



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

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

Lema Heredia, Luis David

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 Mgs.

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 del patrón de la banda de rodadura en la generación del ruido y vibración del neumático de un vehículo de turismo segmento C**” fue realizado por el señor **Lema Heredia, Luis David** 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 de UIC-LEMA LUIS.docx

Scanned on: 12:21 February 4, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	190
Words with Minor Changes	19
Paraphrased Words	6
Ommited Words	0





## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

#### AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Lema Heredia Luis David**, con cédula de ciudadanía N° **0504603291**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de Unidad de Integración Curricular: **“Estudio de los efectos del patrón de la banda de rodadura en la generación del ruido y vibración del neumático de un vehículo de turismo segmento C”** es de nuestra 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

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Luis Lema', is written over a horizontal line.

Lema Heredia, Luis David

C.C.: 0504603291



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

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

Yo, **Lema Heredia, Luis David** con cédula de ciudadanía N° **0504603291**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de Unidad de Integración Curricular: **“Estudio de los efectos del patrón de la banda de rodadura 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



---

Lema Heredia, Luis David

C.C.: 0504603291

### **Dedicatoria**

A Dios quien ha sido mi fortaleza, amparo y el conductor de mi vida guiándome por el sendero correcto.

A mis padres Luis Lema y María Heredia quienes con su afecto, esfuerzo y paciencia me han impulsado desde mis inicios como estudiante hasta llegar a culminar hoy uno de mis objetivos más anhelados, gracias por ser mi motor en esta difícil trayectoria y enseñarme a no rendirme.

A mis hermanos Mónica, Johana, Patricia, Andrés y Carla quienes se convirtieron en mi motivo para no decaer y sobre todo porque de alguna u otra forma siempre me brindaban palabras de aliento para continuar luchando por cumplir mi sueño.

**LEMA HEREDIA, LUIS DAVID**

### **Agradecimiento**

Agradezco a Dios por ser el guía y darme fuerzas en los momentos que más lo necesitaba, uno de ellos fue durante la elaboración de este trabajo de investigación.

A mi madre y a mi hermana Mónica las mujeres más importantes en mi vida, quienes inculcaron en mí el ejemplo de esfuerzo y dedicación para cumplir mis metas.

A mi tutor Ing. Henry Iza, quien a través de sus conocimientos supo guiarme para poder culminar este trabajo de investigación.

A mi grupo de investigación, quienes me brindaron su apoyo incondicional durante esta etapa quizá la más importante de mi vida estudiantil.

**LEMA HEREDIA, LUIS DAVID**

**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>21</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>22</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>23</b>
<b>Antecedentes investigativos.....</b>	<b>23</b>
<b>Planteamiento del problema .....</b>	<b>24</b>
<b>Justificación e importancia.....</b>	<b>25</b>
<b>Objetivos del proyecto .....</b>	<b>26</b>
<b><i>Objetivo general .....</i></b>	<b>26</b>
<b><i>Objetivos específicos.....</i></b>	<b>26</b>
<b>Hipótesis .....</b>	<b>26</b>

<b>Variables de investigación .....</b>	<b>26</b>
<i>Variable independiente .....</i>	<i>26</i>
<i>Variable dependiente.....</i>	<i>26</i>
<b>Fundamentación teórica .....</b>	<b>27</b>
<b>El ruido .....</b>	<b>27</b>
<b>La vibración.....</b>	<b>27</b>
<i>Vibraciones en vehículos.....</i>	<i>27</i>
<b>Instrumentos para el análisis sonoro.....</b>	<b>28</b>
<i>Sonómetros integradores/promediadores.....</i>	<i>28</i>
<i>Analizadores de frecuencia .....</i>	<i>28</i>
<i>Analizadores de intensidad sonora.....</i>	<i>28</i>
<b>El neumático .....</b>	<b>28</b>
<i>Funciones y características.....</i>	<i>29</i>
<i>Estructura .....</i>	<i>30</i>
<i>Parámetros constructivos.....</i>	<i>30</i>
<i>Método de fabricación.....</i>	<i>31</i>
Confección.....	31
Conformación. ....	31
Cocción .....	32
<i>Partes del neumático.....</i>	<i>32</i>
<i>Información técnica del neumático .....</i>	<i>33</i>

	10
Índice de velocidad.....	34
Índice de carga.....	35
<b><i>Presión de inflado de los neumáticos.....</i></b>	<b>35</b>
Presión baja .....	36
Presión correcta .....	36
Presión alta .....	37
<b><i>Tipos de cubierta según su estructura .....</i></b>	<b>37</b>
Neumáticos diagonales.....	37
Neumáticos radiales.....	37
Neumáticos mixtos o cinturados.....	38
<b>Mecanismos de generación de ruido de neumáticos/carretera.....</b>	<b>38</b>
<b><i>Ruido y vibraciones inducidos por el impacto.....</i></b>	<b>38</b>
<b><i>Bombeo de aire.....</i></b>	<b>39</b>
<b><i>Ruido y vibración inducidos por la fricción.....</i></b>	<b>39</b>
<b><i>Falta de uniformidad de los neumáticos como fuente de vibraciones .....</i></b>	<b>40</b>
<b>Banda de rodadura .....</b>	<b>40</b>
<b><i>Tipos de patrones de la banda de rodadura .....</i></b>	<b>41</b>
Patrón asimétrico .....	41
Patrón direccional .....	42
Patrón simétrico .....	43
<b><i>Profundidad de la banda de rodadura.....</i></b>	<b>44</b>

<i>Factores de la banda de rodadura que influyen en el ruido</i> .....	44
Ruido debido al patrón de la banda de rodadura .....	45
<i>Ancho de la ranura</i> .....	45
<i>Profundidad de las ranuras</i> .....	45
<i>Ángulo de los surcos</i> .....	45
Límites de emisión de ruido de rodadura .....	46
Metodología de desarrollo del proyecto y resultados obtenidos.....	47
Normativas .....	48
Características de las rutas.....	48
Ruta 1. Pavimento.....	49
Ruta 2. Adoquín .....	50
Ruta 3. Empedrado .....	51
Ruta 4. Suelo Natural.....	52
<i>Condiciones ambientales</i> .....	53
<i>Velocidad del vehículo por ruta</i> .....	54
Equipos de medición .....	55
<i>Analizador de vibraciones</i> .....	55
Construcción.....	55
Componentes.....	55
Diseño del circuito electrónico.....	56
Programación.....	57

Diseño de la carcasa para los sensores .....	57
<b>Sonómetro .....</b>	<b>58</b>
Construcción.....	59
Componentes.....	59
Diseño del circuito electrónico. ....	59
Programación.....	60
Montaje de componentes .....	60
Carcasa para los sensores de ruido.....	60
<b>Vehículo de prueba.....</b>	<b>61</b>
<i>Especificaciones técnicas</i> .....	<i>61</i>
<i>Caracterización de los neumáticos de prueba</i> .....	<i>62</i>
<b>Preparación del vehículo de prueba.....</b>	<b>64</b>
<i>Revisión general</i> .....	<i>64</i>
<i>Balanceo</i> .....	<i>65</i>
<i>Alineación</i> .....	<i>65</i>
<i>Presión de los neumáticos</i> .....	<i>67</i>
<i>Instalación de los sensores de vibración</i> .....	<i>67</i>
<i>Instalación de los sensores de ruido</i> .....	<i>68</i>
<b>Metodología planteada .....</b>	<b>69</b>
<b>Resultados obtenidos de las pruebas de vibración .....</b>	<b>71</b>
<i>Prueba analizador de vibraciones neumático A – ruta Nro.1</i> .....	<i>71</i>

<i>Prueba analizador de vibraciones neumático A – ruta Nro.2</i> .....	71
<i>Prueba analizador de vibraciones neumático A – ruta Nro.3</i> .....	72
<i>Prueba analizador de vibraciones neumático A – ruta Nro.4</i> .....	73
<i>Prueba analizador de vibraciones neumático B – ruta Nro.1</i> .....	73
<i>Prueba analizador de vibraciones neumático B – ruta Nro.2</i> .....	74
<i>Prueba analizador de vibraciones neumático B – ruta Nro.3</i> .....	75
<i>Prueba analizador de vibraciones neumático B – ruta Nro.4</i> .....	75
<i>Prueba analizador de vibraciones neumático C – ruta Nro.1</i> .....	76
<i>Prueba analizador de vibraciones neumático C – ruta Nro.2</i> .....	77
<i>Prueba analizador de vibraciones neumático C – ruta Nro.3</i> .....	77
<i>Prueba analizador de vibraciones neumático C – ruta Nro.4</i> .....	78
<i>Prueba analizador de vibraciones neumático D – ruta Nro.1</i> .....	79
<i>Prueba analizador de vibraciones neumático D – ruta Nro.2</i> .....	79
<i>Prueba analizador de vibraciones neumático D – ruta Nro.3</i> .....	80
<i>Prueba analizador de vibraciones neumático D – ruta Nro.4</i> .....	81
<b>Resultados obtenidos de las pruebas de ruido</b> .....	81
<i>Prueba sonómetro neumático A – ruta Nro.1</i> .....	81
<i>Prueba sonómetro neumático A – ruta Nro.2</i> .....	82
<i>Prueba sonómetro neumático A – ruta Nro.3</i> .....	83
<i>Prueba sonómetro neumático A – ruta Nro.4</i> .....	83
<i>Prueba sonómetro neumático B – ruta Nro.1</i> .....	84

<i>Prueba sonómetro neumático B – ruta Nro.2</i> .....	85
<i>Prueba sonómetro neumático B – ruta Nro.3</i> .....	85
<i>Prueba sonómetro neumático B – ruta Nro.4</i> .....	86
<i>Prueba sonómetro neumático C – ruta Nro.1</i> .....	87
<i>Prueba sonómetro neumático C – ruta Nro.2</i> .....	87
<i>Prueba sonómetro neumático C – ruta Nro.3</i> .....	88
<i>Prueba sonómetro neumático C – ruta Nro.4</i> .....	89
<i>Prueba sonómetro neumático D – ruta Nro.1</i> .....	89
<i>Prueba sonómetro neumático D – ruta Nro.2</i> .....	90
<i>Prueba sonómetro neumático D – ruta Nro.3</i> .....	91
<i>Prueba sonómetro neumático D – ruta Nro.4</i> .....	91
<b>Análisis de resultados</b> .....	93
<b>Espectros de vibración de cuatro neumáticos en la ruta Nro. 1</b> .....	93
<b>Espectros de ruido de cuatro neumáticos en la ruta Nro. 1</b> .....	94
<b>Espectros de vibración de cuatro neumáticos en la Nro. 2</b> .....	95
<b>Espectros de ruido de cuatro neumáticos en la ruta Nro. 2</b> .....	96
<b>Espectros de vibración de cuatro neumáticos en la ruta Nro. 3</b> .....	98
<b>Espectros de ruido de cuatro neumáticos en la ruta Nro. 3</b> .....	99
<b>Espectros de vibración de cuatro neumáticos en la ruta Nro. 4</b> .....	100
<b>Espectros de ruido de cuatro neumáticos en la ruta Nro. 4</b> .....	101
<b>Conclusiones y recomendaciones</b> .....	103

<b>Conclusiones .....</b>	<b>103</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>105</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>106</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>109</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> Índice de velocidad.....	34
<b>Tabla 2</b> Índice de carga.....	35
<b>Tabla 3</b> Ventajas, desventajas y aplicación del patrón asimétrico .....	41
<b>Tabla 4</b> Ventajas, desventajas y aplicación del patrón direccional .....	42
<b>Tabla 5</b> Ventajas, desventajas y aplicación del patrón simétrico .....	43
<b>Tabla 6</b> Límites de emisión de ruido de rodadura.....	46
<b>Tabla 7</b> Normas consideradas.....	48
<b>Tabla 8</b> Superficie de rodadura por cantón (km) .....	49
<b>Tabla 9</b> Rutas utilizadas para las pruebas.....	49
<b>Tabla 10</b> Para vehículos livianos, motocicletas y similares.....	54
<b>Tabla 11</b> Velocidad del vehículo según la ruta .....	54
<b>Tabla 12</b> Componentes del analizador de vibraciones .....	55
<b>Tabla 13</b> Especificaciones del vehículo de prueba .....	61
<b>Tabla 14</b> Caracterización de los neumáticos .....	63
<b>Tabla 15</b> Actividades realizadas al vehículo durante la revisión general .....	64
<b>Tabla 16</b> Cantidad de masa colocada en las ruedas del vehículo .....	65
<b>Tabla 17</b> Reporte de alineación del vehículo de prueba.....	66
<b>Tabla 18</b> Presión de los neumáticos .....	67

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> Generación de ruido por Vibración.....	28
<b>Figura 2</b> Neumático de vehículo .....	29
<b>Figura 3</b> Estructura del neumático .....	30
<b>Figura 4</b> Parámetros constructivos de neumáticos.....	30
<b>Figura 5</b> Fabricación de neumáticos .....	32
<b>Figura 6</b> Partes del neumático .....	33
<b>Figura 7</b> Nomenclatura del neumático .....	34
<b>Figura 8</b> Presión baja del neumático.....	36
<b>Figura 9</b> Presión correcta del neumático.....	36
<b>Figura 10</b> Presión alta del neumático.....	37
<b>Figura 11</b> Estructuras básicas de los neumáticos .....	38
<b>Figura 12</b> Ruido y vibración inducidos por el impacto de los tacos .....	39
<b>Figura 13</b> Generación de ruido del bombeo de aire de los neumáticos.....	39
<b>Figura 14</b> Mecanismo de generación del ruido inducido por la fricción .....	40
<b>Figura 15</b> No uniformidad geométrica de un neumático.....	40
<b>Figura 16</b> Banda de rodadura del neumático .....	41
<b>Figura 17</b> Patrón asimétrico.....	42
<b>Figura 18</b> Patrón direccional.....	43
<b>Figura 19</b> Patrón simétrico.....	44
<b>Figura 20</b> Profundidad mínima de la banda de rodadura .....	44
<b>Figura 21</b> Partes de la banda de rodadura.....	45
<b>Figura 22</b> Generación del ruido debido al patrón de la banda de rodadura.....	46
<b>Figura 23</b> Proceso de adquisición de datos .....	47
<b>Figura 24</b> Ruta Nro.1 – Pavimento.....	50

<b>Figura 25</b> a) Punto inicial. b) Punto final .....	50
<b>Figura 26</b> Ruta Nro. 2 – Adoquín .....	51
<b>Figura 27</b> a) Punto inicial. b) Punto final .....	51
<b>Figura 28</b> Ruta Nro. 3 – Empedrado .....	52
<b>Figura 29</b> a) Punto inicial. b) Punto final .....	52
<b>Figura 30</b> Ruta Nro. 4 – Suelo natural.....	53
<b>Figura 31</b> a) Punto inicial. b) Punto final .....	53
<b>Figura 32</b> Diseño del diagrama eléctrico en Proteus.....	56
<b>Figura 33</b> Diseño de la PCB en Proteus .....	57
<b>Figura 34</b> Código utilizado para la programación del Arduino. ....	57
<b>Figura 35</b> a) Carcasa superior b) Carcasa inferior diseñadas en Solidworks .....	58
<b>Figura 36</b> Analizador de vibraciones terminado .....	58
<b>Figura 37</b> Diseño del diagrama eléctrico en Proteus.....	59
<b>Figura 38</b> Diseño de la PCB en Proteus .....	59
<b>Figura 39</b> Programación en Arduino del Sonómetro .....	60
<b>Figura 40</b> Carcasa del sensor de ruido realizada en Solidworks.....	60
<b>Figura 41</b> Sonómetro terminado .....	61
<b>Figura 42</b> Vehículo de prueba.....	62
<b>Figura 43</b> Revisión general del vehículo .....	64
<b>Figura 44</b> Proceso de balanceo .....	65
<b>Figura 45</b> Proceso de alineación.....	66
<b>Figura 46</b> Verificación de la presión.....	67
<b>Figura 47</b> Ubicación sensor de vibración del neumático .....	68
<b>Figura 48</b> Ubicación sensor de ruido del neumático.....	68
<b>Figura 49</b> Metodología de pruebas .....	70
<b>Figura 50</b> Prueba neumático A – ruta Nro.1.....	71

<b>Figura 51</b> Prueba neumático A – ruta Nro.2.....	72
<b>Figura 52</b> Prueba neumático A – ruta Nro.3.....	72
<b>Figura 53</b> Prueba neumático A – ruta Nro.4.....	73
<b>Figura 54</b> Prueba neumático B – ruta Nro.1.....	74
<b>Figura 55</b> Prueba neumático B – ruta Nro.2.....	74
<b>Figura 56</b> Prueba neumático B – ruta Nro.3.....	75
<b>Figura 57</b> Prueba neumático B – ruta Nro.4.....	76
<b>Figura 58</b> Prueba neumático C – ruta Nro.1.....	76
<b>Figura 59</b> Prueba neumático C – ruta Nro.2.....	77
<b>Figura 60</b> Prueba neumático C – ruta Nro.3.....	78
<b>Figura 61</b> Prueba neumático C – ruta Nro.4.....	78
<b>Figura 62</b> Prueba neumático D – ruta Nro.1.....	79
<b>Figura 63</b> Prueba neumático D – ruta Nro.2.....	80
<b>Figura 64</b> Prueba neumático D – ruta Nro.3.....	80
<b>Figura 65</b> Prueba neumático D – ruta Nro.4.....	81
<b>Figura 66</b> Prueba neumático A – ruta Nro.1.....	82
<b>Figura 67</b> Prueba neumático A – ruta Nro.2.....	82
<b>Figura 68</b> Prueba neumático A – ruta Nro.3.....	83
<b>Figura 69</b> Prueba neumático A – ruta Nro.4.....	84
<b>Figura 70</b> Prueba neumático B – ruta Nro.1.....	84
<b>Figura 71</b> Prueba neumático B – ruta Nro.2.....	85
<b>Figura 72</b> Prueba neumático B – ruta Nro.3.....	86
<b>Figura 73</b> Prueba neumático B – ruta Nro.4.....	86
<b>Figura 74</b> Prueba neumático C – ruta Nro.1.....	87
<b>Figura 75</b> Prueba neumático C – ruta Nro.2.....	88
<b>Figura 76</b> Prueba neumático C – ruta Nro.3.....	88

<b>Figura 77</b> Prueba neumático C – ruta Nro.4.....	89
<b>Figura 78</b> Prueba neumático D – ruta Nro.1.....	90
<b>Figura 79</b> Prueba neumático D – ruta Nro.2.....	90
<b>Figura 80</b> Prueba neumático D – ruta Nro.3.....	91
<b>Figura 81</b> Prueba neumático D – ruta Nro.4.....	92
<b>Figura 82</b> Comparación de los espectros de vibración en la ruta Nro. 1 .....	93
<b>Figura 83</b> Comparación de los espectros de ruido en la ruta Nro. 1.....	94
<b>Figura 84</b> Comparación de los espectros de vibración en la ruta Nro. 2 .....	96
<b>Figura 85</b> Comparación de los espectros de ruido en la ruta Nro. 2.....	97
<b>Figura 86</b> Comparación de los espectros de vibración en la ruta Nro. 3 .....	98
<b>Figura 87</b> Comparación de los espectros de ruido en la ruta Nro. 3.....	99
<b>Figura 88</b> Comparación de los espectros de vibración en la ruta Nro. 4 .....	100
<b>Figura 89</b> Comparación de los espectros de ruido en la ruta Nro. 4.....	101

## **Resumen**

El presente proyecto de investigación se enfocó en el cumplimiento del objetivo de estudiar los efectos del patrón de la banda de rodadura en la generación del ruido y vibración del neumático de un vehículo de turismo segmento C. Para ello está constituido por tres etapas principales, en la primera etapa se detalla la fundamentación teórica esencial para el desarrollo del presente estudio. En la segunda etapa se describe la metodología empleada para efectuar este proyecto. En la última etapa se realiza el análisis de los resultados obtenidos. En la primera etapa del proyecto de investigación se efectúa la descripción de los conceptos teóricos utilizados para el desarrollo del mismo, dentro de este marco se explica los mecanismos de generación de ruido de neumáticos/carretera. Adicionalmente, se señala las características principales de los tipos de patrón de la banda de rodadura empleados para el desarrollo de esta investigación. En la segunda etapa se realiza el trazado de las rutas seleccionadas para efectuarse las diferentes pruebas. Después se muestra la construcción de los equipos para medir los espectros de ruido y vibración generados por el contacto del neumático con la superficie de la carretera, seguidamente se evidencia las actividades tomadas en cuenta durante la revisión general del vehículo y se culmina con la instalación en puntos estratégicos de los sensores tanto del sonómetro como del analizador de vibraciones. Por último en la tercera etapa se realiza el análisis de los resultados obtenidos, para lo cual se emplea el software Matlab versión de prueba, realizando la representación gráfica de los datos recopilados, donde se observa la influencia de los tipos de patrón de la banda de rodadura y la superficie de la carretera en la generación del ruido y vibración del neumático, seguido del análisis de estos dos espectros. Finalmente, se complementa el proyecto de investigación con las conclusiones y recomendaciones alcanzadas durante su desarrollo.

Palabras clave:

- **PATRÓN DE LA BANDA DE RODADURA**
- **RUIDO DE RODADURA**
- **VIBRACIÓN DEL NEUMÁTICO**

**Abstract**

The present research project focused on the fulfillment of the objective of studying the effects of the tread pattern on the generation of noise and vibration of the tire of a C-segment passenger vehicle. For this it is constituted by three main stages, in the first stage the essential theoretical foundation for the development of the present study is detailed. The second stage describes the methodology used to carry out this project. In the last stage, the analysis of the results obtained is carried out. In the first stage of the research project, the description of the theoretical concepts used for its development is made, within this framework the mechanisms of tire/road noise generation are explained. Additionally, the main characteristics of the types of tread pattern used for the development of this research are indicated. In the second stage, the routes selected for the different tests are traced. Then the construction of the equipment to measure the spectra of noise and vibration generated by the contact of the tire with the road surface is shown, then the activities considered during the general review of the vehicle are evidenced and culminated with the installation at strategic points of the sensors of both the sound level meter and the vibration analyzer. Finally, in the third stage, the analysis of the results obtained is carried out, for which the Matlab software test version is used, making the graphic representation of the collected data, where the influence of the types of tread pattern and the road surface on the generation of noise and vibration of the tire is observed, followed by the analysis of these two spectra. Finally, the research project is complemented with the conclusions and recommendations reached during its development.

Key words:

- **TREAD PATTERN**
- **ROLLING NOISE**
- **TIRE VIBRATION**

## Capítulo I

### 1. Introducción

#### 1.1. Antecedentes investigativos

El ruido puede ser definido como un sonido no deseado y molesto, ya sea debido a su incoherencia o a su intensidad, mientras que la vibración se define como la oscilación o movimiento repetitivo de un sistema alrededor de una posición de equilibrio (Vega, 2014).

Las vibraciones se encuentran presentes en diversas actividades que se realizan diariamente, al caminar, conducir un vehículo o incluso al realizar tareas de la universidad.

El análisis sobre las vibraciones alude a los movimientos que presentan los cuerpos y a las fuerzas que convergen con ellos. Los cuerpos en su totalidad que disponen de magnitudes como masa y elasticidad tienden a vibrar (Vega, 2014).

Hoy en día se conceptualiza al ruido que es originado por los vehículos como un contaminante de tipo audible que influye negativamente el bienestar físico de las personas principalmente este inconveniente es más perceptible en zonas urbanas. Los vehículos al superar la velocidad de 50 km/h tienden a experimentar la presencia de una fuente ruido causada por la interacción suelo/neumático (Pedrera, O'Brien, Fontana, & Molisani, 2016).

El ruido del neumático/carretera recibe algunos nombres como ruido de interacción entre el neumático y la carretera, ruido de interacción entre el neumático y el pavimento (TPIN), ruido del neumático y el pavimento, o ruido del neumático, independientemente del nombre con el que se identifique se define como el ruido emitido por un neumático que rueda como resultado de la interacción entre esta pieza y la superficie de la carretera (Li, 2020).

El ruido generado por los neumáticos se transmite en el aire al entorno como ruido de paso o a través de los huecos o agujeros no sellados de los paneles de la carrocería del vehículo y de las ventanillas al habitáculo. Estos medios y vías de transmisión también pueden amplificar el ruido transmitido a determinadas frecuencias (Azizi, 2020).

En cuanto a la superficie de la carretera, los diferentes pavimentos pueden otorgar una gran variación en los niveles del ruido, cuanto más rugosa sea la textura de la carretera, mayor será la emisión de ruido (XuWang, 2020).

El patrón de la banda de rodadura se considera como el parámetro del neumático con mayor influencia en el TPIN (ruido de interacción neumático/pavimento), además se lo puede modificar con facilidad (Li, 2020).

El ruido de la carretera se ha convertido en parte de la contaminación acústica moderna. Los avances en la reducción de la propagación del ruido del motor y los sistemas de escape de un automóvil han hecho que el ruido de interacción neumático/carretera sea una fuente más notable de ruido (Li, 2020).

Con base en lo expuesto se pretende determinar la incidencia que tienen los tipos de carretera, tipos de patrones de la banda de rodadura en la generación de ruido y vibración del neumático.

## **1.2. Planteamiento del problema**

A nivel mundial es más notoria la preocupación por parte de los países industrializados sobre la amenaza que representa el ruido en la salud de las personas y en el medio ambiente. No obstante, los países en vía de desarrollo han mostrado inquietud por esta amenaza lo que les ha motivado a desarrollar normas y reglamentos enfocados en los existentes.

A nivel internacional se efectúan estudios relacionados con los mecanismos de generación de ruido de neumáticos/carretera; así como la metodología para medir los niveles de ruido y vibración resultado del contacto directo entre la banda de rodadura y la superficie de la carretera. Sin embargo, todavía no se cuenta con un control total sobre el ruido originado por la interacción neumático/carretera o de la mitigación en los niveles excesivos de ruido, en la actualidad se encuentran varias formas de medición del ruido y vibración además de normativas que tratan esta temática, pero no se han desarrollado sobre diferentes superficies de construcción de la carretera por lo que se desconoce los parámetros a seguir para elaborar o efectuar estudios relacionados al ruido producido por el tráfico en las ciudades y zonas rurales.

El ruido y las vibraciones del neumático son fenómenos que influyen en el desgaste de componentes ligados a este; además de afectar a la salud de las personas

debido a que el oído humano no soporta niveles sonoros muy elevados, como también puede verse afectada la zona por donde circula el vehículo, incluso notándose un incremento del ruido en el habitáculo generando molestias tanto al conductor como a los ocupantes.

En Ecuador haciendo énfasis en la ciudad de Latacunga, por el momento, no se han desarrollado estudios enfocados al ruido y vibración de los neumáticos que cumplan con los estándares internacionales o que apliquen ensayos internacionalmente aprobados que nos permitan determinar los niveles de ruido y vibración emitidos por diferentes tipos de patrón de la banda de rodadura en varias superficies de la carretera.

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

Ante los inconvenientes producidos por el ruido que emiten los neumáticos al entrar en contacto con la superficie de la carretera, que han generado molestias afectando no solo al comportamiento del vehículo sino también a la salud de las personas, resulta de especial interés identificar los factores del patrón de la banda de rodadura que intervienen en la generación del ruido y vibración del neumático, y a partir de ahí, determinar el patrón con menor incidencia de estos dos fenómenos físicos.

El presente proyecto de investigación surge de la necesidad de estudiar la influencia del patrón de la banda de rodadura y las características de la carretera en la generación del ruido y vibración de varios neumáticos para un vehículo de turismo segmento C con el propósito de identificar los factores que predominan en cada prueba.

Con la realización de este proyecto se busca proporcionar información que será beneficiosa para los propietarios de un automotor y de esta manera puedan identificar los neumáticos adecuados para el mismo con base al tipo de patrón de la banda de rodadura y de acuerdo con la superficie de la carretera.

## **1.4. Objetivos del proyecto**

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

- Analizar los efectos del patrón de la banda de rodadura en la generación del ruido y vibración del neumático de un vehículo de turismo segmento C.

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

- Recopilar información útil de fuentes bibliográficas confiables como tesis, artículos de revista, manuales técnicos, monografías y libros relacionados a la temática.
- Seleccionar los neumáticos con diferente patrón de la banda de rodadura que se emplearán durante las pruebas.
- Utilizar equipos destinados para la medición de ruido y vibración de los neumáticos en distintas rutas.
- Tabular los datos recopilados acorde a las pruebas realizadas con los diferentes tipos de patrón del neumático para su posterior representación gráfica mediante el software Matlab versión de prueba.
- Analizar los datos obtenidos de las pruebas realizadas con varios tipos de neumáticos a fin de estimar el patrón de la banda de rodadura con menor incidencia de ruido y vibración.

## **1.5. Hipótesis**

La identificación de los efectos del patrón de la banda de rodadura en la generación de ruido y vibración del neumático permitirá determinar el patrón que se ajuste a las condiciones de la carretera el mismo que deberá inducir un porcentaje menor de ruido y vibraciones.

## **1.6. Variables de investigación**

### **1.6.1. *Variable independiente***

- Tipos de patrones de la banda de rodadura

### **1.6.2. *Variable dependiente***

- Ruido y vibración del neumático

## Capítulo II

### 2. Fundamentación teórica

En este capítulo se compila información procedente de fuentes bibliográficas confiables como tesis, manuales técnicos, artículos de revista y libros relacionados con el ruido y vibración de los neumáticos, rescatando conceptos que fortalezcan la investigación.

#### 2.1. El ruido

Es considerado un sonido no deseado y molesto que puede afectar negativamente la salud y el bienestar de las personas, las consecuencias ocasionadas por este fenómeno físico son la pérdida auditiva, el estrés, la pérdida del sueño, la distracción y la pérdida de la productividad, además influye en la reducción general de la calidad de vida y la tranquilidad (Vega, 2014).

En el caso del ruido neumático/carretera, el sonido no deseado se propaga en el medio del aire. Así, cualquier variación de la presión del aire resultante de la interacción entre el neumático y la carretera generará ruido en el aire (XuWang, 2020).

#### 2.2. La vibración

Se refiere al movimiento oscilante alrededor de un punto de referencia que se puede originar a una frecuencia o un conjunto de frecuencias (Sanz, 2012).

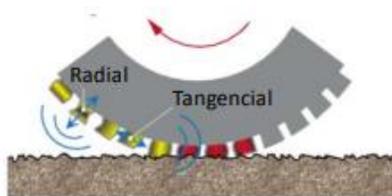
##### 2.2.1. *Vibraciones en vehículos*

La vibración resulta de la aplicación de una fuerza a un mecanismo que presenta la capacidad para deformarse. En este sentido se considera que las fuentes de vibración más comunes en los vehículos son los provocados por la superficie de la carretera a través de las suspensiones, el movimiento producido en los motores y demás sistemas que intervienen en su funcionamiento (Sanz, 2012).

La vibración de la banda de rodadura y su posterior radiación es producto de la interacción neumático/carretera. Por lo general las vibraciones resultan debido a la reducida uniformidad que presenta la estructura de la cubierta del neumático o también por la aspereza de la carretera (Muract, Molisani, Arechaga, Jaureguizar, & O'Brien, 2013).

## Figura 1

*Generación de ruido por Vibración*



*Nota.* Tomado de (Muract, Molisani, Arechaga, Jaureguizahar, & O'Brien, 2013).

### 2.3. Instrumentos para el análisis sonoro

De acuerdo con (Sanz, 2012), estos equipos son necesarios para efectuar la medición de niveles de ruido continuo o los ruidos generados por los neumáticos, algunos modelos se detallan a continuación:

#### 2.3.1. *Sonómetros integradores/promediadores*

El instrumento más apropiado para la medición de sonido es un sonómetro, este integra un sensor de ruido, un detector de nivel en el que intervienen dos constantes de tiempo la primera es de respuesta lenta o y la segunda de respuesta rápida, además permite adecuar las mediciones realizadas a la respuesta del oído humano al sonido.

#### 2.3.2. *Analizadores de frecuencia*

Es una herramienta eficaz para reconocer fuentes de ruido y valorar la efectividad de las medidas de control de ruido empleadas.

#### 2.3.3. *Analizadores de intensidad sonora*

Permite realizar mediciones de la potencia acústica, adecuado para condiciones en las cuales el ruido de fondo sea elevado. Además es factible para realizar evaluaciones que permitan identificar fuentes a partir de un mapeado de la intensidad sonora.

### 2.4. El neumático

Se refiere a un componente que hace posible la movilización de un vehículo sobre diferentes superficies de carretera. Está constituido por una cubierta fabricada esencialmente de caucho la cual contiene aire y es el encargado de resistir cargas vivas y muertas del vehículo (Castro, 2008).

**Figura 2***Neumático de vehículo*

*Nota.* Tomado de (Guadarrama, 2019).

**2.4.1. Funciones y características**

Desde el punto de vista de (Arauz & Llumiquinga, 2017), las principales funciones del neumático son:

- Soportar y transferir al suelo el peso del vehículo constituido por cargas vivas y muertas.
- Efectuar los esfuerzos longitudinales necesarios para responder tracción y el frenado.
- Acoplarse a las irregularidades menos evidentes en la superficie de la carretera, extendiendo la vida de los amortiguadores.
- Ejercer los esfuerzos laterales exactos para mantener la trayectoria del vehículo.

Para desarrollar las funciones anteriores según (Arauz & Llumiquinga, 2017), los neumáticos deben cumplir las siguientes características:

- Presentar mínima oposición a la rodadura.
- Alta resistencia a la fatiga, al desgaste y a la deformación de grietas.
- Tener una apropiada flexibilidad, transversal, radial y circunferencial.
- Elevada adherencia sobre la superficie de la carretera en dos situaciones seca y mojada.
- Capacidad para soportar los esfuerzos dinámicos generados en el exterior.

### 2.4.2. Estructura

Se encarga de brindar protección a la cámara donde se encuentra el aire a una presión establecida, su composición se basa en cinco partes principales como: la cubierta, los tejidos, la estructura intermedia, la banda de rodadura y el talón (Guamán & Zhagüi, 2016).

### Figura 3

*Estructura del neumático*



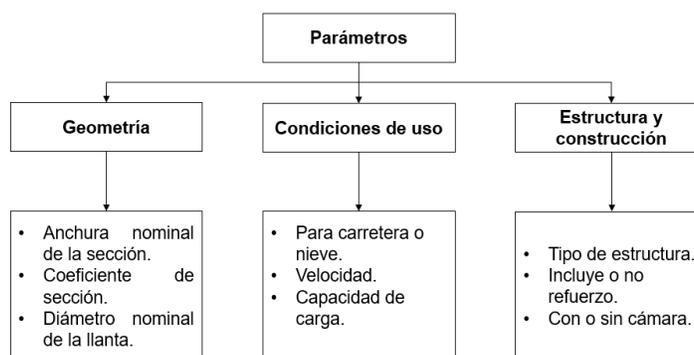
*Nota.* La estructura del neumático la constituyen diferentes componentes. Tomado de (Dery, 2020).

### 2.4.3. Parámetros constructivos

Existen tres tipos de parámetros que se deben tener en cuenta para la elaboración de los neumáticos los cuales posteriormente otorgarán las propiedades principales a este. En la figura 4 se observa los diferentes parámetros que se toman en cuenta para la fabricación de los neumáticos (Guamán & Zhagüi, 2016).

### Figura 4

*Parámetros constructivos de neumáticos*



*Nota.* Adaptada de (Guamán & Zhagüi, 2016).

#### **2.4.4. Método de fabricación**

Existen tres procesos fundamentales para la fabricación de un neumático estos son: confección, conformación y cocción. Para ello previamente se debe preparar y tratar los diferentes elementos que se utilizan en la fabricación. Se emplea el caucho este puede ser de dos tipos sintético o natural. La mezcla homogénea entre ambos modifica las propiedades de resistencia y elasticidad.

El acero es el material utilizado para fabricar los hilos interiores del neumático, fundamentales en la adhesión de la llanta y el neumático (Salvat Editores, 1981).

**2.4.4.1. Confección.** La confección sirve como punto inicial para la creación de la base del neumático. En un tambor se procede a colocar los componentes del neumático que empieza a tomar forma.

Seguidamente se agrega la lona de carcasa que se la ubica transversalmente posterior a ello en cada lado de la lona se instala los aros metálicos que darán firmeza al neumático. En este punto del proceso están estructurados los materiales pero el neumático aún carece de su forma característica (Salvat Editores, 1981).

**2.4.4.2. Conformación.** A partir de este proceso se inicia a moldear el producto final que recibe el nombre neumático crudo, es decir, una versión preliminar. Como primer punto los componentes deben pasar de su forma cilíndrica a la de anillo teórico, durante este proceso el neumático empieza a tomar su forma habitual.

Para efectuar esta acción el neumático se somete una presión de inflado en su zona central de esta manera se inflan y se tensan las capas de goma. En esta parte el neumático preliminar aún conserva algunas propiedades elásticas que lo harían inservible para usarse como un neumático de verdad (Salvat Editores, 1981).

**2.4.4.3. Cocción.** La última etapa de la fabricación del neumático consiste en la colocación del neumático crudo en un molde para posteriormente cocerlo. La vulcanización es un proceso que ocurre en la cocción el cual tiene un tiempo de duración de alrededor de 10 minutos a 150°. La goma pasa de tener un carácter plástico y deformable a adquirir propiedades como la resistencia, firmeza y elasticidad, las cuales dependen del grado de vulcanización, el proceso de enfriamiento se realiza al aire libre.

Finalmente antes de comercializar los neumáticos estos tienen que pasar los controles de calidad para asegurar que no presenten algún tipo de error (Salvat Editores, 1981).

### **Figura 5**

*Fabricación de neumáticos*



*Nota.* Tomado de (Martínez, 2016).

### **2.4.5. Partes del neumático**

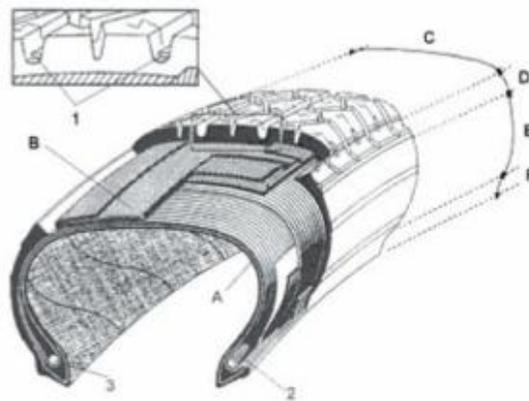
De acuerdo con (Martín, 2007), los neumáticos están compuestos de tres partes principales las cuales son: cubierta, válvula y cámara si lleva esta.

- Cámara: es el componente de goma que almacena el aire y le proporciona la forma al neumático.
- Válvula: es la sección por la cual se infla el neumático y tiene como función mantener la presión.
- Cubierta: es la porción principal del neumático y está compuesta de las siguientes partes:
  - A. Carcasa: da firmeza a la cubierta, está compuesta de una o más telas engomadas, además va revestida de una capa de goma que le brinda impermeabilidad.

- B. Cintura: se compone de varias telas en la parte superior de la carcasa.
- C. Banda de rodadura: es la franja de la cobertura que tiene contacto directo con el piso, protege a la carcasa de los golpes y de la abrasión. Su dibujo está formado por tacos y surcos que determinan la adherencia al suelo.
- D. Hombros: son las porciones de unión entre la banda de rodadura y el flanco de cubierta. Impide los golpes laterales que se presentan en el neumático.
- E. Talones: la misión principal es anclar la estructura de refuerzo en el neumático y transferir parte de los movimientos de aumento de velocidad y frenado.

### Figura 6

*Partes del neumático*



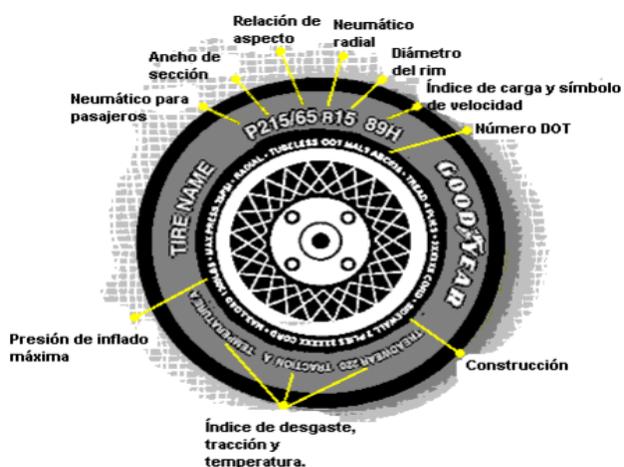
*Nota.* Tomado de (Martín, 2007).

#### **2.4.6. Información técnica del neumático**

La nomenclatura que aparece incrustada en los costados del neumático provee datos que son importantes para el usuario. Entre la información provista se destaca el tamaño del neumático, tipo de construcción, diámetro del rin, presión máxima de inflado, avisos importantes de seguridad, entre otros (FIVI, 2003).

Figura 7

Nomenclatura del neumático



Nota. Tomado de (FIVI, 2003).

**2.4.6.1. Índice de velocidad.** Es un código alfabético que corresponde a la velocidad máxima que el neumático puede alcanzar como se observa en la tabla 1 (Arauz & Llumiquinga, 2017).

Tabla 1

Índice de velocidad

Índice de velocidad	Velocidad en Km/h	Índice de velocidad	Velocidad en Km/h	Índice de velocidad	Velocidad en Km/h
A1	5	D	65	Q	160
A2	10	E	70	R	170
A3	15	F	80	S	180
A4	20	G	90	T	190
A5	25	J	100	U	200
A6	30	K	110	H	210
A7	35	L	120	V	240
A8	40	M	130	ZR	>240
B	50	N	140	W	270
C	60	P	150	Y	300

Nota. Esta tabla indica la equivalencia del índice de velocidad en Km/h. Tomado de (Arauz & Llumiquinga, 2017).

**2.4.6.2. Índice de carga.** Es un código numérico ubicado en la pared lateral del neumático que representa la máxima carga que el neumático puede tolerar como se observa en la tabla 2 (Arauz & Llumiquinga, 2017).

**Tabla 2**

*Índice de carga*

Índice de carga	Peso en Kg	Índice de carga	Peso en Kg
70	335	87	545
71	345	88	560
72	355	89	580
73	365	90	600
77	412	91	615
78	425	92	630
79	437	93	650
80	450	94	670
81	462	95	690
82	475	96	710
83	500	97	730
84	500	98	750
85	515	99	775
86	530	100	800

*Nota.* Esta tabla indica la equivalencia del índice de carga en Kg. Tomado de (Arauz & Llumiquinga, 2017).

#### **2.4.7. Presión de inflado de los neumáticos**

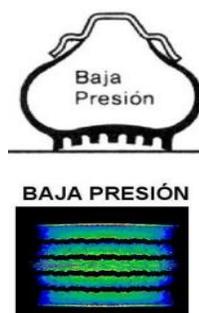
El neumático soporta cargas vivas y muertas del vehículo, para ello utiliza un gas comprimido este se encarga de generar rigidez en las capas del casco. Debido a que la banda de rodadura presenta dos características alta resistencia a la tensión y baja resistencia a la compresión. La presión del aire se encarga de crear la tensión en el casco que permite al neumático tolerar diferentes cargas (Guevara, 2001).

### 2.4.7.1. Presión baja

Existe una menor cantidad de aire dentro del neumático con respecto a la presión indicada por el fabricante, tomando en cuenta parámetros como la carga y velocidad del vehículo. Al utilizar un neumático con baja presión el contacto con el suelo es mayor esto provoca que el consumo de combustible sea elevado además de producir de un desgaste acelerado e irregular de la banda de rodadura (Jaumandreu, 2014).

#### Figura 8

*Presión baja del neumático*

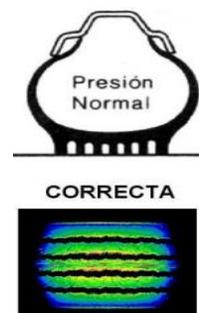


*Nota.* Tomado de (Jaumandreu, 2014).

**2.4.7.2. Presión correcta.** La presión ideal de los neumáticos proporciona más agarre y resisten de mejor las irregularidades de la carretera y el peso de cargas vivas y muertas del vehículo. Además, pueden trabajar a temperaturas más bajas sin presentar un desgaste prematuro en la banda de rodadura (Guevara, 2001).

#### Figura 9

*Presión correcta del neumático*



*Nota.* Tomado de (Jaumandreu, 2014).

- 2.4.7.3. Presión alta.** Tiene una mayor cantidad de aire en el interior del neumático. En este caso las consecuencias afectan al control del vehículo y la posibilidad de sufrir un reventón. Sin embargo, al presentar esta condición no influye en el incremento del combustible (Jaumandreu, 2014).

**Figura 10**

*Presión alta del neumático*



*Nota.* Tomado de (Jaumandreu, 2014).

**2.4.8. Tipos de cubierta según su estructura**

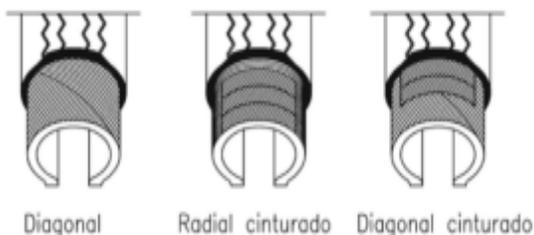
En base a la distribución de los hilos de tejido en la cubierta del neumático, existen tres tipos de estructura: radial, diagonal y diagonal cinturado, mostradas en la Figura 12. En la actualidad la estructura más utilizada en vehículos de pasajeros es la radial.

- 2.4.8.1. Neumáticos diagonales.** La carcasa de estos neumáticos está formada por varias capas de cuerdas alternas en direcciones cruzadas que se solapan una encima de la otra. Las capas de tejido forman aproximadamente un ángulo de 40 grados respecto al eje central del neumático (Jaumandreu, 2014).
- 2.4.8.2. Neumáticos radiales.** En los neumáticos con estructura radial, las capas de la carcasa forman un ángulo de 90° respecto al eje central de la rueda, y van de talón a talón. También hay algunas capas de refuerzo aproximadamente a 20 grados en la zona del cinturón (Jaumandreu, 2014).

**2.4.8.3. Neumáticos mixtos o cinturados.** Este diseño combina los dos modelos anteriores. Su constitución es principalmente de una carcasa diagonal, a la que se le incorporan varios cinturones de refuerzo entre la carcasa y la banda de rodadura este proceso se lo realiza con la finalidad de brindar una gran rigidez a la banda de rodadura. Poseen unas características similares a la de los dos anteriores (Jaumandreu, 2014).

**Figura 11**

*Estructuras básicas de los neumáticos*



Nota. Los neumáticos pueden tener diferentes estructuras de acuerdo con la distribución de los hilos de tejido en la cubierta. Tomado de (Heras, 2010).

## **2.5. Mecanismos de generación de ruido de neumáticos/carretera**

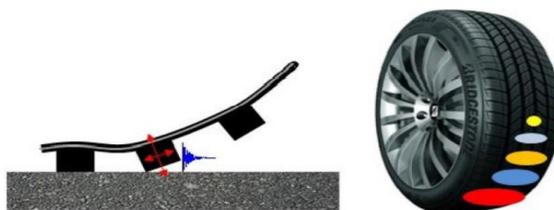
Según (Azizi, 2020) existen diferentes mecanismos que contribuyen al ruido estructural y aéreo de los neumáticos. En la mayoría de estos mecanismos, el ruido y las vibraciones del neumático se originan en las interacciones entre el neumático y la carretera en la zona de contacto del neumático o en algunos efectos dinámicos internos, los cuales se describen a continuación:

### **2.5.1. Ruido y vibraciones inducidos por el impacto**

Se produce cuando los tacos del neumático entran y salen de la zona de la huella, las deformaciones locales del neumático ocasionadas por las interacciones entre el neumático y la carretera excitan el neumático generando así las vibraciones (Azizi, 2020).

**Figura 12**

*Ruido y vibración inducidos por el impacto de los tacos*



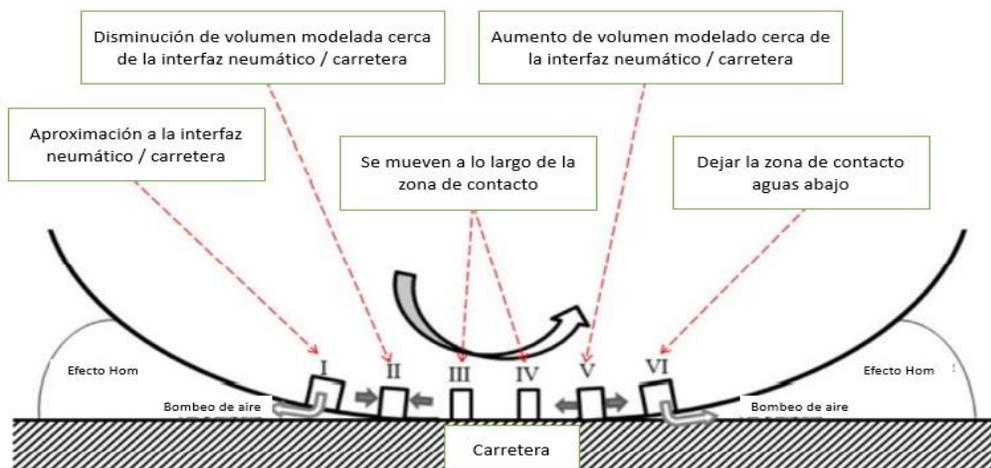
*Nota.* Uno de los mecanismos que contribuyen al ruido estructural y aéreo de los neumáticos es el que se produce por el impacto de los tacos. Tomado de (Azizi, 2020).

### 2.5.2. **Bombeo de aire**

A medida que el neumático rueda sobre la superficie de la carretera, los volúmenes de los surcos se comprimen o expanden, lo que obliga al aire a entrar y salir de las bolsas en el borde de ataque creando un sonido de estruendo (Azizi, 2020).

**Figura 13**

*Generación de ruido del bombeo de aire de los neumáticos*



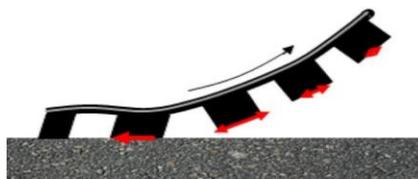
*Nota.* Adaptada de (Azizi, 2020).

### 2.5.3. **Ruido y vibración inducidos por la fricción**

El resultado de la fricción entre el neumático y la superficie de la carretera induce vibraciones que pueden provocar el ruido. La textura de la superficie de la carretera desempeña un papel significativo en la existencia e importancia de este mecanismo, material de la estructura del neumático (Azizi, 2020).

## Figura 14

*Mecanismo de generación del ruido inducido por la fricción*



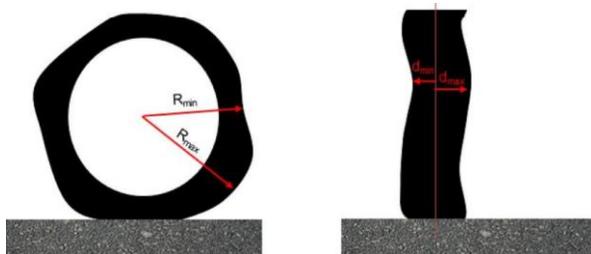
*Nota.* La fricción es otro factor que incide en la generación del ruido y se produce durante la interacción entre el neumático y la carretera. Tomado de (Azizi, 2020).

### 2.5.4. Falta de uniformidad de los neumáticos como fuente de vibraciones

La falta de uniformidad geométrica se debe a la excentricidad radial o lateral del neumático, ya que la geometría de un neumático no siempre es perfecta, las excentricidades provocan las variaciones de las fuerzas radiales y laterales que causan las vibraciones estructurales (Azizi, 2020).

## Figura 15

*No uniformidad geométrica de un neumático*



*Nota.* La uniformidad geométrica del neumático influye en la generación de vibraciones. Tomado de (Azizi, 2020).

### 2.6. Banda de rodadura

Se refiere a la banda exterior de goma elástica que envuelve a la carcasa del neumático su misión es mantener contacto directo con el suelo. La reducida porción de la banda de rodadura que se apoya en el pavimento constituye el único elemento de enlace entre el vehículo y la carretera, debe resistir todas las fuerzas que se originan por la dinámica del vehículo, permitiendo la tracción, el frenado y el control direccional del mismo (Luque , Álvarez, & Vera , 2005, pág. 27).

## Figura 16

### *Banda de rodadura del neumático*



*Nota.* La banda de rodadura es un componente importante ya que está en contacto directo con la superficie de la carretera. Tomado de (Avon Tyres, s.f.).

#### **2.6.1. Tipos de patrones de la banda de rodadura**

De acuerdo con (Arauz & Llumiquinga, 2017), la banda de rodadura incluye varios diseños que ayudan a drenar el agua y a prepararse para diversos factores determinados por el estado de la superficie de la carretera y el tipo de vehículo que se está utilizando.

Según (Villalpando, 2019), estos son algunos ejemplos de patrones de la banda de rodadura:

**2.6.1.1. Patrón asimétrico.** La construcción de este tipo es diferente en las dos mitades del neumático. En ese sentido la parte exterior adopta una geometría en la cual los bloques presentan mayor tamaño y son responsables de la estabilidad de la conducción, mientras que los bloques más pequeños de la parte interior cumplen la función de disipar el agua producto de la lluvia u otros orígenes.

**Tabla 3**

*Ventajas, desventajas y aplicación del patrón asimétrico*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>	<b>Aplicación</b>
Mayor superficie de contacto del neumático con la carretera y esto supone una mejor adherencia.	El montaje de estos neumáticos debe ser de acuerdo con las instrucciones del fabricante, tomando en cuenta el lado correcto debe ir por fuera de la carrocería.	Para vehículos con un estilo deportivo y en modelos del tipo High Performance de clase alta.

*Nota.* Esta tabla señala algunos aspectos importantes sobre el patrón asimétrico.

Adaptada de (Villalpando, 2019).

**Figura 17***Patrón asimétrico*

*Nota.* El patrón asimétrico ofrece mayor superficie de contacto entre el neumático y la carretera. Tomado de (Villalpando, 2019).

**2.6.1.2. Patrón direccional**

La parte media de la banda de rodadura la constituyen surcos transversales simétricos con similar ángulo desde el centro hacia fuera por las dos mitades del neumático resultando en una forma tipo "V".

**Tabla 4**

*Ventajas, desventajas y aplicación del patrón direccional*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>	<b>Aplicación</b>
Excelentes propiedades de tracción, gran estabilidad sobre pavimentos mojados, frenan eficazmente y son mejores para una circulación rápida e intensa.	Son más ruidosos que los neumáticos con patrón asimétrico por lo que son más propensos a sufrir desgaste.	Para vehículos turismo que tengan medidas dedicadas con un índice de velocidad.

*Nota.* Esta tabla señala algunos aspectos importantes sobre el patrón direccional. Adaptada de (Villalpando, 2019).

**Figura 18***Patrón direccional*

Nota. El patrón direccional su característica principal es la forma en V que forman los surcos transversales. Tomado de (Villalpando, 2019).

**2.6.1.3. Patrón simétrico**

Este tipo de patrón presenta un diseño similar en ambas mitades del neumático, es muy común en vehículos compactos o urbanos (Yoconor, 2021).

**Tabla 5**

*Ventajas, desventajas y aplicación del patrón simétrico*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>	<b>Aplicación</b>
Ofrece una buena relación calidad-precio. Silenciosos. Alta resistencia. Alta estabilidad direccional.	Sus prestaciones son inferiores sobre carretera mojada. No están diseñados para vehículos potentes o deportivos.	Carretera seca.

*Nota.* Esta tabla señala algunos aspectos importantes sobre el patrón simétrico.

Adaptada de (Yoconor, 2021).

## Figura 19

*Patrón simétrico*



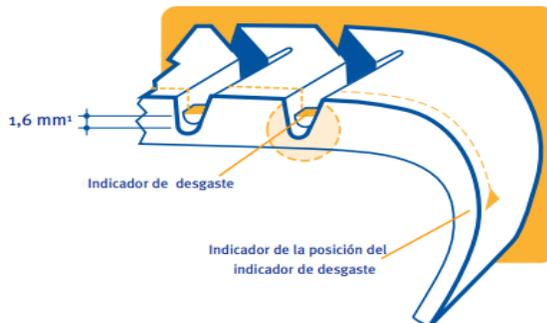
*Nota.* El patrón simétrico es el más utilizado debido a las prestaciones que este ofrece. Tomado de (Yoconor, 2021).

### 2.6.2. Profundidad de la banda de rodadura

Comprobar la banda de rodadura es importante para saber si un neumático podrá evacuar el agua de forma correcta. La profundidad de unas llantas nuevas varía entre 8 y 9 mm. En Ecuador la normativa establece que la profundidad mínima debe ser de 1,6 mm (Continental , s.f.).

## Figura 20

*Profundidad mínima de la banda de rodadura*



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

### 2.6.3. Factores de la banda de rodadura que influyen en el ruido

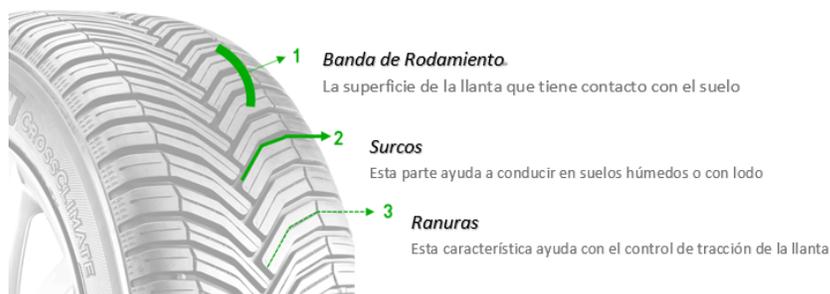
De acuerdo con (Li, 2020), los factores que influyen en la generación del ruido se describen a continuación:

## 2.7. Ruido debido al patrón de la banda de rodadura

Como señala (Vega, 2014), este tipo de ruido se genera con frecuencia en vehículos provistos con patrón de bloque o de maza circular por vías pavimentadas. Su intensidad es proporcional a la velocidad del vehículo.

### Figura 21

*Partes de la banda de rodadura*



*Nota.* Tomado de (Vega, 2014).

### 2.7.1. Ancho de la ranura

A medida que aumenta la anchura de la ranura, aumenta el ruido de los neumáticos debido al aumento de la cavidad de aire entre los bloques.

### 2.7.2. Profundidad de las ranuras

El aumento en la profundidad de las ranuras incide en el incremento del bombeo de aire el cual es un mecanismo de generación de ruido de neumáticos/carretera.

### 2.7.3. Ángulo de los surcos

El ruido del neumático disminuye con el aumento del ángulo de los surcos con respecto a la dirección lateral porque evita el impacto simultáneo sobre la anchura de la banda de rodadura.

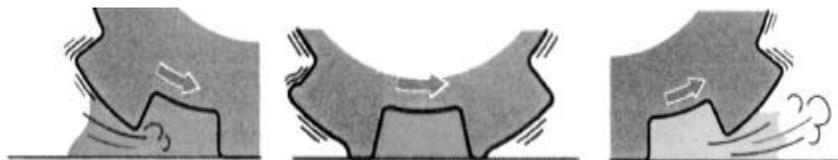
La forma en que se origina este ruido es la siguiente:

- En el instante que un neumático gira sobre la superficie de una carretera, el aire queda retenido entre los surcos de la banda de rodadura y se comprime al entrar en contacto con el suelo, como se indica en la figura 22.
- A medida que el neumático rueda, el aire comprimido sale del surco, a lo que se denomina acción de bombeo de aire y se expande al ser liberado

creando un sonido de estruendo. El incremento de estos sonidos produce un bramido.

### Figura 22

*Generación del ruido debido al patrón de la banda de rodadura*



*Nota.* El patrón de la banda de rodadura es un gran influyente en el ruido del neumático. Tomado de (Vega, 2014).

### 2.8. Límites de emisión de ruido de rodadura

En la siguiente tabla se detalla los límites de ruido de rodadura de acuerdo con la anchura de sección.

**Tabla 6**

*Límites de emisión de ruido de rodadura*

<b>Anchura nominal de sección</b>	<b>Límite dB(A)</b>
<b>145 e inferior</b>	72
<b>Más de 145 hasta 165</b>	73
<b>Más de 165 hasta 185</b>	74
<b>Más de 185 hasta 215</b>	75
<b>Más de 215</b>	76

*Nota.* Tomado de (CEPE, 2016).

## Capítulo III

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

En este capítulo se establece la descripción de las normas que se consideró para efectuar las pruebas de la investigación, adicionalmente se detalla las características de las rutas, los equipos utilizados para la obtención de datos, especificaciones técnicas del vehículo, la caracterización de los neumáticos, la respectiva preparación del vehículo, instalación de los sensores y la representación gráfica de los resultados obtenidos.

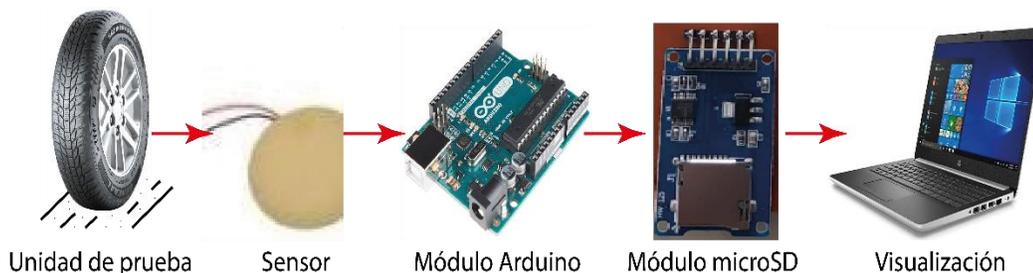
Los sistemas empleados para realizar la toma de datos y posterior almacenamiento de los resultados se basan en cuatro elementos fundamentales que se describen a continuación.

- Los sensores cumplen la función de convertir las magnitudes físicas en eléctricas.
- Módulo Arduino son placas que podremos conectar a las ciertas tarjetas Arduino y dotarlas de nuevas funcionalidades.
- Módulo microSD para insertar una memoria MicroSD que permite almacenar los datos.
- Laptop para la visualización de los resultados recopilados por los equipos de medición.

En la figura 23 se observa el proceso de adquisición de datos:

#### Figura 23

*Proceso de adquisición de datos*



### 3.1. Normativas

El ruido y la vibración son dos fenómenos muy comunes en los vehículos, para identificar los factores responsables de su origen se debe realizar varios ensayos, estos deben regirse a diferentes normativas que establecen procedimientos y requisitos que se deben tomar en cuenta para efectuarlos, entre las organizaciones que se encargan de facilitar estas normativas se destacan la ISO, UNE, INEN, etc.

Previo a la ejecución de las pruebas se debe tener en cuenta las normas que establecen los métodos y procedimientos para desarrollar este tipo de ensayos en la tabla 7 se describen estas normas.

**Tabla 7**

*Normas consideradas*

<b>Norma</b>	<b>Descripción</b>
<b>ISO 10816</b>	Propone requisitos y procedimientos que permitan efectuar la medición y evaluación de la vibración en partes de una máquina que no se encuentran rotando.
<b>UNE-EN 1032:1997</b>	Detalla el ensayo de maquinaria móvil que permite determinar los valores de emisión de las vibraciones de cuerpo completo.
<b>NTE INEN 2665</b>	Determina un método de ensayo que permite medir el ruido emitido por los vehículos durante la aceleración.

### 3.2. Características de las rutas

La Provincia de Cotopaxi posee diferentes superficies utilizadas para el transporte entre ellas se destaca la de suelo natural que es la de mayor superficie con 1144.26 km, el resto de vías lo integran 955.36 km de lastre, 503.66 km de pavimento flexible, 356.26 km de empedrado, 57.27 km mixto, 43.04 km de doble tratamiento bituminoso y un 19.59 km de adoquín (CONGOPE, 2019, pág. 33).

Al examinar la superficie de rodadura del cantón Latacunga, la superficie predominante es suelo natural con 485.52 km, la mayor cantidad se concentra en la parroquia Toacaso con 112.43 km (CONGOPE, 2019, pág. 33).

**Tabla 8***Superficie de rodadura por cantón (km)*

<b>Cantón</b>	<b>Superficie por rodadura</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>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).

Las rutas de prueba deben estar dispuestas de manera que haya un campo libre con la menor presencia de vehículos y peatones, además de cumplir con la distancia requerida, en la tabla 9 se muestra las especificaciones de las diferentes rutas.

**Tabla 9***Rutas utilizadas para las pruebas*

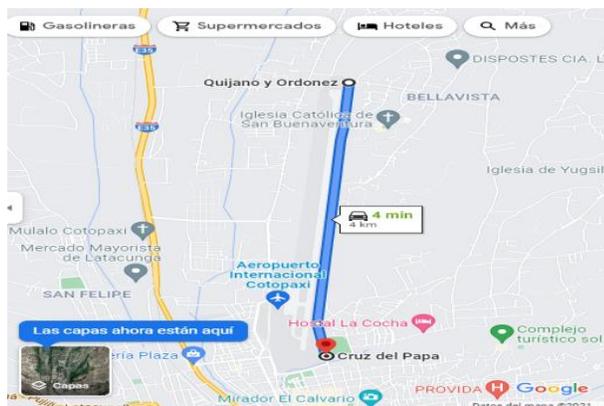
<b>Nro. de ruta</b>	<b>Tipo de terreno</b>	<b>Distancia</b>
<b>1</b>	Pavimento	3 Km
<b>2</b>	Adoquín	3 Km
<b>3</b>	Empedrado	3 Km
<b>4</b>	Suelo natural	3 Km

### 3.3. Ruta 1. Pavimento

La primera ruta empleada en el proyecto de investigación está situada al norte de la ciudad de Latacunga junto al Aeropuerto Nacional Cotopaxi y cuenta con una longitud total de 3 Km como se indica en la figura 24.

## Figura 24

### Ruta Nro.1 – Pavimento



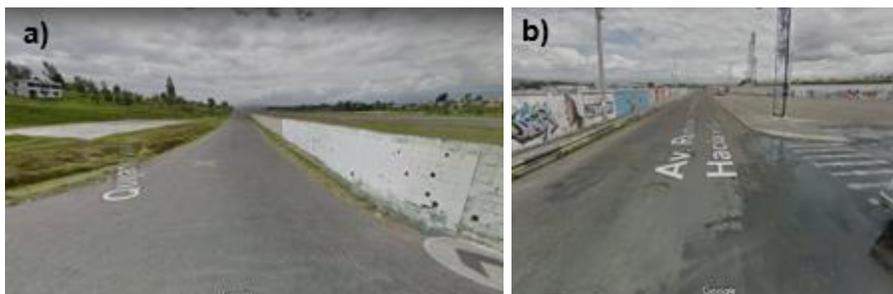
*Nota.* Trazado de la ruta de asfalto. Tomado de (Google Maps, 2021).

Coordenadas de ubicación:

- a) Punto inicial: 0°53'21.4"S 78°36'49.1"W.
- b) Punto final: 0°55'21.1"S 78°36'56.6"W.

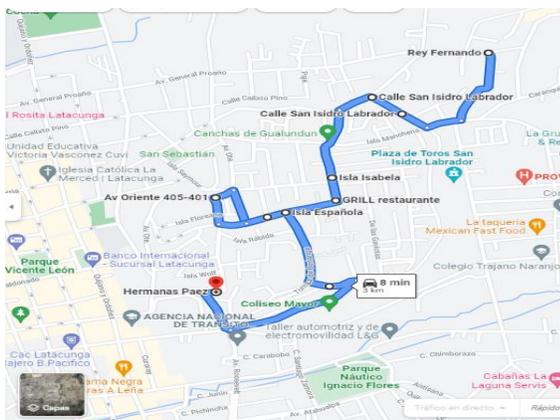
## Figura 25

a) Punto inicial. b) Punto final



### 3.4. Ruta 2. Adoquín

La segunda ruta empleada en el proyecto de investigación está situada al este de la ciudad de Latacunga en el sector Gualundun y cuenta con una longitud total de 3 Km como se observa en la figura 26.

**Figura 26***Ruta Nro. 2 – Adoquín*

*Nota.* Trazado de la ruta de adoquín. Tomado de (Google Maps, 2021).

Coordenadas de ubicación:

- a) Punto inicial: 0°55'32.4"S 78°36'13.3"W.
- b) Punto final: 0°56'16.6"S 78°36'36.0"W.

**Figura 27**

a) Punto inicial. b) Punto final

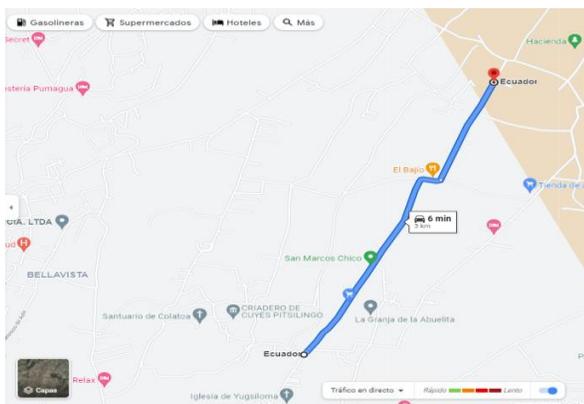


### 3.5. Ruta 3. Empedrado

La tercera ruta empleada en el proyecto de investigación está situada al noreste de la ciudad de Latacunga en la parroquia Juan Montalvo (Barrio San Marcos Chico) y cuenta con una longitud total de 3 Km como se observa en la figura 28.

## Figura 28

### Ruta Nro. 3 – Empedrado



*Nota.* Trazado de la ruta de empedrado. Tomado de (Google Maps, 2021).

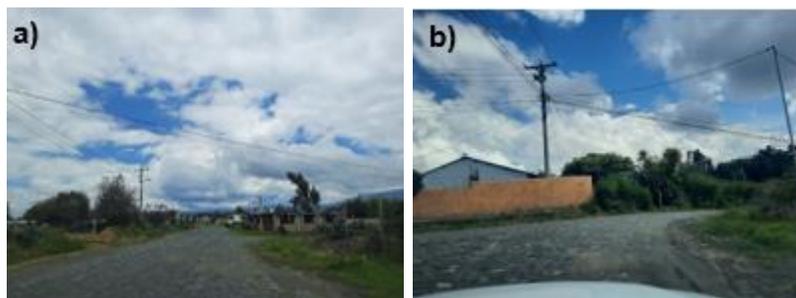
Coordenadas de ubicación:

a) Punto inicial: 0°53'52.7"S 78°35'25.3"W.

b) Punto final: 0°52'24.5"S 78°34'39.2"W.

## Figura 29

a) Punto inicial. b) Punto final

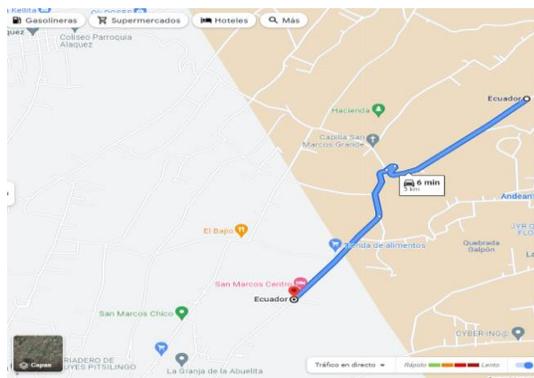


### 3.6. Ruta 4. Suelo Natural

La última ruta empleada en el proyecto de investigación está situada al noreste de la ciudad de Latacunga en la parroquia Alaquez (Barrio San Marcos Grande) y cuenta con una longitud total de 3 Km como se observa en la figura 30.

### Figura 30

#### Ruta Nro. 4 – Suelo natural



Nota. Trazado de la ruta de suelo natural. Tomado de (Google Maps, 2021).

Coordenadas de ubicación:

- a) Punto inicial: 0°52'15.1"S 78°33'48.3"W.
- b) Punto final: 0°53'19.0"S 78°34'43.6"W.

### Figura 31

a) Punto inicial. b) Punto final



#### 3.6.1. Condiciones ambientales

Las mediciones no se deben efectuar en condiciones meteorológicas adversas, para disminuir el efecto de estos factores las pruebas se realizan en el mismo intervalo de tiempo cada día, tratando de mantener las mismas condiciones ambientales para que no exista mayor incidencia en los valores de ruido y vibración durante las pruebas.

### 3.6.2. Velocidad del vehículo por ruta

Los límites de velocidad establecidos por la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial del Ecuador en su capítulo IV, señala los siguientes límites de velocidad detallados en la tabla 10 (SPPAT, 2019).

**Tabla 10**

*Para vehículos livianos, motocicletas y similares*

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

*Nota.* Tomado de (SPPAT, 2019).

La velocidad del vehículo es un factor que se consideró según el tipo de terreno que presenta cada ruta, en la tabla 11 se indican las velocidades utilizadas en las pruebas.

**Tabla 11**

*Velocidad del vehículo según la ruta*

Nro. de ruta	Tipo de terreno	Velocidad
1	Pavimento	70 Km/h
2	Adoquín	40 Km/h
3	Empedrado	20 – 30 Km/h
4	Suelo natural	20 – 30 Km/h

*Nota.* Esta tabla indica las velocidades que se utilizaron de acuerdo con el tipo de terreno de las diferentes rutas. Elaborado por el grupo de investigación.

### 3.7. Equipos de medición

Para medir la magnitud de estos fenómenos físicos vibración y ruido generados por la interacción neumático/carretera se emplearon dos equipos fundamentales, analizador de vibraciones y sonómetro estos fueron construidos debido a la factibilidad para integrar varios sensores.

#### 3.7.1. Analizador de vibraciones

Este instrumento se encarga de proporcionar el espectro de vibración generado por el neumático con diferente patrón de la banda de rodadura, su función principal es determinar el contenido de frecuencias de una señal, a través de un sensor que va ubicado cerca del neumático.

**3.7.1.1. Construcción.** Se optó por construir el analizador de vibraciones principalmente porque podía integrar varios sensores que facilitan la recolección de datos en diferentes puntos del vehículo como neumático, habitáculo, transmisión, suspensión y motor, el procedimiento para su construcción se detalla en el Anexo A.

**3.7.1.2. Componentes.** El criterio de selección de cada componente se realizó de acuerdo con sus especificaciones técnicas y sobre todo que en conjunto puedan cumplir la función planificada, en la tabla 12 se observa la descripción de estos componentes.

**Tabla 12**

*Componentes del analizador de vibraciones*

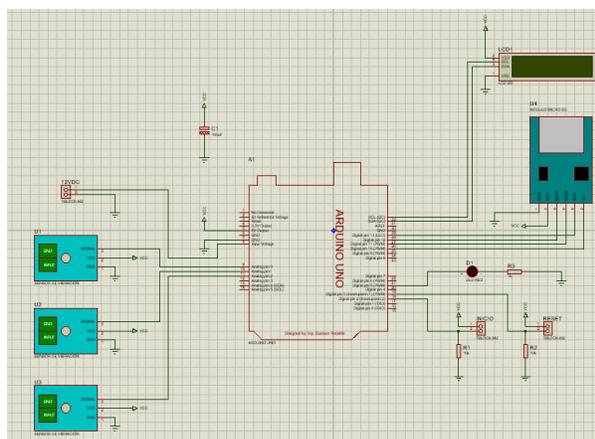
Componente	Descripción
<b>Arduino uno</b>	Es una placa de microcontrolador de código abierto basado en el microchip ATmega328P y desarrollado por Arduino.cc. La placa está equipada con conjuntos de pines de E/S digitales y analógicas que pueden conectarse a varias placas de expansión y otros circuitos.
<b>Modulo microSD</b>	Brinda la facilidad de insertar una memoria microSD para almacenar los datos, este módulo se puede alimentar con 3.3V ó 5V usando los pines respectivos.
<b>Pantalla LCD 16x2</b>	Proporciona de manera visual un mensaje.

Componente	Descripción
<b>Módulo 12C</b>	Facilita el control de la pantalla LCD.
<b>Led</b>	Es un diodo formado por un chip semiconductor dopado con impurezas que crean una unión PN.
<b>Sensor de vibración</b>	Emite una señal analógica al captar una vibración sobre su superficie.
<b>Fusible</b>	Se encarga de proteger al sistema de picos de voltaje.

**3.7.1.3. Diseño del circuito electrónico.** Para la elaboración del circuito eléctrico se utilizó el software Proteus 8.8, el cual permitió realizar la respectiva ubicación de cada uno de los elementos del sistema, posteriormente el resultado obtenido se trasladará a la PCB la cual va a ser plasmada en una placa de cobre, este procedimiento es muy utilizado debido a la factibilidad que ofrece al no utilizar cables de por medio para las conexiones.

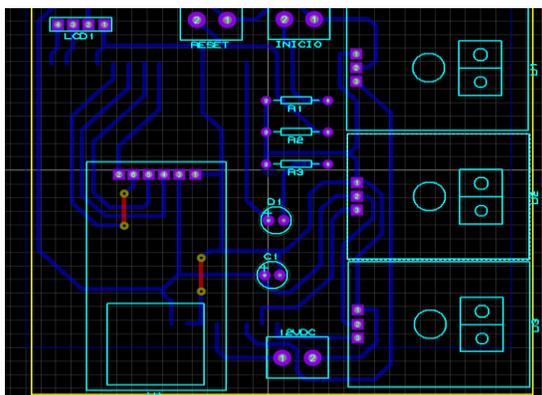
**Figura 32**

*Diseño del diagrama eléctrico en Proteus*



**Figura 33**

*Diseño de la PCB en Proteus*



**3.7.1.4. Programación.** Para desarrollar el código que se ajuste a las condiciones requeridas se utilizó el software de programación Arduino 1.8.19, el mismo que se detalla en el Anexo C.

**Figura 34**

*Código utilizado para la programación del Arduino.*

```

Codigo_sensor_de_vibracion_SD_final Arduino 1.8.19
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Codigo_sensor_de_vibracion_SD_final
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h> //Incluimos las librerias del modulo I2C.
#include <Wire.h> //Incluimos las librerias del modulo I2C.

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); // Determinamos el nombre y tipo de la LCD con su direccion I2C y sus caracteristicas

int horas = 0;
int minutos = 0;
int segundos = 0;
int decimas = 0;
long milisegundos = 0;
long tiempo = 0;
long sumatiempo = 0;

int boton = 3;
int inicio = 2;
int led = 5;

int sensor1;
int sensor2;
int sensor3;

String tiempoString = ""; //Cree una cadena vacia

void setup(){
  Serial.begin(9600);

  lcd.backlight(); //Iniciamos el fondo retroiluminado
  lcd.init(); //Iniciamos la pantalla
  lcd.clear(); //Limpiamos la LCD

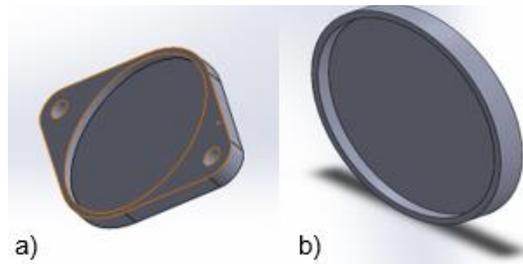
```

**3.7.1.5. Diseño de la carcasa para los sensores.** Para evitar que los factores ambientales y los originados por los componentes del vehículo donde se encuentran ubicados los sensores se decidió por construir una carcasa superior e inferior que brinden protección, cabe recalcar que el sensor se encontrará sellado al vacío.

Con la finalidad de mantener sellado herméticamente las dos carcasas que rodean al sensor se utilizó pegamento instantáneo y una prensa de banco, para evitar el ingreso de polvo o agua en el orificio de salida de los cables se colocó silicona.

### Figura 35

a) *Carcasa superior* b) *Carcasa inferior diseñadas en Solidworks*



### Figura 36

*Analizador de vibraciones terminado*



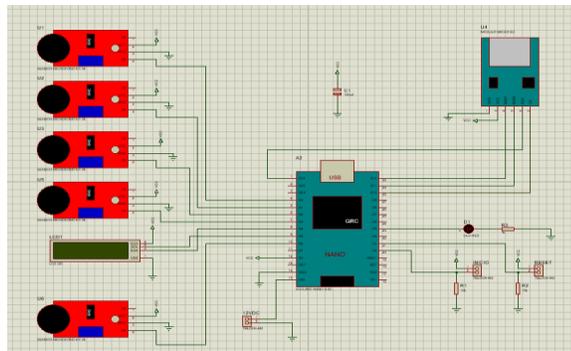
#### 3.7.2. Sonómetro

Como se indicó en el capítulo dos el instrumento capaz de medir los niveles de sonido en diferentes puntos del vehículo previamente seleccionados es el sonómetro, esto lo consigue ya que integran un micrófono que detecta estas variaciones con respecto al tiempo.

- 3.7.2.1. Construcción.** Al igual que el analizador de vibraciones el sonómetro también se construyó debido a la factibilidad de integrar varios sensores facilitando la recolección de datos en diferentes puntos del vehículo como neumático, habitáculo, transmisión, suspensión y motor, el procedimiento para su construcción se detalla en el Anexo B.
- 3.7.2.2. Componentes.** Los componentes principales para construir el sonómetro son similares a los presentados en el analizador de vibraciones con dos variantes ya que se utilizó un Arduino nano y módulos de sonido (sensores de ruido).
- 3.7.2.3. Diseño del circuito electrónico.** Se desarrolló en el programa Proteus 8.8 para ubicar cada componente dentro del diagrama eléctrico especialmente los sensores de ruido.

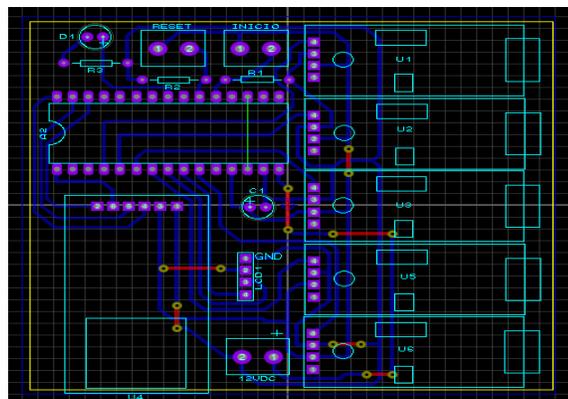
**Figura 37**

*Diseño del diagrama eléctrico en Proteus*



**Figura 38**

*Diseño de la PCB en Proteus*



**3.7.2.4. Programación.** Para desarrollar el código que se ajuste a las condiciones requeridas se utilizó el software de programación Arduino 1.8.9, el mismo que se detalla en el Anexo D.

**Figura 39**

*Programación en Arduino del Sonómetro*



```

Codigo_medidor_de_audio
Codigo_medidor_de_audio
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h> //Incluimos las librerías del modulo I2C.
#include <Wire.h> //Incluimos las librerías del modulo I2C.

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); // Determinamos el nombre y tipo de la LCD con su dirección I2C y sus características

int horas = 0;
int minutos = 0;
int segundos = 0;
int decimas = 0;
long milisegundos = 0;
long tiempo = 0;
long sumatiempo = 0;

int boton = 3;
int inicio = 3;
int led = 5;

int sensor1;
int sensor2;
int sensor3;
int sensor4;
int sensor5;

int valor_g1;
int valor_g2;
int valor_g3;
int valor_g4;

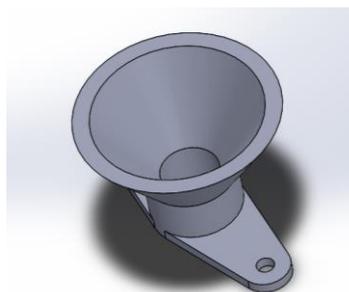
```

**3.7.2.5. Montaje de componentes.** Este proceso es similar al mencionado en el analizador de vibraciones, en el Anexo 3 se indica el procedimiento gráfico.

**3.7.2.6. Carcasa para los sensores de ruido.** Para facilitar la sujeción de los sensores y sobre todo para mejorar la recepción del ruido generado por el neumáticos producto de la interacción con la carretera, el diseño que se adopto es en forma de campana como se observa en la figura 40.

**Figura 40**

*Carcasa del sensor de ruido realizada en Solidworks*



**Figura 41***Sonómetro terminado***3.8. Vehículo de prueba**

De acuerdo con el objetivo del proyecto de investigación, el estudio se realiza para un vehículo turismo segmento C. Para desarrollar las pruebas y obtener datos de ruido y vibración del neumático se utilizará un hatchback de uso común dentro de la ciudad marca Volkswagen Gol 1.8.

**3.8.1. Especificaciones técnicas**

Las especificaciones técnicas del vehículo utilizado para efectuar las pruebas se detallan en la tabla 13.

**Tabla 13***Especificaciones del vehículo de prueba*

<b>Especificaciones técnicas del vehículo de prueba</b>	
<b>Detalle</b>	<b>Valor</b>
<b>Marca:</b>	Volkswagen
<b>Modelo:</b>	Gol
<b>Tipo:</b>	Hatchback
<b>Año:</b>	2002
<b>Neumáticos</b>	195/55R15
<b>Peso bruto vehicular (kg):</b>	1475
<b>Peso vehicular (kg):</b>	1030

*Nota.* Tomado de (Chileautos, s.f.).

**Figura 42**

*Vehículo de prueba*

**3.8.2. Caracterización de los neumáticos de prueba**

Los neumáticos que se utilizaron para las pruebas del proyecto de investigación presentan diferentes patrones de la banda de rodadura y con ello otras características que los diferencian como se observa en la tabla 14, esto con la finalidad de poder identificar el neumático con el patrón que se ajuste a las condiciones de las diferentes rutas.

**Tabla 14***Caracterización de los neumáticos*

Neumático	Fabricante	Código de llanta	Profundidad	Índices de carga y velocidad	Presión de inflado	Capas de la banda de rodadura	Tipo de patrón de la banda de rodadura	Ilustración
<b>A</b>	Goodyear	195 / 55 R15	6 mm	85H	51 PSI	Banda de rodadura: 1 Poliéster, 2 Acero, 2 Poliamida. Pared lateral: 2 Poliéster	Patrón asimétrico	
<b>B</b>	Anchee	195 / 55 R15	8 mm	85V	44 PSI	Banda de rodadura: 1 Poliéster, 2 Acero, 1 Nylon. Pared lateral: 1 Poliéster	Patrón simétrico	
<b>C</b>	Nexen	195 / 55 R15	7 mm	85V	44 PSI	Banda de rodadura: 1 Poliéster, 2 Acero, 1 Nylon Pared lateral: 1 Poliéster	Patrón direccional "V"	
<b>D</b>	Sonar	195 / 55 R15	8 mm	85V	51 PSI	Banda de rodadura: 1 Poliéster, 2 Acero, 1 Nylon. Pared lateral: 1 Poliéster	Patrón direccional "V"	

### 3.9. Preparación del vehículo de prueba

Antes de iniciar con las pruebas en las rutas establecidas con los diferentes neumáticos es importante preparar al vehículo para que este se encuentre en óptimas condiciones de funcionamiento.

#### 3.9.1. *Revisión general*

Esta revisión consta de varias actividades las cuales permiten prevenir averías y sobre todo para mantener la seguridad y eficiencia del vehículo en la tabla 15 se indican estas actividades y como complemento en la figura 43 se observa la ejecución de las mismas.

**Tabla 15**

*Actividades realizadas al vehículo durante la revisión general*

<b>Actividades</b>
Revisión de los neumáticos (presión, desgaste)
Revisión del sistema de amortiguación y suspensión
Verificación estado de pastillas y discos de freno
Revisión del nivel de aceite
Revisión del nivel de refrigerante
Revisión del nivel de líquido de freno
Revisión del nivel de combustible

**Figura 43**

Revisión general del vehículo



### 3.9.2. Balanceo

El proceso de balanceo se efectúa al inicio y posteriormente se lo complementa con la alineación, para desarrollar las respectivas pruebas del proyecto de investigación se corrige el desequilibrio que presentan los neumáticos y los aros causada por la diferencia de pesos, esto se lo hace a través de una máquina de balanceo y pesas de balanceo automotriz en la tabla 16 se indica la cantidad de masa que se colocó en cada rueda.

#### Figura 44

*Proceso de balanceo*



**Tabla 16**

*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

### 3.9.3. Alineación

Este factor corresponde al estado de la alineación del vehículo, para realizar las pruebas correspondientes se efectuó cambios a los ángulos de la geometría de la dirección y se los corrige a sus valores normales como se indica en la tabla 17.

**Figura 45***Proceso de alineación***Tabla 17***Reporte de alineación del vehículo de prueba*

<b>Reporte de alineación de Vehículo</b>						
<b>Ángulos</b>			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°
Angulo Direccional			-0.7°		0.3°	-0.7°

### 3.9.4. Presión de los neumáticos

La presión de los neumáticos es un factor importante, ya que una presión inadecuada puede afectar a los valores de vibración, para ello de acuerdo con las especificaciones del fabricante se calibró la presión de los cuatro neumáticos como se detalla en la tabla 18.

**Tabla 18**

*Presión de los neumáticos*

Neumáticos	Presión (Psi)	
	Inicial	Calibrado
<b>Delantero Izquierdo</b>	30	30
<b>Delantero Derecho</b>	32	30
<b>Posterior Izquierdo</b>	32	32
<b>Posterior Derecho</b>	32	32

**Figura 46**

*Verificación de la presión*



### 3.9.5. Instalación de los sensores de vibración

En base a una investigación preliminar se ha podido determinar que no es necesario colocar un sensor para cada neumático, debido a que las gráficas tanto de vibración como de ruido serían similares en los cuatro neumáticos, de preferencia se optó por colocar en la rueda delantera direccional, para ello el sensor que se encarga

de medir la vibración se acopló a la mordaza de freno del neumático delantero izquierdo, a fin de poder sujetarlo se utilizó correas de plástico como se observa en la figura 47.

#### **Figura 47**

*Ubicación sensor de vibración del neumático*

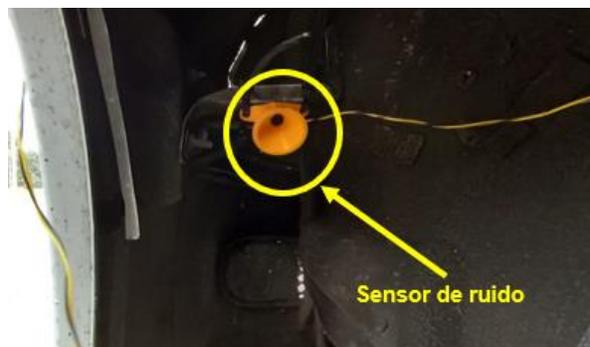


#### **3.9.6. Instalación de los sensores de ruido**

Este sensor se instaló perpendicular al neumático con un ángulo de inclinación esto para que pueda captar de mejor manera el ruido generado por el neumático.

#### **Figura 48**

*Ubicación sensor de ruido del neumático*



### 3.10. Metodología planteada

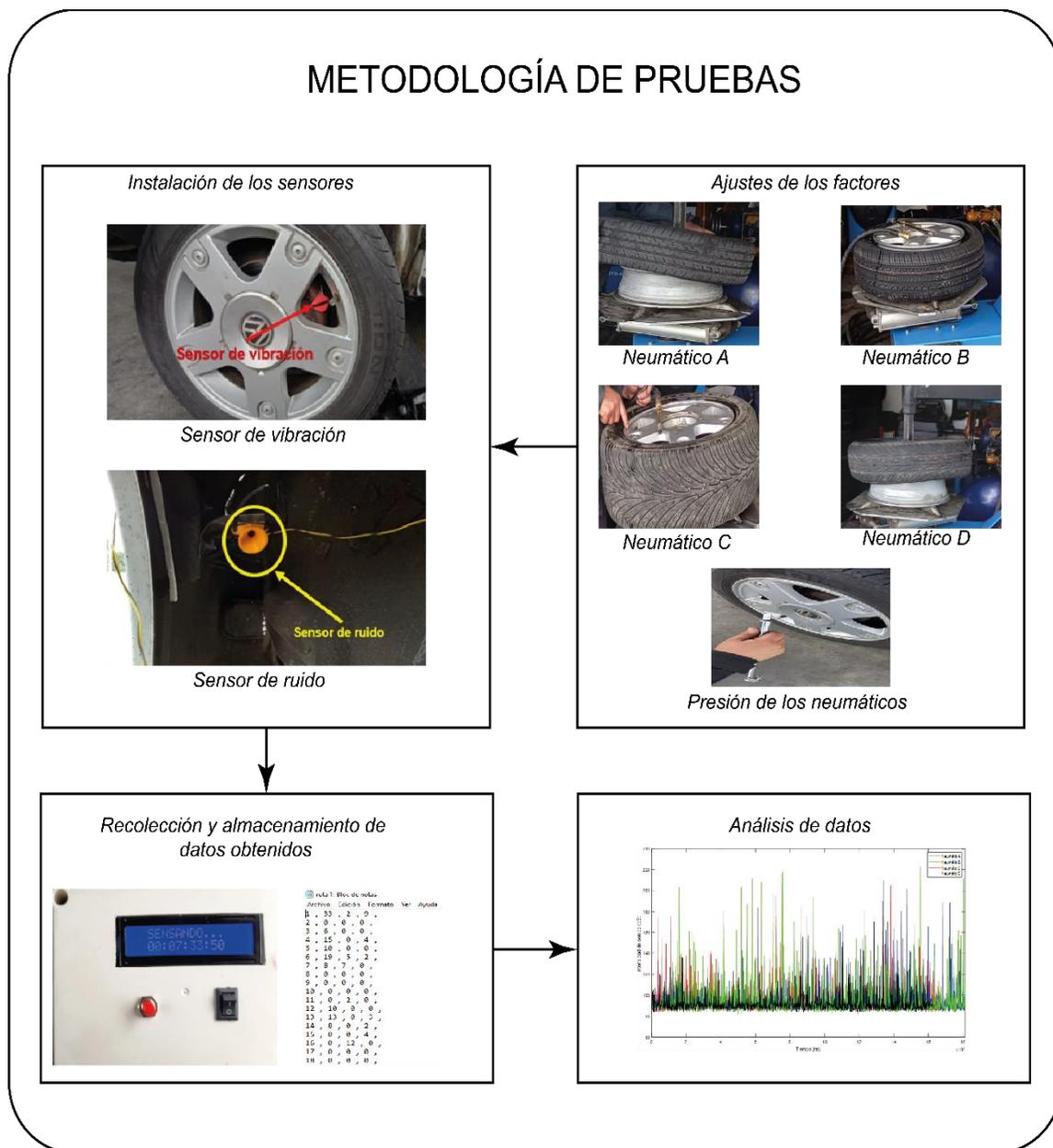
Para la recopilación de datos en este proyecto de investigación se ha desarrollado una metodología, que se encuentra dividida en cinco fases:

- Durante la primera fase se realiza el trazado de las diferentes rutas, con la distancia de recorrido, condiciones ambientales y la velocidad que se empleará en cada ruta con base en el plan de desarrollo vial integral de la Provincia de Cotopaxi.
- En la segunda se estable los equipos de medición, para ello se utilizará un analizador de vibraciones y un sonómetro.
- En la tercera se indica las especificaciones técnicas del vehículo empleado para las pruebas, así como también se detalla la caracterización de los diferentes neumáticos.
- En la cuarta se realiza la preparación del vehículo efectuando una revisión general, proceso de balanceo – alineación, verificación de la presión de los neumáticos e instalación de los sensores de vibración y ruido.
- Finalmente en la quinta se realiza la adquisición, almacenamiento y la representación gráfica de los datos de cada prueba realizada.

En la figura 49 se indica la metodología utilizada para la obtención de los datos y su futuro análisis.

Figura 49

Metodología de pruebas



### 3.11. Resultados obtenidos de las pruebas de vibración

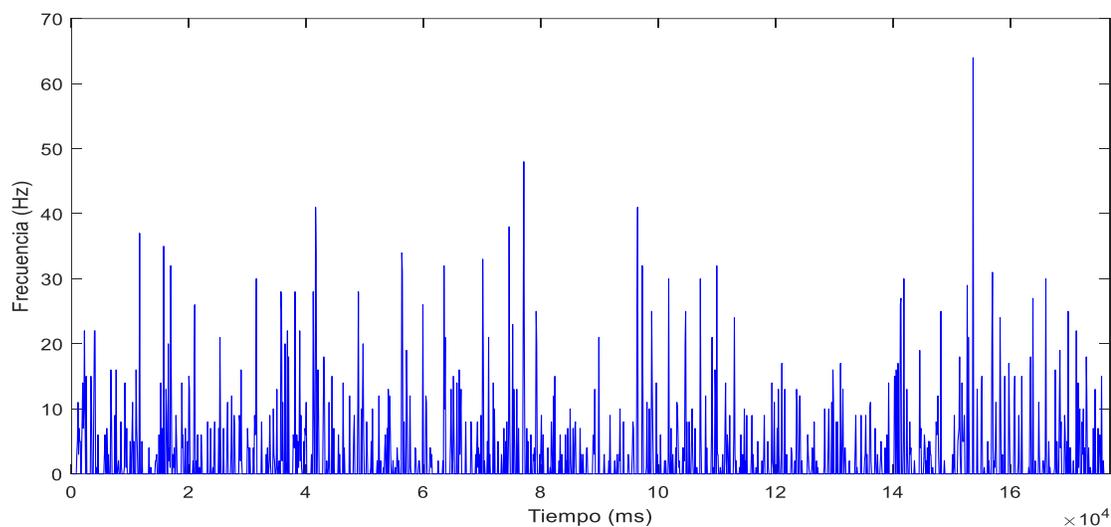
En este apartado se describe los resultados obtenidos mediante el analizador de vibraciones, realizado en cuatro neumáticos dos de ellos con patrón asimétrico y los restantes con patrón simétrico y direccional estas pruebas se efectuaron en dos rutas urbanas y dos rurales.

#### 3.11.1. Prueba analizador de vibraciones neumático A – ruta Nro.1

El comportamiento de las vibraciones generadas por el neumático A en la ruta Nro. 1 con respecto al tiempo que tardó en completar el recorrido se detalla en la figura 50, notándose valores máximos que oscilan de entre 31 a 64 Hz y valores mínimos de entre 1 a 3 Hz.

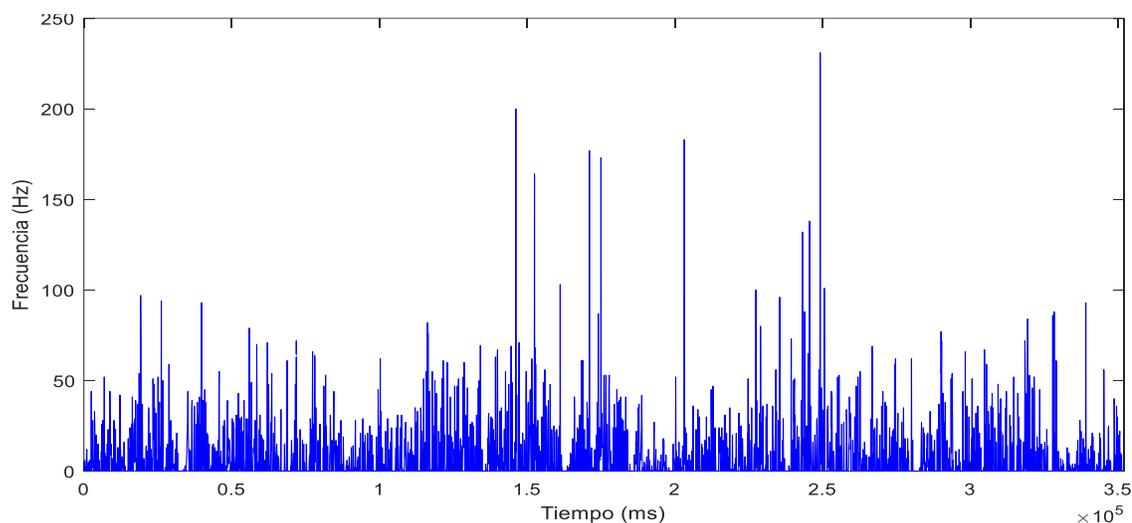
#### Figura 50

*Prueba neumático A – ruta Nro.1*

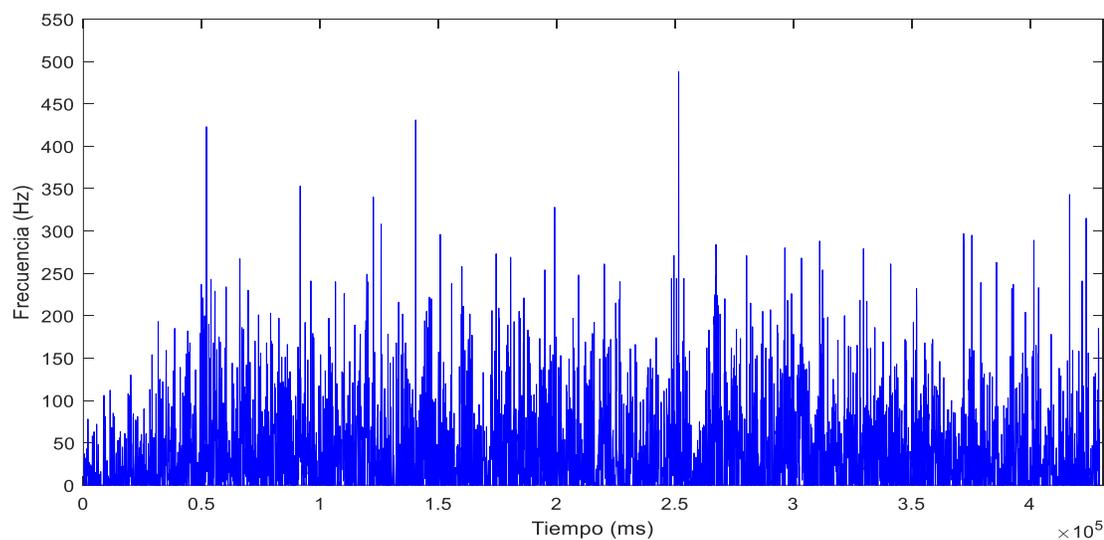


#### 3.11.2. Prueba analizador de vibraciones neumático A – ruta Nro.2

En la figura 51 se observa el comportamiento de las vibraciones generadas por el neumático A en la ruta Nro. 2 con respecto al tiempo que tardó en completar el recorrido, notándose valores máximos que oscilan de entre 132 a 231 Hz y valores mínimos de entre 1 a 4 Hz.

**Figura 51***Prueba neumático A – ruta Nro.2***3.11.3. Prueba analizador de vibraciones neumático A – ruta Nro.3**

El comportamiento de las vibraciones generadas por el neumático A en la ruta Nro. 3 con respecto al tiempo que tardó en finalizar la trayectoria planificada se detalla en la figura 52, notándose valores máximos que oscilan de entre 261 a 488 Hz y valores mínimos de entre 1 a 3 Hz.

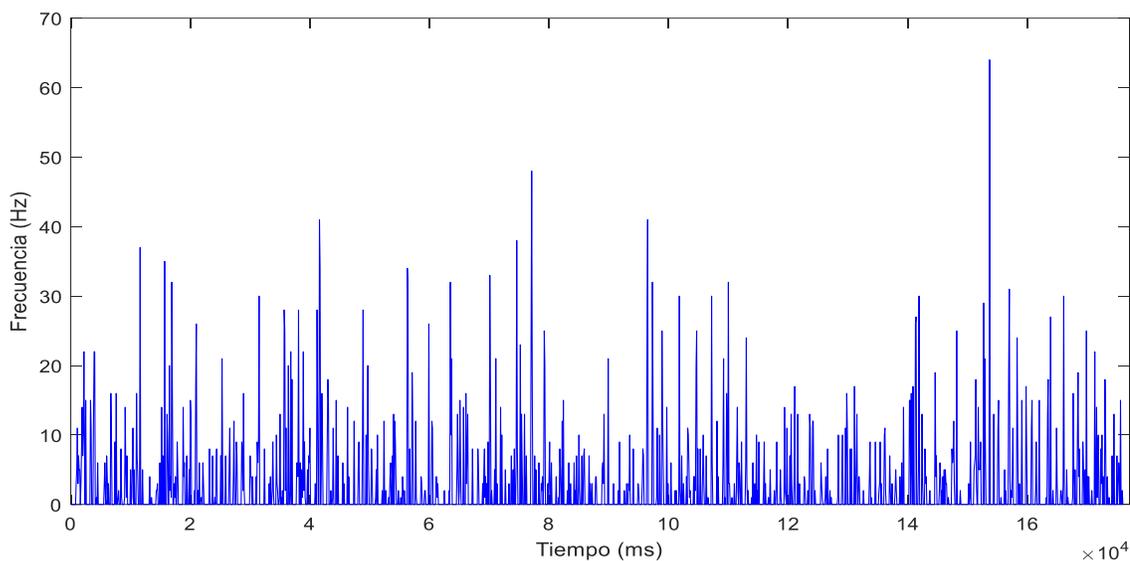
**Figura 52***Prueba neumático A – ruta Nro.3*

### 3.11.4. Prueba analizador de vibraciones neumático A – ruta Nro.4

En la figura 53 se observa el comportamiento de las vibraciones generadas por el neumático A en la ruta Nro. 4 con respecto al tiempo que tardó en completar el recorrido, notándose valores máximos que oscilan de entre 160 a 326 Hz y valores mínimos de entre 1 a 3 Hz.

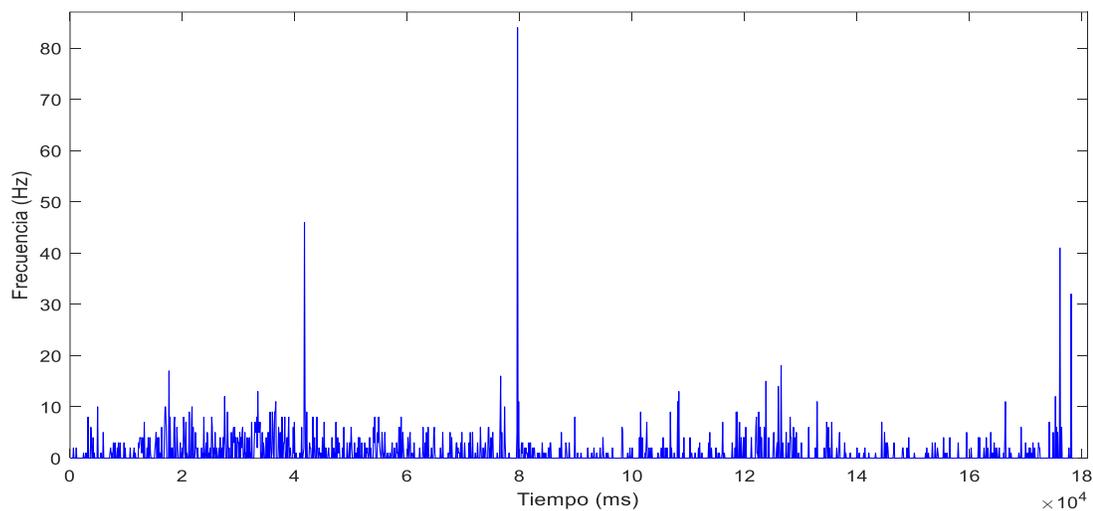
#### Figura 53

*Prueba neumático A – ruta Nro.4*

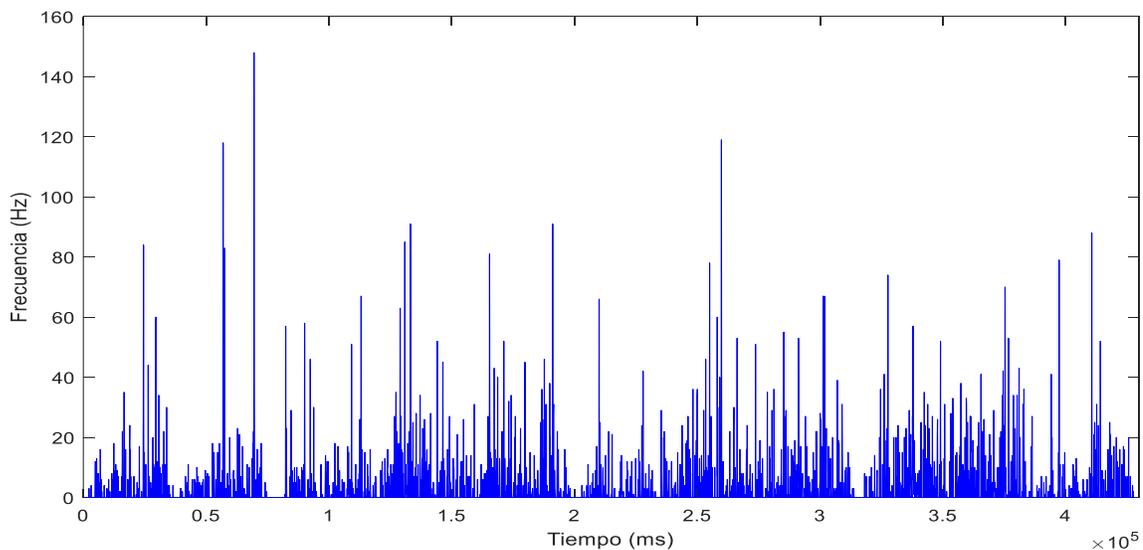


### 3.11.5. Prueba analizador de vibraciones neumático B – ruta Nro.1

El comportamiento de las vibraciones generadas por el neumático B en la ruta Nro. 1 con respecto al tiempo que tardó en finalizar el recorrido se detalla en la figura 54, notándose valores máximos que oscilan de entre 32 a 84 Hz y valores mínimos de entre 1 a 3 Hz.

**Figura 54***Prueba neumático B – ruta Nro.1***3.11.6. Prueba analizador de vibraciones neumático B – ruta Nro.2**

La figura 55 muestra el comportamiento de las vibraciones generadas por el neumático B en la ruta Nro. 2 con respecto al tiempo que tardó en completar el recorrido, notándose valores máximos que oscilan de entre 81 a 148 Hz y valores mínimos de entre 1 a 3 Hz.

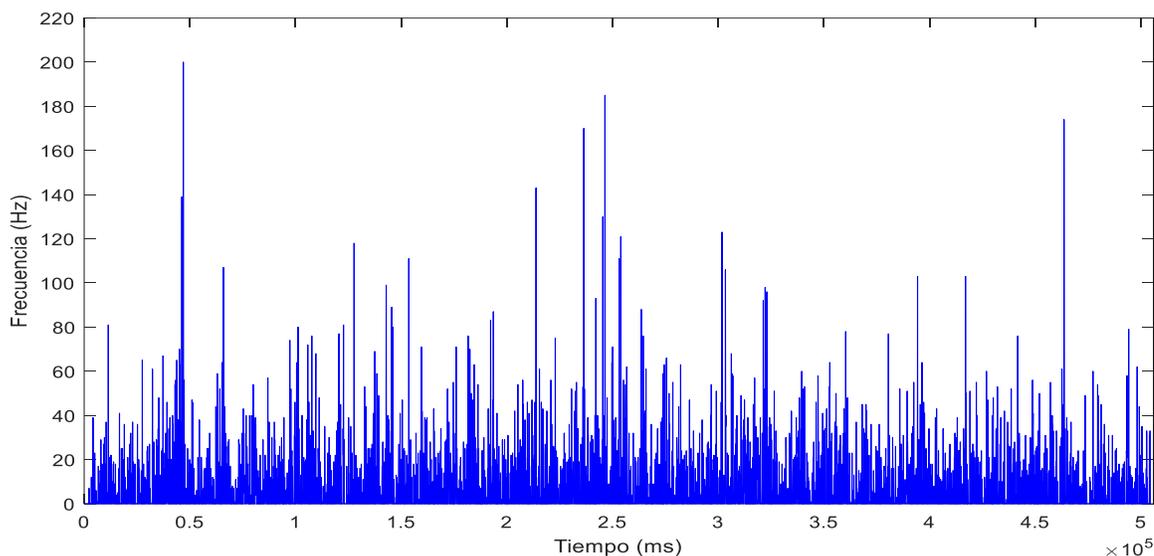
**Figura 55***Prueba neumático B – ruta Nro.2*

### 3.11.7. Prueba analizador de vibraciones neumático B – ruta Nro.3

El comportamiento de las vibraciones generadas por el neumático B en la ruta Nro. 3 con respecto al tiempo que tardó en finalizar la trayectoria planificada se detalla en la figura 56, notándose valores máximos que oscilan de entre 123 a 200 Hz y valores mínimos de entre 1 a 3 Hz.

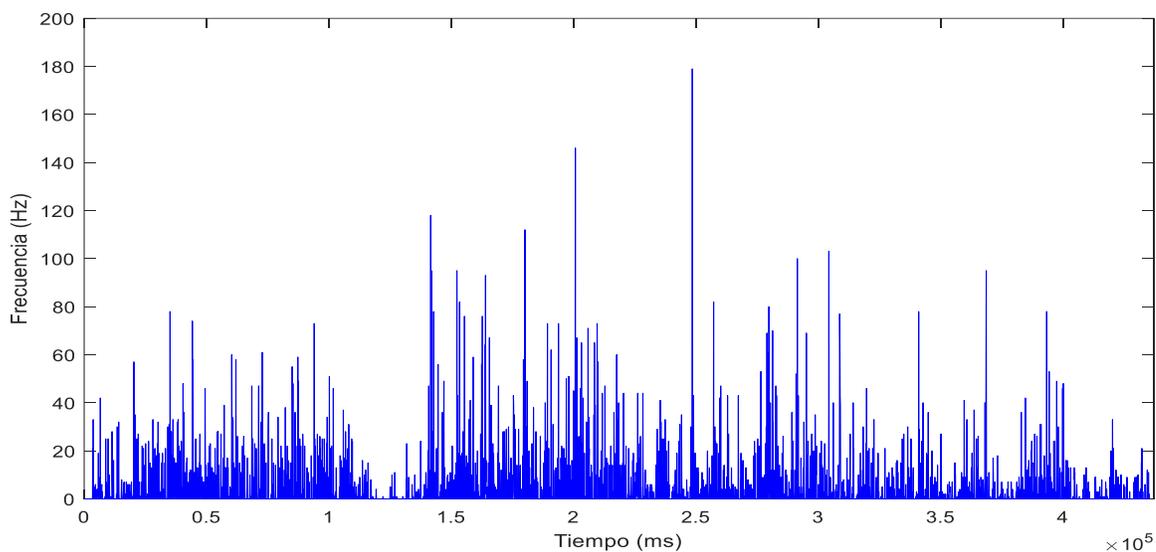
#### Figura 56

*Prueba neumático B – ruta Nro.3*

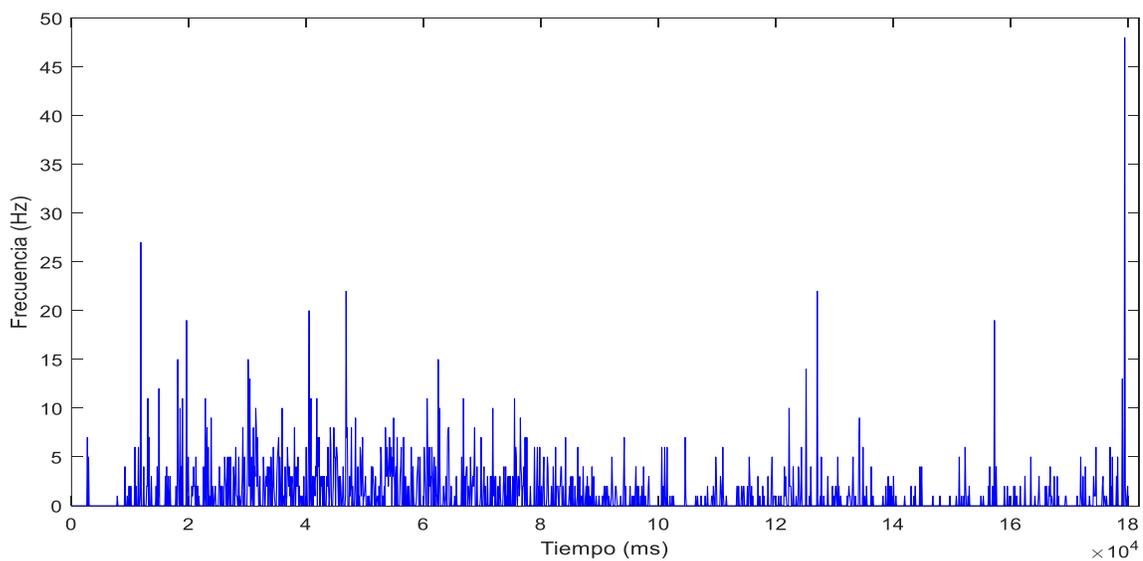


### 3.11.8. Prueba analizador de vibraciones neumático B – ruta Nro.4

La figura 57 muestra el comportamiento de las vibraciones generadas por el neumático B en la ruta Nro. 4 con respecto al tiempo que tardó en completar el recorrido, notándose valores máximos que oscilan de entre 103 a 179 Hz y valores mínimos de entre 1 a 3 Hz.

**Figura 57***Prueba neumático B – ruta Nro.4***3.11.9. Prueba analizador de vibraciones neumático C – ruta Nro.1**

El comportamiento de las vibraciones generadas por el neumático C en la ruta Nro. 1 con respecto al tiempo que tardó en finalizar el recorrido se detalla en la figura 58, notándose valores máximos que oscilan de entre 20 a 48 Hz y valores mínimos de entre 1 a 3 Hz.

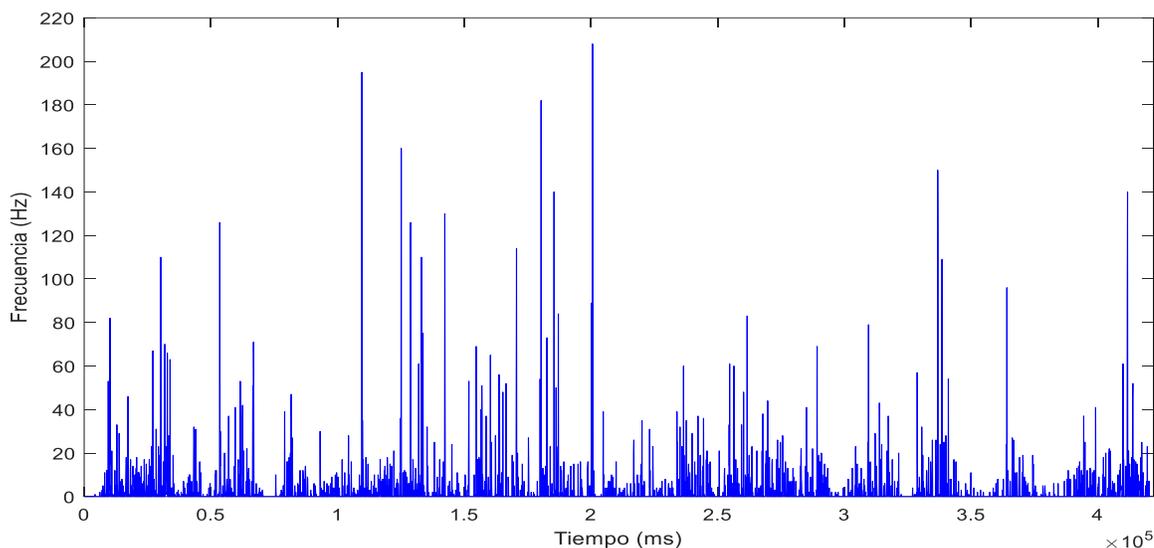
**Figura 58***Prueba neumático C – ruta Nro.1*

### 3.11.10. Prueba analizador de vibraciones neumático C – ruta Nro.2

La figura 59 muestra el comportamiento de las vibraciones generadas por el neumático C en la ruta Nro. 2 con respecto al tiempo que tardó en completar el recorrido, notándose valores máximos que oscilan de entre 140 a 208 Hz y valores mínimos de entre 1 a 3 Hz.

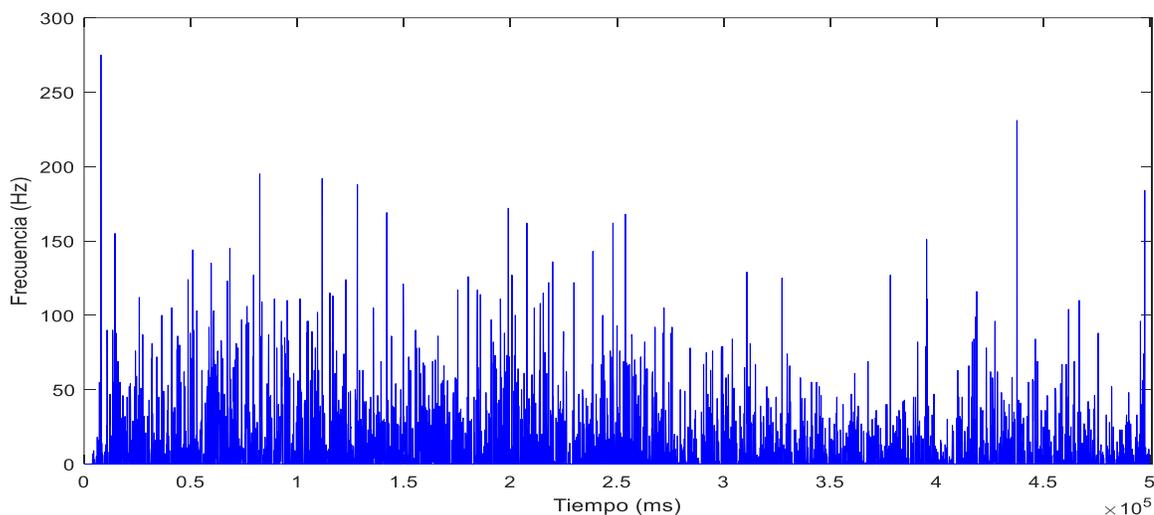
#### Figura 59

*Prueba neumático C – ruta Nro.2*

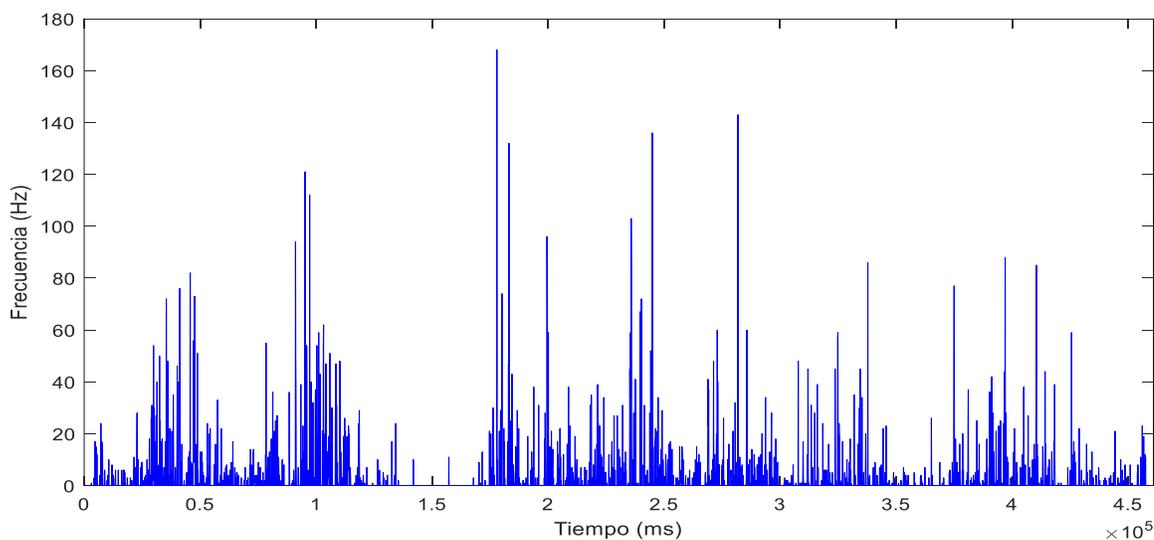


### 3.11.11. Prueba analizador de vibraciones neumático C – ruta Nro.3

El comportamiento de las vibraciones generadas por el neumático C en la ruta Nro. 3 con respecto al tiempo que tardó en finalizar la trayectoria planificada se detalla en la figura 60, notándose valores máximos que oscilan de entre 172 a 275 Hz y valores mínimos de entre 1 a 3 Hz.

**Figura 60***Prueba neumático C – ruta Nro.3***3.11.12. Prueba analizador de vibraciones neumático C – ruta Nro.4**

La figura 61 muestra el comportamiento de las vibraciones generadas por el neumático C en la ruta Nro. 4 con respecto al tiempo que tardó en completar el recorrido, notándose valores máximos que oscilan de entre 103 a 168 Hz y valores mínimos de entre 1 a 3 Hz.

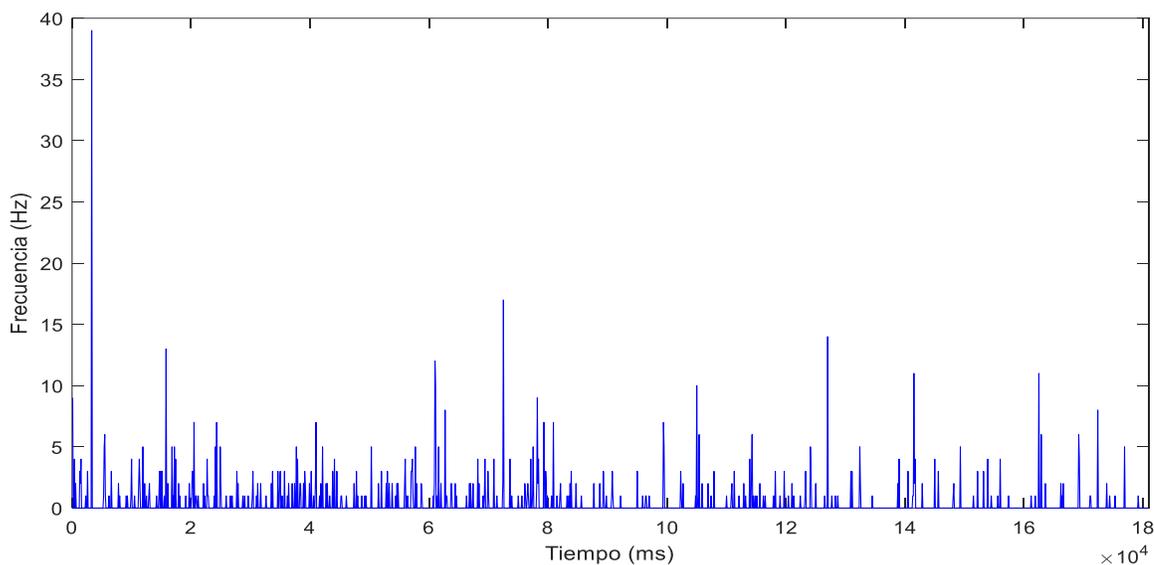
**Figura 61***Prueba neumático C – ruta Nro.4*

### 3.11.13. Prueba analizador de vibraciones neumático D – ruta Nro.1

El comportamiento de las vibraciones generadas por el neumático D en la ruta Nro. 1 con respecto al tiempo que tardó en finalizar el recorrido se detalla en la figura 62, notándose valores máximos que oscilan de entre 14 a 39 Hz y valores mínimos de entre 1 a 3 Hz.

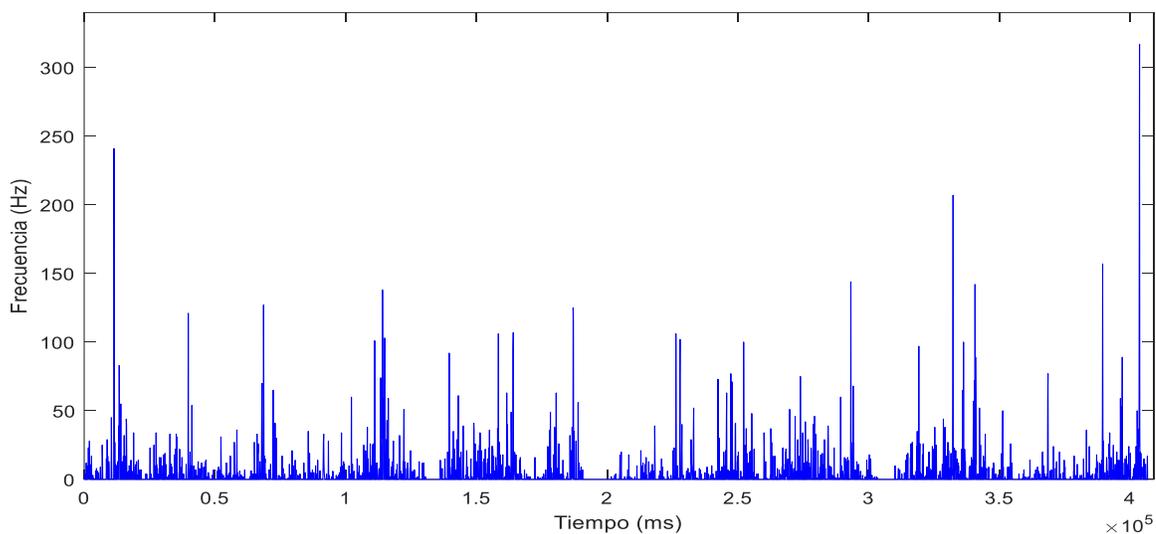
#### Figura 62

*Prueba neumático D – ruta Nro.1*

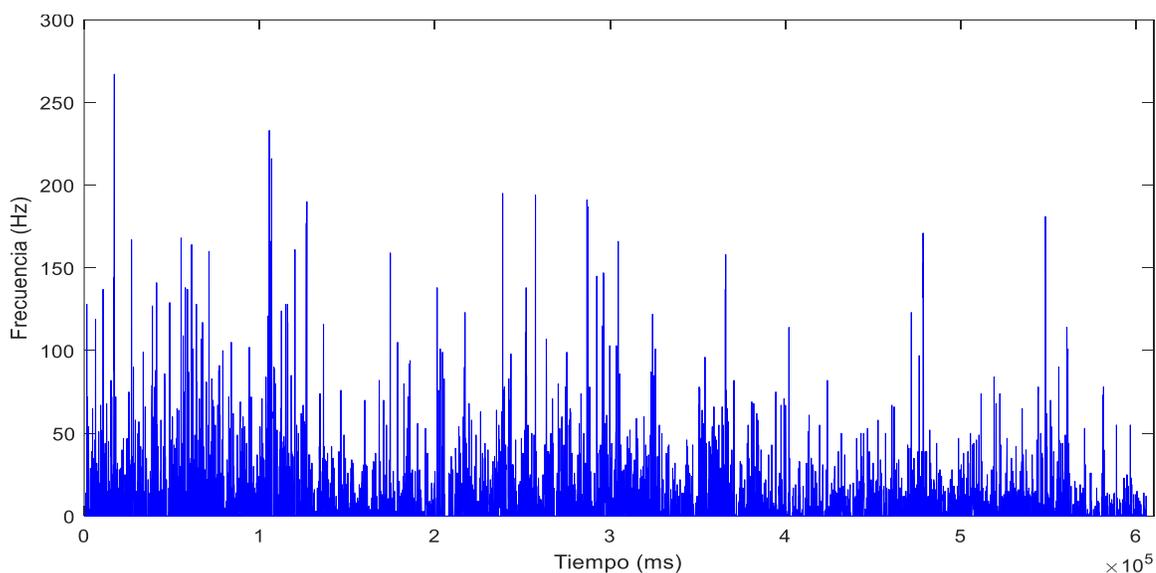


### 3.11.14. Prueba analizador de vibraciones neumático D – ruta Nro.2

La figura 63 muestra el comportamiento de las vibraciones generadas por el neumático C en la ruta Nro. 2 con respecto al tiempo que tardó en completar el recorrido, notándose valores máximos que oscilan de entre 125 a 317 Hz y valores mínimos de entre 1 a 3 Hz.

**Figura 63***Prueba neumático D – ruta Nro.2***3.11.15. Prueba analizador de vibraciones neumático D – ruta Nro.3**

El comportamiento de las vibraciones generadas por el neumático D en la ruta Nro. 3 con respecto al tiempo que tardó en finalizar la trayectoria planificada se detalla en la figura 64, notándose valores máximos que oscilan de entre 166 a 267 Hz y valores mínimos de entre 1 a 3 Hz.

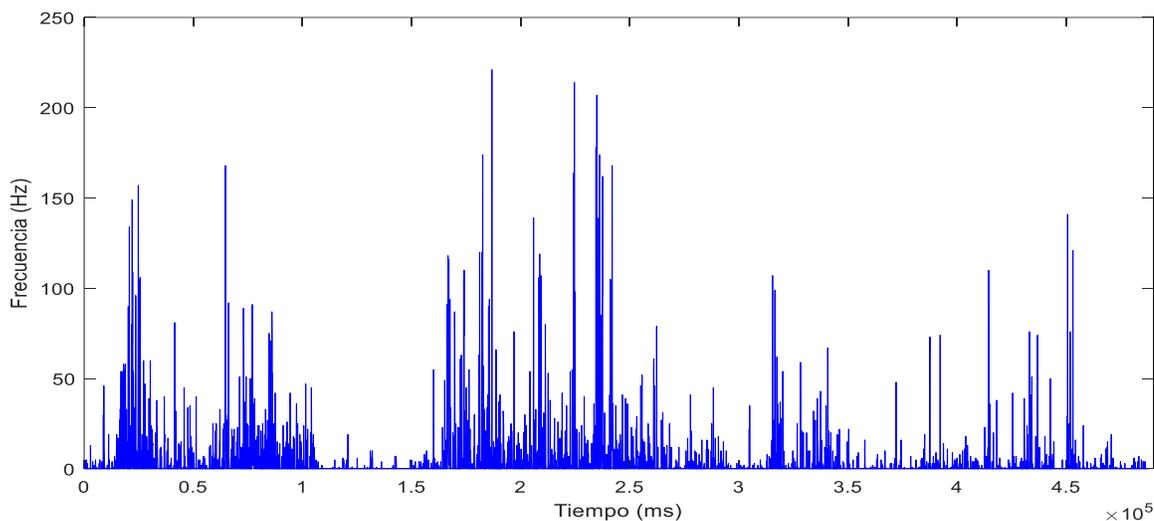
**Figura 64***Prueba neumático D – ruta Nro.3*

### 3.11.16. Prueba analizador de vibraciones neumático D – ruta Nro.4

La figura 65 muestra el comportamiento de las vibraciones generadas por el neumático D en la ruta Nro. 4 con respecto al tiempo que tardó en completar el recorrido, notándose valores máximos que oscilan de entre 168 a 221 Hz y valores mínimos de entre 1 a 3 Hz.

#### Figura 65

*Prueba neumático D – ruta Nro.4*

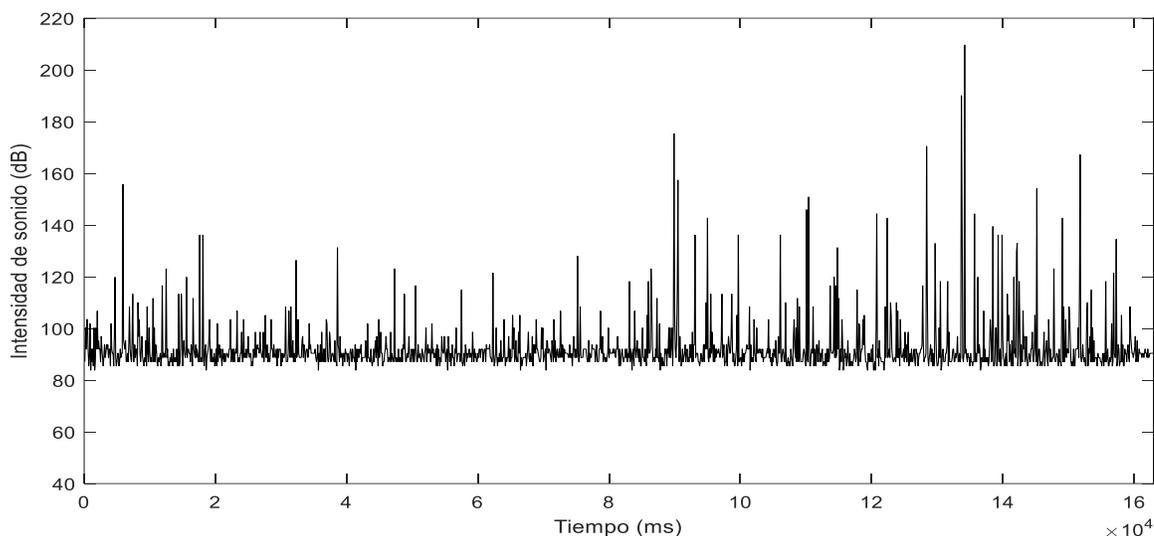


### 3.12. Resultados obtenidos de las pruebas de ruido

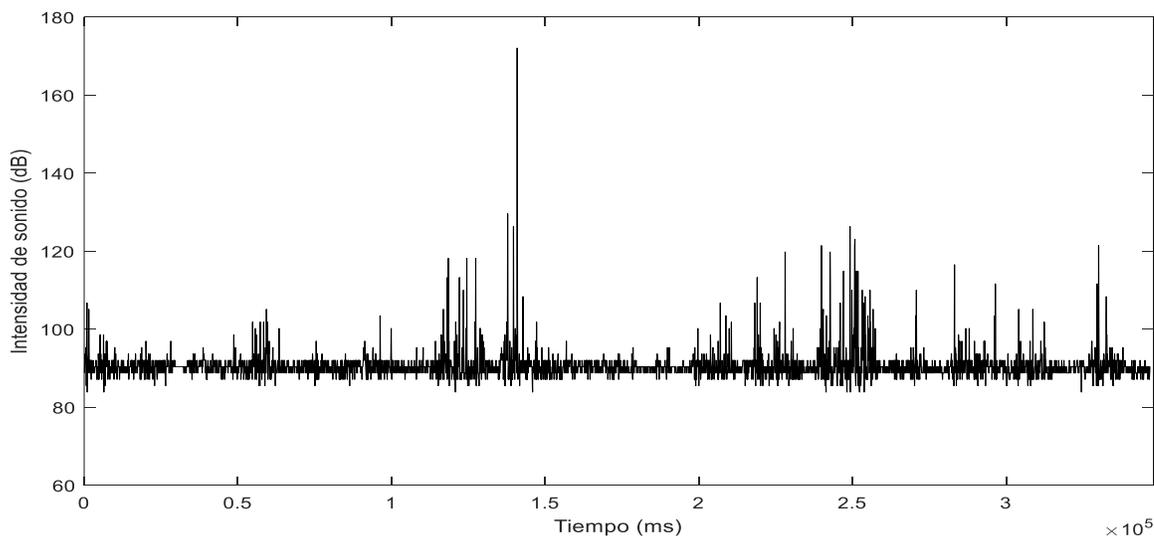
En este apartado se describe los resultados obtenidos a través del sonómetro que es el equipo encargado de medir la intensidad de sonido, realizado en cuatro neumáticos con patrón simétrico, direccional y los dos restantes con patrón asimétrico estas pruebas se efectuaron en dos rutas urbanas y dos rurales respectivamente.

#### 3.12.1. Prueba sonómetro neumático A – ruta Nro.1

El espectro de ruido generado por el neumático A en la ruta Nro. 1 se encuentra representado en la figura 66, en esta trayectoria se observa que el nivel máximo de ruido se alcanza a los 134200 ms con un valor de 209,6 dB, el nivel mínimo de ruido en esta ruta es de 83,87 dB.

**Figura 66***Prueba neumático A – ruta Nro.1***3.12.2. Prueba sonómetro neumático A – ruta Nro.2**

El espectro de ruido generado por el neumático A en la ruta Nro. 2 se encuentra representado en la figura 67, en este recorrido se observa que el nivel máximo de ruido se alcanza a los 140900 ms con un valor de 172,1 dB, además en varios tramos de esta ruta el neumático experimenta niveles de ruido que superan los 100 dB.

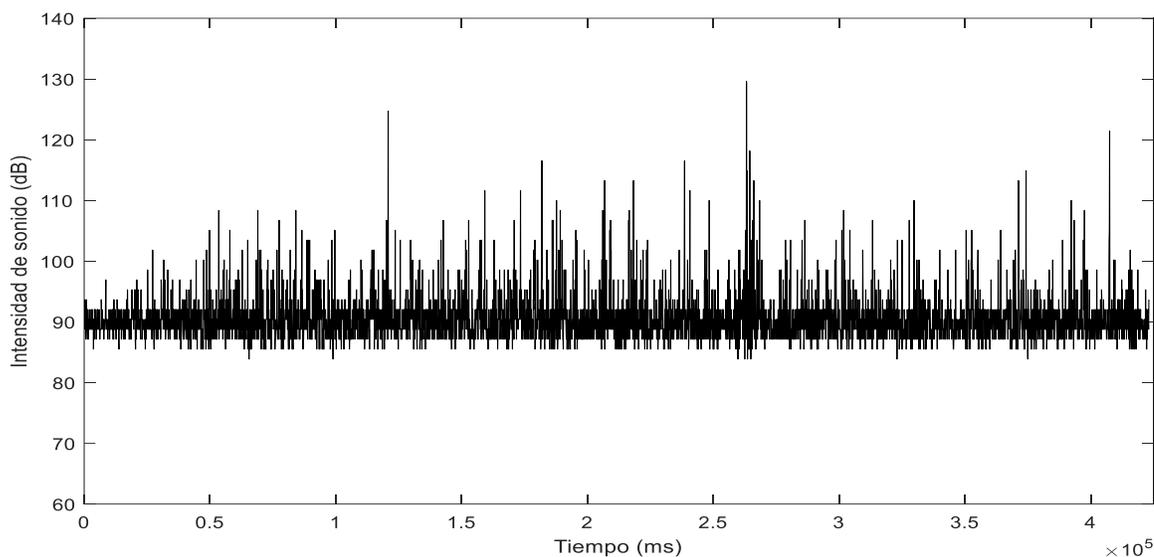
**Figura 67***Prueba neumático A – ruta Nro.2*

### 3.12.3. Prueba sonómetro neumático A – ruta Nro.3

En la figura 68 se encuentra representado el espectro de ruido generado por el neumático A en la ruta Nro. 3, durante esta trayectoria el nivel máximo de ruido se alcanza a los 263200 ms con un valor de 129,6 dB, cabe destacar que en el tramo completo de este recorrido el neumático experimenta niveles de ruido que fácilmente superan los 100 dB.

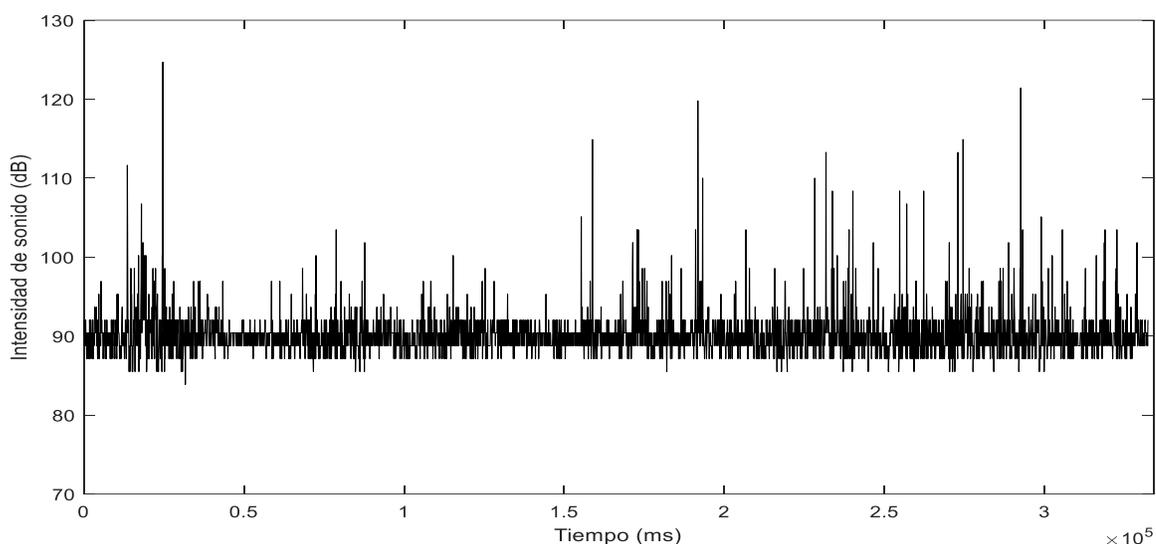
#### Figura 68

*Prueba neumático A – ruta Nro.3*

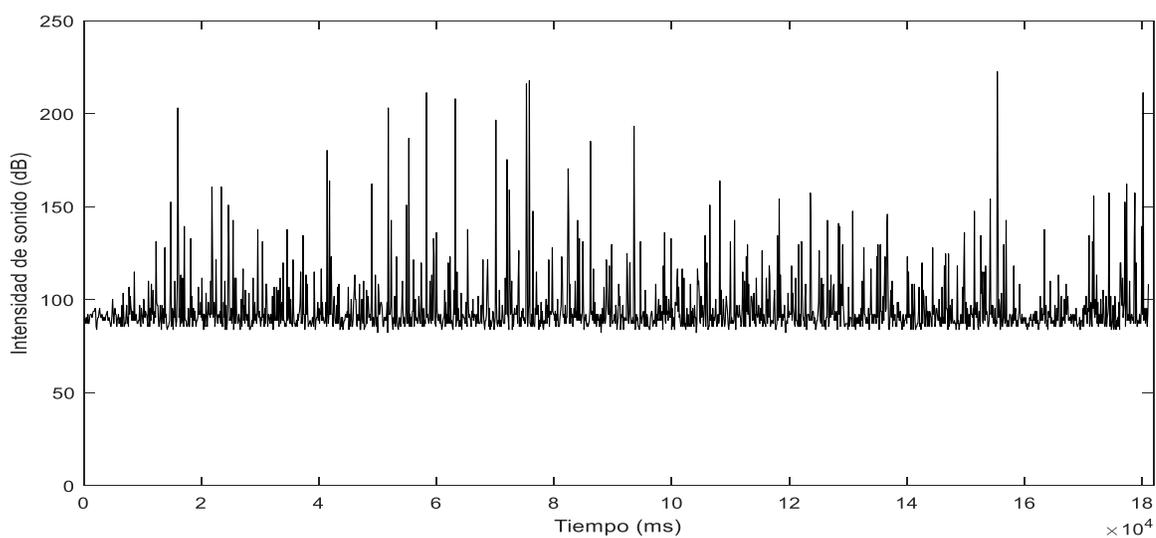


### 3.12.4. Prueba sonómetro neumático A – ruta Nro.4

El espectro de ruido generado por el neumático A en la ruta Nro. 4 se encuentra representado en la figura 69, en este recorrido se observa que el nivel máximo de ruido se alcanza a los 24700 ms con un valor de 124,7 dB. En tres tramos de esta ruta el nivel de ruido es similar con valores que oscilan de entre 92 a 106,7 dB, mientras que en el segmento final del recorrido los valores oscilan de entre 93,67 a 121,4 dB. El nivel mínimo de ruido registrado en esta ruta es de 83,87 dB.

**Figura 69***Prueba neumático A – ruta Nro.4***3.12.5. Prueba sonómetro neumático B – ruta Nro.1**

En la figura 70 se encuentra representado el espectro de ruido generado por el neumático B en la ruta Nro. 1, en esta trayectoria se observa que el nivel máximo de ruido se alcanza a los 155400 ms con un valor de 222,7 dB. En esta prueba se ha registrado un nivel mínimo de ruido de 82,23 dB.

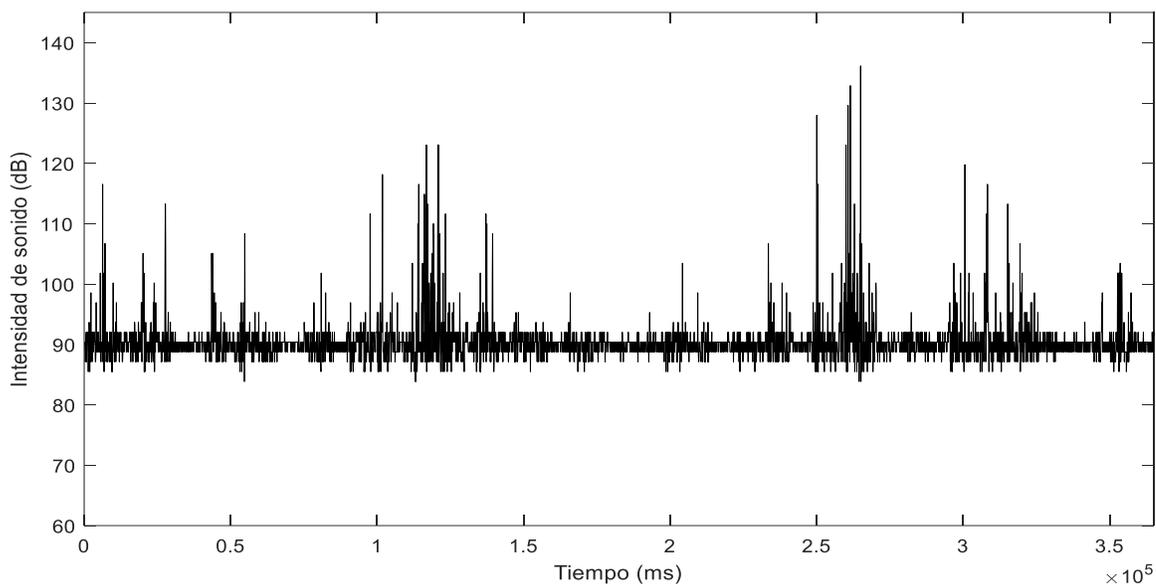
**Figura 70***Prueba neumático B – ruta Nro.1*

### 3.12.6. Prueba sonómetro neumático B – ruta Nro.2

El espectro de ruido generado por el neumático B en la ruta Nro. 2 se encuentra representado en la figura 71, en este recorrido se observa que el nivel máximo de ruido se alcanza a los 265000 ms con un valor de 136,1 dB, mientras que el nivel mínimo registrado es de 83,87 dB.

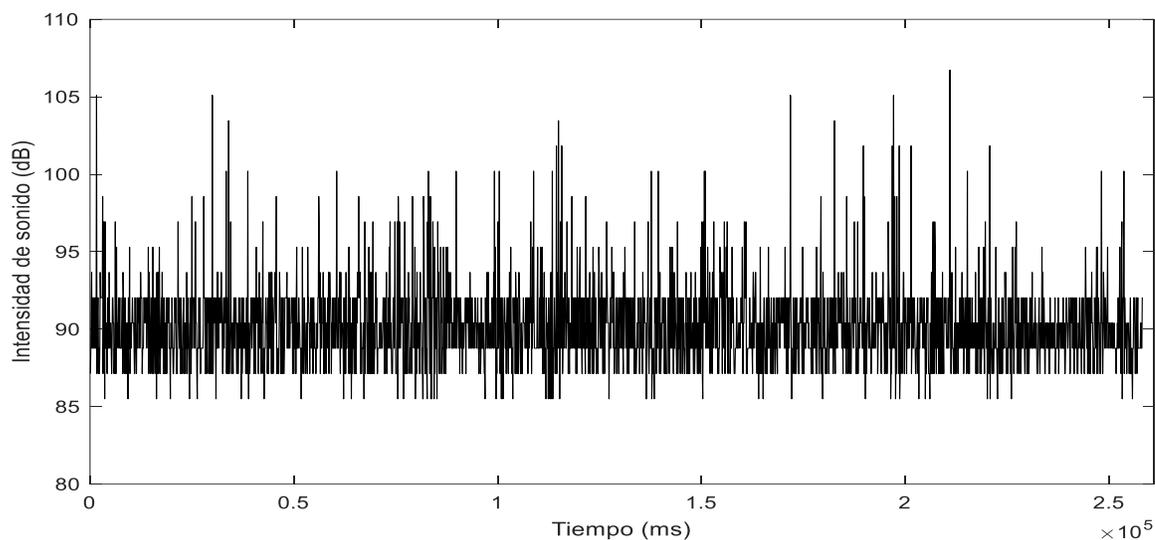
**Figura 71**

*Prueba neumático B – ruta Nro.2*

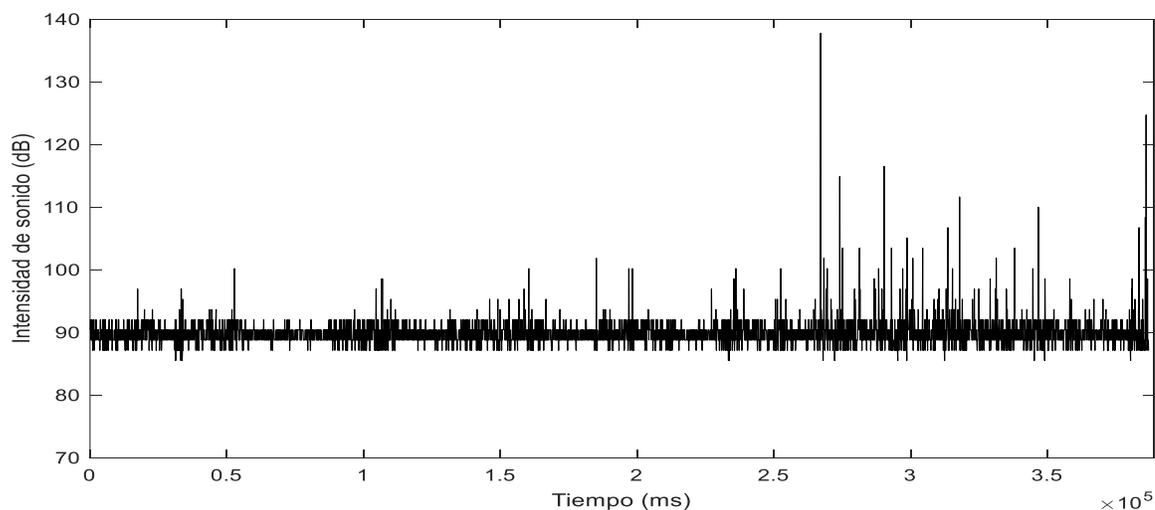


### 3.12.7. Prueba sonómetro neumático B – ruta Nro.3

En la figura 72 se encuentra representado el espectro de ruido generado por el neumático B en la ruta Nro. 3, durante esta trayectoria el nivel máximo de ruido se alcanza a los 210900 ms con un valor de 106,7 dB, por otro lado el nivel mínimo de ruido que se registró en esta prueba es de 85,5 dB.

**Figura 72***Prueba neumático B – ruta Nro.3***3.12.8. Prueba sonómetro neumático B – ruta Nro.4**

El espectro de ruido generado por el neumático B en la ruta Nro. 4 se encuentra representado en la figura 73, en este recorrido se observa que el nivel máximo de ruido se alcanza a los 267100 ms con un valor de 137,8 dB. En cinco tramos de esta ruta el nivel de ruido es similar con valores que oscilan de entre 85,5 a 101,8 dB, mientras que en la parte final del recorrido los valores oscilan de entre 85,5 a 124,7 dB. Tomando en cuenta que 85,5 dB es el nivel mínimo de ruido registrado.

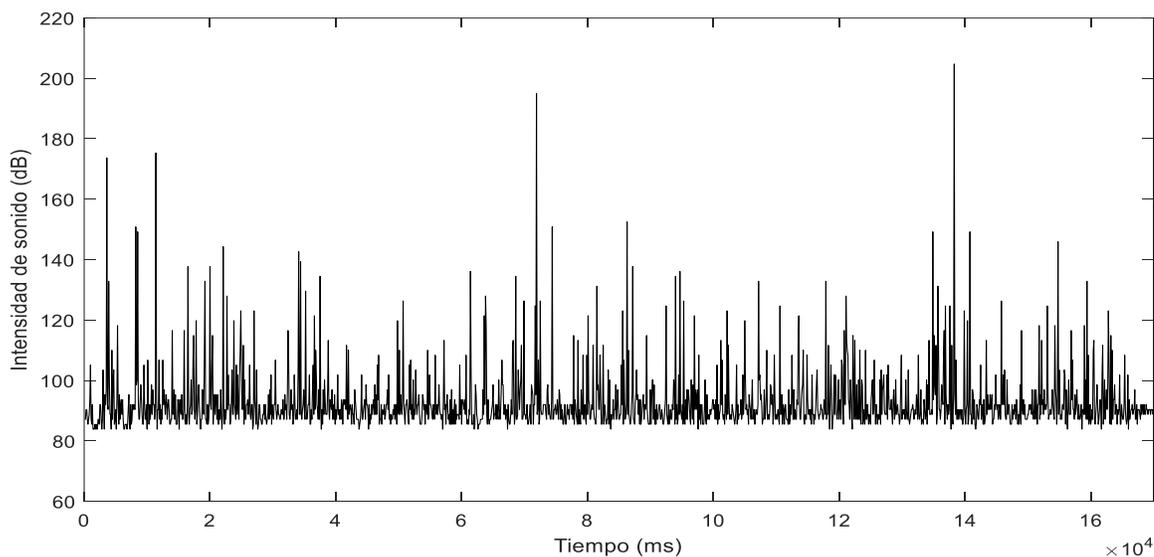
**Figura 73***Prueba neumático B – ruta Nro.4*

### 3.12.9. Prueba sonómetro neumático C – ruta Nro.1

En la figura 74 se encuentra representado el espectro de ruido generado por el neumático C en la ruta Nro. 1, en esta trayectoria se observa que el nivel máximo de ruido se alcanza a los 138300 ms con un valor de 204,7 dB, por otra parte se registra un nivel mínimo de ruido de 83,87 dB.

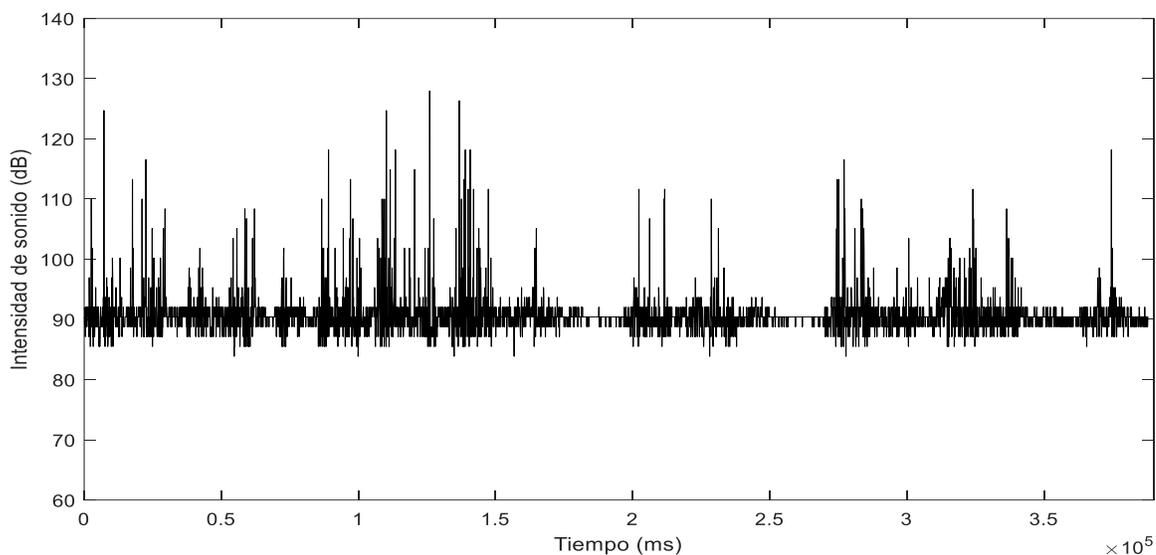
#### Figura 74

*Prueba neumático C – ruta Nro.1*

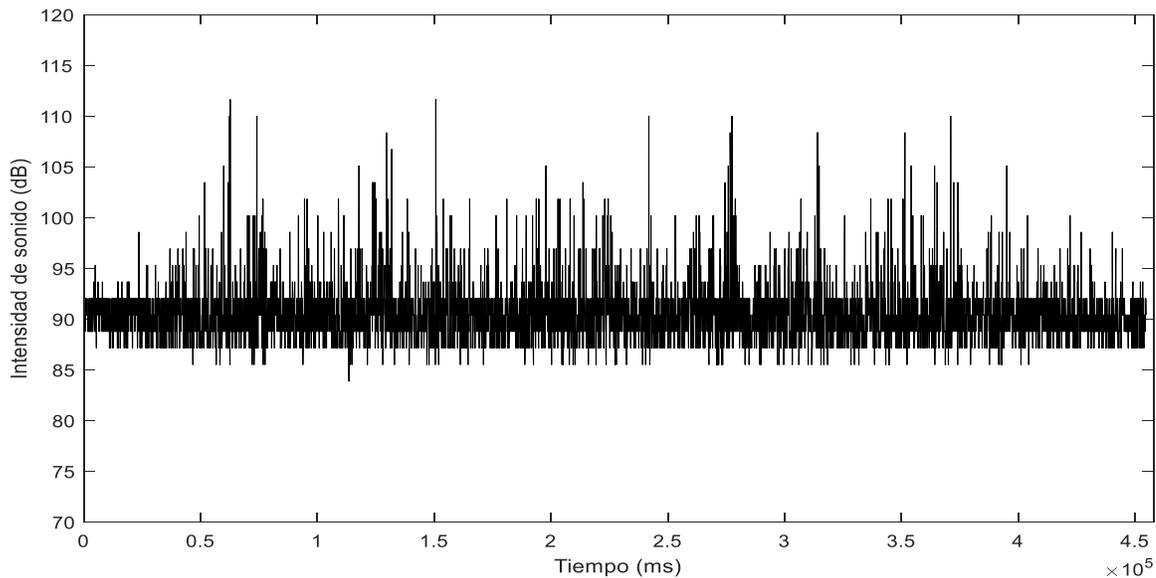


### 3.12.10. Prueba sonómetro neumático C – ruta Nro.2

El espectro de ruido generado por el neumático C en la ruta Nro. 2 se encuentra representado en la figura 75, en este recorrido se observa que el nivel máximo de ruido se alcanza a los 126000 ms con un valor de 128 dB y se registra un nivel mínimo de ruido de 83,87 dB.

**Figura 75***Prueba neumático C – ruta Nro.2***3.12.11. Prueba sonómetro neumático C – ruta Nro.3**

En la figura 76 se encuentra representado el espectro de ruido generado por el neumático C en la ruta Nro. 3, durante esta trayectoria el nivel máximo de ruido se alcanza a los 150700 ms con un valor de 111,6 dB. Notándose también un nivel mínimo de ruido que se encuentra en un valor de 83,87 dB.

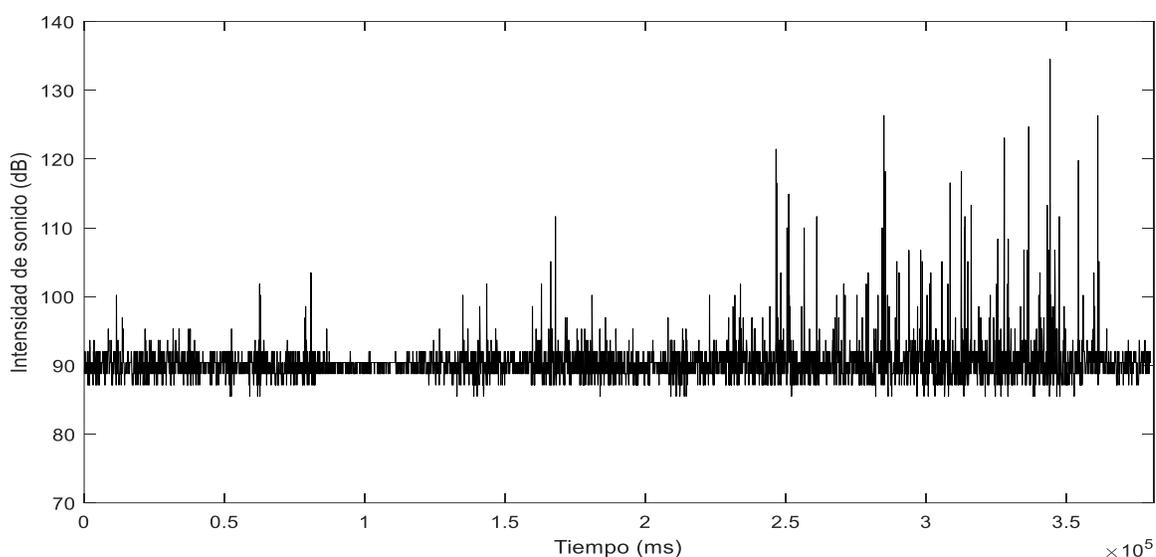
**Figura 76***Prueba neumático C – ruta Nro.3*

### 3.12.12. Prueba sonómetro neumático C – ruta Nro.4

El espectro de ruido generado por el neumático C en la ruta Nro. 4 se encuentra representado en la figura 77, en este recorrido se observa que el nivel máximo de ruido se alcanza a los 344100 ms con un valor de 134,5 dB. En cinco tramos de esta ruta el nivel de ruido es similar con valores que oscilan de entre 85,5 a 111,6 dB, mientras que en la parte final del recorrido los valores oscilan de entre 85,5 a 126,3 dB. En esta prueba el nivel mínimo de ruido que se registro es de 85,5 dB.

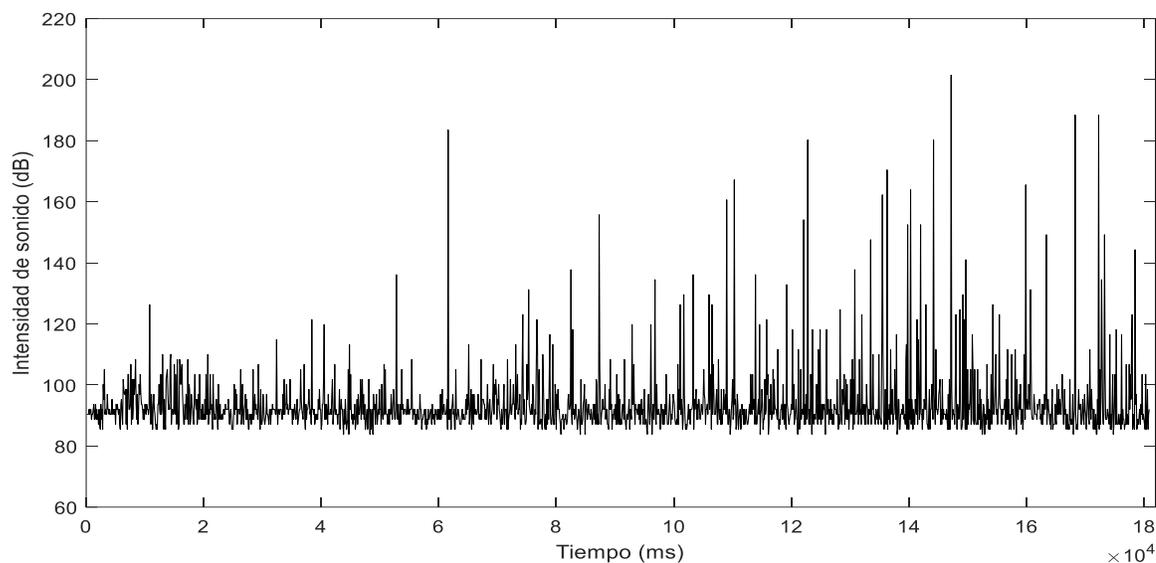
#### Figura 77

*Prueba neumático C – ruta Nro.4*

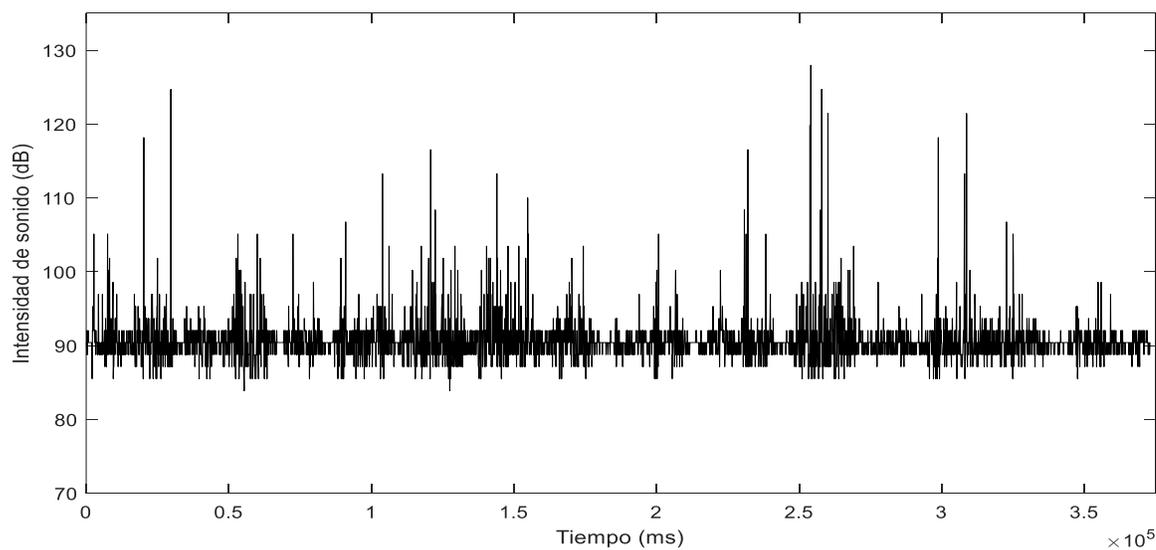


### 3.12.13. Prueba sonómetro neumático D – ruta Nro.1

En la figura 78 se encuentra representado el espectro de ruido generado por el neumático D en la ruta Nro. 1, en esta trayectoria se observa que el nivel máximo de ruido se alcanza a los 147200 ms con un valor de 201,5 dB y el nivel mínimo de ruido que se registra es de 83,57 dB.

**Figura 78***Prueba neumático D – ruta Nro.1***3.12.14. Prueba sonómetro neumático D – ruta Nro.2**

El espectro de ruido generado por el neumático D en la ruta Nro. 2 se encuentra representado en la figura 79, en este recorrido el nivel máximo de ruido se alcanza a los 254100 ms con un valor de 128 dB y el nivel mínimo que se registra presenta un valor de 83,87 dB.

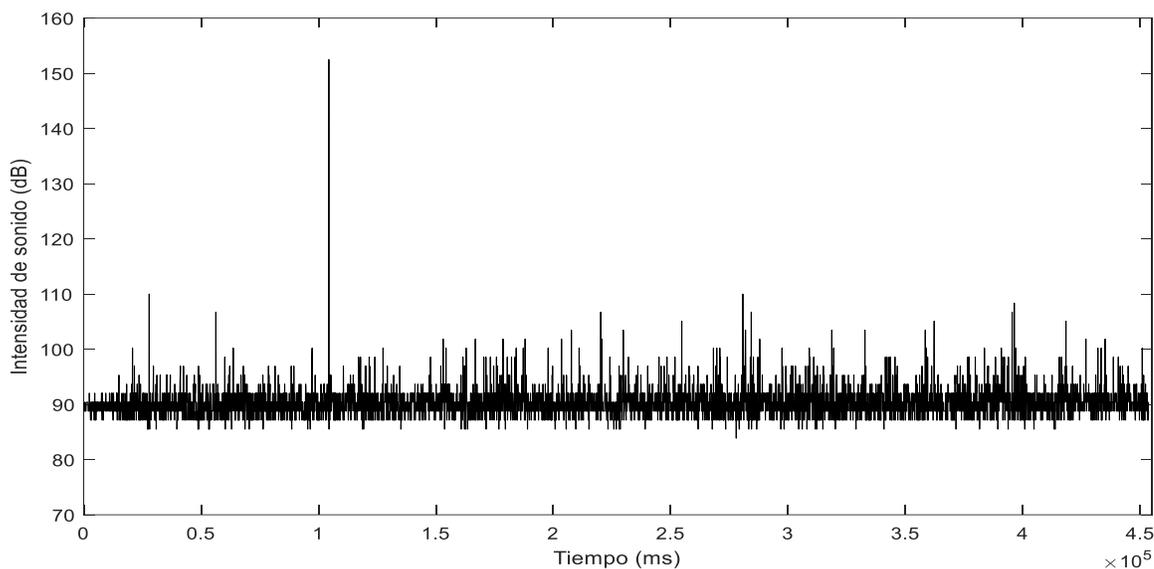
**Figura 79***Prueba neumático D – ruta Nro.2*

### 3.12.15. Prueba sonómetro neumático D – ruta Nro.3

En la figura 80 se encuentra representado el espectro de ruido generado por el neumático D en la ruta Nro. 3, durante esta trayectoria el nivel máximo de ruido se alcanza a los 104400 ms con un valor de 152,5 dB y el nivel mínimo de ruido que se registró en esta prueba es de 83,87 dB.

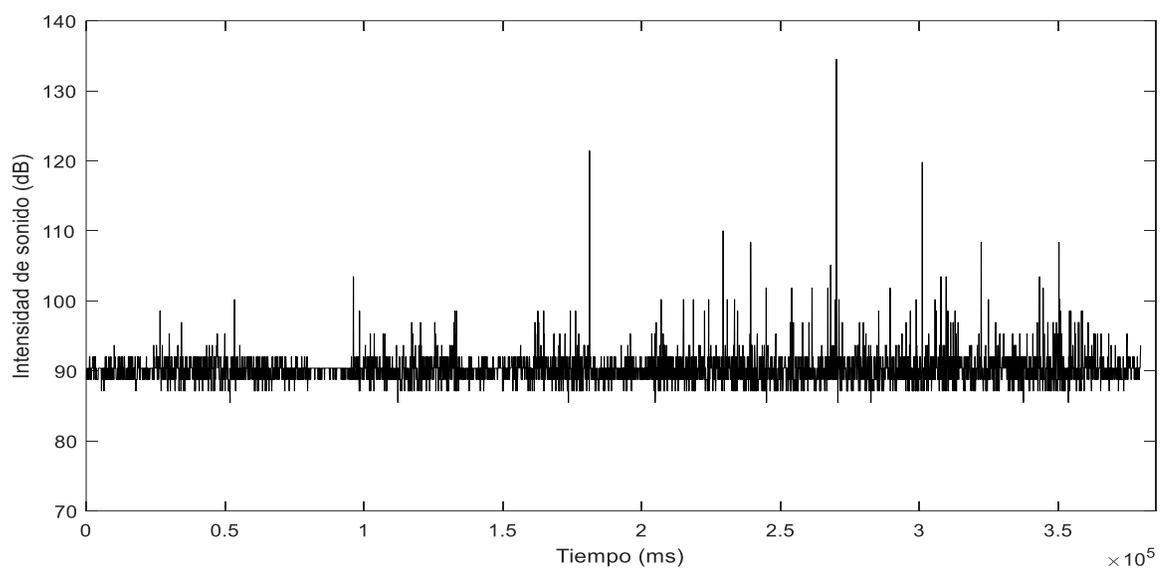
#### Figura 80

*Prueba neumático D – ruta Nro.3*



### 3.12.16. Prueba sonómetro neumático D – ruta Nro.4

El espectro de ruido generado por el neumático D en la ruta Nro. 4 se encuentra representado en la figura 81, en este recorrido se observa que el nivel máximo de ruido se alcanza a los 270100 ms con un valor de 134,5 dB. En el tramo inicial el nivel de ruido es de entre 85,5 a 100,2 dB, en el siguiente tramo los valores del nivel de ruido oscilan de entre 85,5 a 103,5 dB, mientras que en el trayecto final del recorrido los valores oscilan de entre 85,5 a 119,8 dB. Considerando que 85,5 dB es el nivel mínimo de ruido en esta ruta.

**Figura 81***Prueba neumático D – ruta Nro.4*

## Capítulo IV

### 4. Análisis de resultados

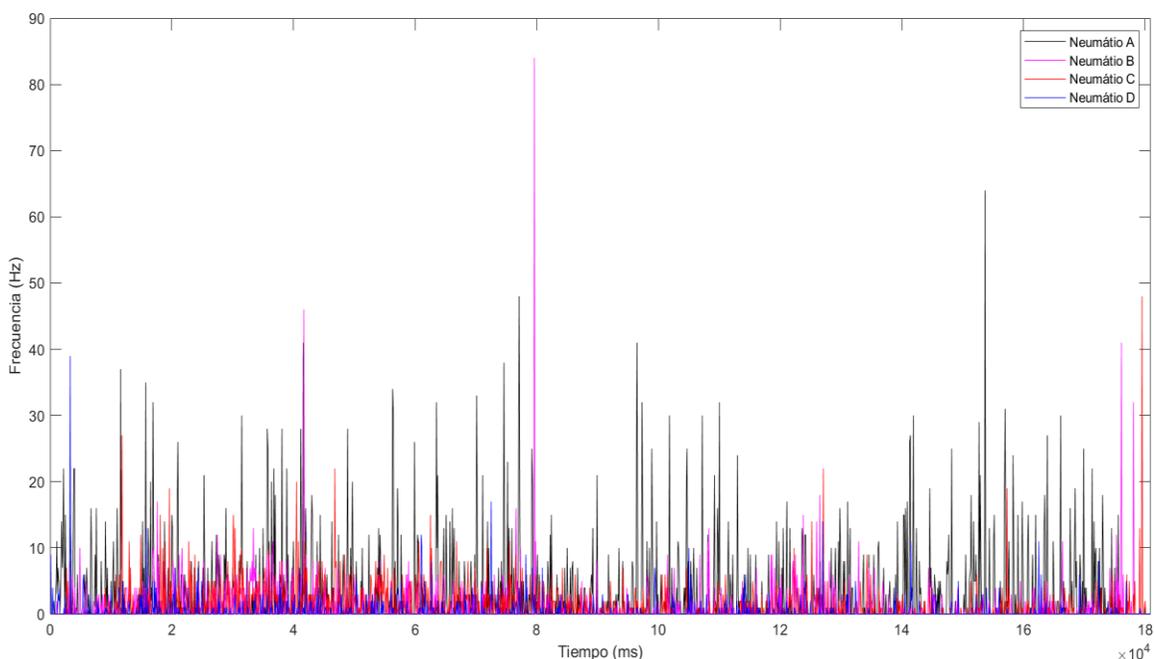
En este apartado se analiza la incidencia que tiene el patrón de la banda de rodadura en la generación del ruido y vibración del neumático, para efecto de realizar una comparación de este comportamiento se realizó en diferentes superficies de carretera de la ciudad de Latacunga.

#### 4.1. Espectros de vibración de cuatro neumáticos en la ruta Nro. 1

El primer escenario en el que se desarrollan los ensayos de vibración es la ruta de pavimento cuya superficie presenta una cantidad insignificante de irregularidades en relación con el resto de rutas. La gráfica espectral que genera cada neumático producto del contacto que ocurre entre la banda de rodadura y la superficie de la carretera se traza en la figura 82.

**Figura 82**

*Comparación de los espectros de vibración en la ruta Nro. 1*



En esta figura se puede apreciar que el neumático Goodyear (A) con patrón asimétrico es el que produce mayores niveles de vibración, este comportamiento se debe principalmente a que el neumático ya tenía un uso considerable antes de ser

utilizado para los ensayos, motivo por el cual las vibraciones que genera son elevadas en todo el tramo con respecto a los neumáticos restantes, en ese sentido la forma de su espectro presenta varias irregularidades con valores que superan los 20 Hz e incluso alcanzando un nivel máximo de 64 Hz que ocurre en un instante de tiempo determinado.

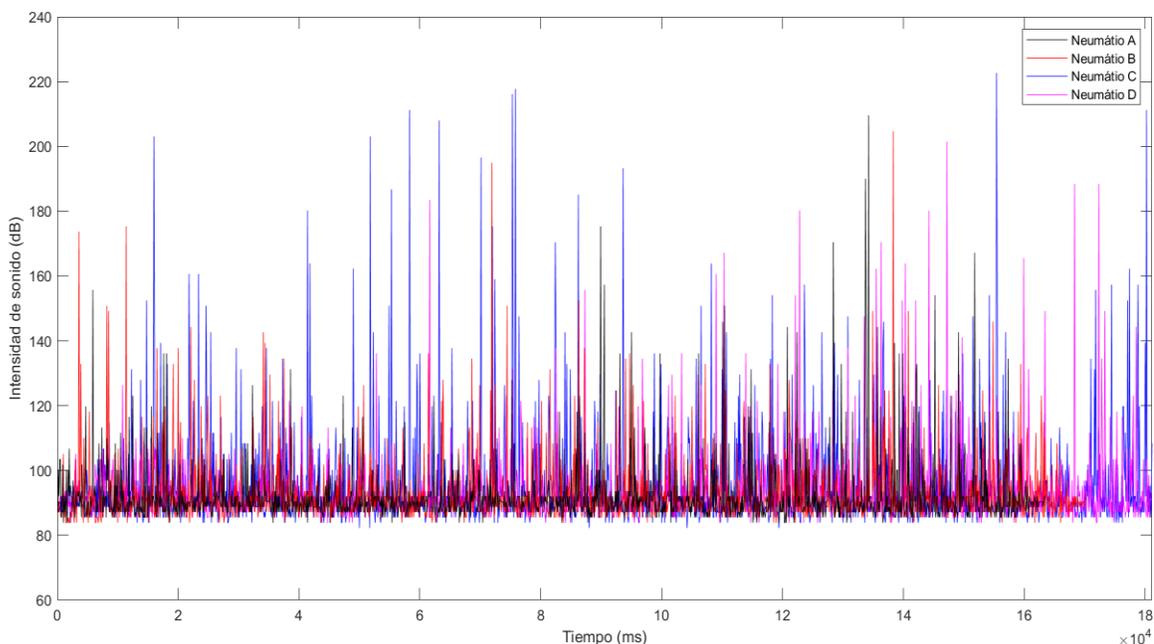
Continuando con el análisis se tiene que los neumáticos Anchee (B) y Nexen (C) con patrones simétrico y direccional respectivamente presentan espectros con similar comportamiento ya que sus niveles de vibración se encuentran en un rango promedio de 8 a 15 Hz. Referente al neumático Sonar (D) que utiliza un patrón direccional con diferente configuración geométrica respecto del neumático Nexen (C), se observa que induce niveles bajos de vibración lo que se traduce en la reducción del desgaste prematuro del neumático, ya que este espectro captó como valor máximo 39 Hz.

#### 4.2. Espectros de ruido de cuatro neumáticos en la ruta Nro. 1

Los resultados que se muestran a continuación corresponden a los niveles de ruido que generan cuatro neumáticos con diferente patrón de la banda de rodadura efectuados en la ruta de pavimento.

#### Figura 83

*Comparación de los espectros de ruido en la ruta Nro. 1*



Los espectros de ruido que se trazan en esta figura permiten deducir que los neumáticos con mayor índice de ruido son los que emplean un patrón direccional en “V” correspondiente al Nexen (C) y Sonar (D) ya que estos superan con facilidad los 115 decibelios, además los valores máximos que alcanzan los espectros con este tipo de patrón se encuentran en un rango de 188,4 a 222,7 decibelios que ocurren de manera instantánea y sin presencia de repeticiones.

Por otra parte se tiene los neumáticos que emiten niveles de ruido relativamente bajos, lo comprenden el patrón simétrico y asimétrico correspondiente a los neumáticos Anchee (B) y Goodyear (A); se encuentran en esta categoría ya que sus valores de ruido promedio se hallan en 92,28 y 95,22 decibelios, asimismo comprenden picos máximos que se producen momentáneamente y rondan los 204,7 a 209,6 decibelios.

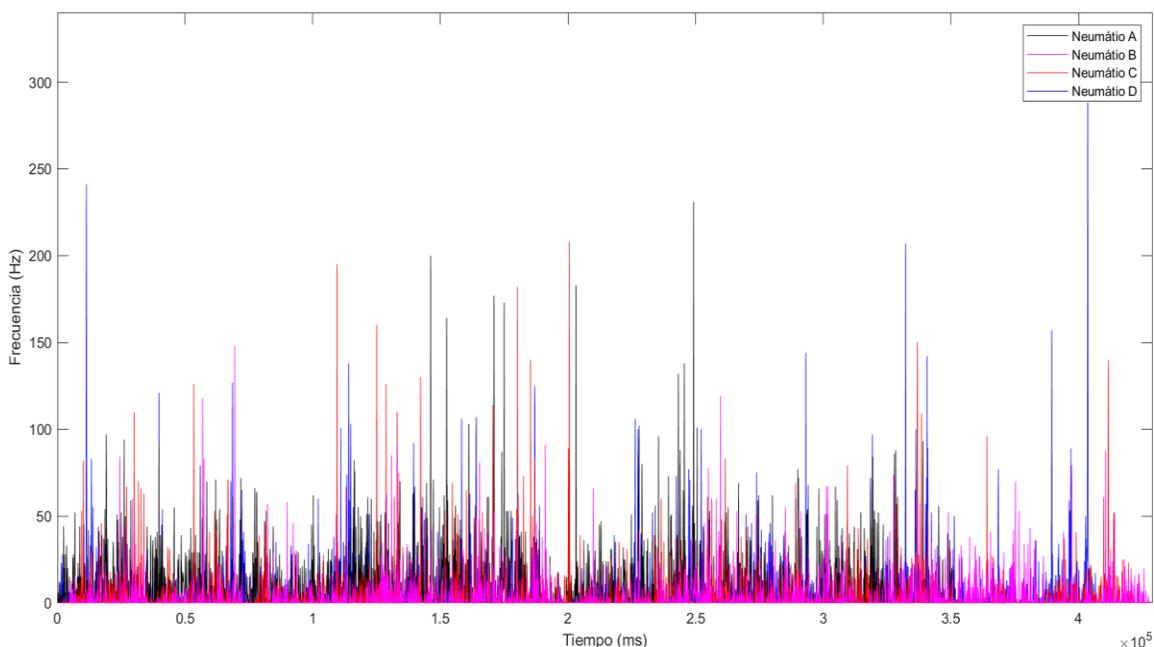
Este comportamiento que exhiben los espectros con niveles de ruido superiores a los habituales sucede por tres razones fundamentales, la primera es debido a la superficie de la carretera por la presencia de baches e irregularidades, la segunda referente a vehículos transitando durante la ejecución de las pruebas y la tercera relacionada con la velocidad del vehículo; tomado en cuenta que los ensayos se efectuaron a 70 km/h, como resultado de la combinación de estos ruidos con el de los neumáticos se traduce en valores elevados.

#### **4.3. Espectros de vibración de cuatro neumáticos en la Nro. 2**

El segundo escenario en el que se desarrollan las pruebas de vibración es la ruta de adoquín esta superficie comprende una cantidad reducida de irregularidades. La gráfica espectral que provoca cada neumático producto de la interacción que ocurre entre la banda de rodadura y la superficie del adoquín se representa con diferentes colores en la figura 84.

**Figura 84**

*Comparación de los espectros de vibración en la ruta Nro. 2*



A través de esta representación espectral se entiende que los patrones con mayor influencia en la generación de vibraciones son el asimétrico, simétrico y direccional correspondiente a los neumáticos Goodyear (A), Anchee (B) y Nexen (C) ya que la forma de sus espectros supera los 50 Hz e incluso adoptan niveles de vibración mayor a 100 Hz notándose los siguientes valores 148, 160 y 164 Hz. Hay que destacar que debido al desgaste de la banda de rodadura del neumático Goodyear (A) este es más susceptible a generar niveles vibración más elevados que sus homólogos.

En esta trayectoria el neumático capaz de controlar de mejor manera las vibraciones que se generan por el contacto con la superficie de la carretera es el Sonar (D) que dispone un patrón direccional en la banda de rodadura, cabe recalcar que debido a su disposición geométrica que difiere del neumático Nexen (C) le permite mantener este comportamiento, en tal sentido los niveles que alcanza la forma de su espectro se encuentran comprendidos en valores de 20 a 30 Hz.

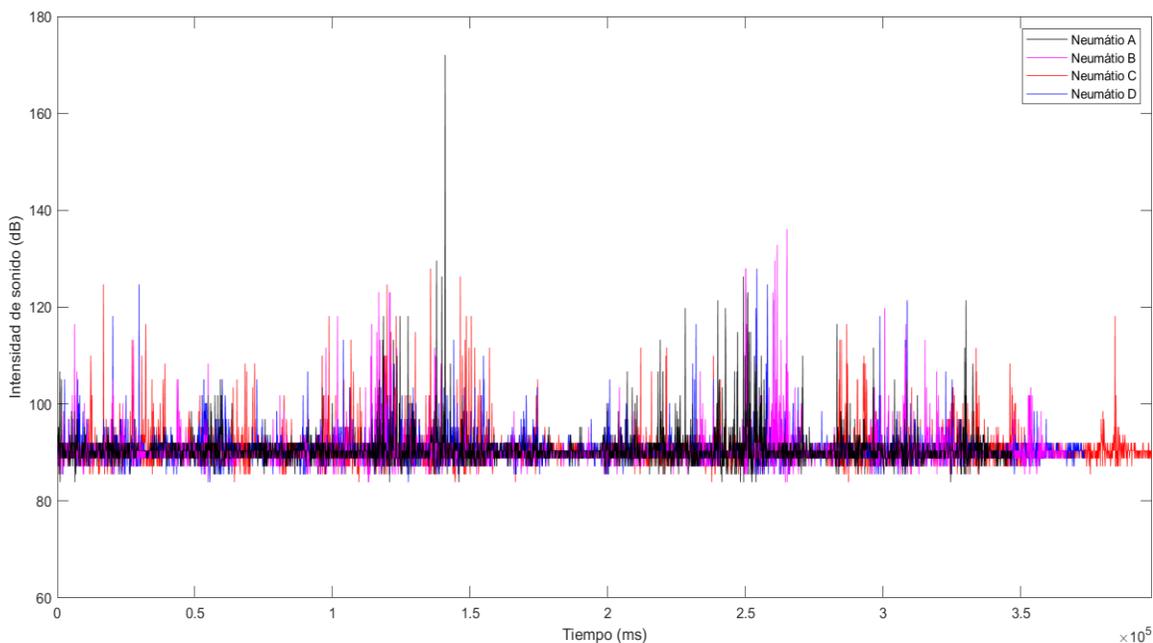
#### **4.4. Espectros de ruido de cuatro neumáticos en la ruta Nro. 2**

Los resultados que se muestran en la figura 85 corresponden a los espectros de ruido que producen cuatro neumáticos con diferente patrón de la banda de rodadura

efectuados en la ruta de adoquín ubicada en una zona urbana de la ciudad de Latacunga.

### Figura 85

*Comparación de los espectros de ruido en la ruta Nro. 2*



De acuerdo con los espectros que se ilustran en esta figura se observa que los neumáticos con mayor emisión de ruido son el Sonar (D) y Nexen (C) que emplean un patrón direccional en “V”, los valores promedio de ruido que logran estos neumáticos se sitúan entre 90,70 y 90,82 decibelios; incluso sus picos máximos instantáneos alcanzan los 128 decibelios.

Continuando con el análisis se contempla a los neumáticos que emiten niveles de ruido reducidos, lo comprenden el patrón simétrico y asimétrico correspondiente a los neumáticos Anchee (B) y Goodyear (A); se encuentran en esta posición debido a que el promedio de ruido se halla en valores de entre 90,43 a 90,62 decibelios, asimismo abarcan picos máximos que se producen momentáneamente y rondan los 136,1 a 172,1 decibelios.

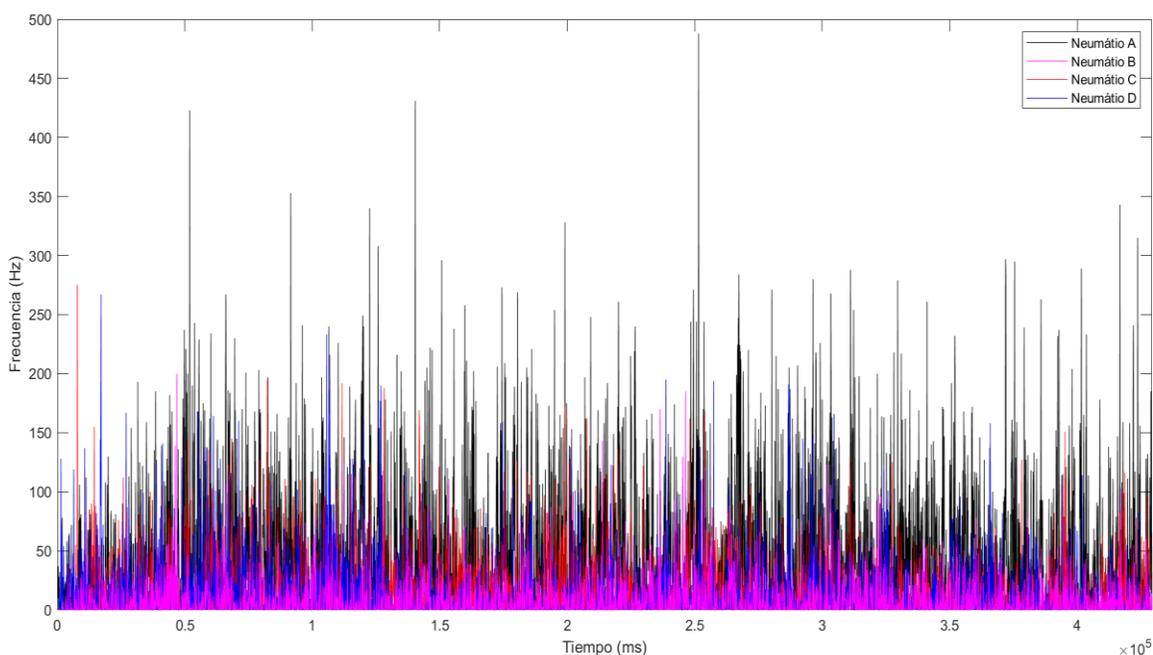
Esta ruta al encontrarse situada en una zona urbana en la que existe un flujo constante de vehículos se traduce en el incremento del nivel sonoro, ya que se combina con el ruido que emite el neumático.

#### 4.5. Espectros de vibración de cuatro neumáticos en la ruta Nro. 3

El tercer escenario que se tomó en cuenta para desarrollar los ensayos de vibración es la ruta de empedrado cuya superficie presenta una cantidad considerable de irregularidades debido fundamentalmente a su composición y construcción. La gráfica espectral que produce cada neumático producto del contacto que ocurre entre la banda de rodadura y la superficie de la carretera se ilustra en la figura 86.

##### Figura 86

*Comparación de los espectros de vibración en la ruta Nro. 3*



Mediante la presente figura se establece que el neumático Goodyear (A) con patrón asimétrico comprende un espectro con el mayor índice de vibración ya que sus valores se hallan entre 100 y 150 Hz, esta conducta es debido al desgaste de la banda de rodadura ya que es considerado un factor que influye directamente en la generación de vibraciones.

Continuando con el análisis se distingue a los neumáticos Nexen (C) y Sonar (D) que engloban similares formas en sus espectros en relación con el neumático Goodyear (A), sin embargo, los valores de estos modelos tienden a ser levemente inferiores comprendidos en un rango de 50 a 100 Hz; el patrón empleado por estos neumáticos es el direccional en "V".

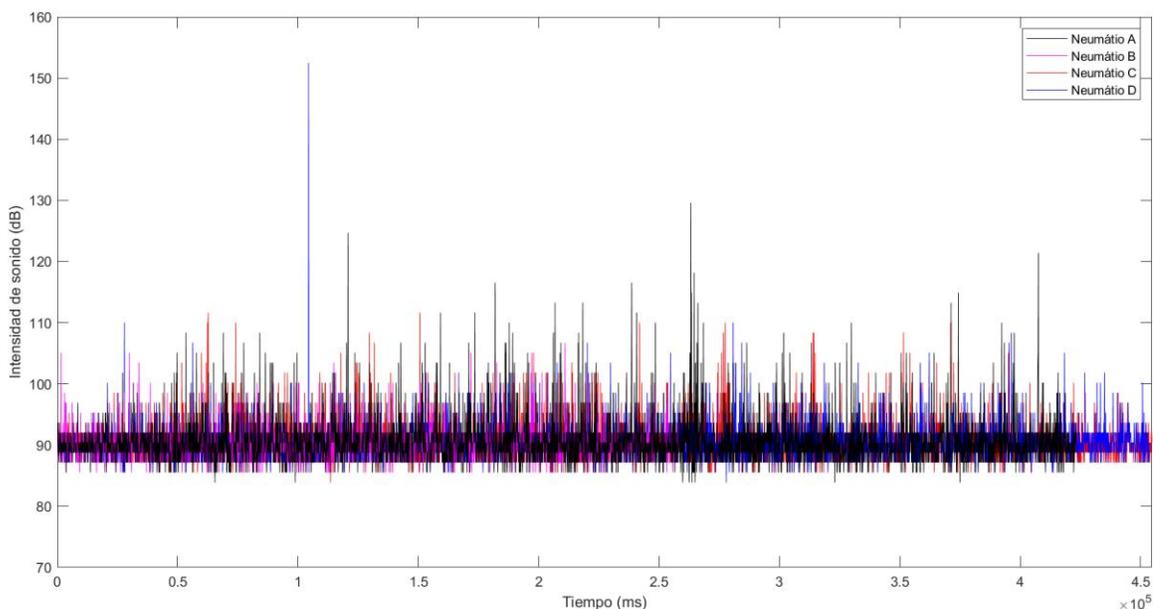
En esta ruta sobresale el patrón simétrico utilizado por el neumático Anchee (B), en virtud de ser capaz de controlar adecuadamente la generación de vibraciones, debido a sus características geométricas como poseer una mayor profundidad en su banda de rodadura; lo que le permite abarcar valores de 30 a 50 Hz.

#### 4.6. Espectros de ruido de cuatro neumáticos en la ruta Nro. 3

Los resultados que se muestran en la figura 87 corresponden a los espectros de ruido que producen cuatro neumáticos con patrón simétrico, asimétrico y direccional realizados en la ruta de empedrado que se encuentra ubicada en la ciudad de Latacunga.

**Figura 87**

*Comparación de los espectros de ruido en la ruta Nro. 3*



Al realizar el análisis de cada espectro y el comportamiento de su forma se tiene que los neumáticos Anchee (B), Goodyear (A) y Nexen (C) con patrón simétrico, asimétrico y direccional respectivamente, son los más propensos a generar niveles de ruido relativamente altos ya el promedio supera los 90,37 decibelios. Además sus picos máximos instantáneos se encuentran en los siguientes valores 106,7, 111,6 y 129,6 decibelios.

Por otro lado el neumático Sonar (D) que emplea un patrón direccional el cual debido a su configuración geométrica permite reducir las emisiones de ruido en este tipo

de ruta considerada la más ruidosa de acuerdo con su composición, alcanzando un promedio de 90,20 decibelios que benefician el confort del conductor y al entorno por donde transita el vehículo, asimismo este neumático abarca un nivel máximo instantáneo de 152,5 decibelios ocasionado por algún bache durante el recorrido.

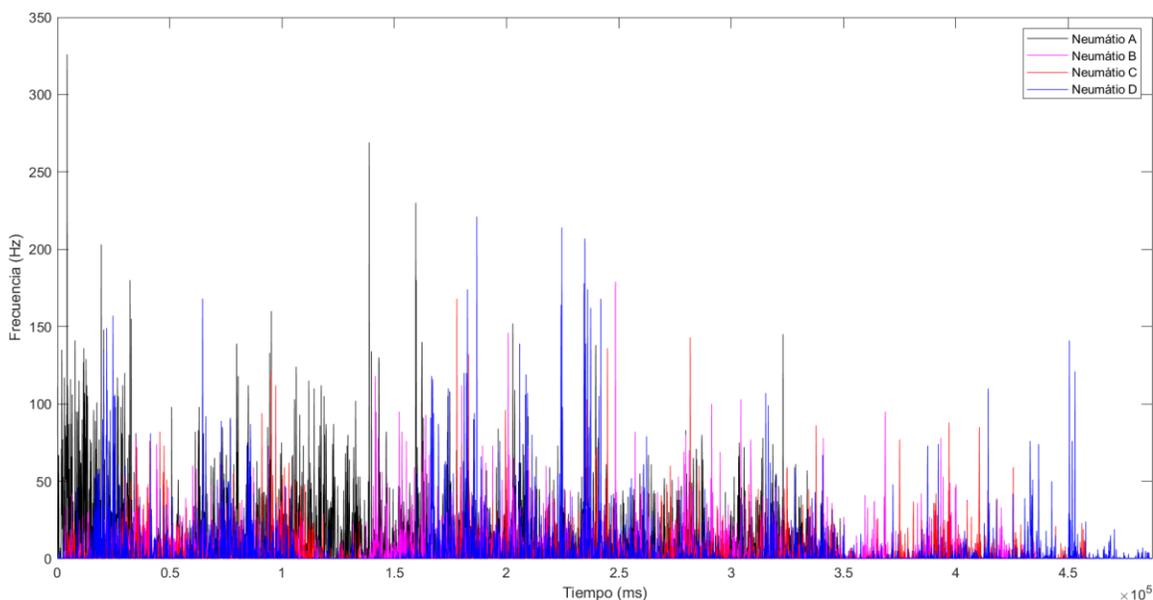
Esta ruta se encuentra ubicada en una zona rural en la que existe un flujo de vehículos bajo; por ende los niveles sonoros no se ven afectados como en la ruta de adoquín. En el capítulo 1 se habló sobre la existencia de carreteras con diferente material de construcción que afectan a la propagación y generación del ruido.

#### 4.7. Espectros de vibración de cuatro neumáticos en la ruta Nro. 4

El último escenario considerado para desarrollar los ensayos de vibración es la ruta de suelo natural (tierra) cuya superficie abarca una cantidad numerosa de irregularidades debido principalmente a su composición y construcción. La gráfica espectral que produce cada neumático producto del contacto que ocurre entre la banda de rodadura y la superficie de la carretera se ilustra en la figura 88.

#### Figura 88

*Comparación de los espectros de vibración en la ruta Nro. 4*



Al desarrollar el análisis de cada espectro de vibración, se determinó que en el recorrido de esta ruta los patrones asimétrico, simétrico y direccional correspondiente a los neumáticos Goodyear (A), Anche (B), y Sonar (D) son los que generan valores

elevados de vibración en un rango de 40 a 90 Hz, aunque se observa que en ciertos tramos de esta trayectoria los niveles tienden a bajar alrededor de los 15 Hz e incluso llegando a 5 Hz, esto se debe principalmente a la composición de la ruta ya que en ciertas partes no existía presencia de pierdas u otros componentes que influyan en la generación de vibraciones.

En cuanto al patrón que induce niveles bajos de vibración se encuentra el direccional en “V” cuya geometría difiere del neumático Sonar (D), permitiéndole abarcar valores que se encuentran entre 20 y 50 Hz.

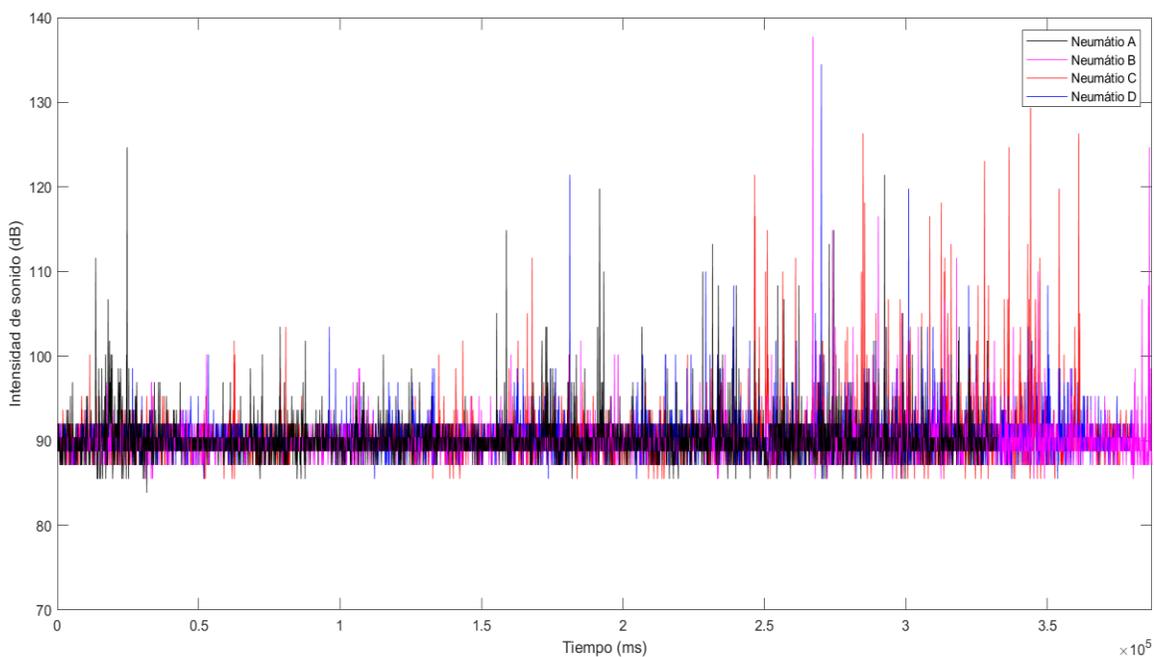
En el capítulo 2 se mencionó que las vibraciones pueden ser causadas por la no homogeneidad de la estructura de la cubierta o por la rugosidad de la carretera.

#### 4.8. Espectros de ruido de cuatro neumáticos en la ruta Nro. 4

Los resultados que se muestran en la figura 89 corresponden a los espectros de ruido que producen cuatro neumáticos con diferente patrón de la banda de rodadura efectuados en la ruta de suelo natural (tierra) situada en la ciudad de Latacunga.

#### Figura 89

*Comparación de los espectros de ruido en la ruta Nro. 4*



Según los espectros de ruido plasmados en esta figura, se aprecia que los neumáticos con mayor índice de ruido son los que emplean el patrón direccional en “V”, estos ejemplares son el Nexen (C) y Sonar (D) los niveles de ruido promedio que generan estos espectros son los siguientes 90,46 y 90,31 decibelios respectivamente, incluso en el tramo final de esta ruta es evidente como los valores de ruido superan los 100 decibelios, la causa principal se debe a la composición de esta trayectoria ya que lo integran materiales como tierra, piedras y demás componentes que se incrustan en esta superficie lo que se traduce en un incremento en los niveles sonoros.

De acuerdo con los espectros que presentan los neumáticos Goodyear (A) y Anchee (B) que utilizan un patrón asimétrico y simétrico respectivamente se los considera dentro de la categoría que induce emisiones inferiores de ruido, notándose valores promedio de 90,22 y 89,94 decibelios; indicando que son capaces de reducir el ruido en esta ruta considerada como la de mayor superficie en la ciudad de Latacunga.

La localización de esta ruta es en una zona rural donde el flujo de vehículos es reducido; por tal motivo los niveles sonoros del neumático no se ven afectados. En el capítulo 1 se indicó que existen carreteras con diferente material de construcción que afectan a la propagación y generación del ruido como el caso de la ruta de tierra o suelo natural.

## Capítulo V

### 5. Conclusiones y recomendaciones

#### 5.1. Conclusiones

- En este trabajo de investigación se analizó los efectos del patrón de la banda de rodadura en la generación del ruido y vibración de varios neumáticos de un vehículo de turismo segmento C empleando una metodología eficiente y complementando con un análisis estadístico de los resultados para la determinación del patrón con menor incidencia de estos espectros.
- Se seleccionó los neumáticos con diferente patrón que se emplearon para el desarrollo de las pruebas, entre los cuales se encuentra el simétrico, asimétrico y direccional.
- Para la obtención de datos relacionados con el ruido y vibración generados por los neumáticos se utilizó equipos que fueron construidos e integraron varios sensores capaces de captar estas variaciones en función del tiempo.
- Mediante el uso del software Matlab versión de prueba se realizó la representación gráfica de los datos recopilados por los equipos que se emplearon para la medición de estas magnitudes.
- Uno de los hallazgos más importantes encontrados en este estudio es el incremento de los niveles de vibración del neumático ocasionados por el desgaste de la banda de rodadura, este comportamiento se presentó en el neumático Goodyear sobre todo en la ruta de empedrado ya que sus valores promedio de frecuencia comprendían los 100 y 150 Hz.
- Este estudio ha demostrado que el patrón con mayor generación de ruido es el direccional en "V", ya que sus valores promedio oscilan de entre 90,31 a 90,82 decibelios en las diferentes rutas establecidas.
- Los resultados de esta investigación demuestran que los patrones de la banda de rodadura que emiten cantidades bajas de ruido son el simétrico y asimétrico con valores promedio de 89,94 y 90,22 decibelios y para vibración el patrón que induce niveles bajos de este espectro es el direccional correspondiente al neumático Sonar ya que engloba un rango de entre 20 y 50 Hz; estos valores se tomaron con base a la ruta de suelo natural que es considerada como la de mayor superficie en la ciudad de Latacunga con 485,52 km.

- Se analizó los distintos espectros de ruido y vibración que generaron los neumáticos en diferentes rutas, determinado así que los factores más influyentes en su generación son la rugosidad de la carretera, velocidad del vehículo, flujo vehicular y la profundidad de la banda de rodadura.
- Si estos resultados fuesen reproducibles en otros estudios o contextos podría significar que el espectro de ruido muestre niveles inferiores a los presentados.

## 5.2. Recomendaciones

- Como actividad preliminar a la ejecución de las pruebas se debe tener en cuenta que los equipos empleados para la medición de los espectros de ruido y vibración deben encontrarse correctamente calibrados, de tal modo que las lecturas no resulten afectadas y así evitar inconvenientes durante la tabulación y posterior análisis de los resultados.
- Según los datos recopilados en la realización de este proyecto de investigación, los niveles de ruido sobrepasan los estándares permisibles establecidos en el Reglamento N.º 117 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) de acuerdo con la anchura nominal de sección del neumático, por lo cual observo que es necesario realizar más investigaciones sobre esta temática.
- Para efectuar las pruebas en diferentes rutas estas deben permanecer libre de flujo vehicular con la finalidad de que este ruido generado no se combine con el ruido de la banda de rodadura.
- Durante la ejecución de las pruebas se debe considerar que las condiciones ambientales no deben ser adversas evitando así las variaciones en los niveles de ruido y vibración que perjudican el análisis.
- Para realizar un estudio idóneo sobre los espectros de ruido y vibración en diferentes neumáticos se lo debe generar en un laboratorio equipado con la implementación adecuada evitando que factores externos alteren los datos, caso contrario se debe optar por un método que permita la separación del ruido de carretera, de la banda de rodadura y otros.

## Bibliografía

- Arauz, G., & Llumiyinga, Á. (2017). *Obtención y Tratamiento Digital de Imágenes de la Huella de Contacto Neumático - Calzada para Evaluar las Condiciones Físicas de los Neumáticos en Vehículos de Tracción Delantera*. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17227>
- Avon Tyres. (s.f.). *Avon Tyres*. Obtenido de <https://www.avontyres.com/es-es/cuidado-de-neumaticos/cuidado-de-neumaticos-para-coche/tipos-de-banda-de-rodadura/>.
- Azizi, Y. (2020). *Mecanismos de generación de ruido de neumáticos/carretera*. Akron.
- Blom, R. (2004). *Informe sobre el ruido de los neumáticos/de la carretera: mecanismos de generación, influencia de los parámetros de los neumáticos y experimento sobre las resonancias del cinturón*. Eindhoven: Universidad Tecnológica de Eindhoven. Obtenido de <https://pure.tue.nl/ws/files/4443599/614289.pdf>
- Castro, G. (2008). *Materiales y Compuestos para la Industria del Neumático*. Departamento de Ingeniería Mecánica. Obtenido de [https://www.academia.edu/20382290/Materiales\\_y\\_Compuestos\\_para\\_la\\_Industria\\_del\\_Neumatico](https://www.academia.edu/20382290/Materiales_y_Compuestos_para_la_Industria_del_Neumatico)
- CEPE. (2016). *Reglamento n.o 117 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE): Disposiciones*. Diario Oficial de la Unión Europea. Recuperado el 15 de Diciembre de 2021, de <https://www.boe.es/doue/2016/218/L00001-00106.pdf>
- Chileautos. (s.f.). *Chileautos.cl*. Obtenido de <https://www.chileautos.cl/volkswagen/gol/precio/2002/1-8-style-57301620011109/>
- CONGOPE. (2019). *Plan de desarrollo vial integral de la Provincia de Cotopaxi*. Quito. Obtenido de <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2020/09/Cotopaxi-plan-vial-integral.pdf>
- Continental . (s.f.). *Continental tire*. Obtenido de <https://www.continentaltire.com.ec/car/media-services/noticias/c%C3%B3mo-medir-la-profundidad-de-la-banda-de-rodadura>

- Dery, B. (20 de Agosto de 2020). *ProFuturo*. Obtenido de <https://resources.profuturo.education/recurso/neumatico-diccionario-visual/9fe18ffe-d656-47ae-8592-f5bfa13e4d98>
- FIVI. (2003). *Manual de Información Técnica de Neumáticos*. México.
- Google Maps. (2021). *Google Maps*. Obtenido de <https://www.google.com.ec/maps/@-0.1081339,-78.4699519,18z?hl=es>
- Guadarrama, J. (18 de Abril de 2019). *Llantas Express*. Obtenido de <https://llantas.express/llantas-rin-16/195-50-r16/>
- Guamán, O., & Zhagüi, D. (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*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12085/1/UPS-CT005953.pdf>
- Guevara, C. E. (2001). *Influencia de la presión de inflado de los neumáticos en la vida útil de los pavimentos asfálticos*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. Obtenido de [https://node2.123dok.com/dt02pdf/123dok\\_es/000/742/742519.pdf.pdf?X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=aa5vJ7sqx6H8Hq4u%2F20211231%2F%2Fs3%2Faws4\\_request&X-Amz-Date=20211231T165031Z&X-Amz-SignedHeaders=ho](https://node2.123dok.com/dt02pdf/123dok_es/000/742/742519.pdf.pdf?X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=aa5vJ7sqx6H8Hq4u%2F20211231%2F%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20211231T165031Z&X-Amz-SignedHeaders=ho)
- Heras, C. (2010). *Estudio del Comportamiento Dinámico de la Banda de Rodadura de un Neumático*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- Jaumandreu, M. F. (2014). *Estudio de la relación del conjunto neumático-llanta de un automóvil, con el consumo energético y la seguridad vial*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Li, T. (2020). *Influencing Parameters on Tire–Pavement Interaction Noise: Review, Experiments and Design Considerations*. Virginia: Desings.

- Luque , P., Álvarez, D., & Vera , C. (2005). *Ingeniería del Automóvil Sistemas y Comportamiento Dinámico*. Madrid: Thomson.
- MARANGONI. (2002). *Technical book*. Recuperado el 27 de Enero de 2022, de <https://fdocuments.ec/document/manual-neumaticos-libro-tecnico.html>
- Martín, J. C. (2007). *Mecánica del automóvil actual*. Zaragoza: Reverte.
- Martínez, J. (11 de Noviembre de 2016). *Circula Seguro*. Obtenido de <https://www.circulaseguro.com/fabricacion-de-los-neumaticos-y-el-papel-de-michelin/>
- Muract, J., Molisani, L., Arechaga, T., Jaureguizar, L., & O'Brien, R. (2013). *Modelo analítico para predicción de ruido generado por la banda de rodadura*.
- Pedernera, E., O'Brien, R., Fontana, J., & Molisani, L. (2016). *Modelado y validación experimental de la dinámica estructural del neumático en la interacción asfalto/neumático*. Córdoba: Universidad Nacional de Río Cuarto.
- Salvat Editores. (1981). *Cómo funciona*. Salvat Editores, S.A.
- Sanz, C. (2012). *Técnicas para el estudio acústico en Técnicas para el estudio acústico en Harshness*. Gandía: Universidad Politécnica de Valencia.
- SPPAT. (2019). *Protección tránsito*. Recuperado el 31 de Enero de 2022, de <https://www.protecciontransito.gob.ec/servicios/consecuencias-del-exceso-de-velocidad/>
- Vega, D. (2014). *Análisis y Diagnóstico de Vibraciones en Vehículos Livianos de Combustión Interna*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Villalpando, C. (15 de Julio de 2019). *TRANSPORTE.MX*. Obtenido de <https://www.transporte.mx/la-banda-de-rodadura-y-los-tipos-de-dibujo-de-las-llantas/>
- XuWang. (2020). *Introducción de fondo*. Melbourne: Universidad RMIT.
- Yoconor. (16 de Junio de 2021). *rezulteo*. Obtenido de <https://neumaticos.rezulteo.es/consejos-rezulteo/comprar-neumaticos/elegir-comparar/neumaticos-asimetricos-simetricos-o-direccionales-que-perfil-de-neumatico-elegir/>

# **ANEXOS**