidad, el ruido generado por el automóvil es un tema de investigación y estudio debido al impacto demostrado en la salud humana y la eficiencia del trabajo, este ruido generado es una combinación producida por el tubo de escape, motor, neumáticos, etc.

La realización del proyecto nace de la necesidad de entender las características y el comportamiento que tienen varios tipos de neumáticos de un automóvil en determinados tipos de suelo, dónde el punto principal a considerar es la pisada tanto en sus efectos como variables presentes, también se tiene en cuenta otros factores como la velocidad a la que circula el automóvil, la presión de inflado, la carga a la que se encuentra, entre otros. Entonces así comprender si el contacto generado del neumático hacia el piso afecta de una manera positiva o negativa de ser el caso a la conducta de toda la cadena cinemática.

Cabe señalar que la recopilación de información sobre el proyecto propuesto es limitada. Por tal motivo, la prioridad en la realización del proyecto es fortalecer el nivel de investigación de la universidad, ya que se desconocen los factores de esta problemática, para generar datos útiles y así inferencias técnicas sobre el ruido y vibraciones provocadas por el contacto de los neumáticos y la superficie de la calzada.

### **1.3. Justificación e importancia**

Cada parte del automóvil tiene un propósito donde afectará de gran o poca manera el comportamiento de la cadena cinemática, así pues, un área que a menudo se descuida y es poco estudiado son los neumáticos, al tener los mismos adecuados puede mejorar la economía de combustible, el manejo y su seguridad general.

No obstante, este componente no se exenta del ruido y vibraciones que pueden ser ocasionados por factores internos y externos al automóvil que a la larga generarán ya sea comodidad o malestar al conductor y pasajeros que ocupan el vehículo.

Por tal razón fue importante realizar el proyecto para obtener resultados evidenciables que muestren si las variables que presenta la pisada del neumático en diversos tipos de terreno con características diferentes influyen o no en el rendimiento del vehículo, con la finalidad también de poder ser un tema de futuras investigaciones.

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. *Objetivo general***

- Analizar los efectos de la pisada del neumático en la generación del ruido y vibración del neumático de un vehículo de turismo segmento "C".

#### **1.4.2. *Objetivos específicos***

- Obtener información referida a los efectos de la pisada del neumático en la generación del ruido y vibración.
- Determinar los efectos y variables presentes en la pisada del neumático que se obtiene al entrar en contacto con diferentes superficies de terreno.
- Seleccionar los neumáticos a emplear de acuerdo a especificaciones del vehículo y el tipo de terreno a circular.
- Tabular los datos y valores obtenidos referidos a los efectos de la pisada del neumático.
- En caso de no obtener los instrumentos de medición necesarios, construir los mismos en un límite de plazo de tiempo.

- Seleccionar al menos cuatro tipos de neumáticos y dos tipos de terreno en diferentes localidades para el desarrollo práctico del proyecto.

## **1.5. Variables de investigación**

### **1.5.1. *Variable independiente***

- Pisada del neumático.

### **1.5.2. *Variable dependiente***

- Ruido y vibración del neumático.

## **1.6. Hipótesis**

Los efectos de la pisada del neumático sobre la carretera afectarán en la generación de ruido y vibración, lo cual incidirá de manera positiva o negativa en el comportamiento de la cadena cinemática del vehículo.

## Capítulo II

### 2. Fundamentación teórica

#### 2.1. La llanta neumática en el vehículo

Un vehículo es un medio de transporte que se utiliza para trasladar personas, objetos o animales. Los vehículos terrestres se desplazan sobre la superficie del suelo, a vez se pueden dividir en guiados los cuales se encuentran restringidos en su movimiento a lo largo de una guía como rieles; y también en no guiados, los cuales pueden circular sin un límite, llegando a desplazarse en cualquier tipo de suelo terrestre. La mayoría de los vehículos emplean llantas neumáticas, por lo tanto, son uno de los elementos más importantes para tener en cuenta (Urueta Puello & Valenzuela Arrieta, 2005).

#### Figura 1

*Llanta de un automóvil*



*Nota.* La llanta es un componente necesario para que circule un automóvil. Tomado de *¿Qué elementos componen las llantas de un automóvil?* [Fotografía], por Redacción, 2019, La Opinión (<https://laopinion.com/2019/10/20/que-elementos-componen-las-llantas-de-un-automovil/>).

#### 2.2. El neumático de un automóvil

##### 2.2.1. Definición

“Único componente que tiene contacto directo entre el conductor y la superficie terrestre forma parte de la suspensión del vehículo y además absorbe los pequeños baches del terreno” (Guamán Armijos & Zhagüi Brito, 2016, pág. 21).

### 2.2.2. Funciones y características

Según Guamán Armijos & Zhagüi Brito (2016) el neumático debe desempeñar varias funciones como:

- Absorber pequeños baches del suelo, confiriendo un valor de estabilidad al auto.
- Deben suministrar una baja resistencia a la rodadura y producir esfuerzos transversales para el frenado y tracción.
- Soportar el peso del automóvil, así facilitar su desplazamiento y transmitir la carga vertical hacia el suelo.
- Duración del neumático, lo que significa que debe mantener el mejor nivel de rendimiento posible durante millones de revoluciones de la rueda.

“El desgaste del neumático depende de sus condiciones de uso (carga, velocidad, estado de la calzada, estado del vehículo, estilo de conducción, etc.) pero, sobre todo, de la calidad del contacto con el suelo” (Urueta Puello & Valenzuela Arrieta, 2005, pág. 53).

### 2.2.3. Estructura

“La tecnología de un neumático debe garantizar una gran durabilidad y rendimiento, pero principalmente la seguridad al conductor” (Todo Ruedas, 2020).

#### Figura 2

*Partes del neumático del automóvil*



*Nota.* Tomado de *Estructura de un neumático* [Fotografía], por Neumáticos KM0, 2021, (<https://www.neumaticoskm0.com/estructura-de-un-neumatico/>)

#### **2.2.4. Fabricación**

Continental (2021) afirma que los neumáticos son una combinación compleja de componentes elaborados por muchos ingredientes y consta de 5 etapas principales.

##### **2.2.4.1. Aprovechamiento de materiales y fabricación de compuestos**

Inicia en la obtención de la materia prima y así crear compuestos necesarios para la elaboración de neumáticos, los cuales son: el acero (para la fabricación de cinturones de acero y de aros del talón), sustancias químicas (el caucho sintético y materiales empleados para reducir desgaste, aumentar agarre y alargar la vida del neumático), el caucho natural y tejidos (rayón, nylon, poliéster y fibras de aramida, para la fabricación de cables de refuerzo).

##### **2.2.4.2. Fabricación de componentes**

**Cables de acero.** Los cables se introducen en una calandra, donde se incrusta en una o varias capas de material base. El resultado obtenido es una hoja continua de caucho y cable.

**Perfil.** El material de caucho moldeable se mezcla en un mezclador y está listo para convertirse en perfil. Un extrusor de tornillo le da la forma de una tira de perfil interminable.

**Cable de tejido.** Un dispositivo enrollador introduce varios hilos de tejido en la calandra y los incrusta en una lámina fina de caucho, y así después cortar la tira interminable obtenida.

**Aro de acero.** Fabricado a partir de numerosos alambres de acero con forma de anillo, cada uno con su propio revestimiento de caucho.

**Flanco.** Se fabrican con el extrusor.

##### **2.2.4.3. Fabricación del neumático**

Los diversos productos semiacabados se juntan en la máquina de producción del neumático y el conjunto de estos se denomina «cubierta no vulcanizada». A continuación, se pulveriza con un líquido especial para prepararlo para la vulcanización.

#### **2.2.4.4. Vulcanización**

El producto llega a la prensa de curado. Aquí, los neumáticos adquieren su forma final después de haber sido vulcanizados durante un tiempo, presión y temperatura determinados.

#### **2.2.4.5. Control de calidad**

El producto terminado se somete a: una inspección visual, rayos X y revisiones de uniformidad. Una vez que los neumáticos han pasado todos los controles e inspecciones, se envían al almacén de distribución para su envío.

### **Figura 3**

*Neumático obtenido*



*Nota.* El neumático debe pasar por varias etapas para obtener un producto final. Tomado de *¿Por qué elegir neumáticos Continental?* [Fotografía], por BestDrive, (<https://www.bestdrive.es/neumaticos-continental-elegir/>).

#### **2.2.5. Tipos de construcción**

##### **2.2.5.1. Neumáticos radiales**

Están hechos de una serie de cables de acero y se colocan en ángulo recto con respecto a la dirección de rodamiento, de forma que los cables estén aproximadamente perpendiculares a la línea central de la banda de rodadura y paralelos entre sí. Sus ventajas son mínimo consumo de combustible, poca resistencia a la rodadura, gran agarre y un mayor confort de marcha a alta velocidad.

Como desventajas se tiene que, es más difícil andar a bajas velocidades en terrenos difíciles, menor autolimpieza, paredes laterales más rígidas y poco agarre a bajas velocidades. (Magna Tyres Group, 2021).

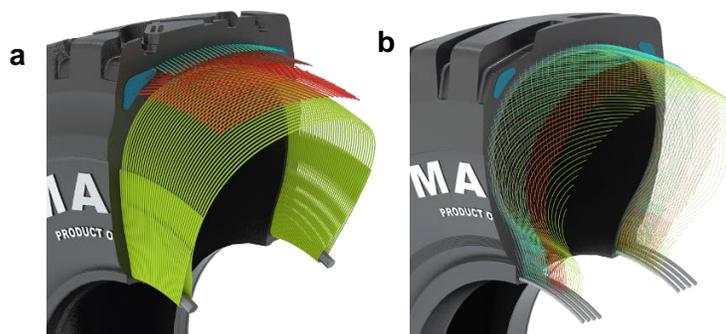
### 2.2.5.2. Neumáticos bias o diagonales

Fabricadas con capas de tejido cubiertas con caucho, colocadas en ángulos cercanos de 30 a 40 grados. Ofrece las siguientes ventajas: en superficies con irregularidad brinda un desplazamiento moderado, con buena comodidad para el operador, y capacidad para soportar cargas elevadas. Por tanto, estos neumáticos son especialmente efectivos para maquinaria pesada.

Las desventajas que estos tienen son: peor tracción al circular a altas velocidades, sensibilidad al sobrecalentamiento, desgaste durante la aceleración y mayor consumo de combustible (Magna Tyres Group, 2021).

#### Figura 4

a) Neumático radial, b) Neumático diagonal



*Nota.* Cada de neumático cumple con funciones específicas para determinados tipos de terrenos. Tomado de *Construcción del neumático* [Fotografía], por Magna Tyres Group, 2011, (<https://magnatyres.com/es/construccion-del-neumatico-diagonal-solida-radial/>).

## 2.3. Variables que afectan la generación de la vibración en el automóvil

### 2.3.1. Origen de una vibración en el automóvil

Los automóviles circulan a elevadas velocidades y, por lo tanto, están sujetos a un amplio espectro de vibraciones. Estos se transmiten a los pasajeros de manera acústica, táctil o visual. La definición de vibraciones se emplea para referirse a vibraciones visuales y táctiles, mientras que para lo que se conoce como ruido corresponden a las vibraciones audibles.

Las vibraciones se pueden clasificar de acuerdo con la frecuencia y catalogarse como vibración que corresponde de 0 a 25 Hz y ruido de 25 a 25000 Hz. El límite de 25 Hz se aproxima a la frecuencia inferior del umbral de audición, mientras que el límite superior es una simple vibración común a todos los vehículos motorizados.

Los diferentes tipos de vibraciones suelen estar relacionados entre sí, por lo que a menudo es difícil considerar cada uno de forma individual, por ejemplo, suele haber ruido cuando hay vibraciones de baja frecuencia. Pero incluso si hay componentes que pueden oscilar, eso no sucedería sin la presencia de una excitación que produzca una fuerza externa. (Álvarez Mántaras et al., 2004).

### **2.3.2. Fuerzas de excitación en automóviles**

Vega Galarza (2014) define a la fuerza de excitación como: “El origen de la vibración de un sistema es una fuerza de excitación; tal fuerza puede ejercerse fuera del sistema o provenir de su interior. La frecuencia y amplitud de las vibraciones de un sistema dado están enteramente delimitados por su fuerza de excitación, dinámica, dirección y frecuencia.” (pág. 35).

Como algunos ejemplos comunes del término defino en los vehículos motorizados son: presión de combustión o fluctuaciones del par motor, desequilibrio de las ruedas, superficie irregular de la carretera, desequilibrio o ángulo de la junta en el eje de transmisión, engranaje en la caja de cambios o diferencial y fluctuaciones en la fricción en el embrague o freno (Vega Galarza, 2014).

### **2.3.3. Fuentes de excitación en automóviles**

Hay varias fuentes de excitación que provocan vibraciones en el vehículo, según Álvarez Mántaras et al. (2004) explicaron que dichas fuentes se pueden dividir en dos grandes grupos:

**Indirectas o ajenas al vehículo.** Son aquellos que se transmiten a la masa suspendida por medio de las masas no suspendidas y como fundamental exponente es el estado de la superficie del terreno (irregularidades viales) por donde debe transitar.

**Directas o propio del vehículo.** Estas son fuentes de excitación vibratoria integradas en el mismo y provienen principalmente de las partes giratorias del auto,

como el conjunto de llanta/neumático, sistema de propulsión/transmisión, motor y operaciones aerodinámicas.

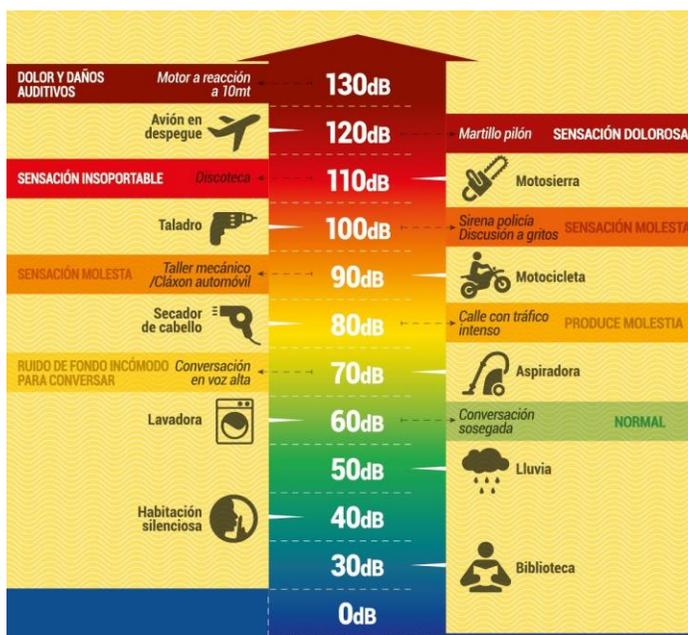
## 2.4. Niveles de ruido

Se considera ruido a un sonido molesto, áspero o excesivo que se produce de forma continua o en un determinado espacio, afectando de manera negativa la calidad de vida de personas y animales (Barrios, 2019).

La intensidad de sonido o presión acústica se mide en decibelios (dB). El sonido se vuelve perjudicial por lo que se convierte en ruido desde los 75 dB y doloroso cerca de los 120 dB (RTVE.es, 2010). En la figura 6 se indican los principales niveles de ruido y sus efectos en los seres humanos.

**Figura 5**

*Niveles de ruido y sus consecuencias en el ser humano*



*Nota.* Cada de nivel de ruido provoca algún efecto en el ser humano. Adaptado de *El ruido y sus efectos para la salud* [Fotografía], 2019, (<https://www.cuc.edu.co/noticias/67-generales/4530-el-ruido-y-sus-nocivos-efectos-para-la-salud>).

## 2.5. Fuentes de ruido de los neumáticos

Para analizar las emisiones sonoras de un neumático, es fundamental conocer los mecanismos físicos que se producen cuando el neumático interactúa con la superficie de la carretera y que son los causantes de la generación del ruido (Campillo Davó, 2013).

Según Fidalgo (2017) las fuentes de ruido son:

**Debido a la fricción del neumático con la superficie terrestre.** Este ruido depende del tipo de superficie sobre la que se encuentre circulando (suelo natural, asfalto, adoquinado, cemento, etc.) y del compuesto de goma del neumático.

**Debido al aire atrapado en el neumático.** Así como un neumático tiene que evacuar el agua del asfalto mojado, también tiene que evacuar el aire que “atrapa” cuando se mueve. El diseño de los canales de los neumáticos tiene una gran influencia en su sonoridad.

**Debido a resonancia.** El neumático es hueco y, por lo tanto, lo convierte en una caja de resonancia, como un instrumento de cuerda.

### Figura 6

*Fuentes de ruido en el neumático*



*Nota.* Son tres los principales tipos de ruido que generan los neumáticos. Tomado de *Etiquetado europeo de neumáticos* [Fotografía], por Wikipedia, 2021, ([https://es.m.wikipedia.org/wiki/Etiquetado\\_europeo\\_de\\_neum%C3%A1ticos](https://es.m.wikipedia.org/wiki/Etiquetado_europeo_de_neum%C3%A1ticos)).

## 2.6. Parámetros que afectan al ruido del neumático

Acción Ecológica (2007) explica que existen condiciones externas que pueden ocasionar que los automóviles generen grandes cantidades de ruido debido a los neumáticos. Por lo tanto, es necesario considerar los siguientes parámetros que, de no ser tomados en cuenta, podrían incrementar los niveles sonoros, entre ellos se tiene:

- Labrado del neumático
- Presión de inflado
- Estado de conservación
- Condiciones climáticas
- Velocidad

## 2.7. Pisada del neumático y su influencia en la vibración

La pisada o trabajo de un neumático viene determinada por multitud de factores que afectan directamente al uso, rendimiento y vida del neumático (CRO, 2015).

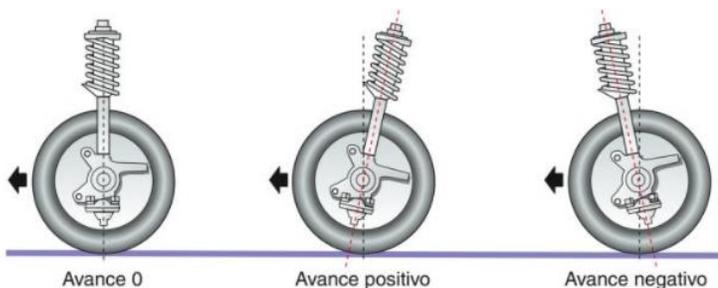
### 2.7.1. Geometrías de suspensión

El neumático es la parte que conecta el automóvil al suelo, por medio del sistema de dirección y suspensión. El trabajo y funcionamiento de los sistemas de suspensión y dirección están determinados por las llamadas geometrías de suspensión, las cuales incluyen tres ángulos básicos: avance, caída y la convergencia/divergencia (CRO, 2015).

#### 2.7.1.1. Ángulo de avance o caster

“Es el ángulo formado por el eje de pivote de la mangueta con la vertical, mirando el vehículo por la parte lateral. Se mide en grados” (Domínguez & Ferrer, 2019, pág. 194).

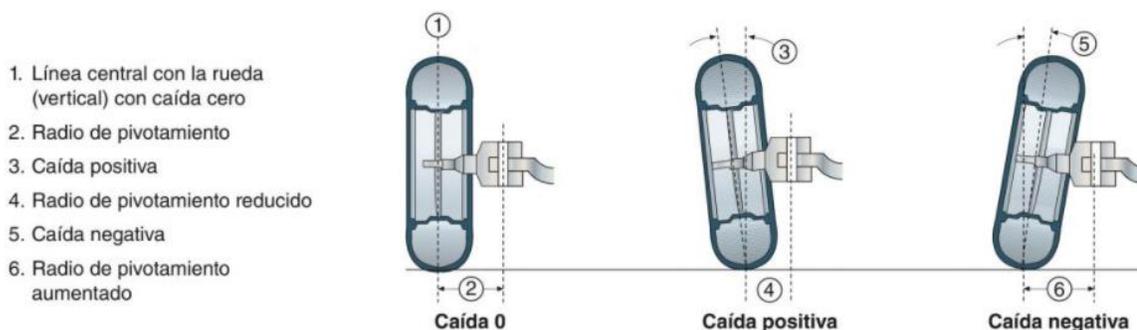
- Es **negativo** el ángulo de avance cuando la extensión del pivote encuentra el terreno en un punto situado detrás de la banda de rodadura del neumático.
- Es **positivo** el ángulo de avance cuando la extensión del pivote toca el suelo en el punto situado delante de la banda de rodadura del neumático.

**Figura 7***Ángulo de avance*

*Nota.* El gráfico representa los tres tipos de ángulos de avance de una rueda delantera. Tomado de *Mecánica del vehículo* (pág. 194), por Domínguez & Ferrer, 2019, Editex.

### 2.7.1.2. Ángulo de caída o camber

“Es creado por la inclinación de la rueda en relación con el plano vertical. El ángulo de caída inclina la parte superior de las ruedas hacia afuera o hacia adentro del automóvil, dependiendo de si la inclinación es negativa o positiva” (Domínguez & Ferrer, 2019, pág. 193).

**Figura 8***Ángulo de caída*

*Nota.* El gráfico representa los tres tipos de ángulos de caída que posee la rueda delantera. Tomado de *Mecánica del vehículo* (pág. 193), por Domínguez & Ferrer, 2019, Editex.

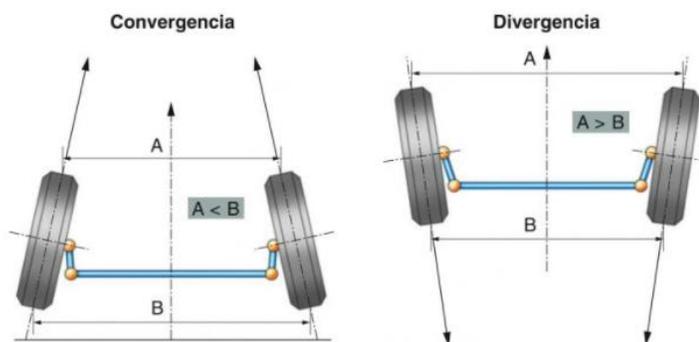
### 2.7.1.3. Convergencia/divergencia

Domínguez & Ferrer (2019) explican que la convergencia de las ruedas delanteras y de las traseras mide el paralelismo de las dos ruedas del mismo eje, en milímetros o en grados.

- La **convergencia** es **cero** cuando la medida es la misma en la parte delantera y en la trasera y las ruedas se encuentran paralelas entre sí.
- Un vehículo presenta **convergencia positiva** si la distancia entre los bordes de las llantas es menor en la parte delantera del eje que detrás.
- Un vehículo presenta **divergencia / convergencia negativa** cuando la distancia entre los bordes de las llantas es mayor en la parte delantera del eje que detrás.

**Figura 9**

*Convergencia y divergencia*



*Nota.* El gráfico representa la convergencia y la divergencia del eje delantero de un vehículo. Tomado de *Mecánica del vehículo* (pág. 194), por Domínguez & Ferrer, 2019, Editex.

### 2.7.2. Presión de inflado

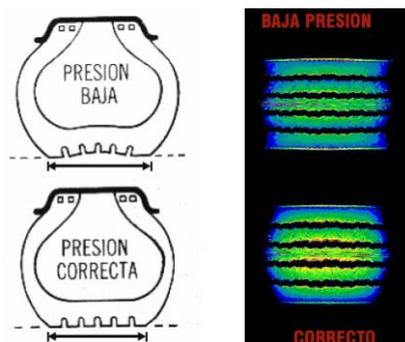
Cada vehículo tiene ciertas presiones máximas y mínimas para todas las ruedas del vehículo, incluidas diferentes masas de carga, según su diseño, construcción y características operativas (CRO, 2015).

#### 2.7.2.1. Baja presión

Si el neumático se infla por debajo de la presión especificada, la banda de rodadura se “aplasta”, haciendo que el área central trabaje hacia adentro y las zonas exteriores e interiores sean las que trabajen con el terreno, como consecuencia provoca un gran desgaste en estas zonas de la banda de rodadura (CRO, 2015).

## Figura 10

### *Presión de aire baja en el neumático*



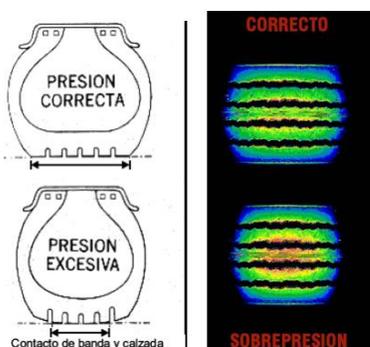
*Nota.* El gráfico representa los efectos de tener una presión de aire baja en los neumáticos y como consecuencia se presentan desgastes en la parte exterior del mismo. Tomado de (Urueta Puello & Valenzuela Arrieta, 2005, pág. 75).

### 2.7.2.2. Exceso de presión

Si el neumático está sobreinflado, la banda de rodadura se "abomba" y solo la zona central del neumático está en contacto con el terreno, por lo que esta parte de la banda de rodadura sufre un desgaste más prematuro, además de perjudicar el comportamiento dinámico del automóvil (CRO, 2015).

## Figura 11

### *Presión de aire excesiva en el neumático*



*Nota.* El gráfico representa los efectos de tener una excesiva presión de aire en los neumáticos y como consecuencia se presentan desgastes en la parte interior del mismo. Tomado de (Urueta Puello & Valenzuela Arrieta, 2005, pág. 78).

Como consecuencias de conducir con neumáticos con exceso o con ausencia de presión se especifica en la siguiente tabla.

**Tabla 1**

*Efectos de conducir con neumáticos con baja o exceso de presión*

<b>Baja presión</b>	<b>Exceso de presión</b>
Incremento de la temperatura	Vulnerable a cortes
Aceleración del desgaste en los extremos de la banda de rodadura	El neumático está desgastado hasta el centro.
Fatiga de cuerdas	Desgaste de componentes
Mayor consumo de combustible	Conducción áspera
Cambio en área de contacto	Menor absorción de golpes
Menor tracción en virajes	Menor tracción en agua
Menor sensibilidad de ruta	Cambio en área de contacto
Presenta una baja respuesta en situaciones de frenado	Presenta poca capacidad de frenado

*Nota.* Tomado de (Urueta Puello & Valenzuela Arrieta, 2005, pág. 79).

### 2.7.2.3. Presión correcta

Cuando la presión es adecuada, los neumáticos tienen más agarre, soportan mejor los baches y el peso de la carga, y funcionan a temperaturas más bajas, lo que evita un desgaste prematuro; y lo más importante es que ayudan a ahorrar combustible (SENER).

**Figura 12**

*Presión de los neumáticos*



*Nota.* a) presión adecuada, b) presión insuficiente y c) demasiada presión. Adaptado de *Cómo medir la presión de los neumáticos* [Fotografía], por UniRoyal, 2021, (<https://www.neumaticos-uniroyal.es/turismo/catalogo-de-neumatico/cuidado-de-los-neumaticos/como-medir-la-presion-de-los-neumaticos>).

### 2.7.3. Efectos de la sobrecarga

“Deben seguirse las recomendaciones de carga máxima del fabricante del vehículo y tenerse en cuenta la carga máxima por eje, ya que los neumáticos sobrecargados pueden sobrecalentarse e incluso romperse” (Borja Díaz, 2019).

#### Figura 13

*Vehículo sobrecargado*



*Nota.* Vehículo con exceso de carga. Tomado de *Danger, VERY wide loads* [Fotografía], por Mail Online, 2013.

## 2.8. Anomalías o desviación de las ruedas

Las ruedas pueden presentar desviaciones ya sean laterales o radiales, posiblemente por deformaciones por fuertes impactos sucedidos en bordillos, baches, etc.; o por deformaciones en la cubierta (Vega Galarza, 2014).

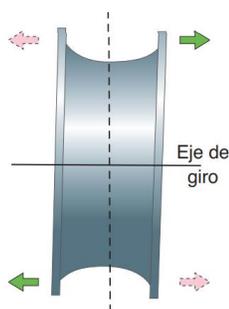
### 2.8.1. Alabeo

Según Vega Galarza (2014): “Se conoce como alabeo a la desviación lateral de las ruedas, y hace que la trayectoria de la rueda sea de forma sinusoidal, lo que produce vibraciones en la dirección y variaciones de caída y convergencia continuas”.

Las causas para que se produzca alabeo se debe a un montaje inadecuado del neumático en la llanta, un apriete disparado de las tuercas o tornillos de fijación de la rueda, o también cuando la llanta se encuentre deformada (González et al., 2017).

## Figura 14

### Alabeo de la rueda



*Nota.* El gráfico representa el alabeo que presenta la rueda de un automóvil. Tomado de *Circuitos de fluidos. Suspensión y dirección* (pág. 322), por González et al., 2017, Editex.

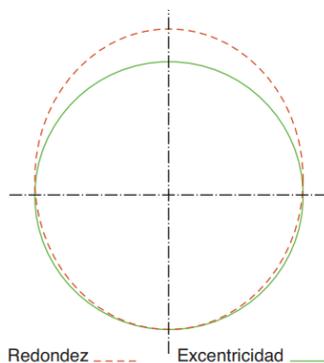
### 2.8.2. Excentricidad

Según González et al. (2017): “Se conoce como excentricidad a la desviación radial de las ruedas, donde no se cumple que sea redonda la rueda. Para este caso, se haría ascender y descender la mangueta a cada vuelta, donde se producirán inestabilidad de marcha y vibraciones”.

Las causas para que se produzca excentricidad son: montaje inadecuado del neumático en la llanta, apriete disparado de las tuercas o tornillos de fijación de la rueda, excentricidad de la llanta y desgaste circunferencial desigual del neumático (González et al., 2017).

## Figura 15

### Excentricidad de la rueda



*Nota.* El gráfico representa la redondez frente a la excentricidad de una rueda del automóvil. Tomado de *Circuitos de fluidos.* (pág. 322), por González et al., 2017, Editex.

## 2.9. Cuidados y mantenimiento de los neumáticos

La vida del neumático dependerá de las condiciones de uso, así como las características del vehículo que soporte, dentro de los parámetros a considerar son:

### 2.9.1. Inspección

La forma más sencilla de garantizar una mejor economía de combustible y un rendimiento satisfactorio de los neumáticos es realizar una simple revisión mensual para ver el inflado, el desgaste y presencia de daños. (The Goodyear Tire, 2021).

### 2.9.2. Alineación

Es un servicio necesario para mantener la durabilidad y estabilidad del neumático. Por lo general se recomienda realizar aproximadamente cada 10.000 km. La desalineación es a menudo la causa principal del desgaste desigual, especialmente si el neumático presenta ángulos de divergencia y convergencia, según sea el caso.

Si el volante tiende a inclinarse de un lado a otro o si se "juega" demasiado la dirección y no vuelve a su posición original después de girar, definitivamente la ruedas delanteras están desalineadas (Contreras Acero & Navarrete Murcia, 2015).

## Figura 16

*Alineación de las ruedas del automóvil*



*Nota.* El gráfico representa el equipo necesario para la alineación de las ruedas. Tomado de *¿Cómo puedo saber si mi coche necesita una alineación?* [Fotografía], por López, D., 2011, (<https://www.actualidadmotor.com/como-puedo-saber-si-mi-coche-necesita-una-alineacion/>).

### **2.9.3. Balanceo**

Las llantas fuera de balance pueden provocar la pérdida de miles de kilómetros de vida útil, para lograr el mejor rendimiento de la llanta es esencial que el peso del conjunto de llanta-rin se distribuya uniformemente. El balanceo o equilibrado es un proceso en el que se ajusta el peso de un rin y su neumático para mantener un equilibrio adecuado entre los dos.

La mejor manera de saber cuándo balancear los neumáticos es cuando el volante del automóvil comienza a vibrar o hacer ruido cuando se circula a cierta velocidad (Bridgestone Americas Tire Operations, 2021).

#### **Figura 17**

*Balanceo de la rueda del automóvil*



*Nota.* El gráfico representa el equipo necesario para el balanceo de la rueda. Tomado de (Contreras Acero & Navarrete Murcia, 2015, pág. 29).

### **2.9.4. Rotación de llantas**

El cambio de neumáticos de ejes motrices a ejes no motrices contribuye a su durabilidad y prolongar su vida útil hasta en un 20%, siempre y cuando todos los neumáticos sean del mismo tipo. Se recomienda hacer esto entre 5.000 y 10.000 km.

La técnica básica de rotación es una simple forma de "X" para automóviles y camionetas. Por ejemplo, en los vehículos de tracción delantera, la llanta trasera izquierda va con la llanta delantera derecha y la llanta trasera derecha va con la llanta delantera izquierda; las llantas delanteras se mueven directamente a las llantas traseras. Lo contrario se aplica a los vehículos con tracción trasera (Contreras Acero & Navarrete Murcia, 2015).

**Figura 18**

*Rotación de las ruedas de un vehículo*



*Nota.* El gráfico representa la manera en que se debe rotar las ruedas de diferentes tipos de automóviles. Tomado de (Contreras Acero & Navarrete Murcia, 2015, pág. 30).

### **2.9.5. Recomendación para inflado correcto de neumáticos**

La presión de inflado correcta es la práctica de mantenimiento más importante para garantizar una vida útil prolongada de los neumáticos. Si se emplean neumáticos recomendados por el fabricante del vehículo, hay que mantener siempre la presión de aire especificada para el vehículo. Si se emplean otros neumáticos no recomendados por el fabricante del vehículo, se deberá seguir las instrucciones del fabricante del neumático (SENER).

## Capítulo III

### 3. Metodología de desarrollo del proyecto y resultados obtenidos

En el presente capítulo se describe la realización práctica del estudio del ruido y vibración producida por los efectos de la pisada del neumático, que ya en el capítulo anterior se describió de manera teórica.

Para tal desarrollo, se toma en cuenta a un automóvil de turismo segmento “C”, con el propósito de recopilar datos que permitan establecer una comparativa entre espectros de ruidos y vibraciones obtenidas cuando el vehículo se encuentra en un funcionamiento de condiciones normales y cuando el mismo se encuentra funcionando de manera anormal, cuyos síntomas presentados sean ruidos junto a vibraciones considerables.

Los problemas que ocurren en el automóvil son causados de forma intencional, es decir se va a modificar la mayoría de su geometría de suspensión creando una significativa desalineación y desbalance en las llantas, por lo que se estima que los niveles de ruido y vibración aumenten; emulando así un mal funcionamiento del mismo y que sus síntomas sean captados inmediatamente por el conductor y pasajeros en caso de encontrarse dentro del vehículo.

#### 3.1. Consideraciones para realizar las pruebas

Como fase inicial en el proceso de desarrollo y recolección de datos, se tiene el establecer todas las consideraciones posibles, dentro de los cuales se tienen:

- Normativa NTE INEN 2665.
- Tipo de carretera.
- Tipo de neumáticos.
- Condiciones atmosféricas.
- Instrumentos de medición.
- Vehículo a emplear.
- Ubicación de instrumentos de medición.

- Velocidad del automóvil
- Entre otros.

### 3.2. Normativa NTE INEN 2665

La normativa corresponde a la medición del ruido emitido por vehículos de combustión interna en aceleración.

Los principales puntos a considerar según NTE INEN (2013) son:

- No se deben tomar medidas en condiciones meteorológicas adversas.
- Los neumáticos deben ser normales y deben estar inflados a la presión recomendada por el fabricante para el vehículo.
- Antes de comenzar con las mediciones, el motor debe encontrarse en condiciones normales de funcionamiento, de temperatura y velocidad y tendrá el combustible, bujías, etc., recomendado por el fabricante.

### 3.3. Configuración de los lugares de prueba

Para determinar los lugares a realizar las pruebas, se realizó una investigación a profundidad con el objetivo de escoger por lo menos 4 rutas más transitadas de la ciudad de Latacunga, tanto 2 para zona urbana y 2 para zona rural.

Según Consorcio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador - CONGOPE (2019): “En el cantón de Latacunga, la superficie que predomina es suelo natural con 485.52 km, los cuales se encuentra en mayor cantidad en la parroquia Toacaso con 112.43 km” (pág. 33).

**Tabla 2**

*Superficie de rodadura por cantón (km)*

<b>Cantón</b>	<b>Superficie de rodadura (km)</b>					
	<b>Adoquín</b>	<b>D-T Bituminoso</b>	<b>Empedrado</b>	<b>Lastre</b>	<b>Pavimento</b>	<b>Suelo Natural</b>
<b>La Maná</b>	-	-	-	82.9	20.51	-

<b>Cantón</b>	<b>Superficie de rodadura (km)</b>					
	<b>Adoquín</b>	<b>D-T Bituminoso</b>	<b>Empedrado</b>	<b>Lastre</b>	<b>Pavimento</b>	<b>Suelo Natural</b>
<b>Latacunga</b>	1.71	1.04	72.27	191.77	237.8	485.52
<b>Pangua</b>	-	-	6.2	215.65	42.12	-
<b>Pujilí</b>	1.04	15.97	36.4	167.5	45.95	263.85
<b>Salcedo</b>	3.7	0.03	219.52	4.85	84.07	93.36
<b>Saquisilí</b>	7.44	-	18.07	21.86	41.05	173.94
<b>Sigchos</b>	5.7	26	3.8	270.82	32.17	127.6
<b>Total</b>	19.59	43.04	356.26	955.36	503.67	1144.27

*Nota.* Tomado de (CONGOPE, 2019, pág. 34).

### **3.3.1. Características de los lugares de prueba**

De acuerdo con la tabla 2, y considerando los espacios urbanos y rurales de la ciudad de Latacunga las superficies por rodadura a ser analizadas en esta investigación corresponden al pavimento, adoquín, empedrado y suelo natural.

**Tabla 3**

*Superficies de rodadura consideradas en la investigación*

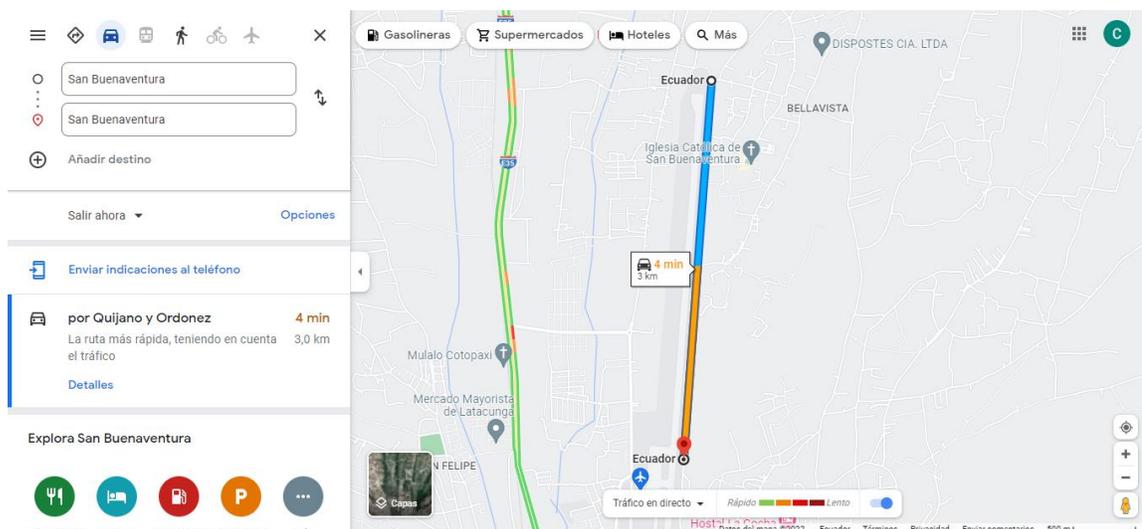
<b>Número de ruta</b>	<b>Tipo de terreno</b>	<b>Distancia</b>
<b>1</b>	Pavimento	3 km
<b>2</b>	Suelo natural	3 km
<b>3</b>	Adoquín	3 km
<b>4</b>	Empedrado	3 km

#### **3.3.1.1. Ruta 1. Pavimento**

La primera ruta se encuentra ubicada en el norte de la ciudad de Latacunga, correspondiente a una zona urbana, cuenta con una longitud de 3 kilómetros, en la figura 19 se muestra la vista superior del recorrido, un tiempo estimado de 3 minutos, con un punto inicio (figura 20.a) en la coordenada 0°53'21.4"S 78°36'49.1"W y como punto final (figura 20.b) en la coordenada 0°55'21.1"S 78°36'56.6"W.

## Figura 19

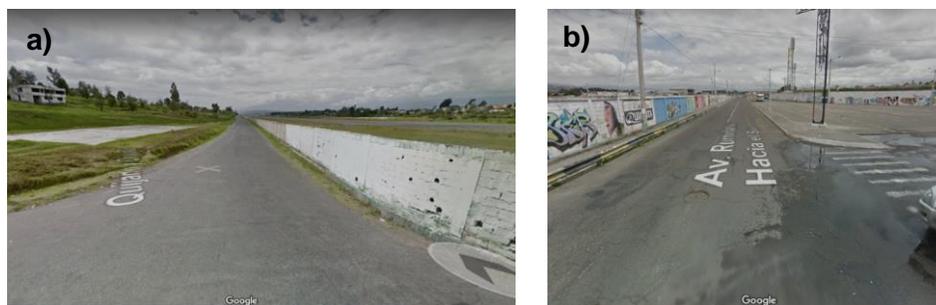
### Ruta 1



*Nota.* El gráfico representa la vista aérea de la primera ruta. Tomado de *Google Maps*.

## Figura 20

a) *Punto de inicio.* b) *Punto final.*



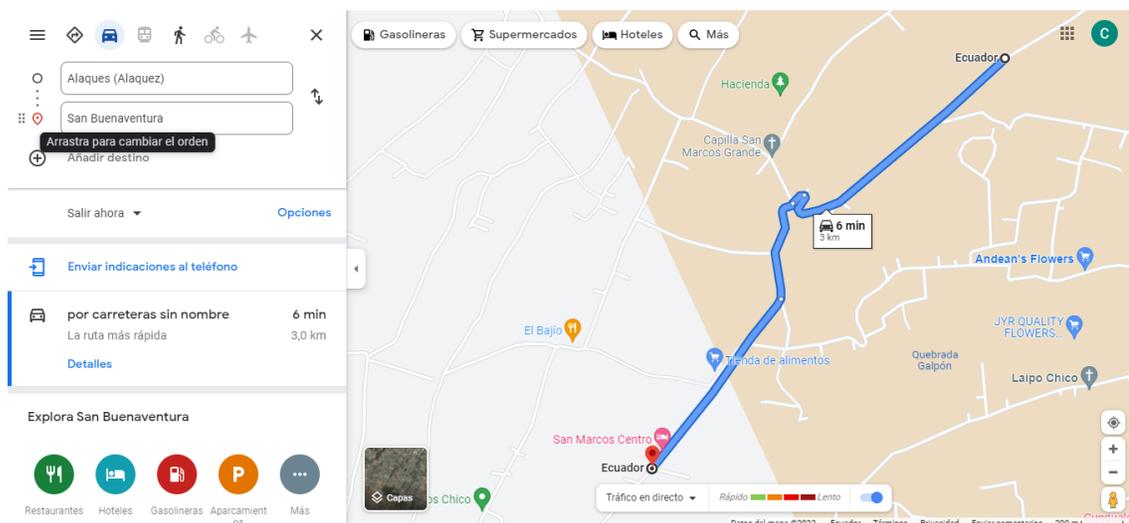
*Nota.* Los gráficos representan la ruta 1 correspondiente al pavimento. Tomado de *Google Maps* [Fotografía].

### 3.3.1.2. Ruta 2. Suelo Natural

La ruta se encuentra ubicada en el noroeste de la ciudad de Latacunga, correspondiente a una zona rural, con una longitud de 3 kilómetros, en la figura 21 se muestra la vista superior del recorrido, un tiempo estimado de 5 a 6 minutos, con un punto inicio (figura 22.a) establecido en la coordenada  $0^{\circ}52'15.1''S$   $78^{\circ}33'48.3''W$  y como punto final (figura 22.b) en la coordenada  $0^{\circ}53'19.0''S$   $78^{\circ}34'43.6''W$ .

## Figura 21

### Ruta 2



Nota. El gráfico representa la vista aérea de la segunda ruta. Tomado de *Google Maps*.

## Figura 22

a) Punto de inicio. b) Punto final.



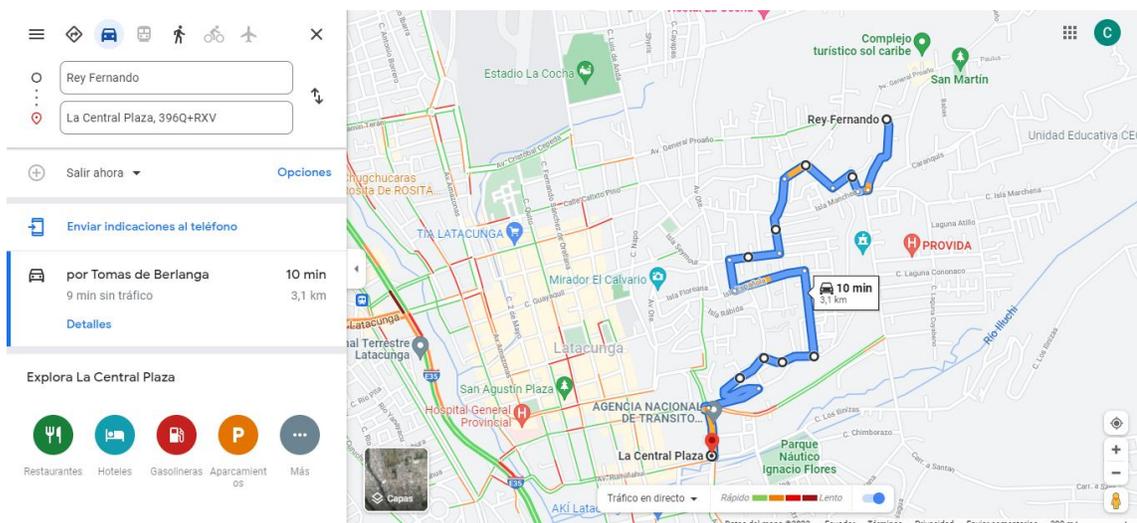
Nota. Los gráficos representan la ruta 2 correspondiente al suelo natural. Tomado de *Google Maps* [Fotografía].

### 3.3.1.3. Ruta 3. Adoquín

La tercera ruta se encuentra ubicada en el este de la ciudad de Latacunga, correspondiente a una zona urbana, cuenta con una longitud de 3 kilómetros, en la figura 23 se muestra la vista superior del recorrido, con un tiempo estimado de 4 a 5 minutos, un punto inicio (figura 24.a) establecido en la coordenada  $0^{\circ}55'32.4''S$   $78^{\circ}36'13.3''W$  y un punto final (figura 24.b) en la coordenada  $0^{\circ}56'16.6''S$   $78^{\circ}36'36.0''W$ .

## Figura 23

### Ruta 3



*Nota.* El gráfico representa la vista aérea de la tercera ruta. Tomado de *Google Maps*.

## Figura 24

a) Punto de inicio. b) Punto final.



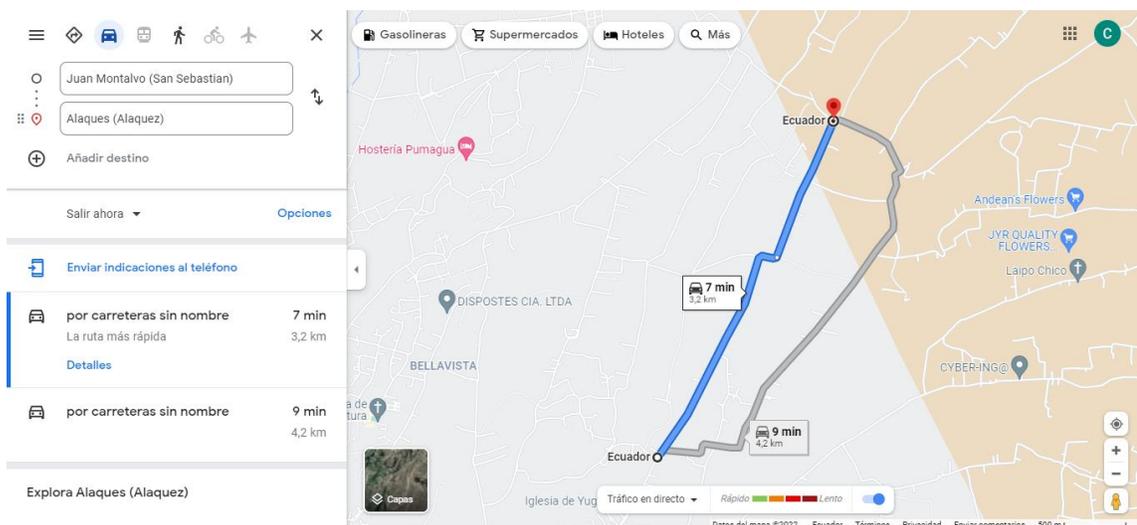
*Nota.* Los gráficos representan la ruta 3 correspondiente al adoquín. Tomado de *Google Maps* [Fotografía].

### 3.3.1.4. Ruta 4. Empedrado

La última ruta se encuentra ubicada en el noroeste de la ciudad de Latacunga, correspondiente a una zona rural con una longitud de 3 kilómetros, en la figura 25 se muestra la vista superior del recorrido de la ruta, un tiempo estimado de 7 a 8 minutos, con un punto inicio (figura 26.a) establecido en la coordenada  $0^{\circ}53'52.7''S$   $78^{\circ}35'25.3''W$  y como punto final (figura 26.b) en la coordenada  $0^{\circ}52'24.5''S$   $78^{\circ}34'39.2''W$ .

## Figura 25

### Ruta 4



*Nota.* El gráfico representa la vista aérea de la última ruta. Tomado de *Google Maps*.

## Figura 26

a) Punto de inicio. b) Punto final.



*Nota.* Los gráficos representan la ruta 4 correspondiente al empedrado. Elaboración propia [Fotografía].

### 3.3.2. Condiciones atmosféricas

Según García (2017):

- No se deben tomar medidas en condiciones climáticas adversas.
- Se debe asegurar de que los resultados no se vean afectados por las ráfagas de viento.

- No deben tomarse medidas si la temperatura ambiente superior a los 40 °C o inferiores a 5 °C, o si la temperatura del tipo de superficie a ensayar es superior a 50 °C o inferior a 5 °C.

### 3.3.3. Límites de velocidad

La velocidad es un problema social generalizado, ya que las personas se aprovechan de las capacidades de los vehículos motorizados y pueden dañar carreteras, caminos rurales y urbanos (SPPAT Ecuador, 2021).

**Tabla 4**

*Límites de velocidad para vehículos*

Tipo de vía	Límite máximo	Rango moderado	Fuera del rango moderado
<b>Urbana y rural</b>	50 km/h	>50 km/h – <60 km/h	>60 km/h
<b>Perimetral</b>	90 km/h	>90 km/h – <120 km/h	>120 km/h
<b>Rectas en carreteras</b>	100 km/h	>100 km/h – <135 km/h	>135 km/h
<b>Curvas en carreteras</b>	60 km/h	>60 km/h – <75 km/h	>75 km/h

*Nota.* La tabla detalla los límites de velocidad, el cual servirá para establecer en los tipos de terreno la velocidad máxima a recorrer. Tomado de (SPPAT Ecuador, 2021).

Por la tanto se establecen los valores de velocidad para cada tipo de carretera considerando los límites máximos de la tabla 4, la cual se especifica en la tabla 5.

**Tabla 5**

*Velocidades para cada tipo de superficies de rodadura*

Número de ruta	Tipo de terreno	Tipo de vía	Velocidad
<b>1</b>	Pavimento	Rectas en carretera	70 km/h
<b>2</b>	Suelo Natural	Rural	20 – 30 km/h
<b>3</b>	Adoquín	Urbana	40 km/h
<b>4</b>	Empedrado	Rural	20 – 30 km/h

### 3.4. Equipos de medición

Para la medición de vibración y ruido se necesitan de equipos o instrumentos capaces de detectar tales magnitudes, los cuales deben de tener una buena precisión y soportar las variaciones del clima, tales se denominan analizador de vibraciones y sonómetro.

Por lo tanto, se establecieron dos opciones: la primera consiste en la selección de los instrumentos en el mercado y la segunda, la cual consiste en la construcción de estos en base a cálculos, programación y diseño requerido.

#### 3.4.1. *Criterios de selección o construcción*

Para la selección o diseño de los instrumentos mencionados se consideraron los siguientes parámetros:

- Precio de un equipo nuevo en el mercado o precio de componentes necesarios para la elaboración.
- Empleo de un único o varios sensores en el vehículo.
- Ubicación del o los sensores en el automóvil.
- Capacidad de soportar constantes variaciones climáticas.
- Las pruebas para realizar son dinámicas o estáticas.
- Posibilidad de reparación en caso de falla.

De acuerdo con los objetivos y metas planteadas al inicio se estableció lo siguiente:

- Las pruebas por realizar en el vehículo requieren como mínimo 2 sensores colocados de manera estratégica.
- Los sensores deben de tener una longitud superior a 1 metro
- En caso de desprendimiento o falla de un sensor al ejecutar las pruebas debe ser posible su cambio o reparación.
- Las pruebas a realizar son a campo abierto.

Por lo que se establece que la mejor opción fue realizar el diseño y construcción de cada instrumento, pues presenta una mayor factibilidad que adquirir uno nuevo

### 3.4.2. Analizador de vibraciones

Para la construcción del equipo se tienen los siguientes puntos principales:

- Diseño del circuito electrónico.
- Programación del Arduino 1.
- Diseño de carcasa para los sensores.
- Montaje de los componentes.
- Resultado final.

Cabe señalar que en el Anexo A se detalla a profundidad las etapas de construcción del instrumento.

#### Figura 27

*Instrumento de medición terminado*



### 3.4.3. Sonómetro

De igual manera, la elaboración del equipo se consideran lo siguientes puntos:

- Diseño del circuito electrónico.
- Programación del Arduino 1.
- Diseño de carcasa para los sensores.
- Montaje de los componentes.
- Resultado final.

En el Anexo B se explica más detalladamente la construcción del instrumento.

## Figura 28

*Instrumento de medición finalizado*



### 3.5. Vehículo de prueba

#### 3.5.1. Especificaciones

El vehículo que se ha realizado todas las pruebas con los diferentes tipos de suelo y neumáticos corresponde a un automóvil de la marca Volkswagen, en el mismo se realizaron las modificaciones de alineación y balanceo necesarias para la elaboración de la investigación. En la tabla 6 se detalla sus especificaciones.

**Tabla 6**

*Especificaciones del vehículo*

<b>FICHA TÉCNICA</b>			
<b>Marca</b>	Volkswagen	<b>Año</b>	2002
<b>Modelo</b>	Gol	<b>Color</b>	Blanco
<b>Combustible</b>	Gasolina	<b>Chasis</b>	Hatchback
<b>Cilindrada</b>	1781 cc	<b>Tipo</b>	Turismo segmento "C"
<b>Potencia</b>	99.3/5250 hp/rpm	<b>Motor y tracción</b>	Ambos delanteros
<b>Torque</b>	15.5/300 Nm/rpm	<b>Transmisión</b>	5 velocidades manual
<b>Cilindros</b>	4 en línea	<b>Neumáticos</b>	195/55-R15
<b>Velocidad máxima</b>	180 km/h	<b>Peso</b>	985 kg

*Nota.* Tomado de (Autocosmos, 2022).

**Figura 29**

*Vehículo empleado*

**3.5.2. Balanceo**

Como primera variable de la geometría de la suspensión del vehículo se tiene el balanceo el cual se define como: “Un proceso que permite equilibrar el peso de todas las ruedas, de modo que cuando se conduce el vehículo a alta velocidad, las llantas giran sin vibraciones.” (Ahorraseguros.mx, 2020).

Para este proceso, se utilizará una máquina especial para hacer girar las ruedas, y con la ayuda de un software poder determinar exactamente dónde equilibrar el peso de las ruedas del vehículo, y así permitir que la llanta gire sin ninguna restricción. En caso de que se observe alguna irregularidad en el neumático, se debe colocar un contrapeso; estos son adheribles y van directamente al borde.

Después de ajustar el peso y colocar el contrapeso en el rin, se realiza una prueba para verificar que la llanta esté correctamente balanceada, el indicador dado por el software debe ser de 0.00 onzas de contrapeso. El proceso indicado debe de ser realizado para cada llanta del vehículo (Alianza Motor, 2022).

**3.5.3. Alineación**

Como segunda variable se tiene la alineación, en la tabla 9 se indican los datos del fabricante establecidos para después emplearlo en el vehículo.

**Tabla 7***Datos de alineación del vehículo*

<b>DATOS DE ALINEACIÓN</b>	
<b><i>Eje delantero</i></b>	
<b>Ángulo de caída de las ruedas (camber)</b>	(-1.167 a -0.5) °
<b>Diferencia máxima admisible en la caída entre las ruedas</b>	0.5 °
<b>Ángulo de avance de una rueda (caster)</b>	(1.25 a 2.75) °
<b>Alabeo entre las puntas de los ejes</b>	Máximo 5 mm
<b>Diferencia máxima entre el avance de los lados</b>	0.5°
<b><i>Eje trasero</i></b>	
<b>Ángulo de caída de las ruedas (camber)</b>	(-2 a -1) °
<b>Diferencia máxima de caída entre los dos lados</b>	0.5°
<b>Alineación de las ruedas</b>	(0.25 a 0.58) °

*Nota.* La tabla detalla los datos de alineación del fabricante del vehículo. Adaptado de (Volkswagen, 2002).

#### **3.5.4. Presión de inflado**

En la tabla 8 se establecen los valores y datos que indica el fabricante.

**Tabla 8***Datos de presión de los neumáticos*

<b>PRESIÓN DE NEUMÁTICOS</b>	
<b>Tornillos de sujeción</b>	M12 X 15
<b>Neumáticos</b>	195/55 R15
<b>Neumáticos delanteros</b>	<i>Sin carga</i> 30 psi (2.1 bar)
	<i>Con carga</i> 33 psi (2.3 bar)
<b>Neumáticos traseros</b>	<i>Sin carga</i> 27 psi (1.9 bar)
	<i>Con carga</i> 37 psi (2.6 bar)

*Nota.* Tomado de (Volkswagen, 2002).

### 3.5.5. Datos de los neumáticos

Para complementar con las rutas señaladas anteriormente se decidió emplear 4 tipos de neumáticos, cada uno con características y propiedades diferentes. En la siguiente tabla se especifican los modelos utilizados.

**Tabla 9**

*Características de los modelos de neumáticos utilizados*

Modelo	Fabricante	Código	Índices de carga y velocidad	Tipo de patrón de la banda de rodadura	Ilustración
1	Goodyear	195 / 55 R15	85H	Simétrico	
2	Nexen	195 / 55 R15	85V	Direccional "V"	
3	Sonar	195 / 55 R15	85V	Asimétrico	
4	Anchee	195 / 55 R15	85V	Simétrico	

### 3.6. Preparación del vehículo

Ya establecido todos los equipos, componentes e implementos necesarios, se procede a la puesta a punto y preparación del vehículo con todos los procedimientos, en conjunto la colocación de los correspondientes equipos de medición en el automotor de acuerdo con ubicaciones estratégicas, los cuales se centran en el tema principal de la investigación los cuales son los efectos de la pisada del neumático.

### **3.6.1. Revisión general**

La realización de este punto es muy necesaria debido a que al tener el vehículo en óptimas condiciones garantizaran los resultados obtenidos, entonces para la revisión y puesta a punto se consideran los siguientes:

- Niveles de fluidos como aceite, refrigerante y frenos.
- Batería
- Pastillas de freno
- Fugas de fluidos
- Sistema de dirección
- Sistema de suspensión

Y otros puntos como alineación, balanceo y presión de neumáticos, serán explicados más a fondo en el desarrollo de la presente.

### **Figura 30**

*Revisión del estado del vehículo*



*Nota.* En la revisión del estado del vehículo se encontró que la suspensión presentaba problemas por lo que se procedió a realizar su reparación. Elaboración propia.

### **3.6.2. Proceso de balanceo**

Este proceso se realiza mediante el uso de equipos computarizados y mecánicos, para la ejecución se emplea la balanceadora MT 2310.

En primer lugar, se eleva el vehículo, se extrae la rueda delantera izquierda, se verifica que no existan objetos insertados en la banda de rodadura como piedras y se coloca en la máquina balanceadora.

**Figura 31**

*Proceso de balanceo*



Colocada rueda, se procede a verificar en la máquina el tipo de rin para realizar el balanceo e inicia el proceso donde la misma comienza a girar la rueda. La máquina a través de su pantalla indica el peso y posición interior o exterior a colocar el contrapeso en la rueda.

**Figura 32**

*Proceso de balanceo de la rueda delantera izquierda*



Para la rueda especificada se colocó un contrapeso de 60 gramos en la posición exterior. Concluido el proceso de balanceo se vuelve a colocar en el vehículo.

El procedimiento indicado anteriormente se debe hacer para las demás ruedas y en la siguiente tabla se resume el proceso realizado.

**Tabla 10**

*Cantidad de masa colocada en las ruedas del vehículo*

N°	Rueda	Contrapeso colocado (g)
1	Delantera izquierda	60
2	Posterior izquierda	40
3	Delantera derecha	10
4	Posterior derecha	-25

**Figura 33**

*Vehículo balanceado*



*Nota.* Después de realizar el proceso de balanceo se procede a alinear el vehículo.  
Elaboración propia.

### **3.6.3. Proceso de alineación**

La alineación se realiza de igual manera que el proceso anterior, para lo cual se emplea el equipo TRIGON 725.

**Figura 34**

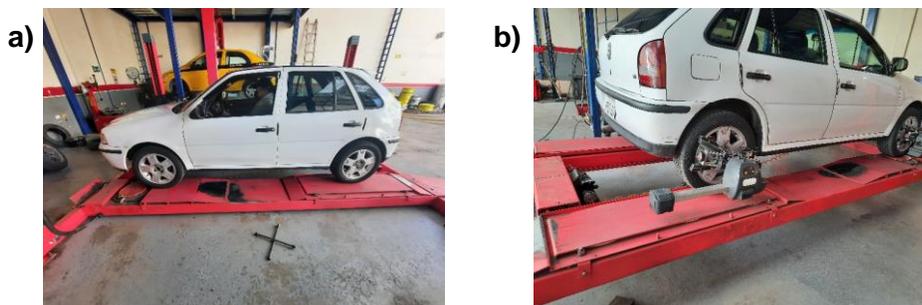
*Alineadora TRIGON 725*



Se procede a colocar al vehículo en el elevador y se ajustan las agarraderas con los sensores para la alineación.

### Figura 35

*Proceso de alineación*

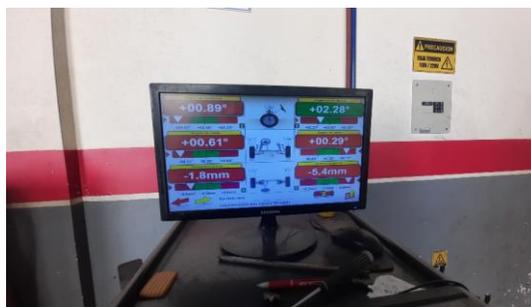


*Nota.* a) Ubicación del vehículo en el elevador, b) Colocación de las agarraderas con los sensores en las ruedas.

En el equipo se procede a colocar el modelo del vehículo, y se obtienen los parámetros iniciales de los ángulos de suspensión donde se encuentran en color rojo indicando que no se encuentran en valores establecidos por el fabricante.

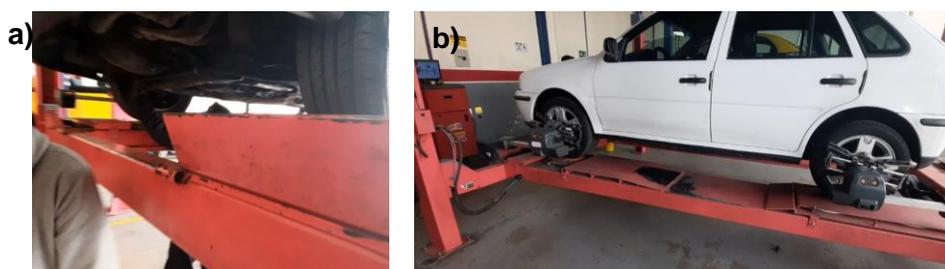
### Figura 36

*Procedimiento de alineación*



*Nota.* La gráfica indica los valores encontrados en el vehículo.

Para continuar se procede a alinear el vehículo, en donde se debe ajustar o aflojar la tuerca de la dirección con las herramientas mecánicas como llaves mixtas, en donde al terminar el proceso en la pantalla del equipo se muestran los valores establecidos por la tabla 9 la cual fue obtenida por el manual del fabricante.

**Figura 37***Proceso de alineación*

*Nota.* La figura indica: a) El procedimiento realizado en el vehículo para la alineación y b) el resultado de la alineación.

En la tabla 11 se indican los valores modificados en cuanto al proceso de alineación realizado.

**Tabla 11***Reporte de alineación del vehículo empleado*

<b>Reporte de alineación del vehículo</b>						
Ángulos		Inicial	Especificaciones		Final	
			Min.	Max.		
<b>Delantera</b>	Ángulo de avance	Izquierdo	0.4°	7.2°	8.2°	0.4°
		Derecho	2.4°	7.2°	8.2°	2.4°
	Inclinación de ruedas	Izquierdo	0.6°	-0.2°	0.5°	0.6°
		Derecho	-0.3°	-1.5°	-0.9°	-0.3°
	Convergencia	Izquierdo	0.65°	-0.20°	0.15°	-0.10°
		Derecho	0.60°	-0.20°	0.15°	-0.15°
Total		1.25°	-0.40°	0.35°	-0.25°	
<b>Trasera</b>	Inclinación de ruedas	Izquierdo	1.3°	-1.8°	-0.8°	1.3°
		Derecho	0.8°	-1.8°	-0.8°	0.8°
	Convergencia	Izquierdo	-1.30°	0.00°	0.15°	-1.30°
		Derecho	0.10°	0.00°	0.15°	0.10°
		Total	-1.20°	0.00°	0.35°	-1.20°
	Ángulo Direccional		-0.7°		0.3°	-0.7°

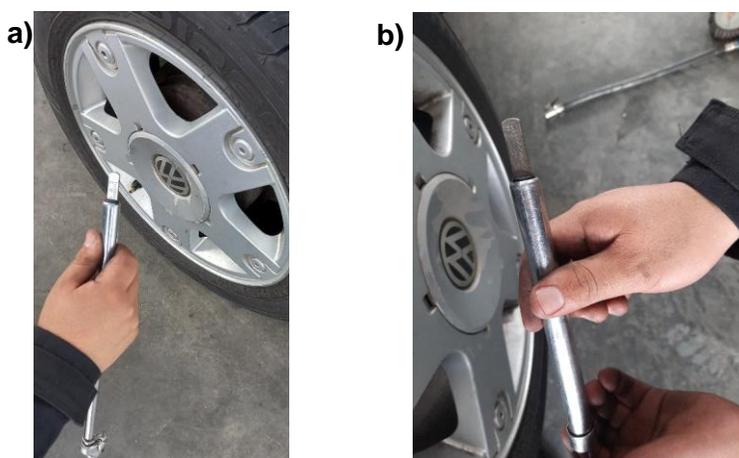
### 3.6.4. Presión de inflado

Este procedimiento se realizó como verificación del estado de inflado de todas las ruedas, por lo cual se empleó un manómetro para neumáticos como instrumento de verificación y una pistola con un compresor de aire en caso de ser necesario añadir aire.

De acuerdo con la tabla 8 se añadió y retiró la cantidad de aire requerida, considerando la ubicación de cada neumático en el automóvil.

#### Figura 38

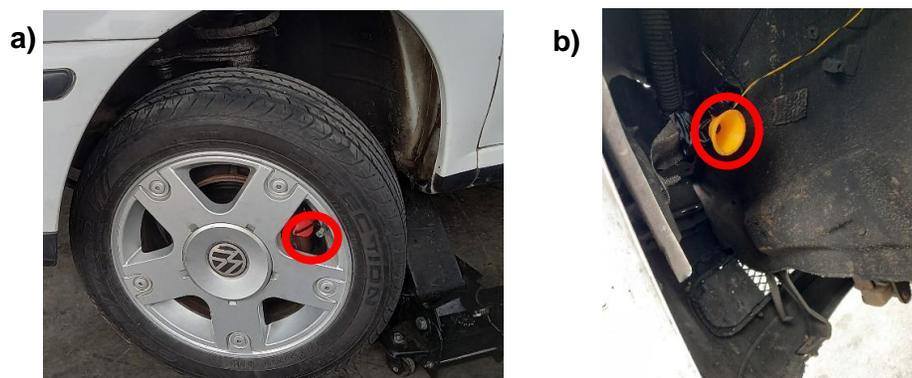
*Medición de presión de neumáticos*



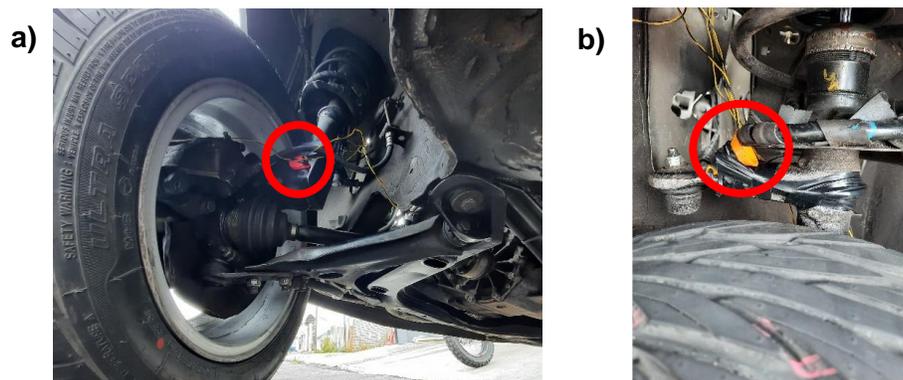
*Nota.* La figura muestra la medición de la presión realizada al neumático: a) Delantero, b) Posterior.

### 3.6.5. Colocación de equipos de medición

Con el vehículo puesto a punto y en buenas condiciones de funcionamiento se procede al montaje de los instrumentos de medición diseñados. Para tal efecto se consideran emplear dos sensores de sonido y dos de vibración colocados en ubicaciones estratégicas como lo son cerca del neumático (figura 39) y otros en el sistema de suspensión específicamente cercanos al amortiguador (figura 40), para ambos casos se consideraron ubicar los sensores en la rueda delantera izquierda.

**Figura 39***Ubicación de los sensores en el neumático*

*Nota.* La figura indica el lugar seleccionado para colocar el sensor de: a) vibración, b) sonido.

**Figura 40***Ubicación de los sensores en la suspensión*

*Nota.* La figura indica el lugar seleccionado para colocar el sensor de: a) vibración, b) sonido.

### **3.6.6. Metodología de pruebas**

Con el fin de obtener los datos de la presente investigación se ha planteado una metodología la cual consta de las siguientes operaciones:

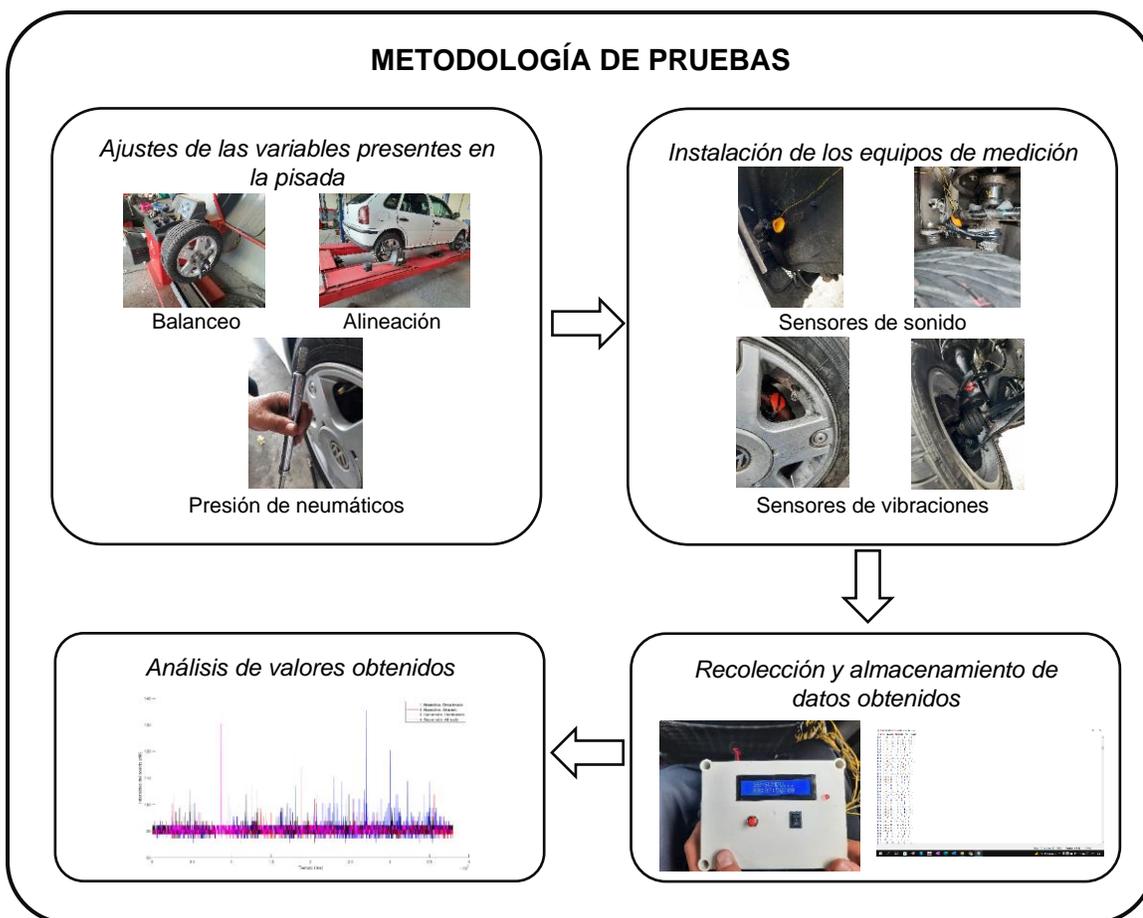
- En la primera se refiere a la reparación y puesta a punto del vehículo, haciendo énfasis en la alineación, balanceo y presión de los neumáticos.
- En la segunda se inicia la instalación de los instrumentos de medición en el vehículo como lo son el analizador de vibraciones y el sonómetro.

- En la tercera se realizan las pruebas con cada tipo de neumático y carreteras elegidas, para siguiente obtener y almacenar los datos.
- En la cuarta fase se tabula la información obtenida de cada prueba realizada con el vehículo de manera gráfica.
- Y la última fase se tiene que, una vez tabulada la información, se realiza la comparación gráfica y la validación de la investigación realizada.

En la siguiente figura se representa de manera gráfica la metodología para la adquisición de datos.

**Figura 41**

*Procedimiento a realizar para la obtención de datos*



### 3.7. Proceso de medición y resultados obtenidos

En el presente apartado se describe la realización práctica de las diferentes pruebas con los neumáticos seleccionados en las dos situaciones planteadas al inicio.

Cabe señalar que debido al exceso de información gráfica generada con los 4 tipos de terrenos y 4 neumáticos seleccionados, se tomó la decisión de realizar las pruebas de ruta en 2 tipos de terrenos.

Para tal efecto, se consideró los datos de la tabla 2 obtenidos de Consorcio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador - CONGOPE (2019), donde establecen que las superficies que predominan en cantón Latacunga son el suelo natural y el pavimento.

De igual forma para una mejor comprensión y simplificación de términos se decidió realizar una lista de detalles de las pruebas y neumáticos a realizar, la cual se establece en la siguiente tabla.

**Tabla 12**

*Nomenclatura para lugares de prueba y neumáticos*

<b>Lugar de prueba</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Neumático</b>	<b>Nomenclatura</b>
<b><i>Pavimento</i></b>	Ruta 1	<b><i>Goodyear</i></b>	A
		<b><i>Nexen</i></b>	B
<b><i>Suelo Natural</i></b>	Ruta 2	<b><i>Sonar</i></b>	C
		<b><i>Anchee</i></b>	D

#### 3.7.1. Pruebas con el vehículo en buenas condiciones

Para la realización de las pruebas en el día 1, se consideraron las condiciones atmosféricas y demás parámetros establecidos, con el fin de obtener resultados apropiados y cercanos a la realidad.

## Figura 42

Condiciones climáticas de las pruebas con el vehículo del día 1



Como prueba inicial se realizó al pavimento con el neumático Goodyear.

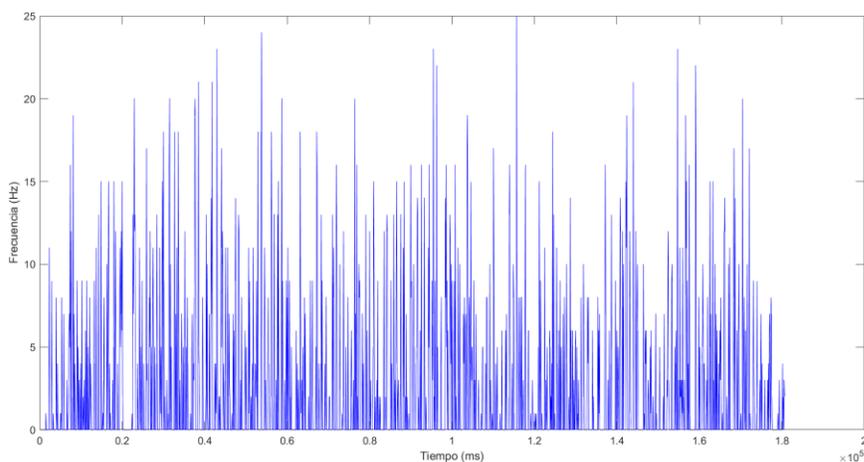
### 3.7.1.1. Ruta 1 y neumático A

#### 3.7.1.1.1. Vibración

En la figura 43 se muestran los valores obtenidos por el sensor del analizador de vibraciones colocado en el neumático. En la prueba ejecutada, el instrumento de medición logró determinar un patrón regular en el espectro de vibración debido a que los picos altos y bajos no varían, siendo el valor máximo alcanzado de 25 Hz y un valor mínimo de 1 Hz.

## Figura 43

Prueba 1.1

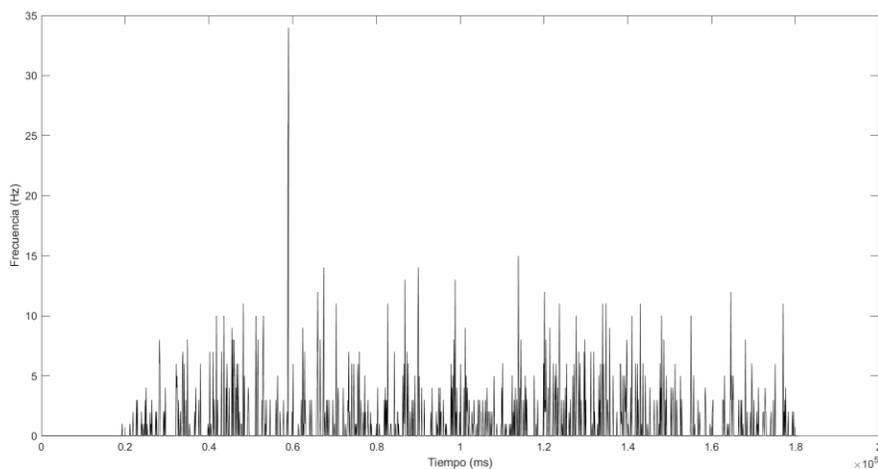


De igual manera en la figura 44 se indica los valores obtenidos por el sensor del analizador de vibraciones colocado en la suspensión, en dónde se aprecia que el espectro de vibración varía de forma irregular, estableciendo un valor máximo de 34 Hz

y un mínimo de 1 Hz, estos valores son similares a la gráfica ilustrada anteriormente; esto se debe a que el pavimento presentó pocas imperfecciones en su superficie.

### Figura 44

#### Prueba 1.2

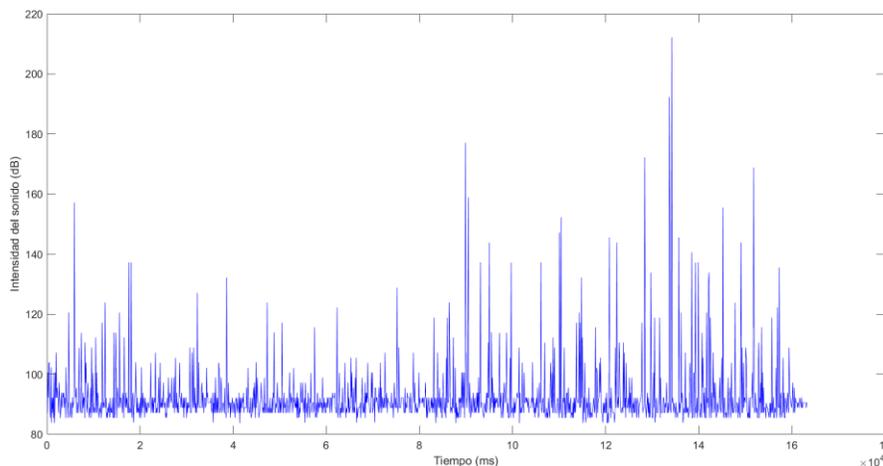


#### 3.7.1.1.2. Ruido

En la figura 45 se presentan los valores obtenidos por el sensor del sonómetro colocado en el neumático. En la gráfica se observa como aparecen varios picos altos, siendo el valor máximo alcanzado de 212,16 decibelios, pero de manera instantánea debido a que el vehículo en ese instante se fue por un bache, en cuanto al valor mínimo logrado fue 83,83 decibelios.

### Figura 45

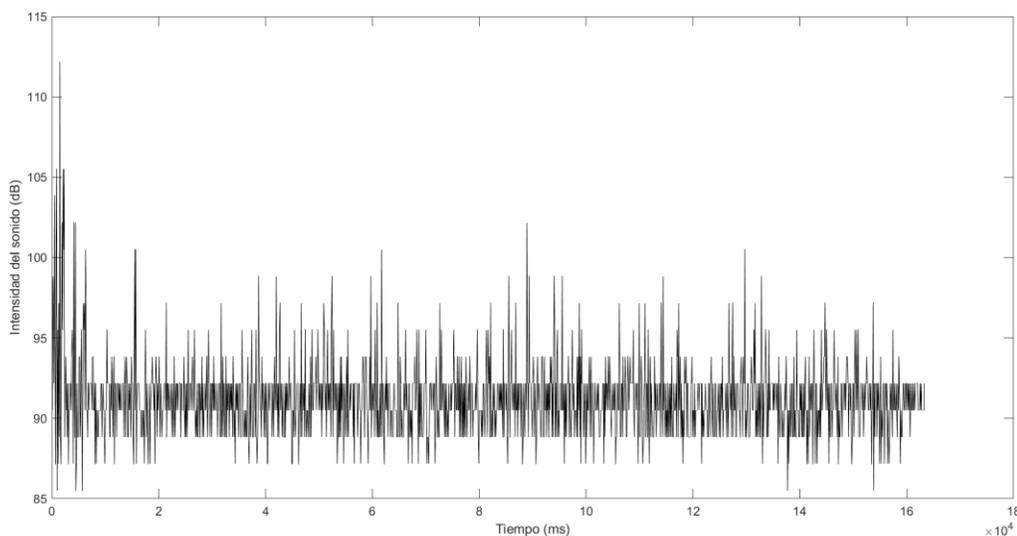
#### Prueba 1.3



Del mismo modo se establece en la figura 46 los valores obtenidos por el sensor del sonómetro colocado en la suspensión. Se aprecia que, las variaciones de ruido mínimas y máximas son irregulares, ya que cambian de manera repentina, en cuanto a los valores superior e inferior alcanzados fueron de 112,16 y 85,5 decibelios respectivamente.

### Figura 46

#### Prueba 1.4

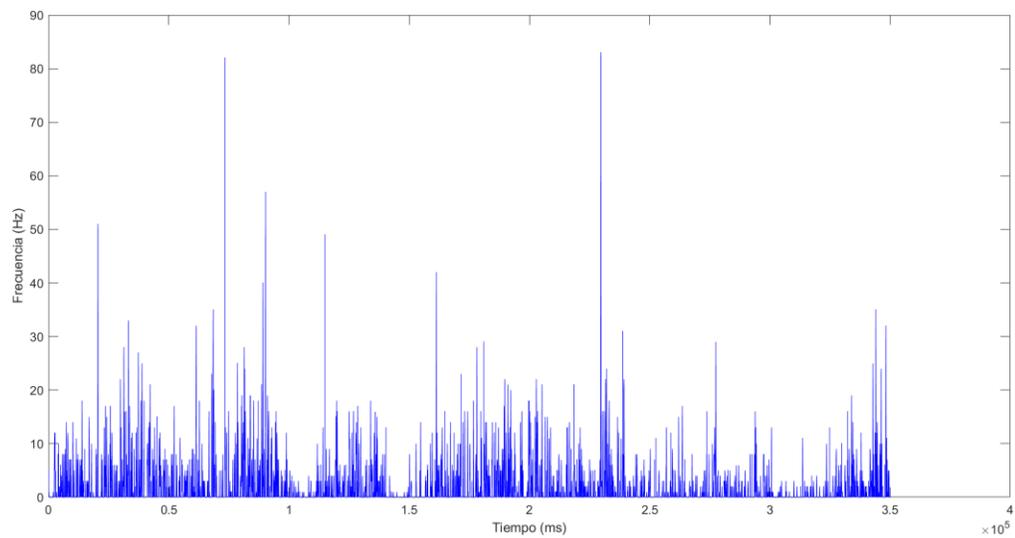


#### 3.7.1.2. Ruta 2 y neumático A

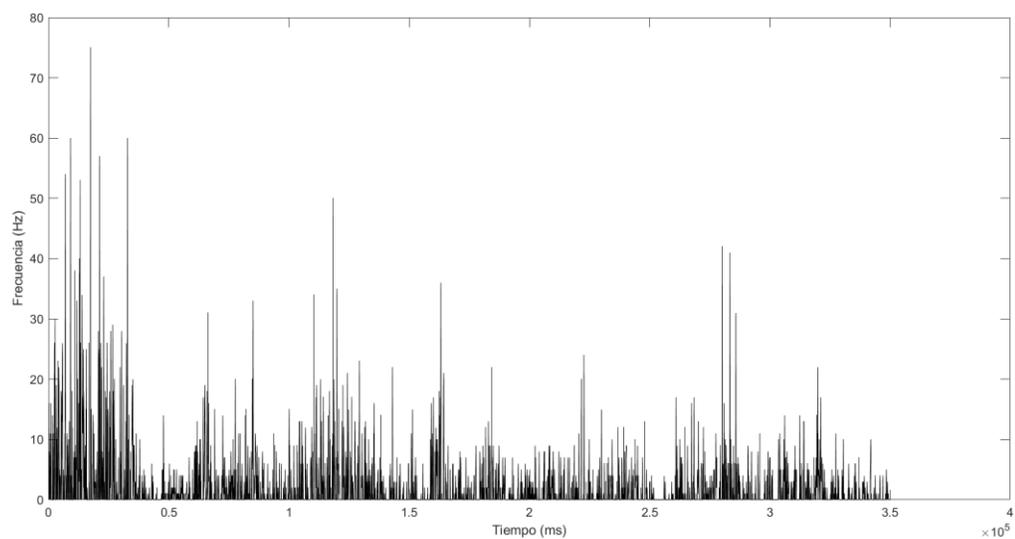
Como segunda prueba realizada corresponde al suelo natural con el neumático Goodyear.

##### 3.7.1.2.1. Vibración

En la figura 47 se indican los valores obtenidos por el sensor del analizador de vibraciones colocado en el neumático del vehículo. Al analizar e interpretar los valores adquiridos se evidenció que el valor máximo y mínimo son de 83 y 1 Hz respectivamente, señalando que los datos obtenidos son de manera instantánea, en cuanto al espectro de vibración generado es continuo y presenta ligeras desviaciones de picos altos y bajos.

**Figura 47***Prueba 2.1*

Continuando se tiene en la figura 48 los resultados obtenidos por el sensor del analizador de vibraciones colocado en la suspensión del vehículo. El valor máximo obtenido fue de 75 Hz y su mínimo correspondiendo a 1 Hz, los cuales se presentaron de manera instantánea.

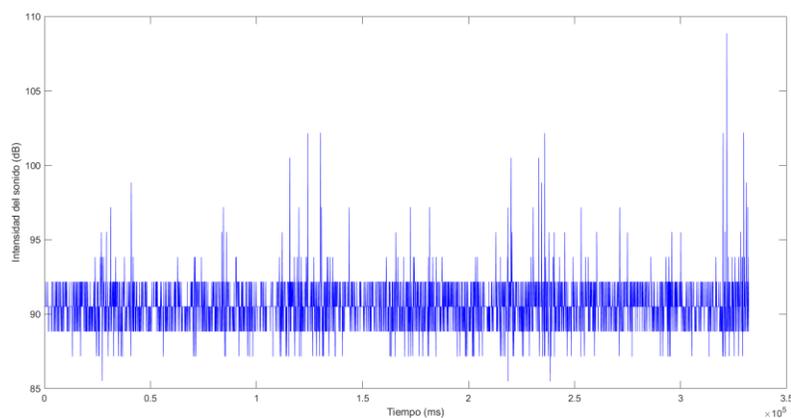
**Figura 48***Prueba 2.2*

### 3.7.1.2.2. Ruido

La figura 49 representa los valores extraídos por el sensor del sonómetro colocado en el neumático del automóvil. Se realiza la observación de espectros de ruido generados señalando que el valor máximo registrado fue de 108,83 y un valor mínimo de 85,5 decibelios, los cuales no representaron un peligro para la salud auditiva debido a que se produjeron en instantes de tiempo, añadiendo que la superficie del terreno analizado no presentó grietas ni irregularidades considerables.

**Figura 49**

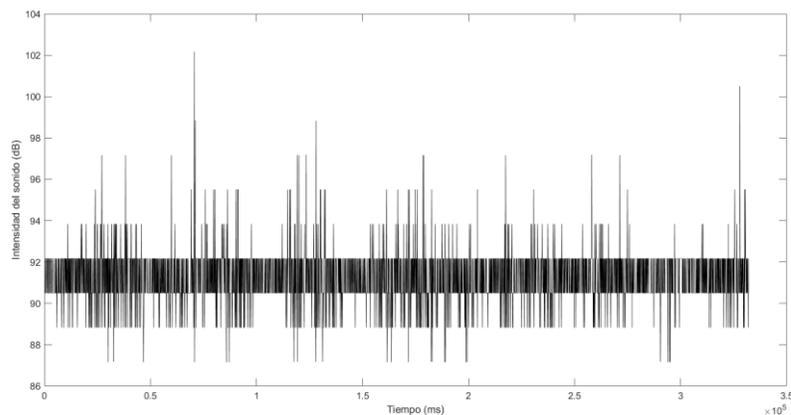
*Prueba 2.3*



Analizado el caso anterior, se presenta en la figura 50 los valores obtenidos por el sensor del sonómetro colocado en la suspensión del automóvil, donde se evidenciaron unos picos altos y bajos de 102,16 y 87,16 decibelios.

**Figura 50**

*Prueba 2.4*



### 3.7.1.3. Ruta 1 y neumático B

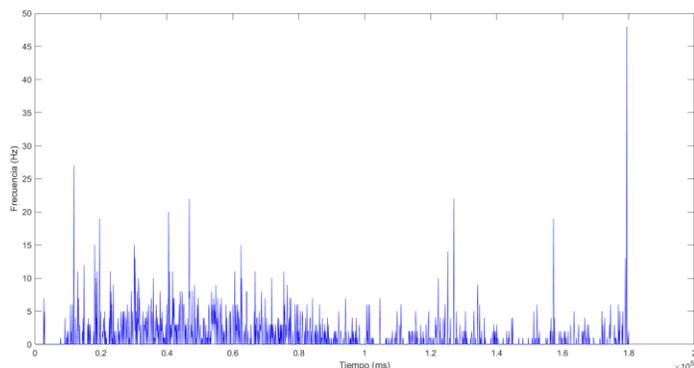
La siguiente prueba corresponde al pavimento con el neumático Nexen.

#### 3.7.1.3.1. Vibración

En la figura 51 se indica los valores obtenidos por el sensor del analizador de vibraciones colocado en el neumático del vehículo.

#### Figura 51

Prueba 3.1

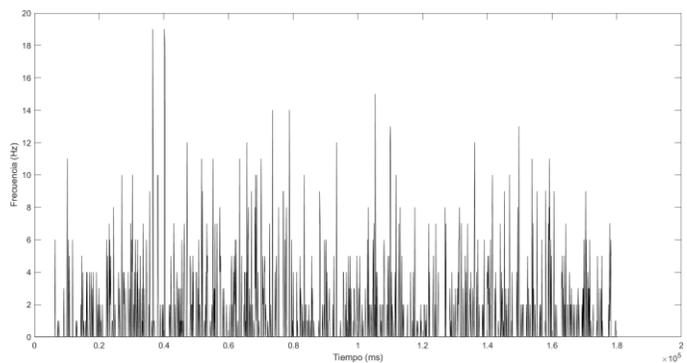


En la prueba realizada se pudo determinar que los valores máximos y mínimos corresponden a 48 y 1 Hz, su curva presentó ligeros picos altos de vibración.

En la figura 52 se indica los valores obtenidos por el sensor del analizador de vibraciones colocado en la suspensión del vehículo. Al analizar los valores adquiridos se determinó un pico máximo de 19 Hz mientras que su valor mínimo de 1 Hz, en su espectro de vibración generado no se presentan grandes variaciones a considerar.

#### Figura 52

Prueba 3.2

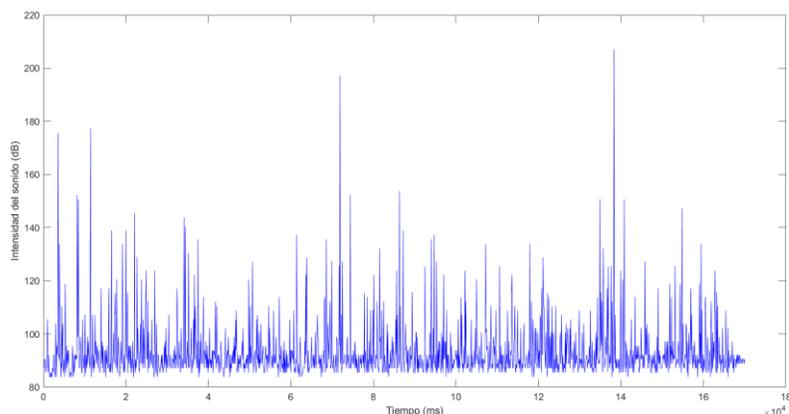


### 3.7.1.3.2. Ruido

En la figura 53 se indican los valores obtenidos por el sensor del sonómetro colocado en el neumático del automóvil. En la prueba realizada se determinó que el valor máximo alcanzado fue de 207,16 decibelios, un mínimo de 83,83 decibelios, tal valor máximo se produjo de forma instantánea y no representó peligros a la salud.

**Figura 53**

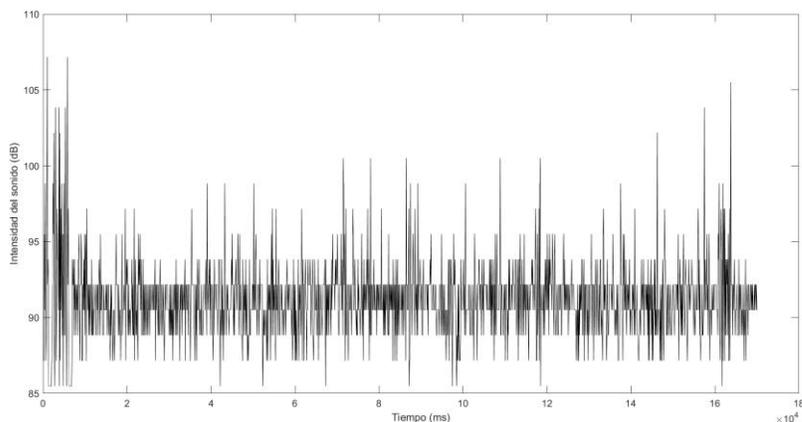
*Prueba 3.3*



De igual manera en la figura 54 se indican los valores obtenidos por el sonómetro colocado en la suspensión. Se aprecia que el espectro obtenido tiene variaciones de picos altos y bajos, en cuanto al valor mínimo obtenido fue de 85,5 decibelios y su máximo de 107,16 decibelios, los mismos no presentan daños a la salud.

**Figura 54**

*Prueba 3.4*



### 3.7.1.4. Ruta 2 y neumático B

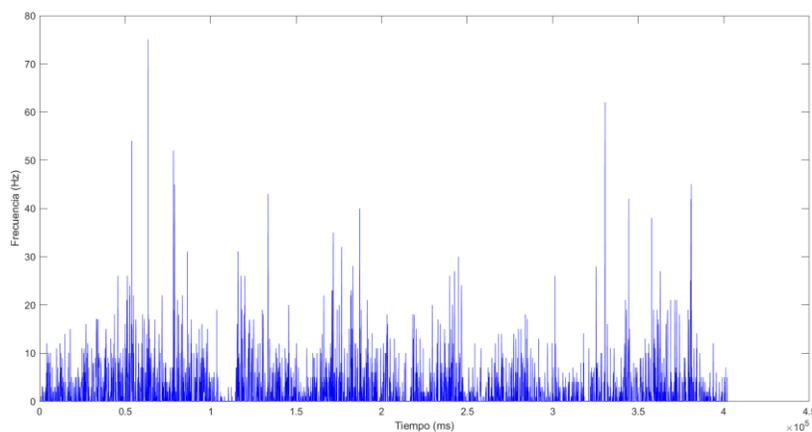
Como cuarta prueba corresponde al suelo natural con el neumático Nexen.

#### 3.7.1.4.1. Vibración

En la figura 55 se indican los valores obtenidos por el sensor del analizador de vibraciones colocado en el neumático del vehículo. El valor máximo alcanzado al realizar la prueba fue de 75 Hz y el mínimo de 1 Hz.

#### Figura 55

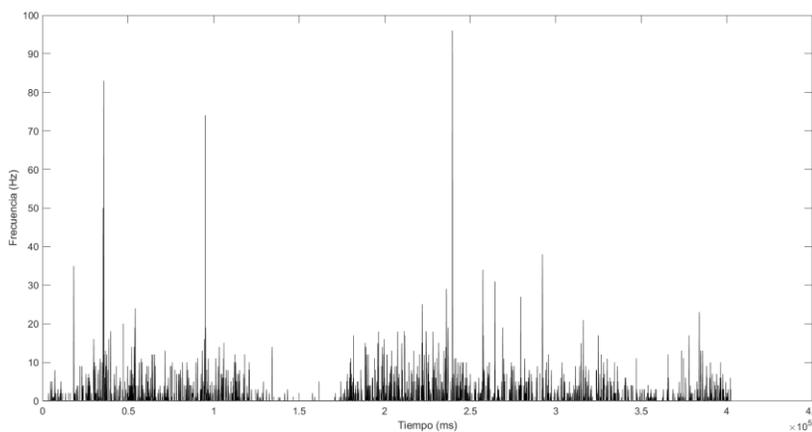
##### Prueba 4.1



En la figura 56 se indica los valores obtenidos del analizador de vibraciones colocado en la suspensión del vehículo. Los valores máximos y mínimos al ejecutar la prueba fueron de 96 y 1 Hz respectivamente.

#### Figura 56

##### Prueba 4.2

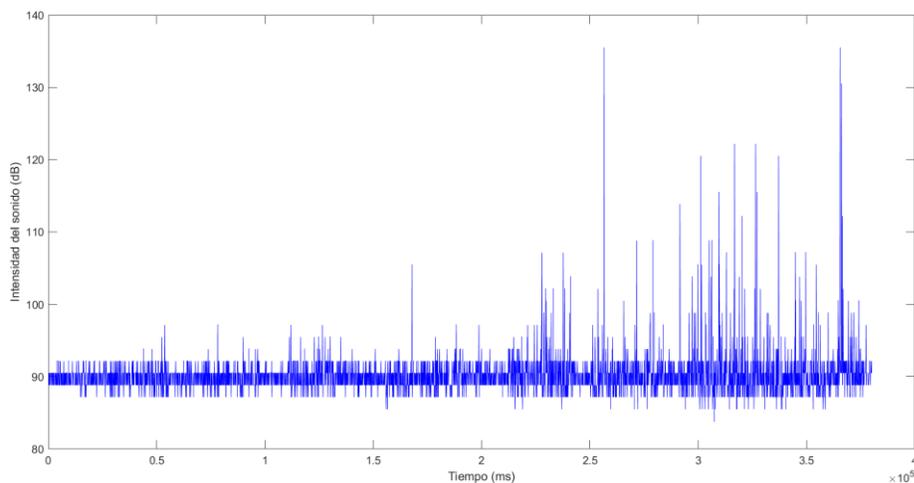


### 3.7.1.4.2. Ruido

En la figura 57 se muestran valores obtenidos del sensor del sonómetro colocado en el neumático. Los valores adquiridos al realizar la prueba corresponden a un pico máximo de 135,5 decibelios y un mínimo de 83,83 decibelios.

#### Figura 57

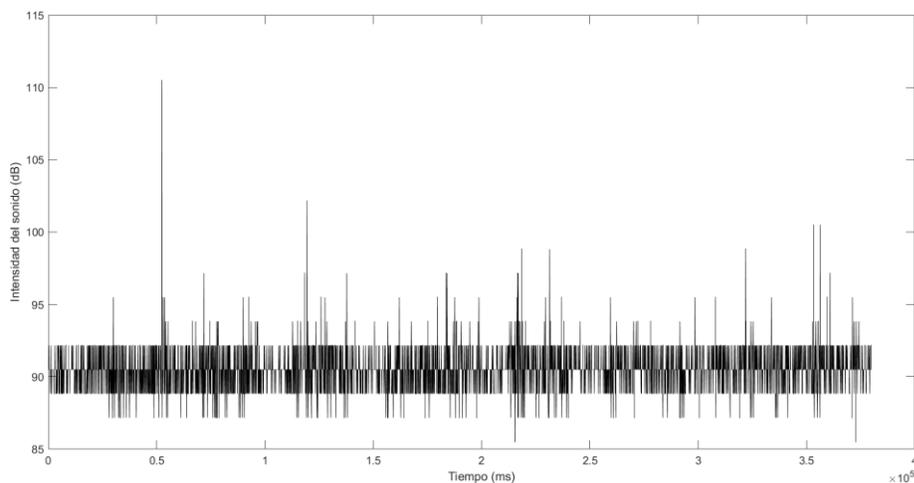
##### Prueba 4.3



De igual manera en la gráfica 58 se indica los valores obtenidos del sensor del sonómetro colocado en la suspensión. El valor máximo alcanzado en la prueba realizada fue de 110,5 decibelios y el mínimo de 85,5 decibelios.

#### Figura 58

##### Prueba 4.4



### 3.7.1.5. Ruta 1 y neumático C

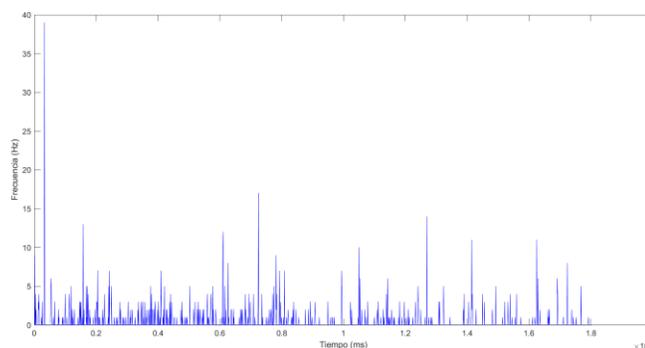
Como quinta prueba realizada corresponde al pavimento con el neumático Sonar.

#### 3.7.1.5.1. Vibración

En la figura 59 se indican los valores obtenidos por el sensor del analizador de vibraciones colocado en el neumático del vehículo. En los resultados obtenidos se determinó que el valor máximo alcanzado fue 39 Hz y el mínimo de 1 Hz, donde se evidencia en su espectro un patrón regular sin variaciones altas o bajas, exceptuando de los primeros instantes de tiempo ya que, se produjo en un instante el valor más alto.

**Figura 59**

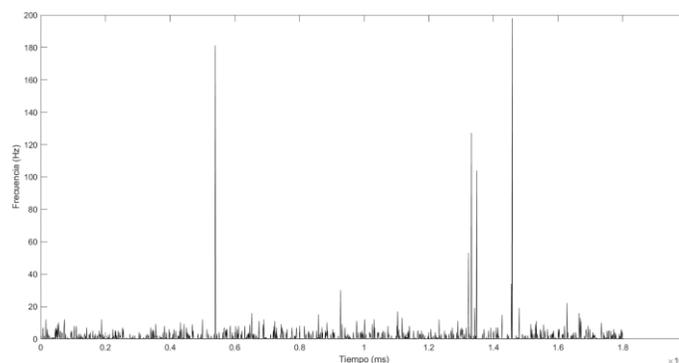
*Prueba 5.1*



En la figura 60 se establecen los valores adquiridos por el sensor del analizador de vibraciones colocado en la suspensión del vehículo. En la prueba realizada se determinó que el valor máximo alcanzado fue de 198 Hz y un mínimo de 1 Hz.

**Figura 60**

*Prueba 5.2*

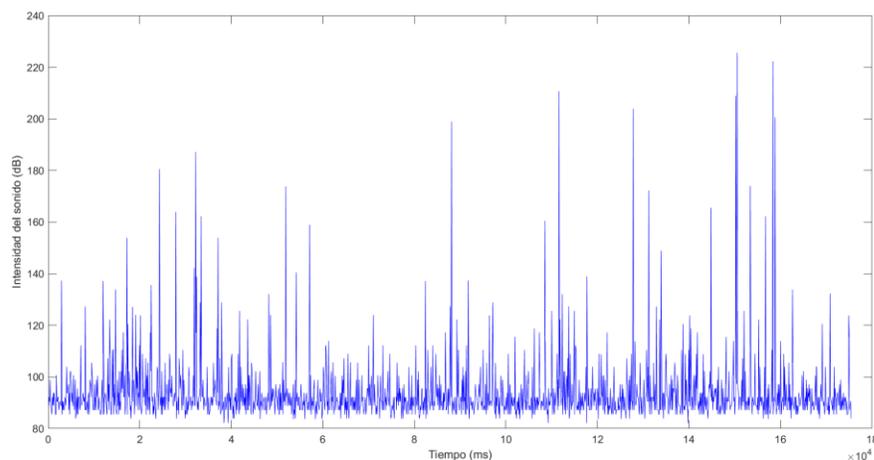


### 3.7.1.5.2. Ruido

En la gráfica 61 se indican los valores obtenidos por el sensor del sonómetro colocado en el neumático del vehículo. El espectro de sonido generado presentó variaciones altas y bajas en instantes de tiempo cortos, donde como pico máximo se tiene de 225,5 y un mínimo de 82,16 decibelios.

**Figura 61**

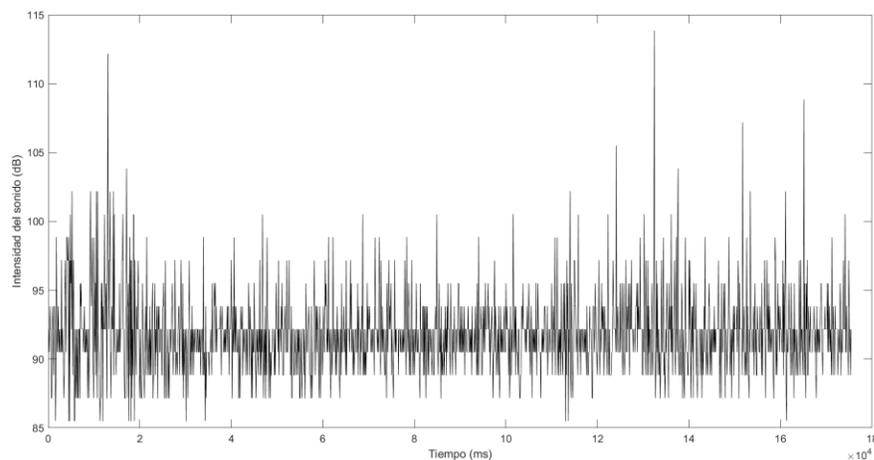
*Prueba 5.3*



Con respecto a la suspensión, en la figura 63 se muestran los resultados obtenidos por el sensor del sonómetro colocado en la suspensión del vehículo.

**Figura 62**

*Prueba 5.4*



Se evidenció que las variaciones entre valores máximos y mínimos son más uniformes a diferencia de la figura anterior, en cuanto al pico máximo y mínimo alcanzado fue de 113,83 y 85,5 decibelios respectivamente.

### 3.7.1.6. Ruta 2 y neumático C

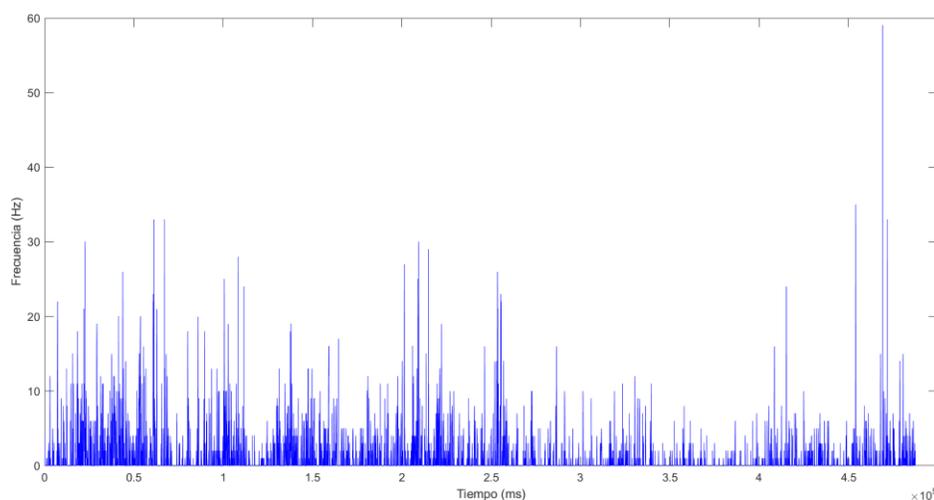
Como sexta prueba corresponde al suelo natural con el neumático Sonar.

#### 3.7.1.6.1. Vibración

En la figura 63 se indican los valores obtenidos por el sensor del analizador de vibraciones colocado en el neumático del vehículo. El espectro de vibración generado presenta pocas variaciones entre altas y bajas, donde como pico máximo se tiene de 59 Hz y un mínimo de 1 Hz.

### Figura 63

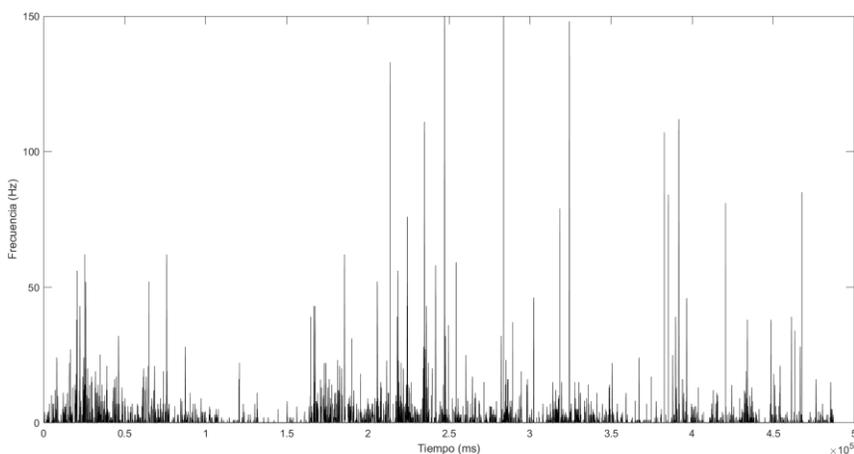
#### Prueba 6.1



De igual manera en la figura 64 se indica los valores obtenidos por el sensor del analizador de vibraciones colocado en la suspensión. Se evidenció que las variaciones de un valor con respecto a otro son pocas, cabe señalar que el valor máximo fue de 150 Hz y mínimo de 1 Hz.

## Figura 64

### Prueba 6.2

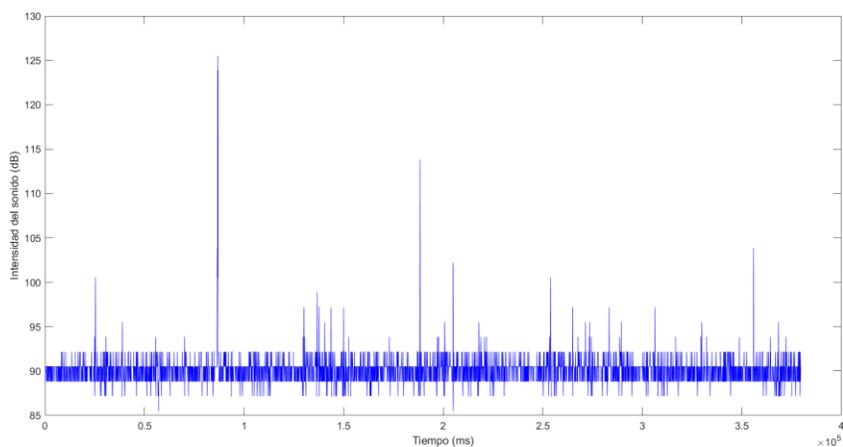


#### 3.7.1.6.2. Ruido

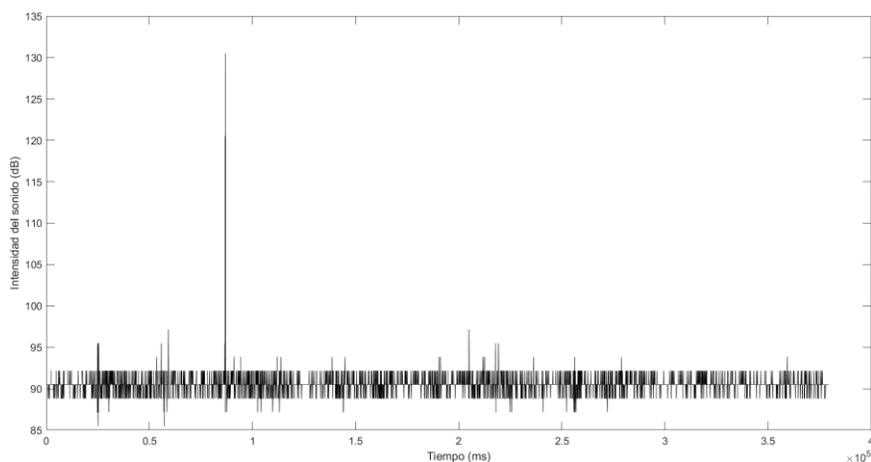
Los resultados obtenidos por el sensor del sonómetro colocado en el neumático se indican en la figura 65. En la prueba realizada se determinó que el valor máximo alcanzado fue de 125,5 decibelios y un mínimo de 85,5 decibelios.

## Figura 65

### Prueba 6.3



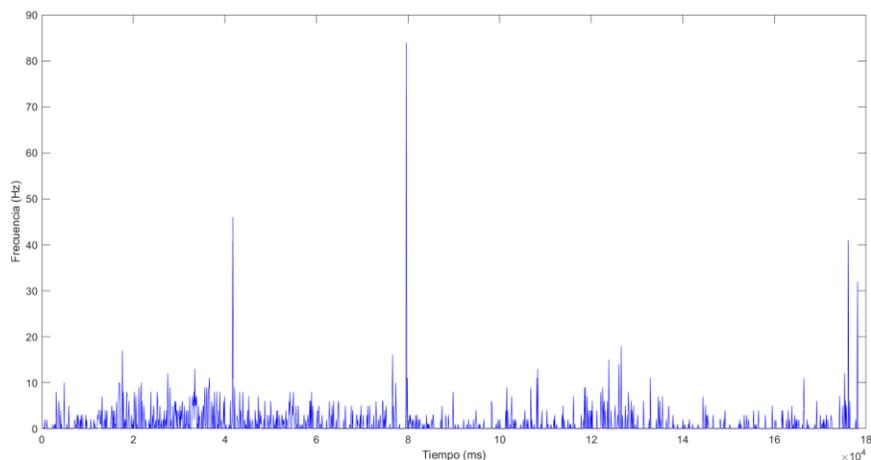
De igual manera en la figura 66 se representan los valores obtenidos por el sensor del sonómetro colocado en la suspensión del vehículo. El espectro de sonido generado presenta variaciones altas y bajas en instantes de tiempo, donde como pico máximo se tiene de 130,5 y un mínimo de 85,5 decibelios.

**Figura 66***Prueba 6.4***3.7.1.7. Ruta 1 y neumático D**

Como séptima prueba realizada corresponde al pavimento con el neumático Anchee.

**3.7.1.7.1. Vibración**

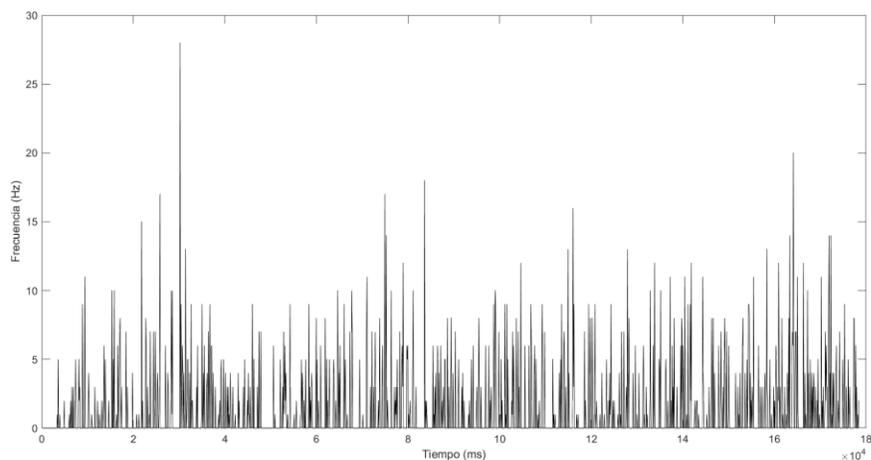
En la figura 67 se indican los valores obtenidos por el sensor del analizador de vibraciones colocado en el neumático. Se determinó que las variaciones de valores altos y bajos son similares y se tiene que como valor máximo de 84 Hz y mínimo encontrado de 1 Hz.

**Figura 67***Prueba 7.1*

Para la suspensión se tiene que los resultados obtenidos por el sensor del analizador de vibraciones lo cual se representa en la figura 68. En los resultados obtenidos se determinó que el valor máximo alcanzado fue 28 Hz y el mínimo de 1 Hz.

### Figura 68

*Prueba 7.2*

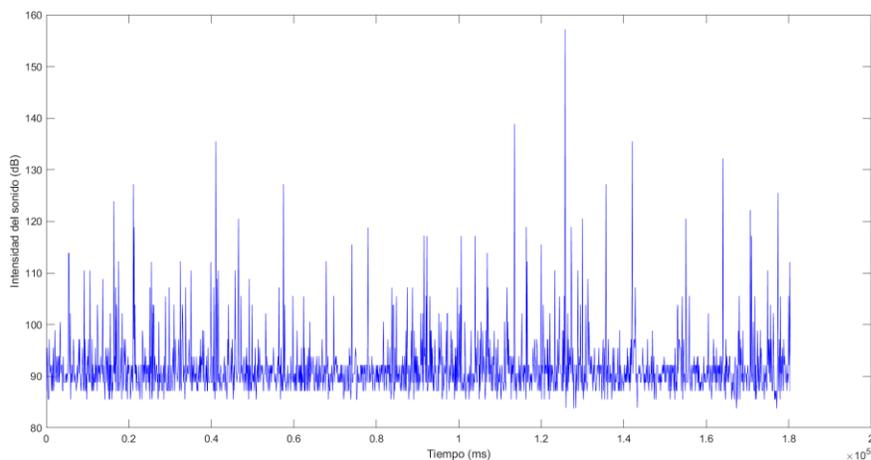


#### 3.7.1.7.2. Ruido

Con respecto al ruido, en la figura 69 se muestran los resultados obtenidos por el sensor del sonómetro colocado en el neumático del vehículo. En la prueba realizada se determinó que el valor máximo alcanzado fue de 157,16 decibelios y un mínimo de 83,83 decibelios.

### Figura 69

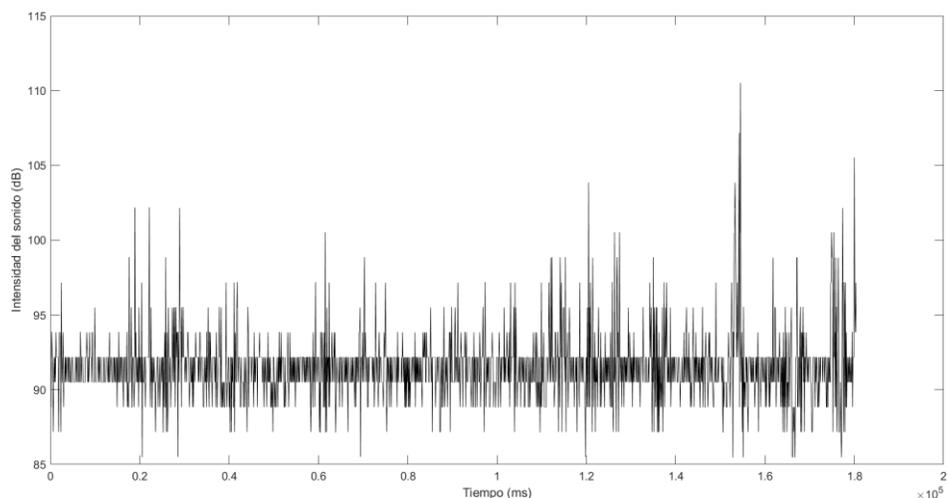
*Prueba 7.3*



De igual forma en la figura 70 se indican los valores obtenidos por el sensor del sonómetro colocado en la suspensión.

### Figura 70

#### Prueba 7.4



El espectro de sonido generado tuvo un valor máximo de 110,5 y un mínimo de 85,5 decibelios.

#### 3.7.1.8. Ruta 2 y neumático D

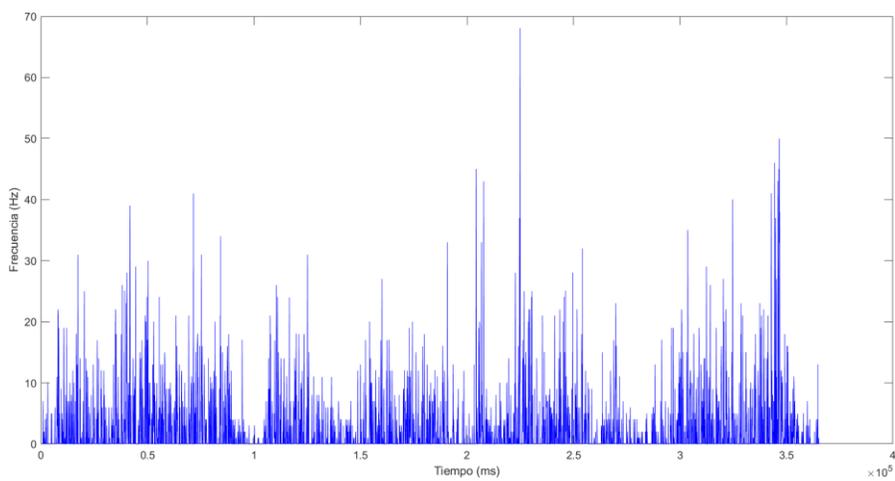
Para terminar, se tiene la prueba en el suelo natural con el neumático Anchee.

##### 3.7.1.8.1. Vibración

En la figura 71 se presentan los resultados obtenidos por el sensor del analizador de vibraciones colocado en el neumático del vehículo. En la prueba realizada se determinó un patrón regular en el espectro de vibración debido a que los picos altos y bajos no variaban considerablemente, siendo el valor máximo alcanzado de 68 Hz y un valor mínimo de 1 Hz.

### Figura 71

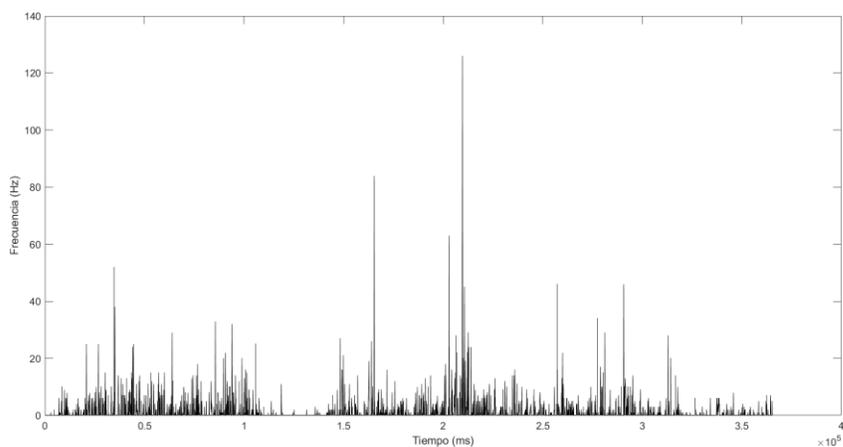
#### Prueba 8.1



De igual manera en la figura 72 se indica los valores obtenidos por el sensor del analizador de vibraciones colocado en la suspensión. Se aprecia que el espectro de vibración varía de forma regular, estableciendo un valor máximo de 126 Hz y un mínimo de 1 Hz.

### Figura 72

#### Prueba 8.2



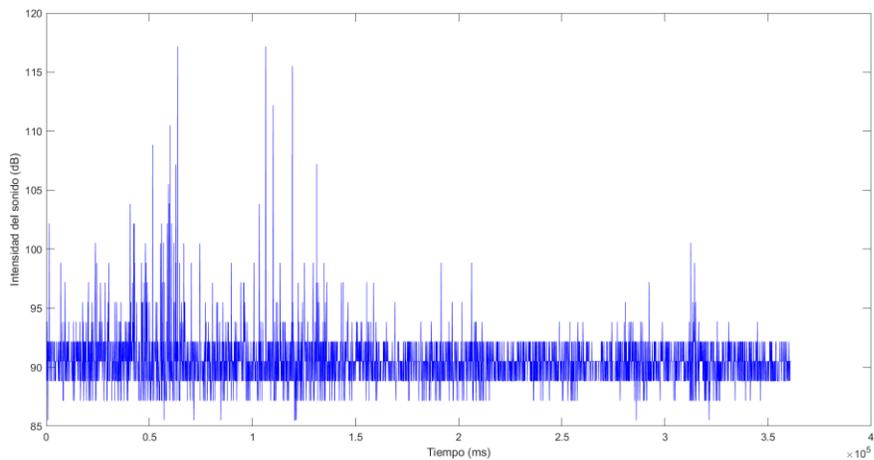
#### 3.7.1.8.2. Ruido

En la figura 73 se representan los valores obtenidos por el sensor del sonómetro colocado en el neumático. En la figura se observa como aparecen pocos picos

máximos, siendo el valor más alto alcanzado de 117,16 decibelios lo cual no establece un peligro auditivo si se diera por un tiempo prolongado, en cuanto al valor mínimo logrado fue 85,5 decibelios.

### Figura 73

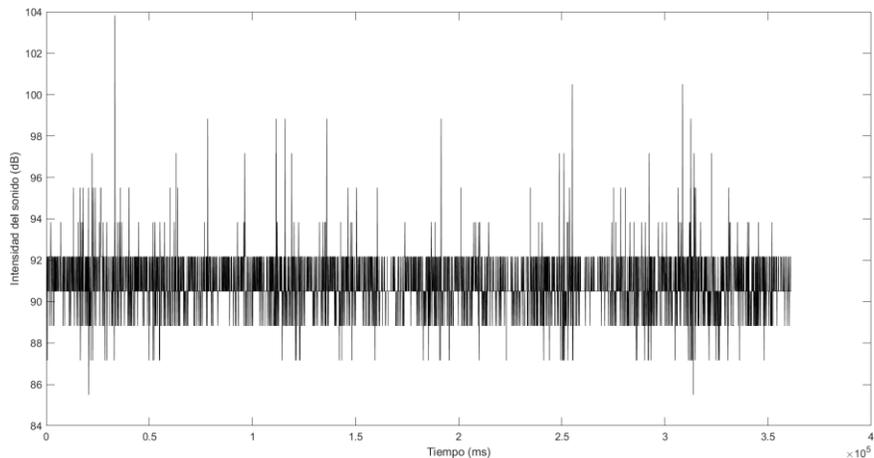
#### Prueba 8.3



Del mismo modo se establece en la figura 74 los valores obtenidos por el sensor del sonómetro colocado en la suspensión. Se aprecia que las variaciones de ruido mínimas y máximas son regulares, ya que presentan pequeños instantes de tiempo donde cambian de un valor bajo o alto y viceversa, en cuanto a los valores superior e inferior alcanzados fueron de 103,83 y 85,5 decibelios respectivamente.

### Figura 74

#### Prueba 8.4



### 3.7.2. Pruebas con el vehículo con desbalanceo y desalineado

Para este punto se procedió a desbalancear y desalinear el vehículo el cual se siguieron los siguientes pasos.

- Quitar en cada rueda los contrapesos colocados al inicio.
- Aflojar la tuerca de la dirección con las herramientas

Cabe señalar que se realiza este procedimiento para entender la importancia de la alineación y balanceo en el vehículo en lo que se refiere a la pisada del neumático y sus efectos en la generación del ruido y vibración.

#### Figura 75

*Extracción de contrapesos de las ruedas*



#### Figura 76

*Proceso de desalineación del vehículo*



Para la realización de las pruebas con el vehículo ya modificado sus parámetros de suspensión en el día 2, se tomó en cuenta de igual manera las condiciones atmosféricas, con el fin de asegurar resultados reales.

### Figura 77

*Condiciones climáticas de las pruebas con el vehículo del día 2*



#### 3.7.2.1. Ruta 1 y neumático A

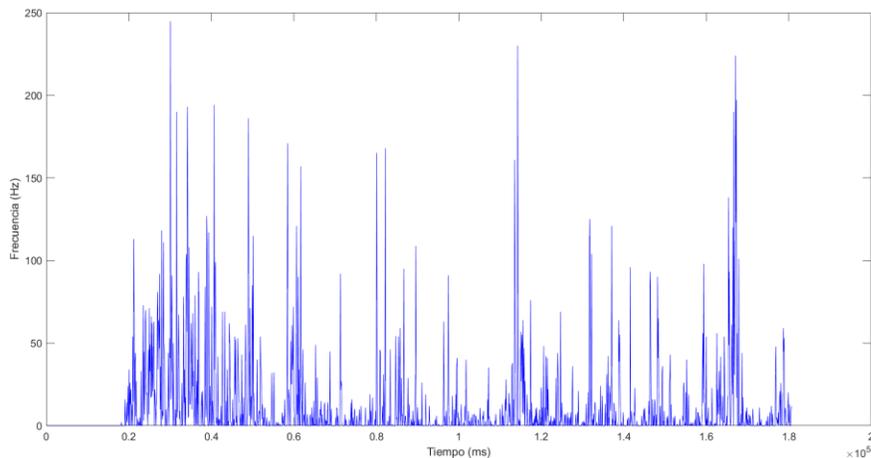
Como prueba inicial corresponde al pavimento con el neumático Goodyear.

##### 3.7.2.1.1. Vibración

En la figura 78 se indican valores obtenidos por el sensor del analizador de vibraciones colocado en el neumático. En la prueba realizada el instrumento de medición logró determinar un patrón irregular en el espectro de vibración debido a que los picos altos y bajos varían considerablemente, siendo el valor máximo alcanzado de 245 Hz y un valor mínimo de 1 Hz.

### Figura 78

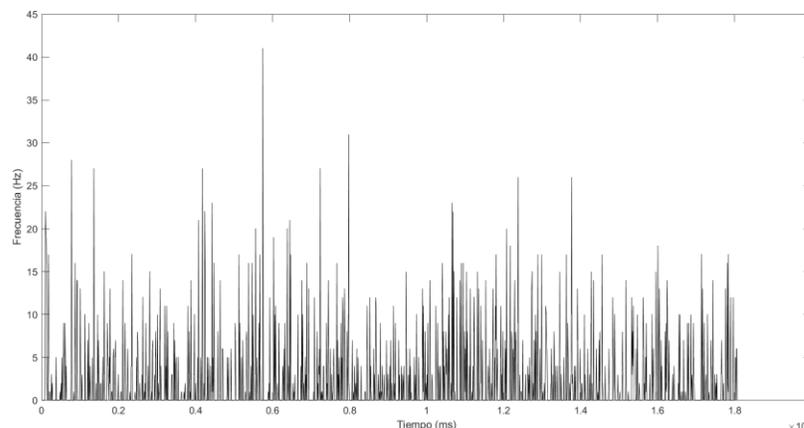
*Prueba 9.1*



De igual manera en la figura 79 se indica los valores obtenidos por el sensor del analizador de vibraciones colocado en la suspensión. Se aprecia que el espectro de vibración varía de forma irregular, estableciendo un valor máximo de 41 Hz y un mínimo de 1 Hz.

**Figura 79**

*Prueba 9.2*

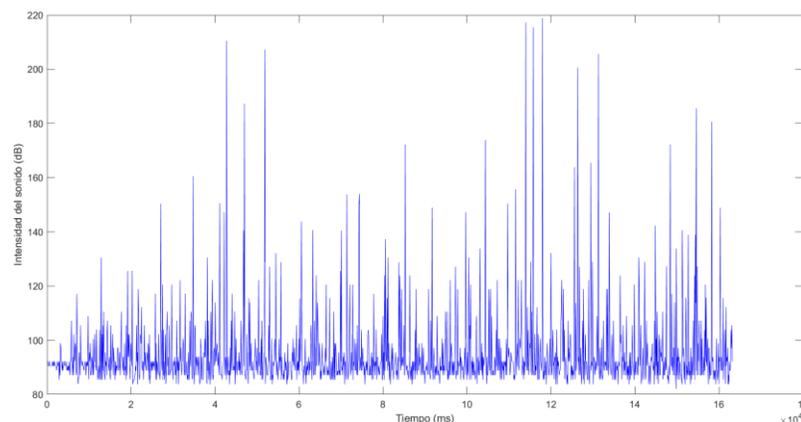


### 3.7.2.1.2. Ruido

En la figura 80 se presentan los valores obtenidos por el sensor del sonómetro colocado en el neumático. En la gráfica se observa como aparecen varios picos altos, siendo el máximo alcanzado de 218,83 decibelios indicando que a estos niveles ya presentan un peligro a la salud y confortabilidad, pero tal valor fue dado de manera instantánea, en cuanto al valor mínimo logrado fue 82,16 decibelios.

**Figura 80**

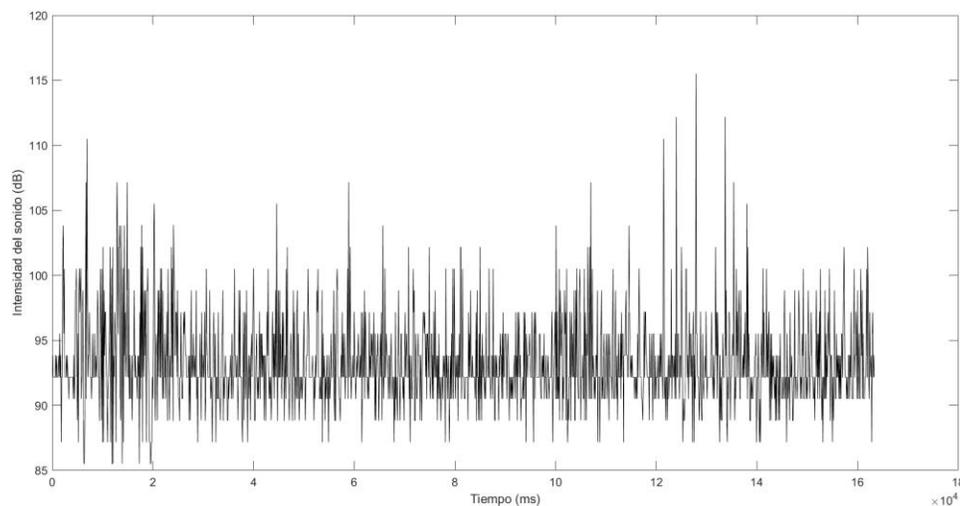
*Prueba 9.3*



Del mismo modo se establece en la figura 81 los valores obtenidos por el sensor del sonómetro colocado en la suspensión. Se aprecia que las variaciones de ruido mínimas y máximas son irregulares, en cuanto a los valores máximos y mínimos registrados fueron de 115,5 y 85,5 decibelios respectivamente.

### Figura 81

#### Prueba 9.4



Con estos datos iniciales se evidenció una gran variación de sonido y vibración con respecto al vehículo cuando estaba en óptimas condiciones.

#### 3.7.2.2. Ruta 2 y neumático A

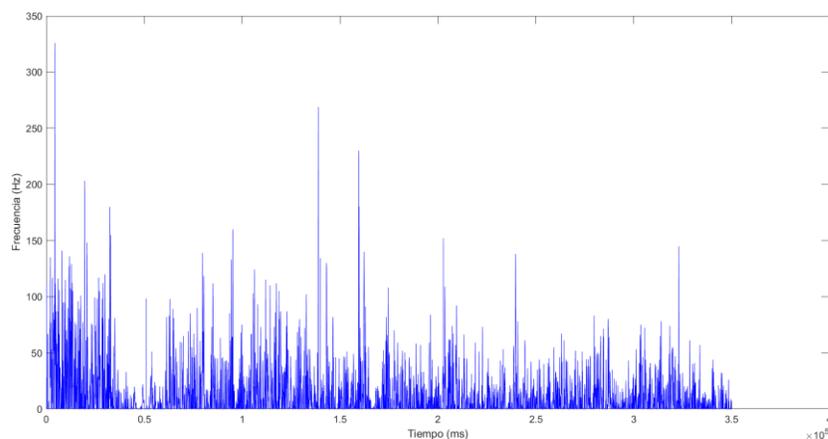
Como segunda prueba realizada corresponde al suelo natural con el neumático Goodyear.

##### 3.7.2.2.1. Vibración

En la figura 82 se registran los valores obtenidos por el sensor del analizador de vibraciones colocado en el neumático del vehículo. Al analizar e interpretar los valores adquiridos se evidenció que el valor máximo y mínimo son de 326 y 1 Hz respectivamente, indicando que los datos son instantáneos.

## Figura 82

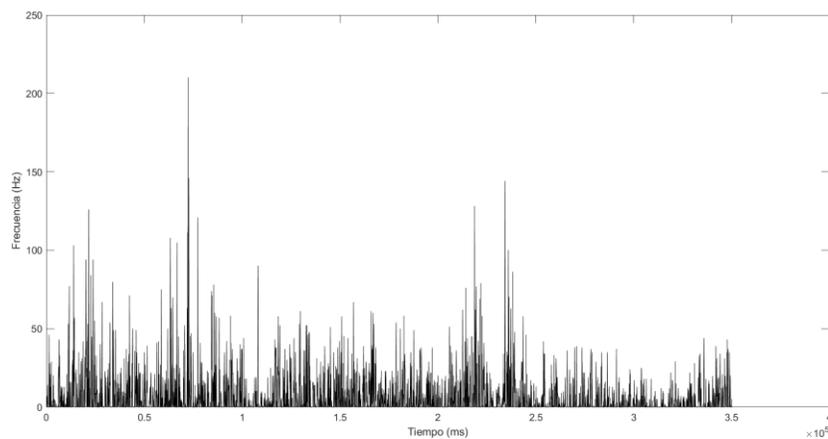
### Prueba 10.1



Continuando se tiene en la figura 83 los resultados obtenidos por el sensor del analizador de vibraciones colocado en la suspensión del vehículo. El valor máximo obtenido fue de 210 Hz y su mínimo de 1 Hz. Cabe señalar que el valor alto registrado se presentó de forma instantánea.

## Figura 83

### Prueba 10.2



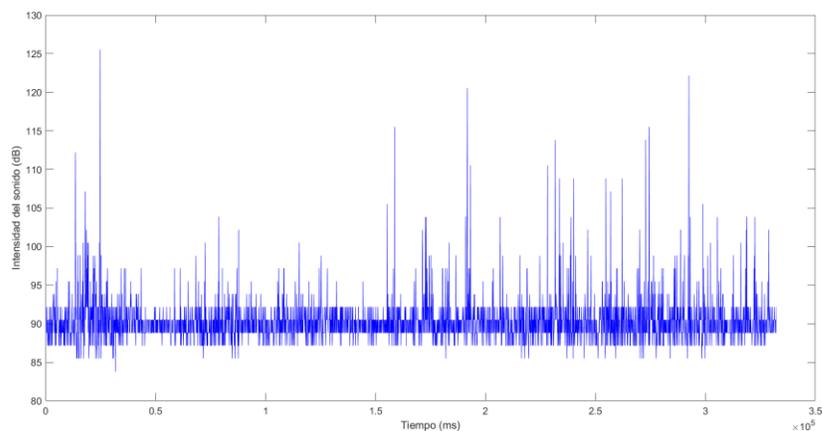
### 3.7.2.2.2. Ruido

La figura 84 representa los valores extraídos por el sensor del sonómetro colocado en el neumático del automóvil. De acuerdo con el espectro de sonido

presentado se estableció que el valor máximo registrado fue de 125,5 y un valor mínimo de 83,83 decibelios.

### Figura 84

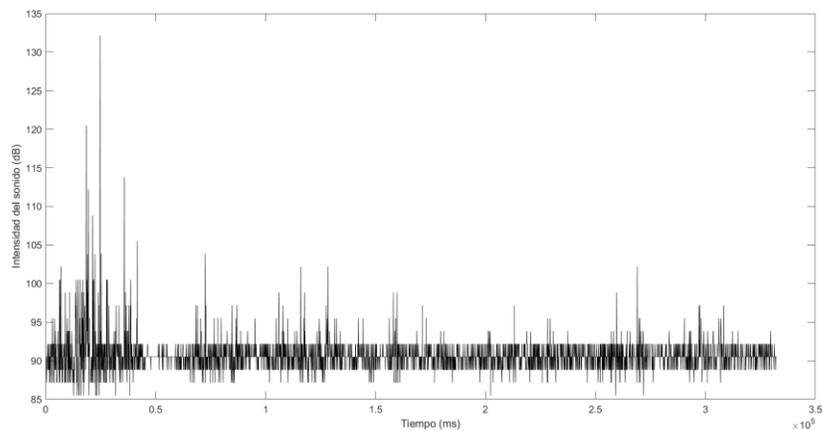
#### Prueba 10.3



En la figura 85 se establecen los valores obtenidos por el sensor del sonómetro colocado en la suspensión del automóvil. Se evidenció unos picos altos y bajos de 132,16 y 85,5 decibelios respectivamente.

### Figura 85

#### Prueba 10.4



### 3.7.2.3. Ruta 1 y neumático B

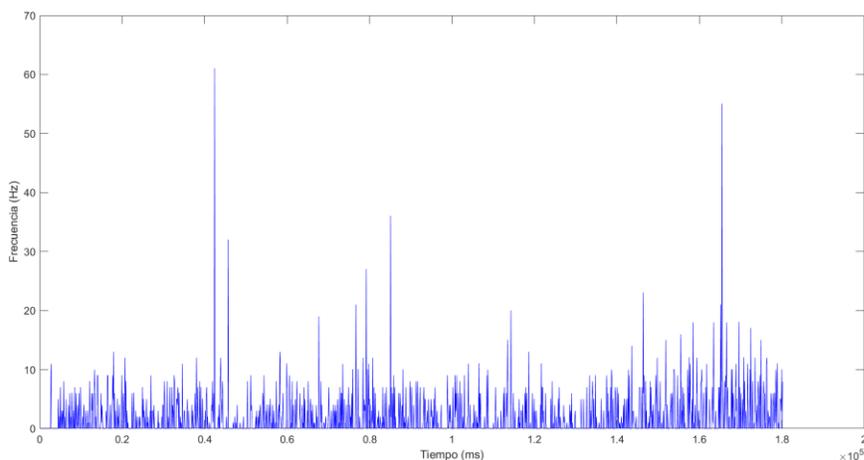
Como tercera prueba realizada corresponde al pavimento con el neumático Nexen.

### 3.7.2.3.1. Vibración

En la figura 86 se indican los valores obtenidos por el sensor del analizador de vibraciones colocado en el neumático del vehículo. En la prueba efectuada se determinó que los valores máximos y mínimos corresponden a 61 y 1 Hz, su curva presenta ligeros picos altos de vibración.

#### Figura 86

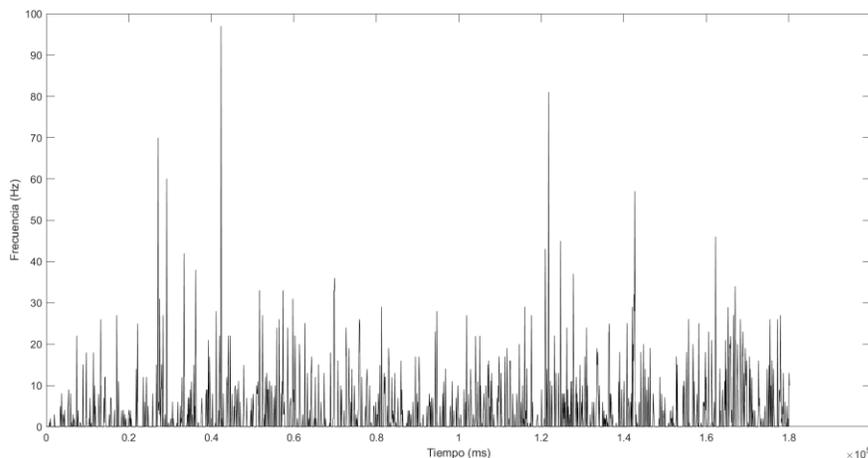
##### Prueba 11.1



En la figura 87 indican los valores obtenidos por el sensor del analizador de vibraciones colocado en la suspensión del vehículo. Al analizar los valores adquiridos se determinó un pico máximo de 97 Hz mientras que su valor mínimo de 1 Hz.

#### Figura 87

##### Prueba 11.2

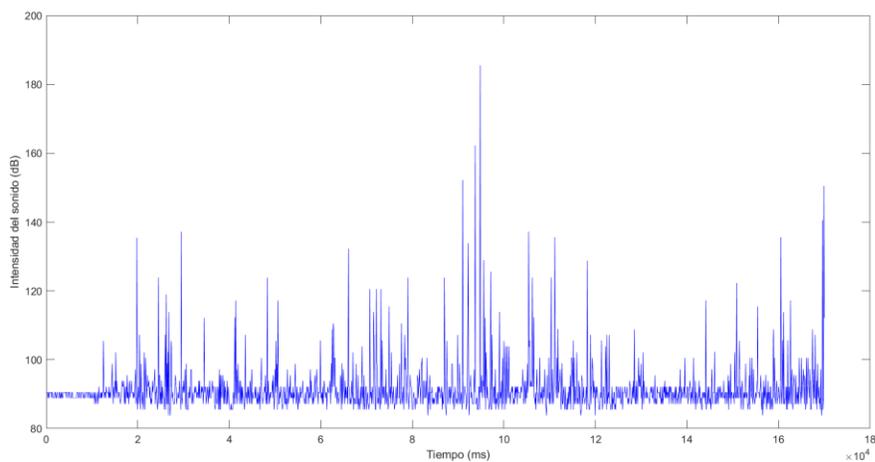


### 3.7.2.3.2. Ruido

En la figura 88 se indican los valores obtenidos por el sensor del sonómetro colocado en el neumático del automóvil. En la prueba realizada se determinó que el valor máximo alcanzado fue de 185,5 decibelios, un mínimo de 83,83 decibelios, tal valor máximo se produjo de forma instantánea y no representa peligros a la salud.

#### Figura 88

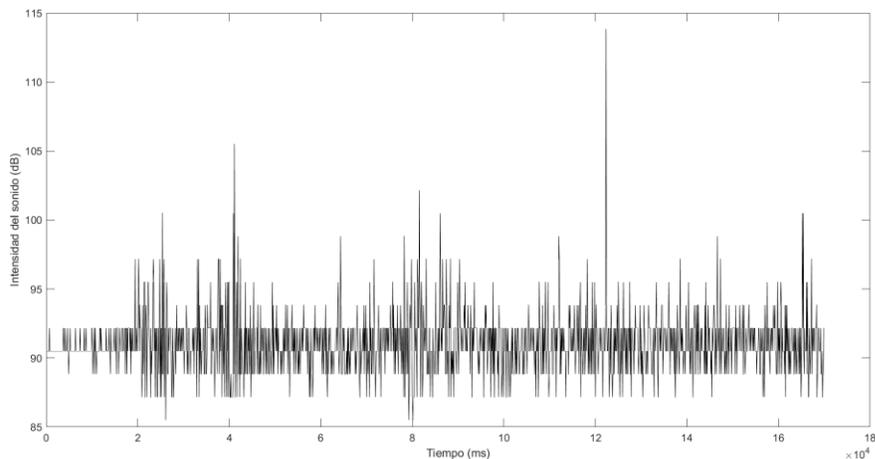
##### Prueba 11.3



De igual manera en la figura 89 se establecen los valores obtenidos por el sonómetro colocado en la suspensión.

#### Figura 89

##### Prueba 11.4



Se determinó que la variación del espectro tiene variaciones de picos altos y bajos, en cuanto al valor mínimo obtenido fue de 85,5 decibelios y su máximo de 113,83 decibelios, los mismos no presentan daños a la salud.

#### 3.7.2.4. Ruta 2 y neumático B

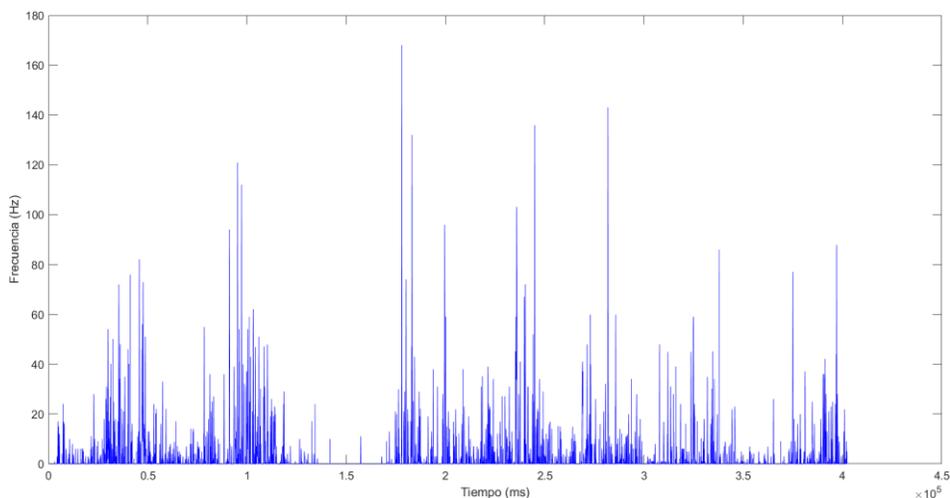
Como cuarta prueba corresponde al suelo natural con el neumático Nexen.

##### 3.7.2.4.1. Vibración

En la figura 90 se establecen los valores obtenidos por el sensor del analizador de vibraciones colocado en el neumático del vehículo. El valor máximo alcanzado al realizar la prueba fue de 168 Hz y el mínimo de 1 Hz.

#### Figura 90

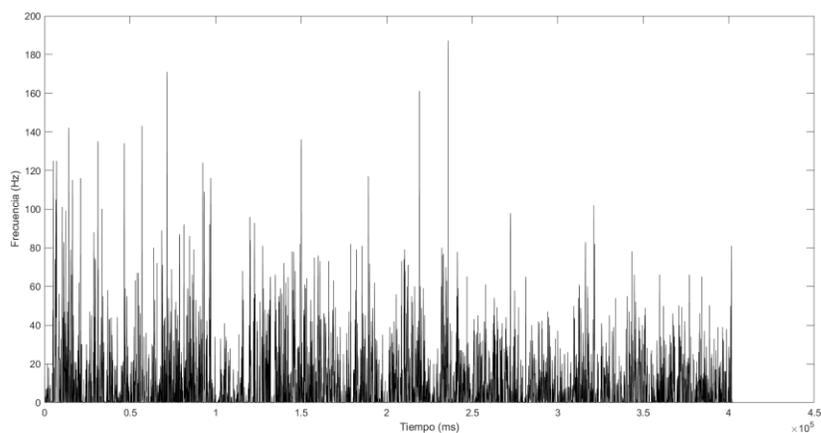
##### Prueba 12.1



En la figura 91 se determinan los valores obtenidos del analizador de vibraciones colocado en la suspensión del vehículo. El valor máximo alcanzado al realizar la prueba fue de 187 Hz y el mínimo de 1 Hz.

### Figura 91

Prueba 12.2

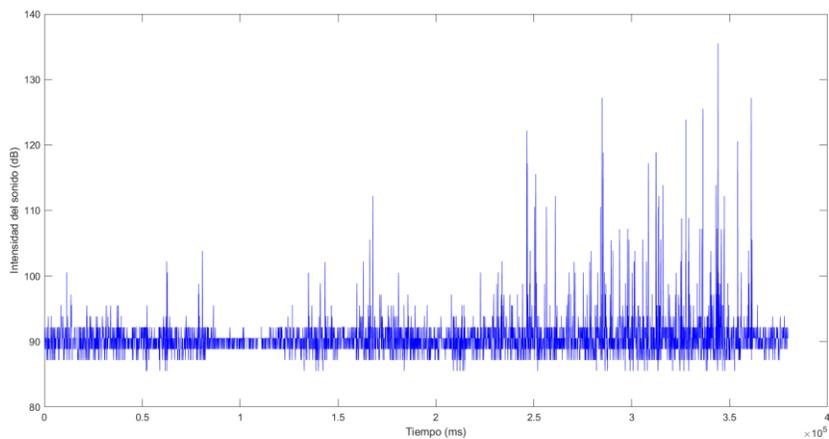


#### 3.7.2.4.2. Ruido

En la figura 92 se muestran valores obtenidos del sensor del sonómetro colocado en el neumático. Los valores adquiridos al realizar la prueba corresponden a un pico máximo de 135,5 decibelios y un mínimo de 85,5 decibelios.

### Figura 92

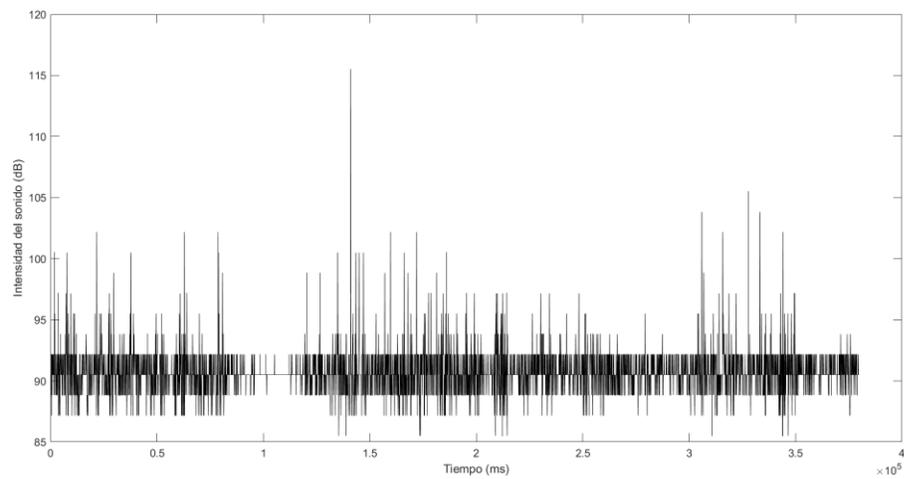
Prueba 12.3



De igual manera en la gráfica 93 se establecen los valores obtenidos del sensor del sonómetro colocado en la suspensión. El valor máximo alcanzado en la prueba realizada fue de 115,5 decibelios y el mínimo de 85,5 decibelios.

### Figura 93

#### Prueba 12.4



### 3.7.2.5. Ruta 1 y neumático C

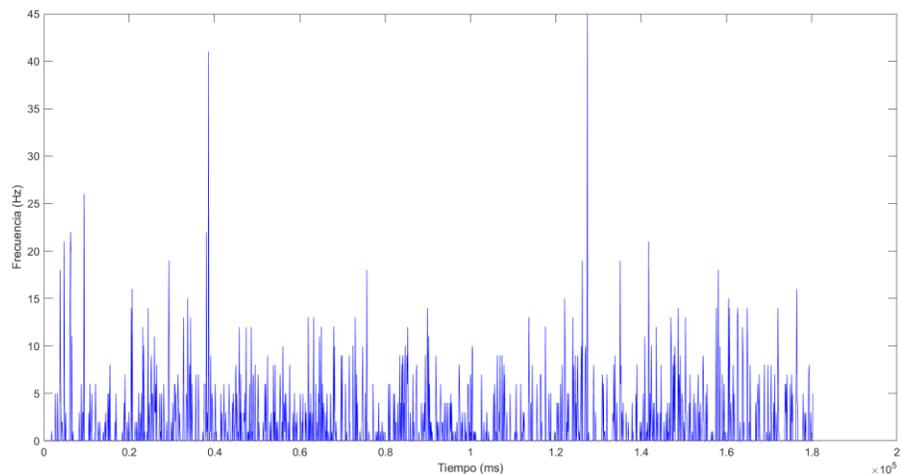
Como quinta prueba corresponde al pavimento con el neumático Sonar.

#### 3.7.2.5.1. Vibración

En la figura 94 se indica los valores obtenidos por el sensor del analizador de vibraciones colocado en el neumático del vehículo. En los resultados obtenidos se determinó que el valor máximo alcanzado fue 45 Hz y el mínimo de 1 Hz.

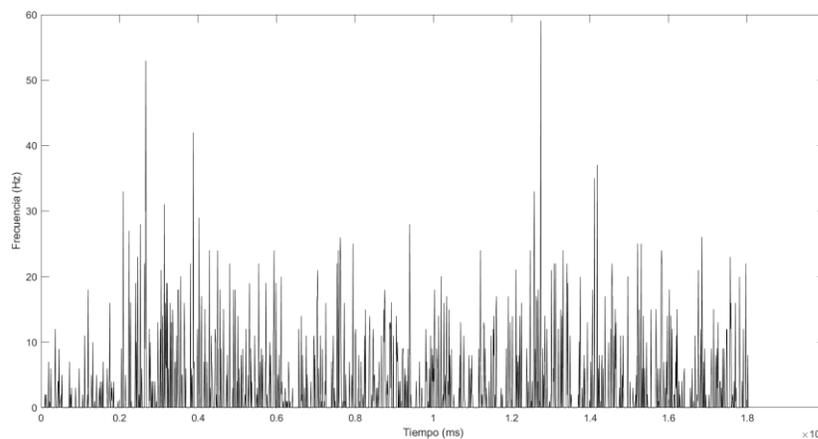
### Figura 94

#### Prueba 13.1



En la figura 95 se determinaron los valores adquiridos por el sensor del analizador de vibraciones colocado en la suspensión del vehículo. En la prueba realizada se estableció que el valor máximo alcanzado fue de 59 Hz y un mínimo de 1 Hz.

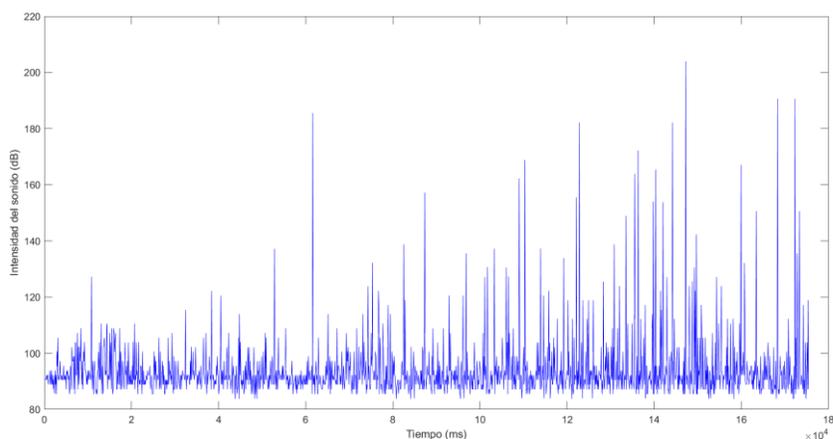
**Figura 95**  
*Prueba 13.2*



### 3.7.2.5.2. *Ruido*

En la gráfica 96 se indican los valores obtenidos por el sensor del sonómetro colocado en el neumático del vehículo. El espectro de sonido generado presenta variaciones altas y bajas en instantes de tiempo cortos, donde como pico máximo se tiene de 203,83 y un mínimo de 83,83 decibelios.

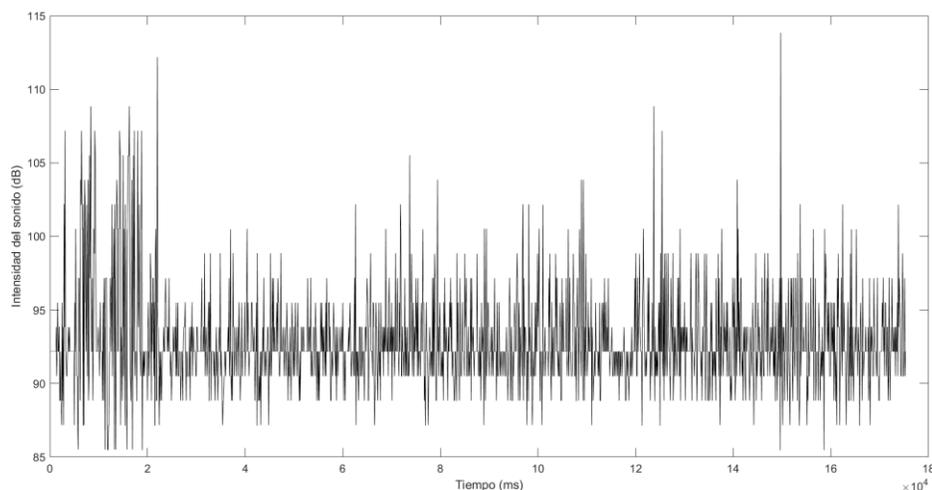
**Figura 96**  
*Prueba 13.3*



Con respecto a la suspensión, en la figura 97 se muestran los resultados obtenidos por el sensor del sonómetro colocado en la suspensión del vehículo.

### Figura 97

#### Prueba 13.4



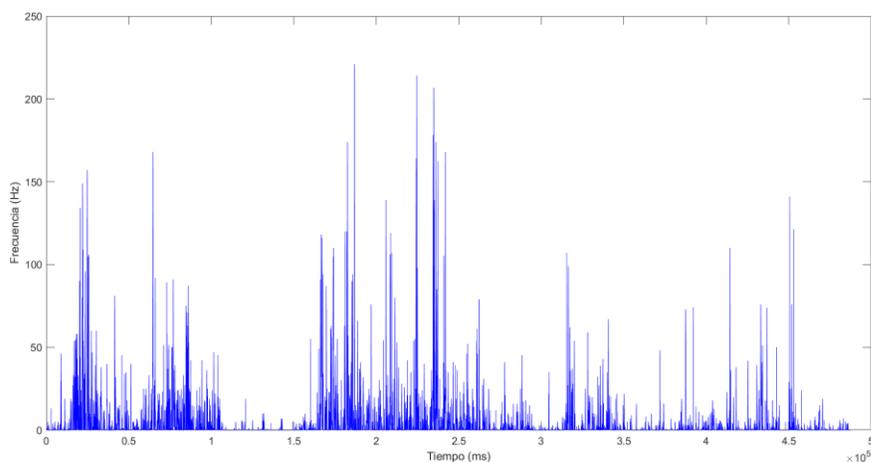
Se aprecia que las variaciones entre datos máximos y mínimos presentados en el espectro de sonido son más uniformes a diferencia de la figura anterior, en cuanto al pico máximo y mínimo alcanzado fue de 113,83 y 85,5 decibelios respectivamente.

#### 3.7.2.6. Ruta 2 y neumático C

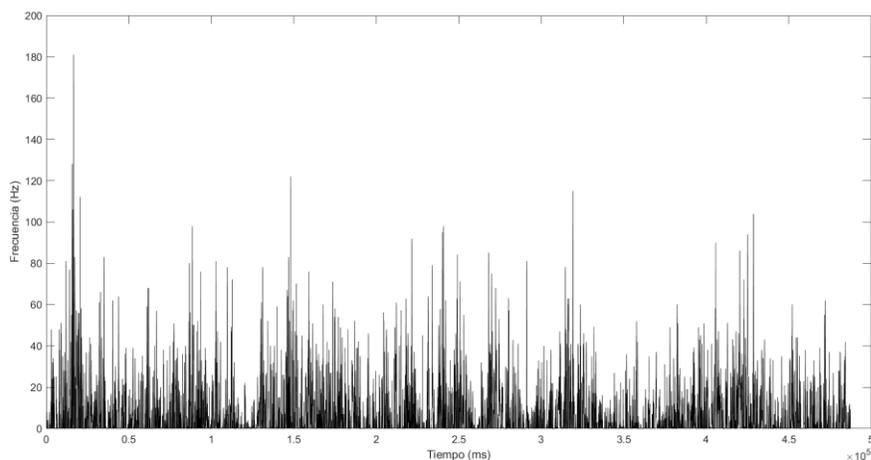
Como sexta prueba realizada corresponde al suelo natural con el neumático Sonar.

##### 3.7.2.6.1. Vibración

En la figura 98 se establecen los valores obtenidos por el sensor del analizador de vibraciones colocado en el neumático del vehículo. El espectro de vibración generado presenta significativas variaciones entre altas y bajas, donde como pico máximo se tiene de 221 Hz y un mínimo de 1 Hz.

**Figura 98***Prueba 14.1*

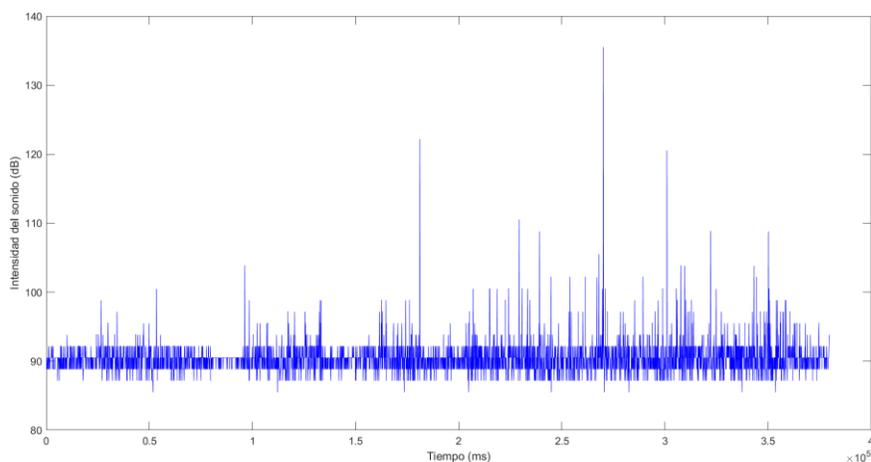
De igual manera en la figura 99 se indican los valores obtenidos por el sensor del analizador de vibraciones colocado en la suspensión. Se determinó que el valor máximo alcanzado fue de 181 Hz y mínimo de 1 Hz.

**Figura 99***Prueba 14.2***3.7.2.6.2. Ruido**

Los resultados obtenidos por el sensor del sonómetro colocado en el neumático se indican en la figura 100. En la prueba realizada se determinó que el valor máximo alcanzado fue de 135,5 decibelios y un mínimo de 85,5 decibelios.

### Figura 100

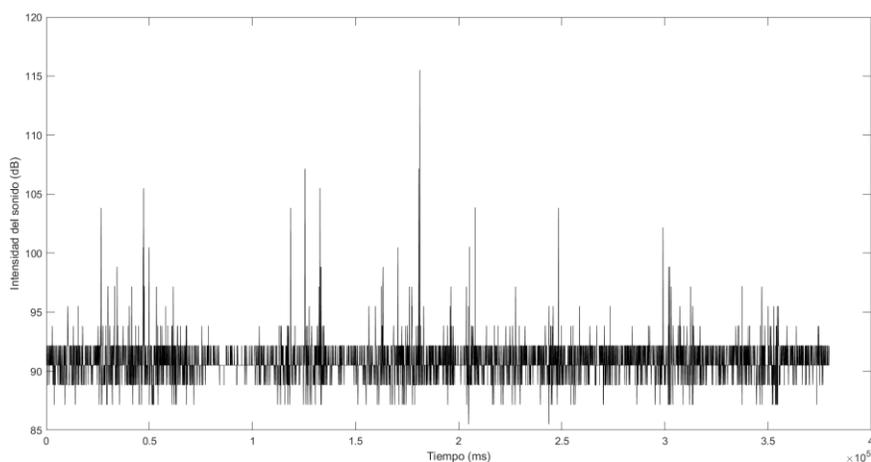
#### Prueba 14.3



De igual manera en la figura 101 se representan los valores obtenidos por el sensor del sonómetro colocado en la suspensión del vehículo. El espectro de sonido generado presenta pocas variaciones entre datos altos y bajos en instantes de tiempo, donde como pico máximo se tiene de 115,5 y un mínimo de 85,5 decibelios.

### Figura 101

#### Prueba 14.4



#### 3.7.2.7. Ruta 1 y neumático D

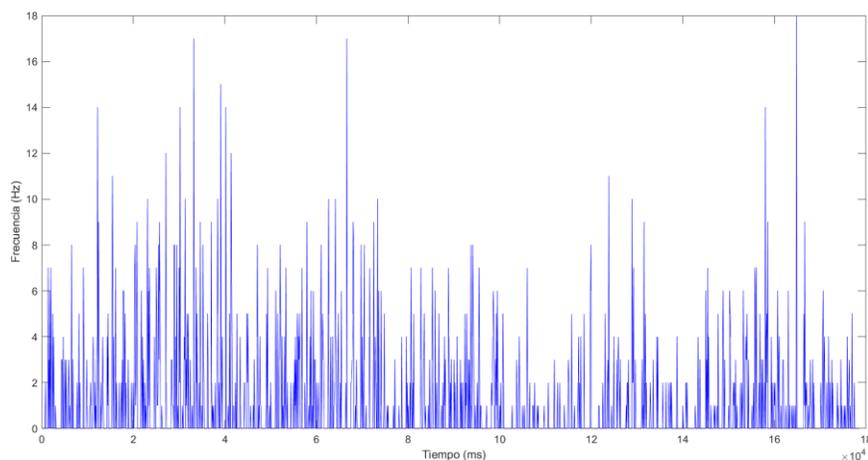
Como séptima prueba realizada corresponde al pavimento con el neumático Anchee.

### 3.7.2.7.1. Vibración

En la figura 102 se indican los valores obtenidos por el sensor del analizador de vibraciones colocado en el neumático. Se evidenció que las variaciones de valores altos y bajos son similares y se tiene que como valor máximo de 18 Hz y mínimo encontrado de 1 Hz.

#### Figura 102

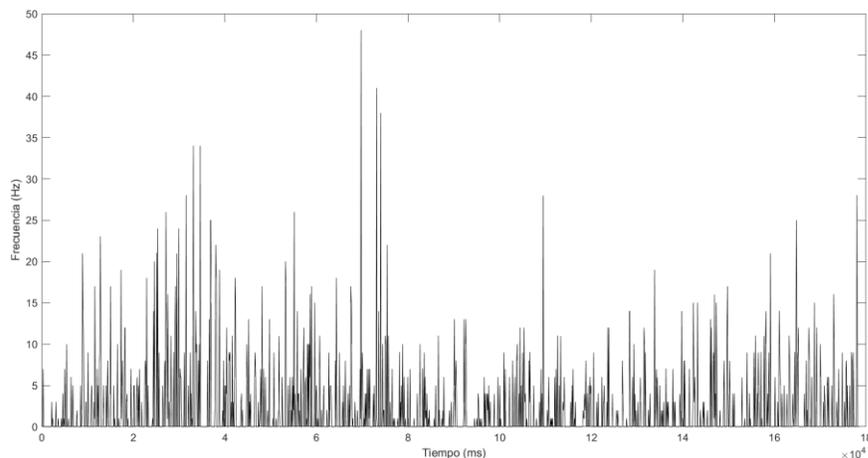
Prueba 15.1



Para la suspensión se tiene que los resultados obtenidos por el sensor del analizador de vibraciones lo cual se representa en la figura 103. En los resultados obtenidos se determinó que el valor máximo alcanzado fue 48 Hz y el mínimo de 1.

#### Figura 103

Prueba 15.2

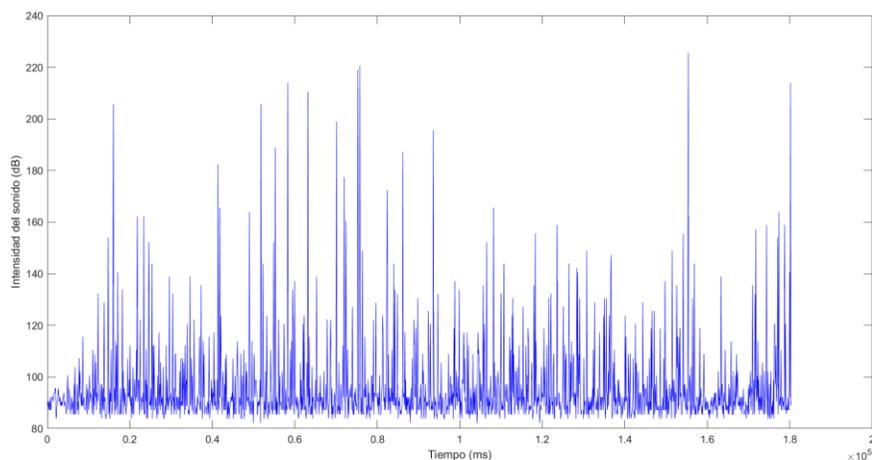


### 3.7.2.7.2. Ruido

Con respecto al ruido, en la figura 104 se muestran los resultados obtenidos por el sensor del sonómetro colocado en el neumático del vehículo. En la prueba realizada se determinó que el valor máximo alcanzado fue de 225,5 decibelios y un mínimo de 82,16 decibelios.

#### Figura 104

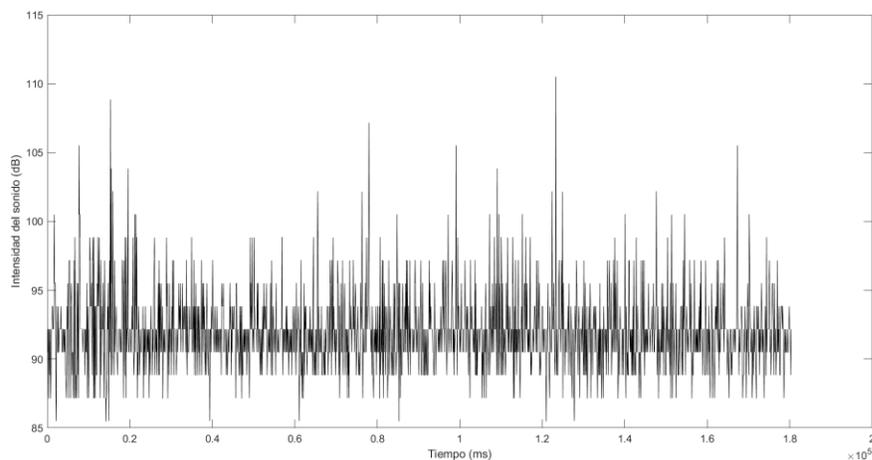
Prueba 15.3



De igual forma en la figura 105 se indican los valores obtenidos por el sensor del sonómetro colocado en la suspensión.

#### Figura 105

Prueba 15.4



El espectro de sonido generado tuvo un valor máximo de 110,5 y un mínimo de 85,5 decibelios.

### 3.7.2.8. Ruta 2 y neumático D

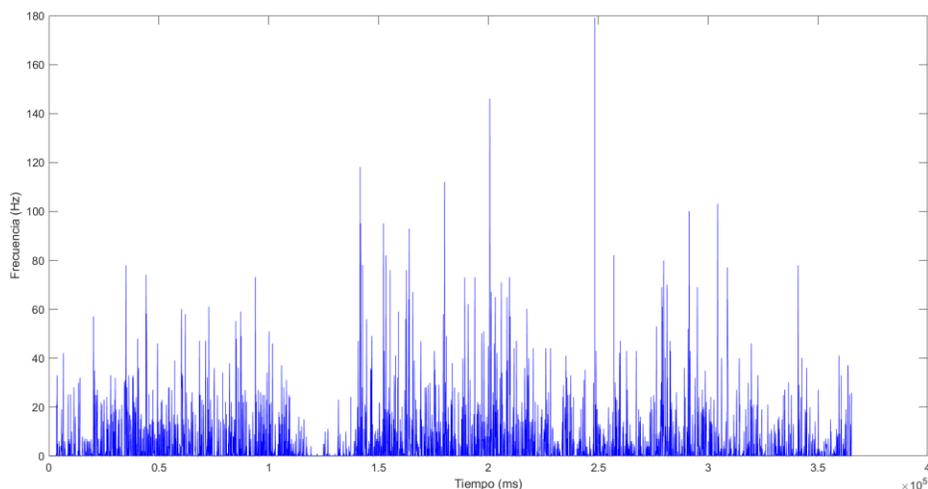
Para terminar, se tiene la prueba realizada en el suelo natural con el neumático Anchee.

#### 3.7.2.8.1. Vibración

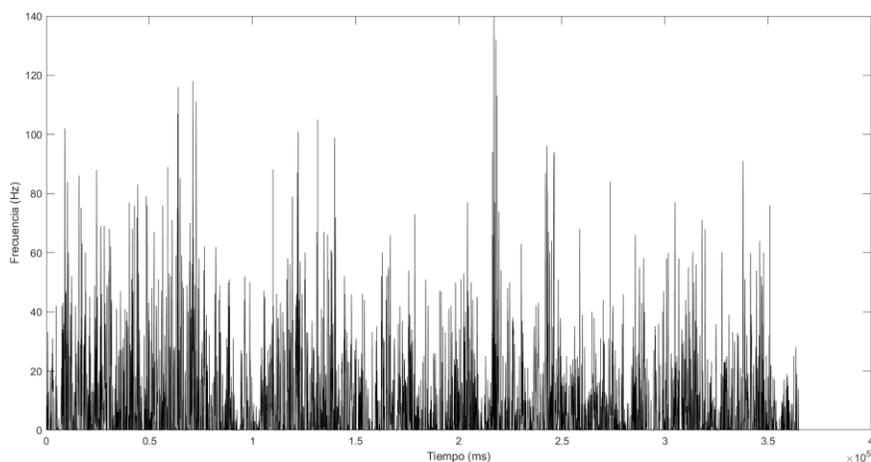
En la figura 106 se presentan los resultados obtenidos por el sensor del analizador de vibraciones colocado en el neumático del vehículo. En la prueba realizada se determinó un patrón irregular en el espectro de vibración debido a que los picos altos y bajos varían considerablemente, siendo el valor máximo alcanzado de 179 Hz y un valor mínimo de 1 Hz.

### Figura 106

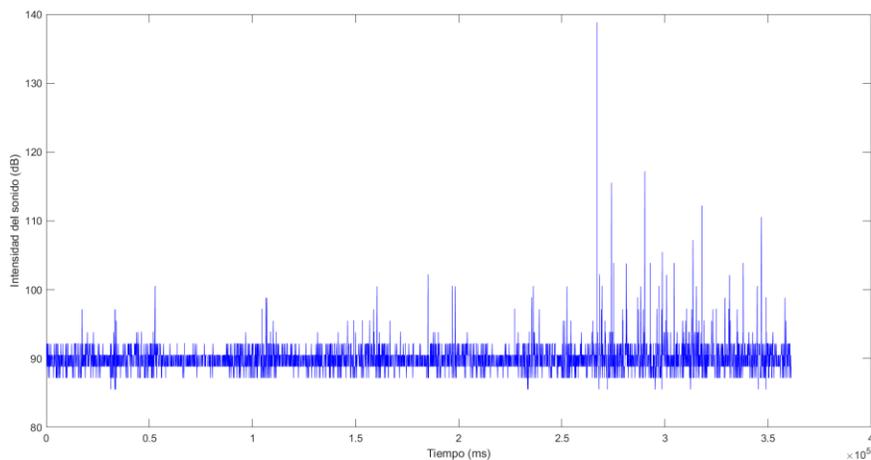
#### Prueba 16.1



De igual manera en la figura 107 se indica los valores obtenidos por el sensor del analizador de vibraciones colocado en la suspensión. Se aprecia que el espectro de vibración varía de forma considerable, estableciendo un valor máximo de 140 Hz y un mínimo de 1 Hz.

**Figura 107***Prueba 16.2***3.7.2.8.2. Ruido**

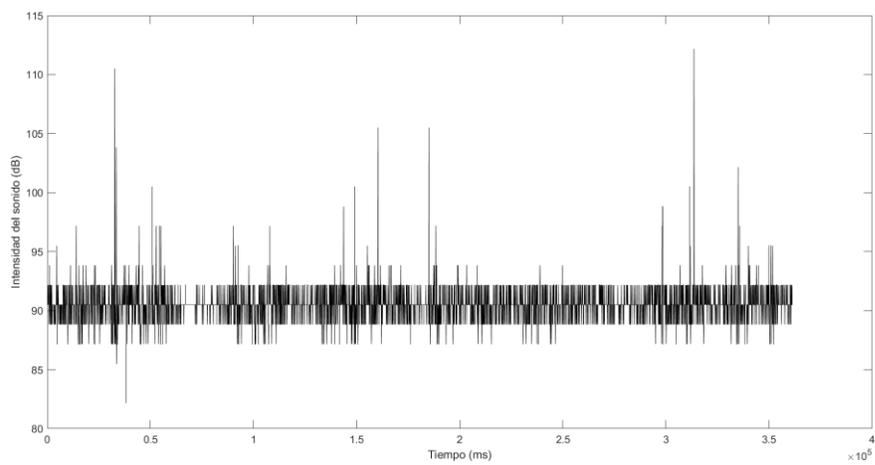
En la figura 108 se representan los valores obtenidos por el sensor del sonómetro colocado en el neumático. En la figura se determinaron como aparecen pocos picos altos, siendo el valor máximo 138,83 decibelios y en cuanto al valor mínimo logrado fue 85,5 decibelios, tales valores registrados evidencian la importancia de las geometrías de la suspensión de un vehículo como la alineación y balanceo.

**Figura 108***Prueba 16.3*

Del mismo modo se establece en la figura 109 los valores obtenidos por el sensor del sonómetro colocado en la suspensión. Se evidenció que las variaciones de ruido mínimas y máximas son similares haciendo excepción en determinados tiempos, ya que incrementa su valor en un instante de tiempo, en cuanto a los valores superior e inferior alcanzados fueron de 112,16 y 82,16 decibelios respectivamente.

### Figura 109

#### Prueba 16.4



## Capítulo IV

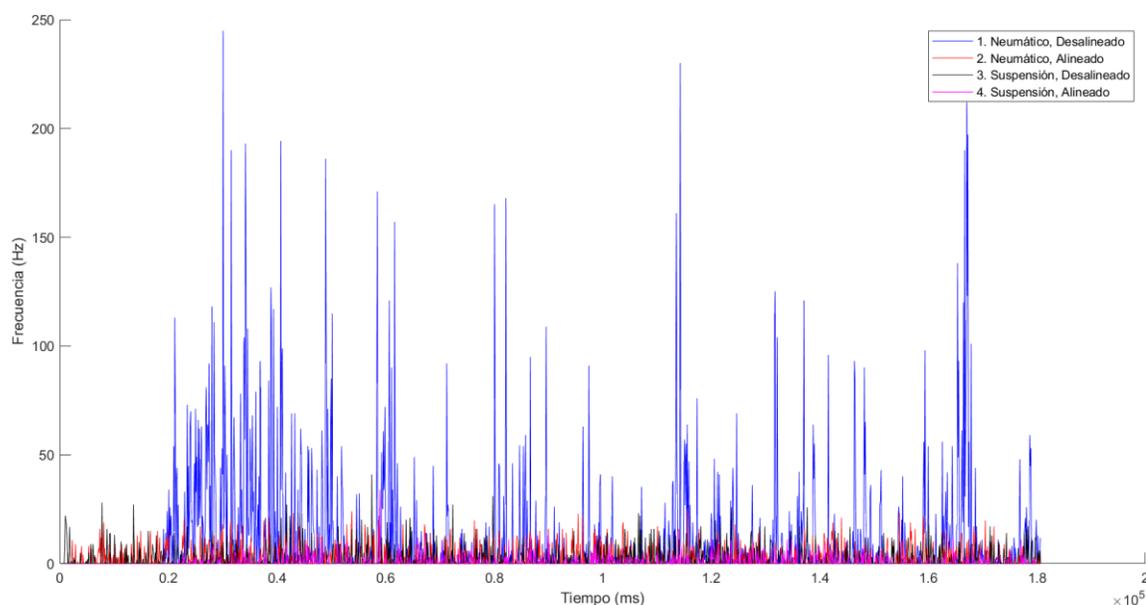
### 4. Resultados de la investigación

#### 4.1. Neumático Goodyear

Como primer punto de análisis se consideró al pavimento, por lo que en la figura 110 se indican todos los ensayos realizados con respecto al neumático y tipo de superficie de la ciudad de Latacunga.

#### Figura 110

*Comparación de los espectros de vibración del neumático Goodyear*



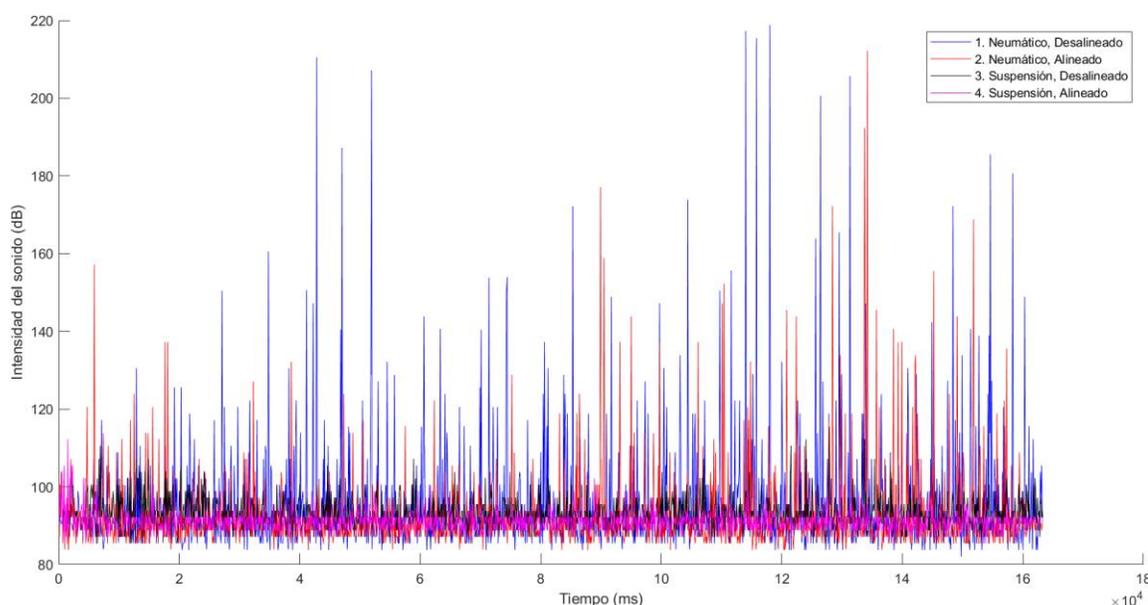
Los espectros de ruido presentados en la figura muestran que para cada situación planteada existieron variaciones en los valores máximos en instantes de tiempo, estableciéndose que para el espectro 1 correspondiente al ensayo ejecutado con el neumático desalineado y desbalanceado, sus valores son muy elevados y no uniformes. Al proceder a realizar los ajustes y correcciones necesarios como se aprecia en el espectro 2 correspondientes al mismo ensayo, se estableció un resultado muy diferente y evidenciable, ya que pasa de un valor máximo alcanzado de 245 Hz a uno de 25 Hz. En cuanto a los espectros 3 y 4 correspondientes a la suspensión, se presentó una ligera alteración de sus valores cuando se realizó el ensayo con el vehículo en una situación provocada y cuando se realizó óptimas condiciones porque sus valores respectivos máximos son de 41 y 34 Hz.

Los valores obtenidos anteriores fueron incitados por varias situaciones y parámetros establecidos en capítulos pasados, dentro de los más importantes son la velocidad, ya que se realizó a 70 km/h y también al estado de conservación del neumático puesto que el mismo tenía en un desgaste medio por lo que la banda de rodadura no se encontraba de manera uniforme y era propensa a generar vibraciones.

Para complementar a continuación se presenta en la figura 111 la información recopilada y establecida para el ruido generado en cada situación.

### Figura 111

*Comparación de los espectros de sonido del neumático Goodyear*



Los espectros de sonido denotados en la figura presentan comportamientos similares, determinando que para el espectro 1 correspondiente al ensayo realizado en el vehículo cuando se encontraba en una situación provocada y el espectro 2 cuando el mismo estaba en óptimas condiciones, señalando que sus valores máximos corresponden a 218,13 y 212,16 decibelios respectivamente en instantes cortos de tiempo.

En referencia a los espectros 3 y 4 correspondientes a la suspensión, no presentan cambios significativos y se presentó una ligera alteración de sus valores cuando se realizó el ensayo con el vehículo tanto para una situación provocada como

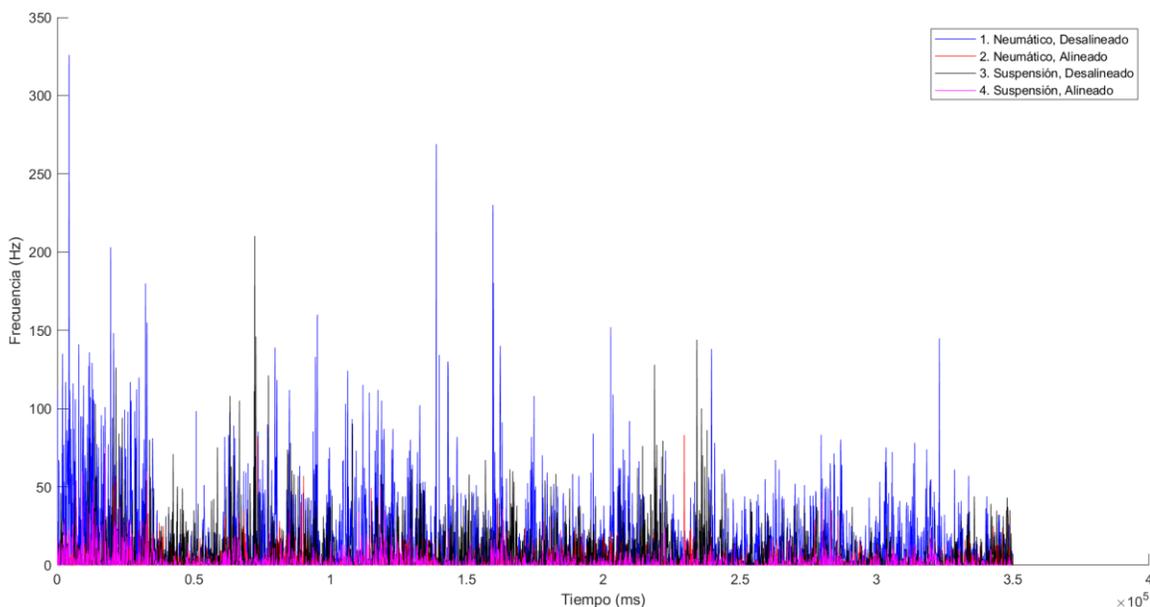
para óptimas condiciones, en donde sus valores respectivos máximos son de 115,5 y 112,16 decibelios de forma instantánea.

Al analizar los espectros y entender su forma, se determinó que el vehículo cuando se encuentra desalineado y desbalanceado es más propenso a generar problemas a la salud auditiva, ya que presentan valores superiores a 150 decibelios.

Para el siguiente análisis se tiene al suelo natural de la ciudad de Latacunga, en donde en la figura 112 se dispone de los datos obtenidos de la vibración.

### Figura 112

*Comparación de los espectros de vibración del neumático Goodyear*



Al efectuar el análisis de cada espectro y su comportamiento, se tiene que el vehículo llegó a generar más vibraciones cuando se encuentra desalineado y desbalanceado en referencia a los neumáticos, ya que su valor máximo alcanzado fue de 326 Hz, de igual forma sus valores promedios se encuentran por encima de los 100 Hz, por lo que se determinó que afectó de manera negativa a la cadena cinemática. En cuanto a los demás ensayos realizados se observan niveles bajos, donde para el espectro 2 de la figura se obtiene como valor máximo de 83 Hz.

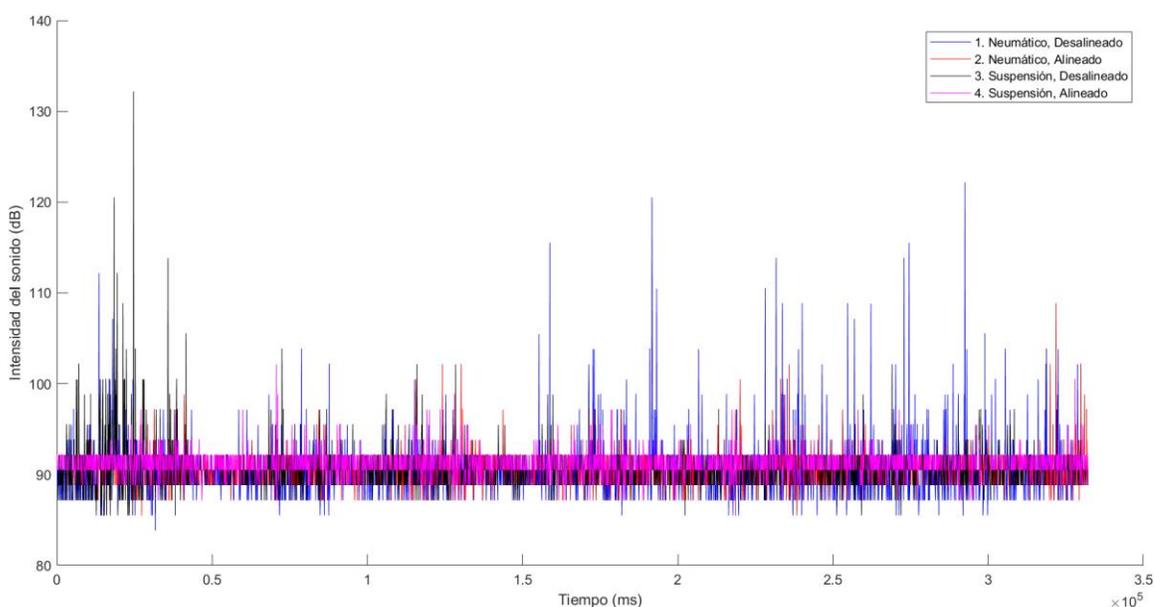
Continuando se tiene que para los espectros 3 y 4 correspondientes a la suspensión presentaron variaciones considerables en sus valores al realizar el ensayo

con el vehículo en una situación provocada y en óptimas condiciones, pues sus valores respectivos máximos variaron de 210 y 75 Hz, pero aun así tales datos máximos son relativamente bajos a comparación del espectro 1. En tal virtud y en comparación con la figura 111, el suelo natural es más propenso a generar más vibraciones, esto es debido a la superficie del terreno, ya que es más irregular.

En complemento con la situación anterior se presenta en la figura 113 la información adquirida para el ruido.

### Figura 113

*Comparación de los espectros de sonido del neumático Goodyear*



El comportamiento de los espectros observados en la figura se entiende que, la suspensión y los neumáticos con el vehículo desalineado y desbalanceado produjeron una mayor cantidad de ruido debido a que estos alcanzaron valores máximos de 132,16 y 125,5 decibelios,

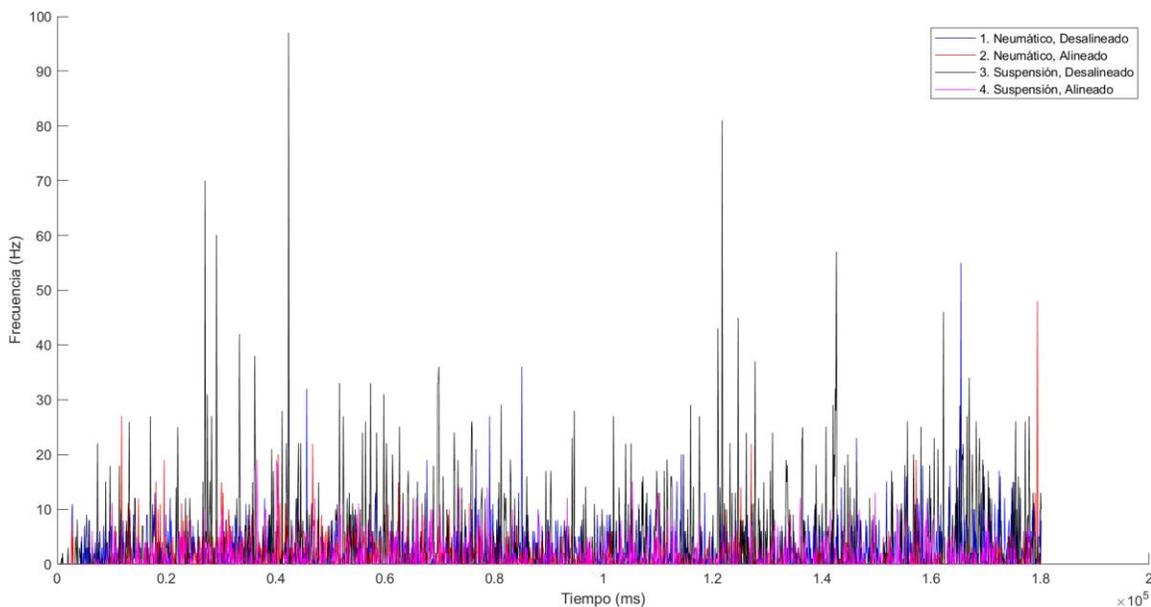
En cuanto al realizar los mismos ensayos con el vehículo en óptimas condiciones se obtuvieron valores los cuales son más bajos que los primeros, es ahí donde se estableció la importancia de los ángulos de la suspensión en lo referente a la pisada del neumático.

## 4.2. Neumático Nexen

Continuando con el análisis, en la figura 114 se indican todos los ensayos realizados con respecto al neumático y al pavimento como tipo de superficie de la ciudad de Latacunga.

### Figura 114

*Comparación de los espectros de vibración del neumático Nexen*



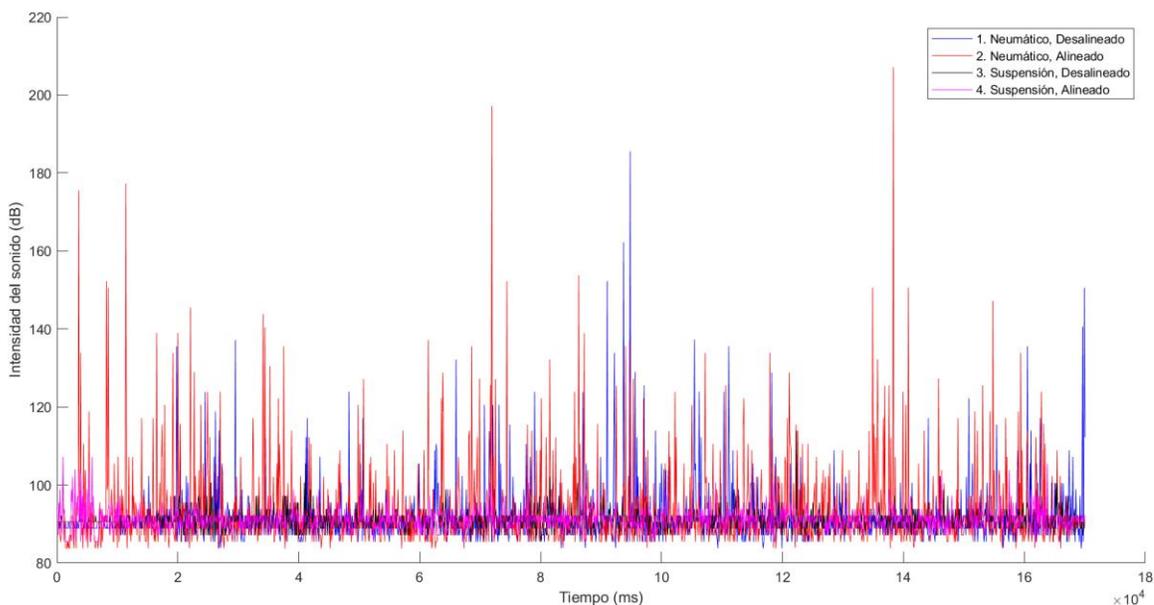
Los espectros de ruido establecidos en la figura indican que para cada ensayo designado existieron variaciones en los valores máximos en instantes de tiempo, estableciéndose que el espectro con valores máximos alcanzados es el 3, el cual corresponde a la suspensión cuando se realizó el ensayo con el vehículo inducido con un valor de 97 Hz, en donde también se observó un comportamiento no uniforme.

En cuanto al espectro con un comportamiento más estable es el 2, el cual corresponde al ensayo realizado con los neumáticos cuando el vehículo se encuentra en óptimas condiciones, indicando además que sus valores son más inferiores a los demás. En adición se puede decir que, en comparación con el neumático anterior analizado, los valores alcanzados son más bajos, esto se debería a parámetros como el estado de conservación, el cual no se encontraba desgastado y por ende su banda de rodadura se encontraba de manera uniforme y no era propensa a generar vibraciones

Para complementar con la gráfica anterior, en la figura 115 se presenta la información recopilada y establecida para el ruido generado en cada situación.

### Figura 115

*Comparación de los espectros de sonido del neumático Nexen*

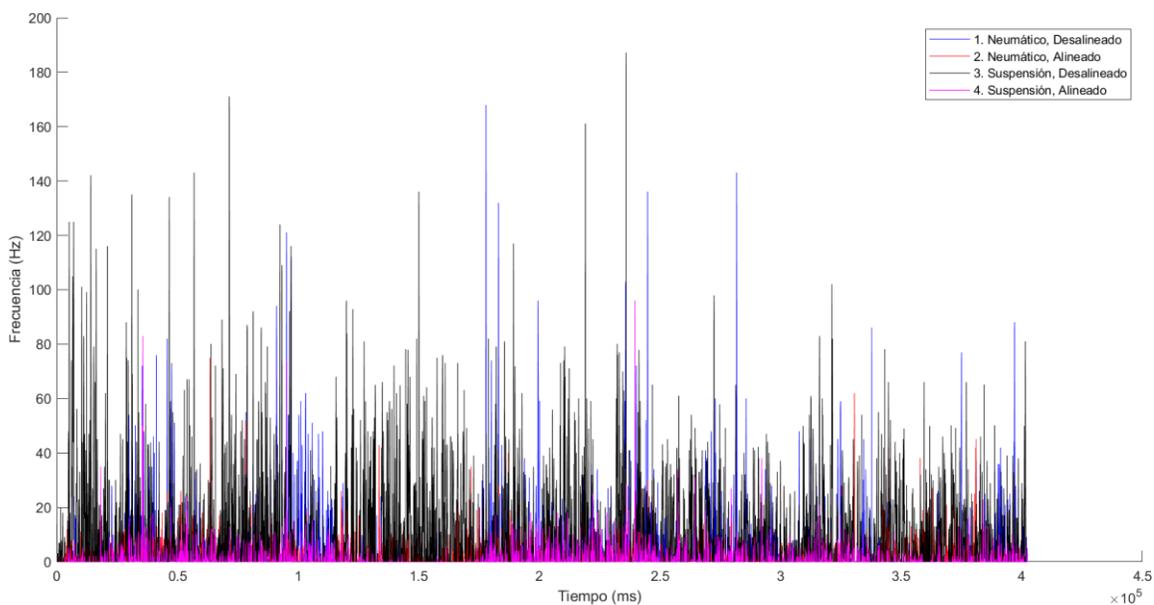


Los espectros de sonido indicados en la figura tienen una gran variación uno con respecto a otro, indicando también que presentan picos máximos en cortos lapsos de tiempo, de manera específica se tiene que el espectro 2 correspondientes a la prueba efectuada en los neumáticos cuando el vehículo se encuentra en óptimas condiciones, donde se alcanzaron valores altos como 207, 195 y 175 decibelios; los valores se produjeron de manera instantánea y no repetitiva a causa de factores externos como baches en la vía. Los espectros 3 y 4, fueron los valores con intensidades de sonido relativamente bajas a comparación de los dos primeros, además presentaron una ligera alteración de sus valores cuando se realizó el ensayo en ambas condiciones del vehículo planteadas donde se obtuvieron valores máximos de 113,83 y 107,16 decibelios de forma instantánea.

Para el siguiente análisis se tiene al suelo natural de la ciudad de Latacunga, en donde en la figura 116 se dispone de los datos obtenidos de la vibración.

**Figura 116**

*Comparación de los espectros de vibración del neumático Nexen*



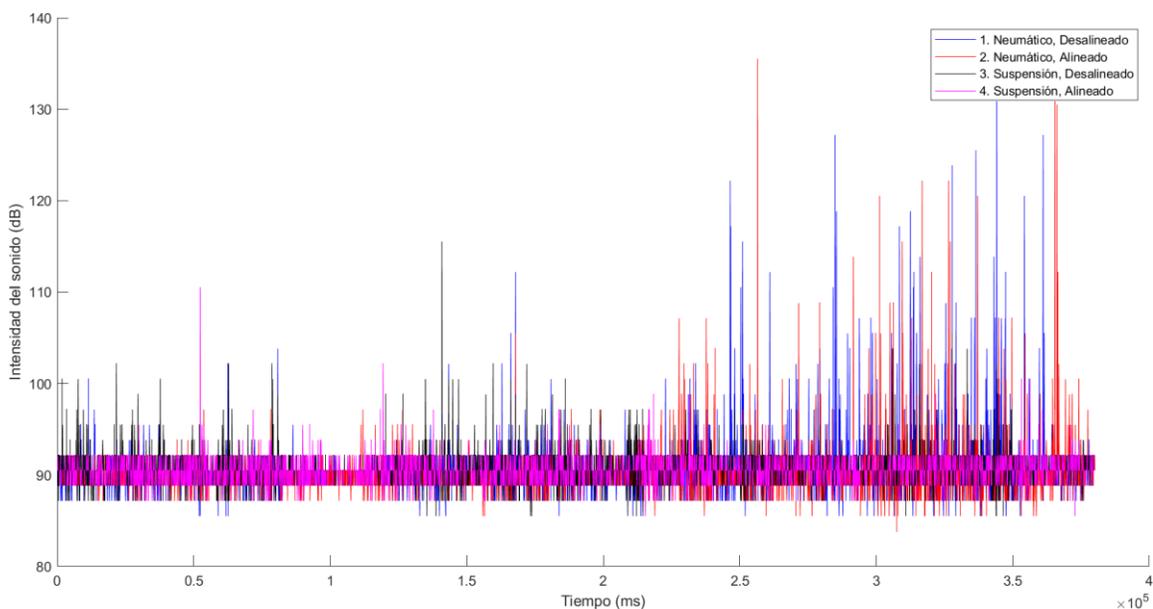
Al realizar el análisis de cada espectro y su comportamiento se tiene que el vehículo llegó a generar más vibraciones cuando se encuentra desalineado y desbalanceado en referencia a la suspensión y los neumáticos, ya que sus valores máximos alcanzados fueron de 187 y 168 Hz, de igual forma sus valores promedios se encuentran por encima de los 100 Hz.

En cuanto a los ensayos restantes realizados se observaron niveles bajos, donde para el espectro 2 de la figura se obtuvo como valor máximo de 75 Hz y para el espectro 4 correspondientes a la suspensión cuando el vehículo se encuentra en óptimas condiciones, en donde se presentaron variaciones considerables con un valor máximo alcanzado de 96 Hz.

En la figura 117 se estableció la información adquirida para el ruido y siendo complemento de la situación presentada anteriormente.

**Figura 117**

*Comparación de los espectros de sonido del neumático Nexen*



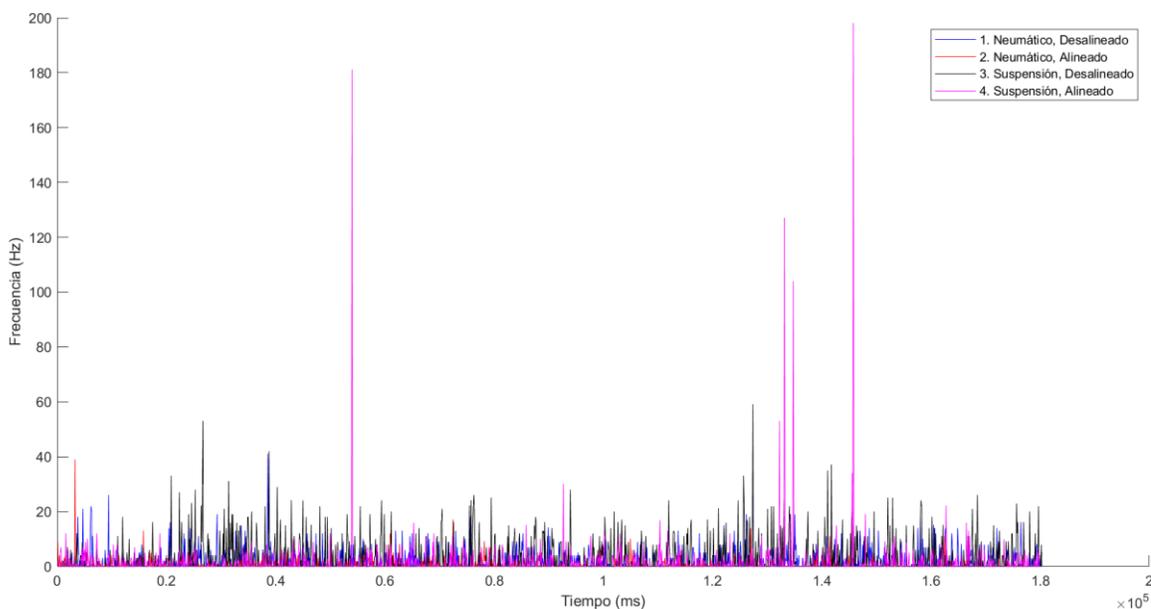
El comportamiento de los espectros sonoros observados en la figura estableció que al momento de realizar el ensayo con el vehículo en condiciones óptimas de funcionamiento la suspensión demostró ser la variable con mejor estabilidad, ya que su espectro es más uniforme a comparación de las demás, en cuanto a su valor máximo alcanzado fue de 110,5 decibelios por lo que es la variable que presentó menor generación de ruido y una mayor confortabilidad.

#### **4.3. Neumático Sonar**

Como siguiente análisis se tiene que, en la figura 118 se muestran todos los ensayos realizados con respecto al neumático y al pavimento como tipo de superficie de la ciudad de Latacunga.

**Figura 118**

*Comparación de los espectros de vibración del neumático Sonar*

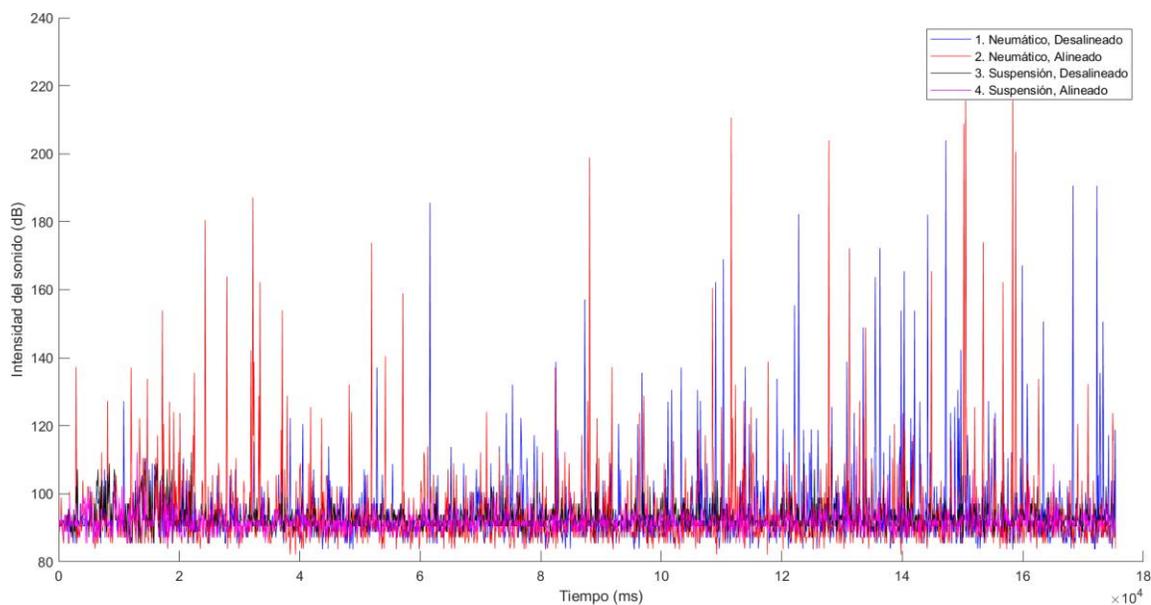


Los espectros de ruido presentados en la figura presentan muchas similitudes, cabe señalar que la variable que tiene un comportamiento anormal e irregular corresponde al ensayo realizado con el vehículo en óptimas condiciones en referencia a la suspensión, donde los picos elevados fueron causados por factores externos como un golpe brusco, en cuanto a los valores alcanzados corresponden a 181 y 198 Hz, los mismos que se dieron una sola vez y de forma instantánea. Para los 3 espectros restantes arrojaron valores similares donde se puede decir que en el momento de la realización de las pruebas no se presentaron factores externos, donde también se pudo considerar que el neumático no se encontraba desgastada su banda de rodadura, ya que se encontraba de manera uniforme y por ende no era propensa a generar vibraciones.

En la figura 119 se presenta la información recopilada y establecida para el ruido generado en cada situación.

**Figura 119**

*Comparación de los espectros de sonido del neumático Sonar*



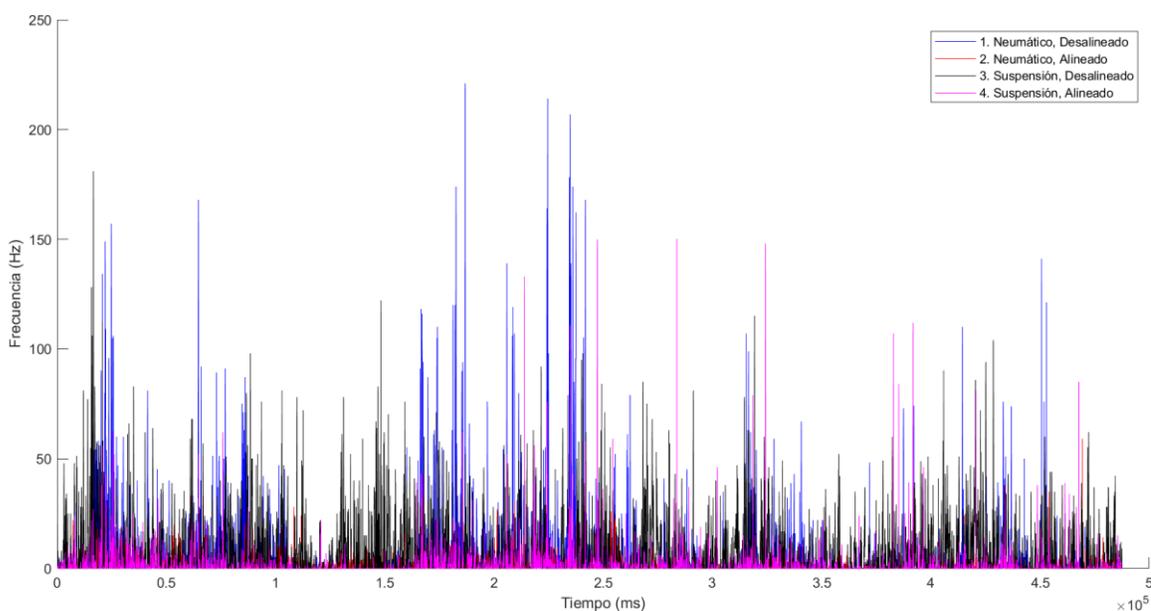
Los espectros de sonido indicados en la figura tienen una gran variación del neumático con respecto a la suspensión, indicando que los espectros correspondientes al neumático presentan picos máximos en cortos lapsos de tiempo, mientras que para la suspensión se observó que existe una variación en sus espectros, pero de manera más uniforme y con valores inferiores a 115 decibelios como valor máximo instantáneo.

Se tiene que los espectros 1 y 2 poseen valores elevados correspondientes a 203,83 y 225,5 decibelios respectivamente, tales datos fueron generados a causa de factores externos como el tráfico vehicular, en cuanto a los comportamientos observados se estableció que el conductor presentó problemas a la salud auditiva.

Para el siguiente análisis se dispone al suelo natural de la ciudad de Latacunga, en donde en la figura 120 se establecen los datos obtenidos de la vibración.

**Figura 120**

*Comparación de los espectros de vibración del neumático Sonar*



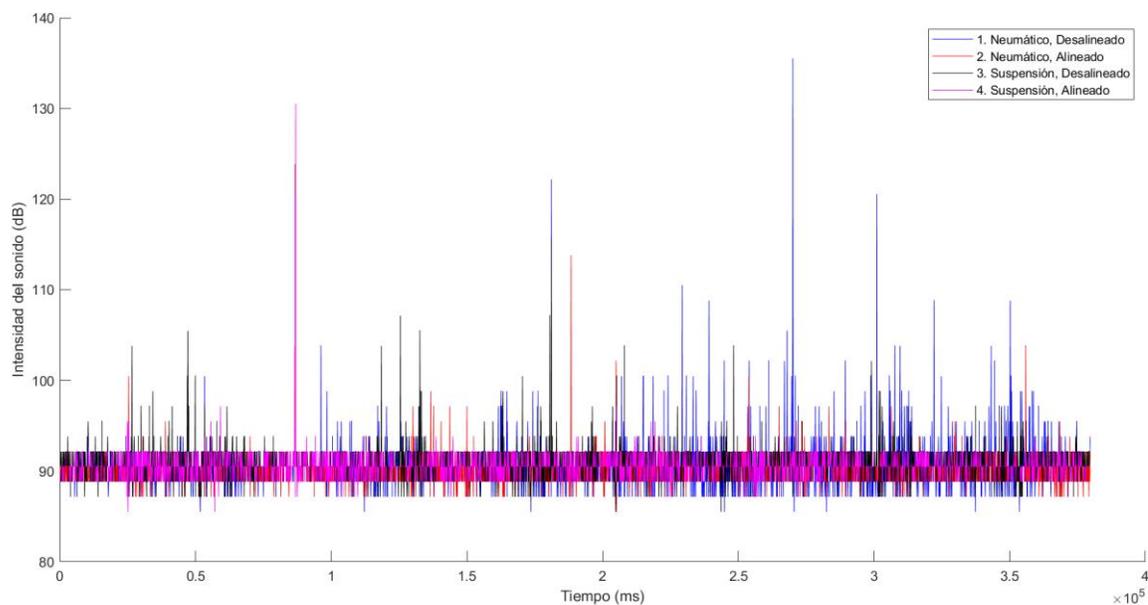
Al realizar el análisis de cada espectro, se tiene que el vehículo llegó a generar más vibraciones cuando se encuentra desalineado y desbalanceado en referencia a los neumáticos, ya que su forma presenta muchas irregularidades con valores altos e instantáneos de tiempo, se estableció que el valor máximo alcanzado fue de 221 Hz, de igual forma sus valores promedios se encuentran por encima de los 100 Hz.

Continuando con los ensayos restantes realizados, se observó que los neumáticos presentan niveles bajos cuando el vehículo está en condiciones óptimas, ya que su espectro obtuvo como valor máximo de 59 Hz, el cual no representó ningún peligro a la salud. En cuanto a los espectros 3 y 4 correspondientes a la suspensión sufrieron de variaciones llegando a alcanzar valores cerca de los 100 Hz.

En la figura 121 se estableció la información adquirida para el ruido y siendo complemento de la situación presentada anteriormente.

**Figura 121**

*Comparación de los espectros de sonido del neumático Sonar*



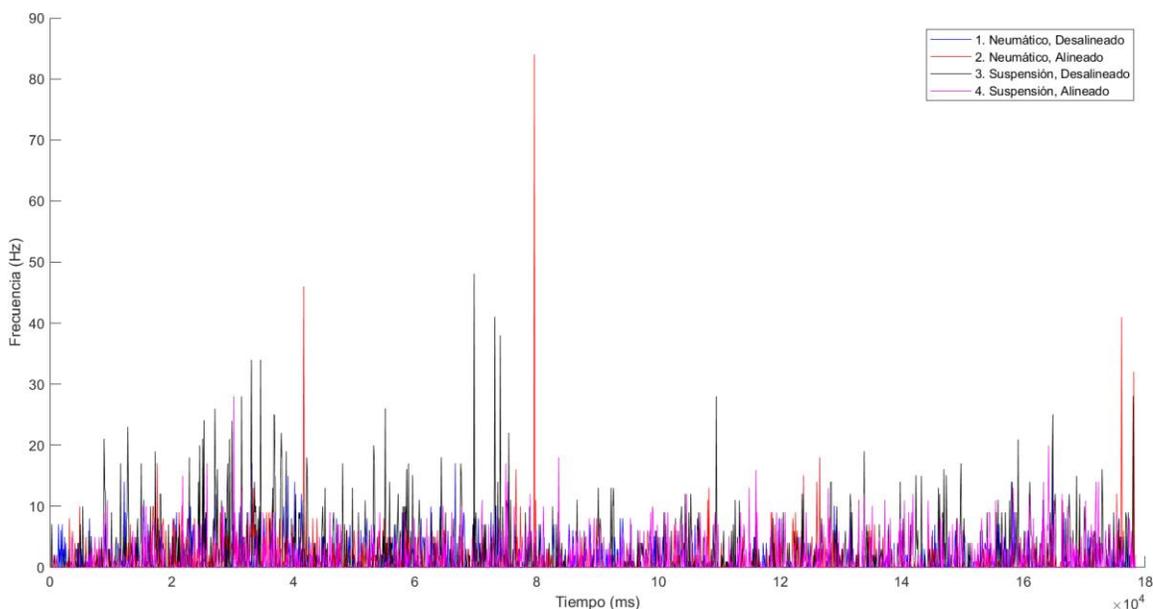
Al analizar el comportamiento de cada espectro apreciado en la figura se pudo interpretar que, en el instante de realizar la prueba con el vehículo en óptimas condiciones de funcionamiento, la suspensión demostró ser la variable con menos generación de ruido de todas las demás pruebas, ya que su espectro presentado es más uniforme, en cuanto a su pico máximo logrado fue de 125,5 decibelios. Cabe mencionar que este valor se presentó una sola vez, en cuanto a su valor medio es inferior a 95 decibelios y, por tanto, presentó una mayor confortabilidad.

#### **4.4. Neumático Anchee**

Para el siguiente análisis se tomó en cuenta la figura 122 donde se muestran todos los ensayos realizados con respecto al neumático y al pavimento como tipo de superficie de la ciudad de Latacunga.

**Figura 122**

*Comparación de los espectros de vibración del neumático Anchee*



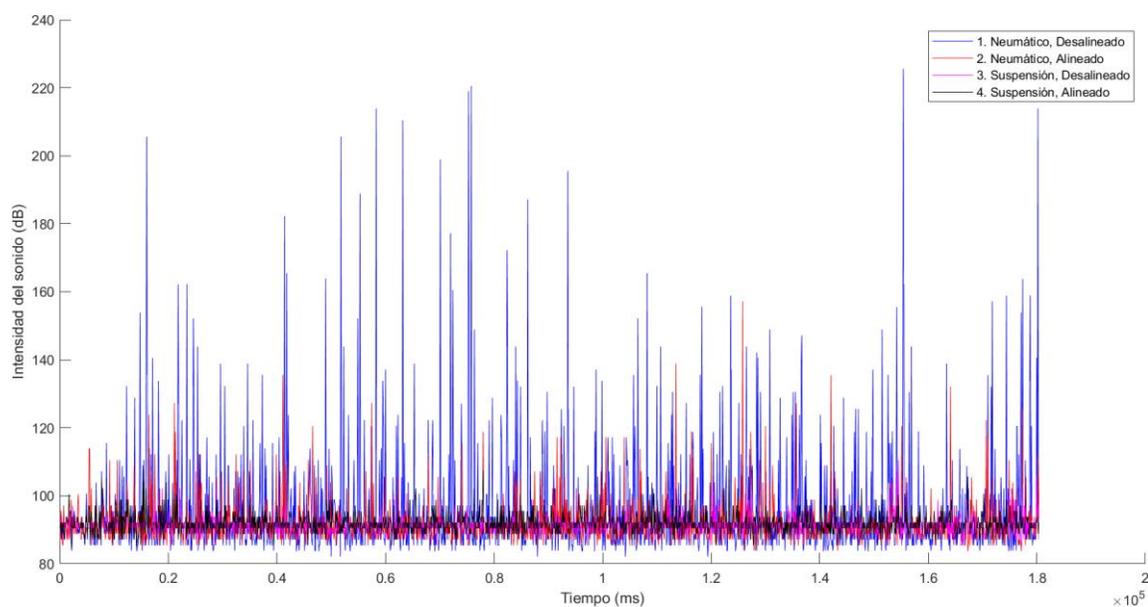
Los espectros de ruido presentados en la figura tienen muchas similitudes, se puntualizó que la variable que presenta un comportamiento anormal e irregular corresponde al ensayo realizado con el vehículo en condiciones óptimas en referencia al neumático, donde presentó un pico elevado instantáneo de 84 Hz, el cual fue causado por un golpe brusco.

En cuanto a los 3 espectros restantes se obtuvieron valores similares, donde se puede decir que en el momento de la realización de las pruebas no ocurrieron factores externos que afectaran a la generación de vibraciones, por lo que para los valores de los mismos se encuentran en una media de 10 Hz. En adición a todo lo anterior, el neumático no se encontraba desgastada su banda de rodadura.

En la figura 123 se presentan los datos obtenidos en lo que se refiere al ruido generado en cada situación.

**Figura 123**

*Comparación de los espectros de sonido del neumático Anchee*

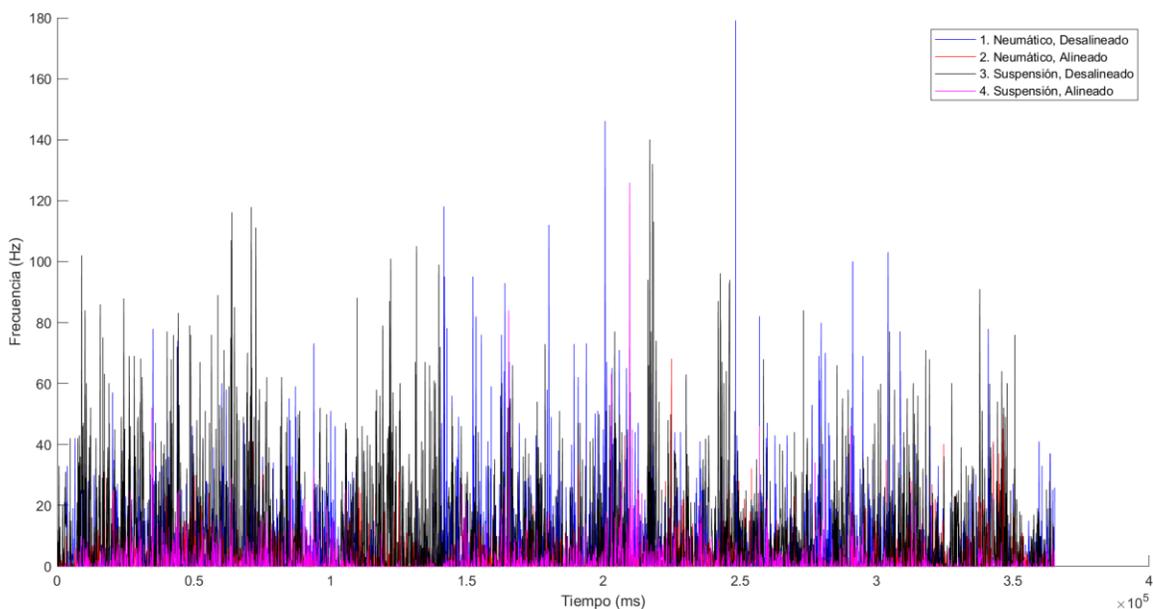


Los espectros de sonido establecidos en la figura presentan una gran variación del neumático (1 y 2) con respecto a la suspensión (3 y 4), estableciendo que los espectros relacionados con el neumático presentan picos máximos en cortos lapsos de tiempo, en especial el espectro 1 con un pico máximo alcanzado de 225 decibelios, mientras que para la suspensión se observó que existen cambios en sus espectros, pero de manera más homogénea y con valores inferiores a 110 decibelios como valor máximo instantáneo.

Para el siguiente análisis se tiene al suelo natural de la ciudad de Latacunga, en donde en la figura 124 se disponen de los datos obtenidos de la vibración.

**Figura 124**

*Comparación de los espectros de vibración del neumático Anchee*



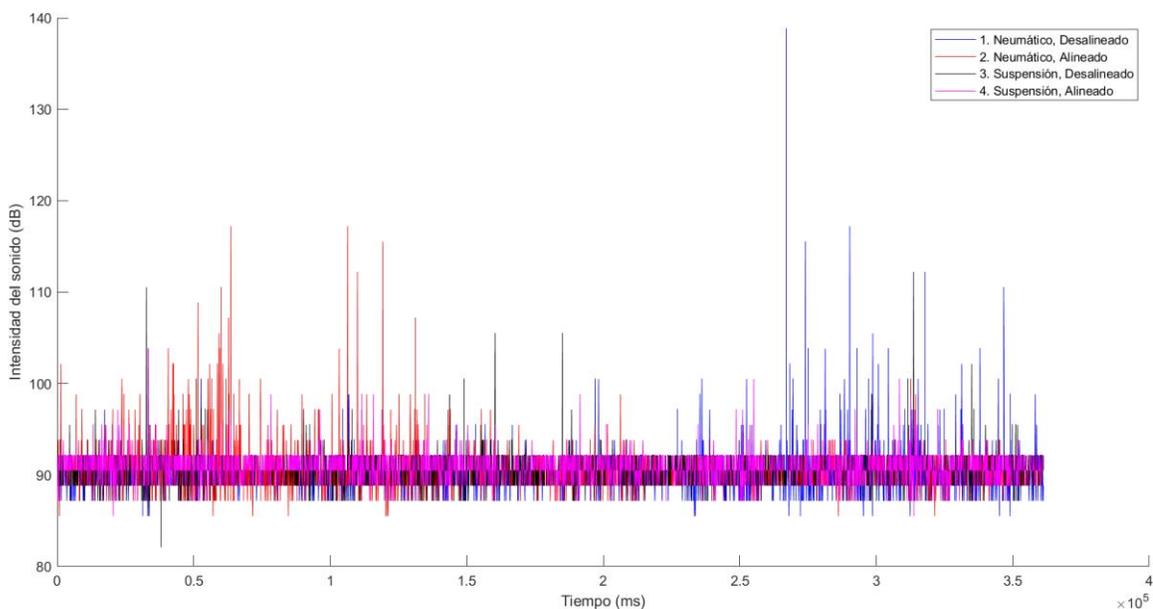
Al realizar el análisis de cada espectro de vibración, se estableció que el vehículo llegó a generar más vibraciones cuando se encuentra desalineado y desbalanceado en referencia a los neumáticos, ya que su valor máximo alcanzado fue de 179 Hz, de igual manera sus valores promedios se encuentran por debajo de los 120 Hz.

En cuanto a los demás ensayos realizados se observan datos similares al anterior, donde para el espectro 3 de la figura se obtiene como valor máximo de 132 Hz. Para los espectros 2 y 4 se presentaron valores bajos en relación con los anteriores con 84 y 28 Hz respectivamente. En tal virtud y en comparación con la figura 110, el suelo natural generó más vibraciones, esto es debido a la superficie de su terreno y a su estado porque es más irregular.

Para finalizar el análisis y complementar el anterior, en la figura 125 se estableció la información adquirida para el ruido.

**Figura 125**

*Comparación de los espectros de sonido del neumático Anchee*



El comportamiento de los espectros observados en la figura se determinó que, para los ensayos en referencia a la suspensión tanto cuando el vehículo se encuentra en condiciones óptimas y cuando se encuentra alterado se obtuvieron valores máximos de 103,83 y 112,16 decibelios respectivamente de forma instantánea, de igual manera cada uno presentó en su espectro una forma homogénea y con valores medios de 95 decibelios, los cuales no presentaron daños a la salud y confortabilidad.

En cuanto al realizar los mismos ensayos con el vehículo, en referencia a los neumáticos cuando se encuentra en ambas condiciones se obtuvieron valores muy elevados, los cuales corresponden a 138,83 y de 117,16 decibelios los mismos que son más altos que los primeros, es ahí donde se establece la importancia de los ángulos de la suspensión en lo referente a la pisada del neumático.

## Capítulo V

### 5. Conclusiones y recomendaciones

#### 5.1. Conclusiones

La investigación se basó en comparar el comportamiento de un vehículo cuando se encuentra en óptimas condiciones y cuando él mismo ha sido modificado de manera intencional las variables y efectos presentes en la pisada del neumático, donde se evidenció que el automóvil presentaba mayores vibraciones y ruidos cuando se encontraba modificado las variables como alineación y balanceo.

Mediante la realización práctica con los diferentes tipos de neumáticos y superficies de terreno, se determinó que existen vibraciones y ruidos que el conductor y pasajeros perciben, pero que no corresponden a una anomalía en el automóvil, si no que se trata de factores externos tales como el estado de la carretera y el tráfico vehicular.

Otro factor correspondió al estado del neumático ya que, en los diferentes ensayos realizados, en su mayoría el neumático Goodyear alcanzaba valores muy altos en sus gráficas, siendo el más elevado y de forma única e instantánea de 218 decibelios, esto se debía a que era el único desgastado, por tanto, produjo más ruido y vibraciones a diferencia de los 3 neumáticos restantes que eran nuevos y su banda de rodadura no se encontraba utilizada.

Para el comportamiento cuando el vehículo fue modificado sus variables se tiene que, para el pavimento el neumático Nexen obtuvo los menores valores en cuanto a vibración y ruido con 61 Hz y 185,5 decibeles; y el neumático Goodyear fue quien produjo más vibración y ruido con 245 Hz y 218,83 decibelios. Para el suelo natural se obtuvo que el neumático Nexen arrojó una menor cantidad de vibración y sonido con 168 Hz y 135,5 decibelios; mientras que el neumático Anchee obtuvo 179 Hz de vibración y 138,83 decibelios de ruido. Cabe señalar que los valores indicados se produjeron en un corto lapso.

Para las pruebas realizadas al vehículo en estado óptimo de las variables presentes en la pisada y con referencia al pavimento, en el neumático Nexen se obtuvieron los menores valores en cuanto a vibración y ruido con 19 Hz y 207,16 decibeles; y el neumático Sonar fue quien produjo más vibración y ruido con 39 Hz y

225,5 decibelios. Para el suelo natural se obtuvo que el neumático Anchee arrojó una menor cantidad de vibración y sonido con 68 Hz y 117,16 decibelios; mientras que el neumático Nexen obtuvo 75 Hz de vibración y 135,5 decibelios de ruido. Por lo que se determinó que, cada tipo de neumático tiene un comportamiento diferente en determinados tipos de terrenos.

Las gráficas obtenidas con respecto al vehículo en óptimas condiciones son en su mayoría de manera homogénea y regular, por lo que se determinó que la alineación y el balanceo son operaciones de mantenimiento muy importantes ya que evitan la generación de ruido y vibraciones, lo que afecta de manera negativa a la cadena cinemática del vehículo y directamente la comodidad del usuario, en adición los neumáticos pueden sufrir un desgaste prematuro.

## 5.2. Recomendaciones

Con el fin de complementar los datos obtenidos se recomienda realizar las pruebas con el vehículo en un dinamómetro de rodillos con un sonómetro y analizador de vibraciones más avanzados.

Una observación a tener en cuenta es la durabilidad de los sensores de los instrumentos de medición durante el proceso de adquisición de datos, por lo que se recomienda adquirir un número considerable de sensores tanto para el sonómetro como para el analizador de vibraciones.

Para la obtención de datos más reales se recomienda realizar las pruebas de ruta en condiciones climáticas adecuadas, no deben de tomarse cuando la temperatura de la superficie de terreno a ensayar sea superior a 50 °C o inferior a 5 °C.

Para contribuir con los datos adquiridos se recomienda realizar las pruebas en otros tipos de suelos existentes en la ciudad de Latacunga para así determinar si existen variaciones en el comportamiento de los neumáticos.

## Bibliografía

- Acción Ecológica. (Noviembre de 2007). *Boletín de Acción Ecológica* . Obtenido de Ruido contaminación invisible : <https://www.accionecologica.org/wp-content/uploads/alerta154.pdf>
- Ahorraseguros.mx*. (7 de Febrero de 2020). Obtenido de ¿En qué consiste el Balanceo de Llantas?: <https://ahorraseguros.mx/seguros-de-autos/consejos/como-se-hace-el-balanceo-de-llantas/>
- Alianza Motor*. (2022). Obtenido de ¿Cómo saber cuándo hay que realizar la alineación y balanceo de mi vehículo?: <https://alianzamotor.com/como-saber-cuando-hay-que-realizar-la-alineacion-y-balanceo-de-mi-vehiculo/>
- Álvarez Mántaras, D., Luque Rodríguez, P., & Vera, C. (2004). *Ingeniería del automóvil. Sistemas y comportamiento dinámico*. Madrid: Paraninfo.
- Autocosmos. (2022). *Autocosmos*. Obtenido de Volkswagen Gol 2002: <https://www.autocosmos.com.ec/auto/usado/volkswagen/gol/18-comfort/c1ae83347bb849b48942aeb1c12687bc>
- Automotor y ventas*. (2021). Obtenido de ¿CÓMO INTERPRETAR LA PEGATINA QUE VIENE EN LOS NEUMÁTICOS?: <https://www.automotoryventas.com/etiqueta-neumatico-informacion/>
- Barrios, N. (5 de Julio de 2019). *El ruido y sus nocivos efectos para la salud*. Obtenido de La contaminación sonora afecta la calidad de vida de las personas.: <https://www.cuc.edu.co/noticias/67-generales/4530-el-ruido-y-sus-nocivos-efectos-para-la-salud>
- Betanco, I. (Octubre de 2021). *Wikipedia*. Obtenido de Etiquetado europeo de neumáticos: [https://es.m.wikipedia.org/wiki/ Etiquetado\\_europeo\\_de\\_neum%C3%A1ticos](https://es.m.wikipedia.org/wiki/ Etiquetado_europeo_de_neum%C3%A1ticos)
- Borja Díaz. (20 de Junio de 2019). *Car and driver*. Obtenido de Estas son las principales causas que deterioran los neumáticos: <https://www.caranddriver.com/es/coches/planeta-motor/a60658/principales-causas-que-deterioran-los-neumaticos/>

- Bridgestone Americas Tire Operations. (2021). *Bridgestone*. Obtenido de ¿QUÉ ES LA ALINEACIÓN Y EL BALANCEO DE UN AUTO?: <https://www.bridgestone.com.mx/es/nosotros/tips-bridgestone/que-es-alineacion-y-balanceo-de-un-auto>
- Campillo Davó, N. (2013). Modelización experimental del ruido de rodadura en ensayo de homologación de neumáticos. [*Tesis doctoral*]. Universidad Miguel Hernández de Elche, Elche.
- CONGOPE. (2019). *Plan de desarrollo vial integral de la provincia de Cotopaxi*. Cotopaxi. Obtenido de <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2020/09/Cotopaxi-plan-vial-integral.pdf>
- Continental. (2021). *Fabricación de neumáticos*. Obtenido de Cómo se fabrican los neumáticos: <https://www.continental-neumaticos.es/turismo/conocimientos-sobre-neumaticos/fundamentos-de-neumaticos/fabricacion-de-neumaticos>
- Contreras Acero, A. E., & Navarrete Murcia, E. R. (2015). Guía técnica para la administración de llantas en autobuses de transporte urbano. [*Tesis de grado*]. Universidad ECCI, Bogotá.
- CRO. (10 de Marzo de 2015). *Central Recambio Original*. Obtenido de ¿Por qué se produce un desgaste desigual en los neumáticos?: <https://www.recambiooriginal.com/blog/recambios-originales/neumaticos/por-que-se-produce-un-desgaste-desigual-en-los-neumaticos/>
- Domínguez, E. J., & Ferrer, J. (2019). *Mecánica del vehículo*. España: Editex.
- Fidalgo, R. (15 de Septiembre de 2017). *Autocasión*. Obtenido de Cómo reducir el ruido que hacen las ruedas: <https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/como-reducir-el-ruido-que-hacen-las-ruedas>
- García, D. (2017). Metodología de ensayo en laboratorio para la medición del ruido de rodadura de neumáticos. [*Tesis doctoral*]. Universidad Miguel Hernández de Elche, Elche.
- González, T., del Río, G., Tena, J., & Torres, B. (2017). *Circuitos de fluidos. Suspensión y dirección*. Madrid: EDITEX.

- Guamán Armijos , O. S., & Zhagüi Brito, D. F. (2016). ESTUDIO DE LA DEFORMACIÓN DE LA BANDA DE RODADURA EN UN NEUMÁTICO 195/55 R15 85V DE UN VEHÍCULO TOYOTA YARIS NITRO S 1.3L BAJO LA ACCIÓN DE LOS ÁNGULOS DE LA DIRECCIÓN CONVERGENCIA/DIVERGENCIA Y CAMBER MEDIANTE LA APLICACIÓN DE GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS. [*Tesis de grado*]. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.
- López Donaire, D. (2011). *Actualidad Motor*. Obtenido de ¿Cómo puedo saber si mi coche necesita una alineación?: <https://www.actualidadmotor.com/como-puedo-saber-si-mi-coche-necesita-una-alineacion/>
- Magna Tyres Group. (2021). *Magna Tyres*. Obtenido de Construcción del neumático: diagonal/sólida/radial: <https://magnatyres.com/es/construccion-del-neumatico-diagonal-solida-radial/>
- muchoneumatico.com. (14 de Agosto de 2018). *Muchoneumatico*. Obtenido de ¿Cuáles son las partes de la rueda de un coche?: <https://www.muchoneumatico.com/blog/noticias/cuales-son-las-partes-de-la-rueda-de-un-coche/>
- Neumáticos km0. (2021). *NEUMATICOSKm0.coM*. Obtenido de Estructura de un neumático: conoce todas las partes que lo componen: <https://www.neumaticoskm0.com/estructura-de-un-neumatico/>
- NTE INEN. (2013). *NTE INEN 2665*. Obtenido de Medición de ruido emitido por vehículos en aceleración. Método de ensayo: [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_2665.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2665.pdf)
- RTVE.es. (28 de Marzo de 2010). *Niveles de decibelios (dB) en nuestro entorno*. Obtenido de <https://www.rtve.es/noticias/20100328/niveles-decibelios-db-nuestro-entorno/322078.shtml>
- Sandberg, U. (2001). *Tyre/road noise – Myths and realities*. The Hague, The Netherlands.
- SENER. (s.f.). *COMISIÓN NACIONAL PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA*. Obtenido de Cuidado de los neumáticos : [https://www.conuee.gob.mx/transparencia/boletines/transporte/guias/cuidado\\_de\\_neumaticos.pdf](https://www.conuee.gob.mx/transparencia/boletines/transporte/guias/cuidado_de_neumaticos.pdf)

- SPPAT Ecuador. (2021). *Servicio Público para Pago de Accidentes de Tránsito*.  
Obtenido de Consecuencias del exceso de velocidad:  
<https://www.protecciontransito.gob.ec/servicios/consecuencias-del-exceso-de-velocidad/>
- The Goodyear Tire. (2021). *Goodyear*. Obtenido de Guía de Cuidado y Mantenimiento de los Neumáticos: <https://www.goodyear-up.com/guia-de-cuidado>
- Todo Ruedas. (23 de Febrero de 2020). Facebook. *Descubre los diferentes componentes de un neumático*. (todoruedas.net, Ed.) Obtenido de <https://www.facebook.com/todoruedas.net/photos/conoce-las-diferentes-partes-de-un-neum%C3%A1ticotipstodoruedasla-tecnolog%C3%ADa-de-un-ne/2980789348640188/>
- UniRoyal*. (2021). Obtenido de Cómo medir la presión de los neumáticos:  
<https://www.neumaticos-uniroyal.es/turismo/catalogo-de-neumatico/cuidado-de-los-neumaticos/como-medir-la-presion-de-los-neumaticos>
- Urueta Puello, J. G., & Valenzuela Arrieta, E. B. (2005). MODELO GENERAL DE ANÁLISIS CAUSA RAÍZ DE FALLAS Y DESGASTES IRREGULARES DE LLANTAS EN LA FLOTA DE TRANSPORTE DE MERCANCÍAS COORDINADORA MERCANTIL. [*Tesis de grado*]. Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena de Indias.
- Vega Galarza, D. M. (2014). Análisis y diagnóstico de vibraciones en vehículos livianos de combustión interna. [*Tesis de grado*]. Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Volkswagen. (2002). *Manual de taller Volkswagen Gol*.
- Williams, O. (19 de Febrero de 2013). *Mail Online*. Obtenido de Chinese drivers push their vehicles to the limit with hilariously huge cargoes:  
<https://www.dailymail.co.uk/news/article-2281118/Now-thats-wide-load-Chinese-drivers-extraordinary-lengths-transport-goods.html>
- Xu Wang. (2020). *Automotive Tire Noise and Vibrations: Analysis, Measurement and Simulation*. Butterworth-Heinemann.

# Anexos