



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Estudio de los efectos del tipo de terreno en la generación del
ruido y vibración del neumático de un vehículo de turismo segmento
“C”**

Pruna Tapia, Luis Ricardo

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 tipo de terreno en la generación del ruido y vibración del neumático de un vehículo de turismo segmento “C”**” fue realizado por el señor **Pruna Tapia, Luis Ricardo** 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 Mgs.

C.C.: 0502005242



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

REPORTE DE VERIFICACIÓN DE CONTENIDOS



Trabajo de UIC_Pruna Luis.docx

Scanned on: 12:19 February 4, 2022 UTC



| | |
|--------------------------|-----|
| Identical Words | 321 |
| Words with Minor Changes | 139 |
| Paraphrased Words | 273 |
| Omitted Words | 0 |





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

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Pruna Tapia, Luis Ricardo** con cedula de ciudadanía N°**0504344144**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de Unidad de Integración Curricular: **“Estudio de los efectos del tipo de terreno en la generación del ruido y vibración del neumático de un vehículo de turismo segmento “C””** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 04 de febrero del 2022

Pruna Tapia, Luis Ricardo.

C.C.: 0504344144



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

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Pruna Tapia, Luis Ricardo** con cedula de ciudadanía N°**0504344144**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de Unidad de Integración Curricular: **“Estudio de los efectos del tipo de terreno 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 nuestra responsabilidad.

Latacunga, 04 de febrero del 2022


Pruna Tapia, Luis Ricardo.

C.C.: 0504344144

Dedicatoria

A mis padres Alberto Pruna y Marlene Tapia por su amor, cariño y apoyo incondicional en cada una de las decisiones que he tomado y aconsejarme para seguir el camino del bien, con honestidad, respeto y transparencia, con el fin de cumplir una meta más en mi vida.

PRUNA TAPIA, LUIS RICARDO

Agradecimiento

En primer lugar quiero agradecer a mis padres por siempre estar pendientes y brindarme su apoyo incondicional para seguir adelante cuando perdía las ganas de continuar estudiando en esta carrera.

A cada una de las personas que estuvieron en el trascurso de esta etapa universitaria; a mi grupo de investigación por su predisposición para el desarrollo de este proyecto, muchas gracias.

Al Ing. Darwin Moreano por su disposición a facilitar las instalaciones de su taller de servicio automotriz para el desarrollo de este trabajo.

Al Ing. Henry Iza por guiarme en el desarrollo de este trabajo.

PRUNA TAPIA, LUIS RICARDO

Tabla de contenidos

| | |
|---|----|
| Carátula..... | 1 |
| Certificación..... | 2 |
| Reporte de verificación de contenidos | 3 |
| Autoría de responsabilidad | 4 |
| Autorización de publicación..... | 5 |
| Dedicatoria..... | 6 |
| Agradecimiento | 7 |
| Tabla de contenidos..... | 8 |
| Índice de tablas | 14 |
| Índice de figuras | 15 |
| Resumen..... | 18 |
| Abstract..... | 19 |
| Introducción..... | 20 |
| Antecedentes investigativos..... | 20 |
| Planteamiento de problema | 22 |
| Justificación e importancia..... | 23 |
| Objetivos del proyecto | 23 |
| <i>Objetivo general.....</i> | 23 |
| <i>Objetivos específicos.....</i> | 23 |
| Hipótesis..... | 24 |
| Variables de investigación | 24 |
| <i>Variable dependiente.....</i> | 24 |
| Ruido y vibraciones..... | 24 |
| <i>Variable independiente.....</i> | 24 |
| El tipo de terreno..... | 24 |

| | |
|---|----|
| Fundamentación teórica | 25 |
| Cadena Cinemática..... | 25 |
| <i>Definición de cadena cinemática.....</i> | 25 |
| <i>Tipos de cadenas cinemáticas</i> | 25 |
| <i>Cadena cinemática en un vehículo.....</i> | 26 |
| <i>Componentes de la cadena cinemática de un vehículo.....</i> | 26 |
| El motor. | 26 |
| La transmisión..... | 27 |
| Vibraciones | 27 |
| <i>Definición de vibraciones.....</i> | 27 |
| <i>Parámetros característicos de las vibraciones</i> | 27 |
| <i>Principios del análisis de vibraciones.....</i> | 28 |
| Según el dominio del tiempo..... | 28 |
| Según el dominio de frecuencia..... | 28 |
| Según el dominio conjunto. | 28 |
| Según el análisis modal..... | 28 |
| <i>Tipos de ondas de vibraciones.....</i> | 29 |
| Según la dirección de propagación de la onda..... | 29 |
| Según la dimensión de propagación de la onda..... | 29 |
| Según el medio que necesitan para propagarse..... | 29 |
| <i>Instrumentos para la medición de vibraciones</i> | 29 |
| Vibrómetro..... | 29 |
| Transductores de vibraciones..... | 30 |
| Acelerómetros de vibraciones | 30 |
| <i>Ventajas y desventajas del análisis de vibraciones</i> | 30 |
| Ventajas | 30 |
| Desventajas | 31 |

| | |
|--|-----------|
| <i>Normas internacionales sobre vibraciones mecánicas</i> | 31 |
| Norma ISO 10816..... | 31 |
| Norma ISO 7919..... | 31 |
| Norma ISO 10817-1..... | 31 |
| Ruido | 32 |
| <i>Definición de ruido</i> | 32 |
| <i>Niveles de ruido</i> | 32 |
| <i>Tipos de ruido</i> | 34 |
| Ruido Continuo | 34 |
| Ruido Intermitente..... | 34 |
| Ruido Impulsivo. | 34 |
| <i>Equipos de medición de ruido</i> | 35 |
| Sonómetro | 35 |
| Analizador de frecuencias | 35 |
| Dosímetro | 35 |
| Calibrador Acústico | 35 |
| <i>Regulación del ruido en neumáticos</i> | 35 |
| Terreno | 36 |
| <i>Definición de terreno</i> | 36 |
| <i>Definición de carretera</i> | 36 |
| <i>Clasificación de las carreteras</i> | 37 |
| Según el tipo de terreno | 37 |
| Según la jerarquía | 38 |
| Según la condición del asfalto | 39 |
| Según su tránsito..... | 39 |
| Según su ancho | 40 |
| <i>Carreteras en Ecuador</i> | 40 |

| | |
|--|----|
| Defectos de las carreteras en Ecuador..... | 41 |
| <i>Baches</i> | 41 |
| <i>Agrietamiento</i> | 42 |
| <i>Resquebrajamiento</i> | 43 |
| <i>Fallo de borde</i> | 43 |
| Neumático | 44 |
| <i>Definición de neumático</i> | 44 |
| <i>Clasificación de los neumáticos</i> | 44 |
| <i>Materiales de fabricación</i> | 46 |
| Metodología de desarrollo del proyecto y resultados obtenidos..... | 48 |
| Metodología de las pruebas | 48 |
| <i>Normas</i> | 48 |
| <i>Metodología planteada</i> | 48 |
| Equipos utilizados para las pruebas | 49 |
| <i>Elaboración de un analizador de vibraciones</i> | 49 |
| Elementos necesarios | 50 |
| Diseño del circuito electrónico | 51 |
| Programación | 52 |
| Diseño de carcasas para los sensores | 53 |
| Montaje de los componentes | 54 |
| <i>Elaboración del sonómetro</i> | 55 |
| Elementos necesarios | 55 |
| Diseño del circuito electrónico | 55 |
| Programación | 56 |
| Soportes para sensores..... | 57 |
| Montaje de los componentes | 58 |
| Características técnicas del vehículo usado | 58 |

| | |
|---|-----|
| Determinación de rutas | 60 |
| Tipos de neumáticos a usados | 67 |
| Preparación previa del automotor de las pruebas | 68 |
| <i>Balanceo de los 4 neumáticos del auto</i> | 68 |
| <i>Alineación del vehículo</i> | 69 |
| <i>Revisión del estado de la suspensión</i> | 70 |
| <i>Revisión de la presión de inflado de los neumáticos</i> | 71 |
| <i>Revisión integral del automóvil</i> | 71 |
| Colocación de los sensores de ruido y vibración en el vehículo | 72 |
| Velocidades y tiempos para las pruebas | 75 |
| Condiciones ambientales en las pruebas | 75 |
| Resultados obtenidos de las pruebas de vibraciones | 76 |
| Resultados obtenidos de las pruebas de ruido | 93 |
| Análisis de resultados..... | 109 |
| Prueba de vibraciones con diferentes neumáticos en asfalto..... | 109 |
| Prueba de vibraciones con diferentes neumáticos en adoquín | 112 |
| Prueba de vibraciones con diferentes neumáticos en empedrado | 114 |
| Prueba de vibraciones con diferentes neumáticos en arena (suelo natural)..... | 116 |
| Prueba de ruidos con diferentes neumáticos en asfalto..... | 118 |
| Prueba de ruidos con diferentes neumáticos en adoquín | 120 |
| Prueba de ruidos con diferentes neumáticos en empedrado..... | 122 |
| Prueba de ruidos con diferentes neumáticos en arena (suelo natural) | 124 |
| Conclusiones y recomendaciones | 126 |
| Conclusiones | 126 |
| Recomendaciones | 128 |
| Bibliografía..... | 130 |

Anexos.....132

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Niveles de ruido en dB | 32 |
| Tabla 2 Límites de presión sonora para vehículos automotores..... | 33 |
| Tabla 3 Límites de ruido en el neumático de acuerdo a la anchura nominal de sección | 36 |
| Tabla 4 Límites de ruido en el neumático en función de la aplicación | 36 |
| Tabla 5 Clasificación de los neumáticos por su servicio | 45 |
| Tabla 6 Estadísticas de superficies de rodadura en km en el Cantón Latacunga | 49 |
| Tabla 7 Características del auto utilizado..... | 59 |
| Tabla 8 Rutas utilizadas en la investigación..... | 60 |
| Tabla 9 Hoja de ruta para la carretera de asfaltado..... | 61 |
| Tabla 10 Hoja de ruta para la carretera de adoquín | 62 |
| Tabla 11 Hoja de ruta para la carretera de empedrado | 65 |
| Tabla 12 Hoja de ruta para la carretera de arena | 66 |
| Tabla 13 Detalles de neumáticos utilizados para las pruebas | 67 |
| Tabla 14 Reporte de alineación del vehículo..... | 69 |
| Tabla 15 Tiempos y velocidades para las pruebas en cada ruta | 75 |
| Tabla 16 Condiciones ambientales para el día 1 de pruebas | 75 |
| Tabla 17 Condiciones ambientales para el día 2 de pruebas | 76 |
| Tabla 18 Condiciones ambientales para el día 3 de pruebas | 76 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 <i>Cadena cinemática abierta y cerrada</i> | 25 |
| Figura 2 <i>Vibrómetro digital</i> | 30 |
| Figura 3 <i>Tipos de carreteras</i> | 38 |
| Figura 4 <i>Ejemplos de baches en vías de tipo asfáltico</i> | 41 |
| Figura 5 <i>Ejemplo de agrietamiento en una carretera</i> | 42 |
| Figura 6 <i>Ejemplo de resquebrajamiento</i> | 43 |
| Figura 7 <i>Ejemplo de fallo de borde</i> | 44 |
| Figura 8 <i>Diseño del esquema eléctrico en Proteus</i> | 51 |
| Figura 9 <i>Diseño de la PCB en Proteus</i> | 51 |
| Figura 10 <i>Programación en Arduino</i> | 52 |
| Figura 11 <i>Carcasa superior e inferior diseñada en Solidworks</i> | 53 |
| Figura 12 <i>Colocación de los sensores de vibración en las carcasas</i> | 53 |
| Figura 13 <i>Ubicación de los elementos en la caja</i> | 54 |
| Figura 14 <i>Diseño del esquema eléctrico en Proteus</i> | 55 |
| Figura 15 <i>Diseño de la PCB en Proteus</i> | 56 |
| Figura 16 <i>Programación en Arduino del Sonómetro</i> | 57 |
| Figura 17 <i>Carcasa del micrófono de audio</i> | 58 |
| Figura 18 <i>Auto usado para las pruebas</i> | 60 |
| Figura 19 <i>Ruta Nro. 1: Asfaltado</i> | 61 |
| Figura 20 <i>Ruta Nro. 2: Adoquín</i> | 62 |
| Figura 21 <i>Ruta Nro. 3: Empedrado</i> | 65 |
| Figura 22 <i>Ruta Nro. 4: Arena</i> | 66 |
| Figura 23 <i>Balanceo del neumático</i> | 68 |
| Figura 24 <i>Alineación del vehículo</i> | 69 |
| Figura 25 <i>Cambio de amortiguadores</i> | 70 |
| Figura 26 <i>Verificación de presión de inflado</i> | 71 |
| Figura 27 <i>Revisión realizada al vehículo de pruebas</i> | 72 |
| Figura 28 <i>Ubicación del sensor de vibración</i> | 73 |
| Figura 29 <i>Cableado del sensor de vibración en el auto de prueba</i> | 73 |
| Figura 30 <i>Ubicación del sensor de ruido en el auto</i> | 74 |
| Figura 31 <i>Cableado del sensor de ruido en el auto de prueba</i> | 74 |
| Figura 32 <i>Prueba vibración del neumático Nro. 1 en la ruta Nro. 1</i> | 77 |

| | |
|--|-----|
| Figura 33 <i>Prueba de vibración del neumático Nro. 1 en la ruta Nro. 2</i> | 78 |
| Figura 34 <i>Prueba de vibraciones del neumático Nro. 1 en la ruta Nro. 3</i> | 79 |
| Figura 35 <i>Prueba vibración del neumático Nro. 1 en la ruta Nro. 4</i> | 80 |
| Figura 36 <i>Prueba de vibración del neumático Nro. 2 en la ruta Nro. 1</i> | 81 |
| Figura 37 <i>Prueba del neumático Nro. 2 en la ruta Nro. 2</i> | 82 |
| Figura 38 <i>Prueba de vibraciones del neumático Nro. 2 en la ruta Nro. 3</i> | 83 |
| Figura 39 <i>Prueba de vibraciones del neumático Nro. 2 en la ruta Nro. 4</i> | 84 |
| Figura 40 <i>Prueba de vibraciones del neumático Nro. 3 en la ruta Nro. 1</i> | 85 |
| Figura 41 <i>Prueba de vibraciones del neumático Nro. 3 en la ruta Nro. 2</i> | 86 |
| Figura 42 <i>Prueba de vibraciones del neumático Nro. 3 en la ruta Nro. 3</i> | 87 |
| Figura 43 <i>Prueba de vibraciones del neumático Nro. 3 en la ruta Nro. 4</i> | 88 |
| Figura 44 <i>Prueba de vibraciones del neumático Nro. 4 en la ruta Nro. 1</i> | 89 |
| Figura 45 <i>Prueba de vibraciones del neumático Nro. 4 en la ruta Nro. 2</i> | 90 |
| Figura 46 <i>Prueba de vibraciones del neumático Nro. 4 en la ruta Nro. 3</i> | 91 |
| Figura 47 <i>Prueba de vibraciones del neumático Nro. 4 en la ruta Nro. 4</i> | 92 |
| Figura 48 <i>Prueba de ruido del neumático Nro. 1 en la ruta Nro. 1</i> | 93 |
| Figura 49 <i>Prueba de ruido del neumático Nro. 1 en la ruta Nro. 2</i> | 94 |
| Figura 50 <i>Prueba de ruido del neumático Nro. 1 en la ruta Nro. 3</i> | 95 |
| Figura 51 <i>Prueba de ruido del neumático Nro. 1 en la ruta Nro. 4</i> | 96 |
| Figura 52 <i>Prueba de ruido del neumático Nro. 2 en la ruta Nro. 1</i> | 97 |
| Figura 53 <i>Prueba de ruido del neumático Nro. 2 en la ruta Nro. 2</i> | 98 |
| Figura 54 <i>Prueba de ruido del neumático Nro. 2 en la ruta Nro. 3</i> | 99 |
| Figura 55 <i>Prueba de ruido del neumático Nro. 2 en la ruta Nro. 4</i> | 100 |
| Figura 56 <i>Prueba de ruido del neumático Nro. 3 en la ruta Nro. 1</i> | 101 |
| Figura 57 <i>Prueba de ruido del neumático Nro. 3 en la ruta Nro. 2</i> | 102 |
| Figura 58 <i>Prueba de ruido del neumático Nro. 3 en la ruta Nro. 3</i> | 103 |
| Figura 59 <i>Prueba de ruido del neumático Nro. 3 en la ruta Nro. 4</i> | 104 |
| Figura 60 <i>Prueba de ruido del neumático Nro. 4 en la ruta Nro. 1</i> | 105 |
| Figura 61 <i>Prueba de ruido del neumático Nro. 4 en la ruta Nro. 2</i> | 106 |
| Figura 62 <i>Prueba de ruido del neumático Nro. 4 en la ruta Nro. 3</i> | 107 |
| Figura 63 <i>Prueba de ruido del neumático Nro. 4 en la ruta Nro. 4</i> | 108 |
| Figura 64 <i>Gráfica comparativa de vibraciones de la ruta de Asfaltado</i> | 111 |
| Figura 65 <i>Gráfica comparativa de vibraciones de la ruta de Adoquín</i> | 113 |
| Figura 66 <i>Gráfica comparativa de vibraciones de la ruta de Empedrado</i> | 115 |

| | |
|--|-----|
| Figura 67 <i>Gráfica comparativa de vibraciones de la ruta de Arena</i> | 117 |
| Figura 68 <i>Gráfica comparativa de ruidos de la ruta de Asfalto</i> | 119 |
| Figura 69 <i>Gráfica comparativa de ruidos de la ruta de Adoquín</i> | 121 |
| Figura 70 <i>Gráfica comparativa de ruidos de la ruta de Empedrado</i> | 123 |
| Figura 71 <i>Gráfica comparativa de ruidos de la ruta de Arena</i> | 125 |

Resumen

El presente trabajo de investigación se enfocó en el cumplimiento del objetivo de identificar los efectos de los tipos de terreno en la generación de ruido y vibraciones en el neumático de un vehículo turismo segmento “C”, para lo cual se realizó una investigación de las principales tipos de carreteras se posee en el país, y su respectiva selección para la realización de las pruebas de ruta con velocidades predefinidas, para garantizar la homogeneidad de los tiempos, los instrumentos de medición de vibraciones y ruido para el neumático fueron elaborados con módulos de Arduino, con lo cual se logró almacenar las mediciones en una tarjeta micro SD para su posterior graficación, previo a la realización de las pruebas de ruta en los diferentes tipos de terreno, adquisición de neumáticos con diferentes tipos de banda de rodadura para ser usados en los diferentes terrenos, el auto utilizado fue sometido al balanceo de sus neumáticos, alineación, revisión integral de suspensión y sistemas del motor, verificación de la presión de inflado en cada uno de los neumáticos, ubicación de los sensores de vibración, y ruido para el neumático, con todo ello se continua a realizar las pruebas y obtención de datos, dado como resultado que en la prueba de vibraciones en la carretera de empedrado este valor fue muy elevado, por otro lado con el sensor de ruido se pudo obtener los valores máximos de ruido en el neumático y con la adición de factores externos, logrando concluir que los tipos de terreno si afectan en la generación de ruido y vibraciones del neumático, teniendo influencia en el confort de la conducción del automóvil.

Palabras clave:

- **RUIDO DEL NEUMÁTICO**
- **MEDICIÓN DE VIBRACIONES**
- **EFFECTOS DEL RUIDO**
- **PRUEBAS DE RUTA**

Abstract

The present research work focused on the fulfillment of the objective of identifying the effects of the types of terrain in the generation of noise and vibrations in the tire of a passenger vehicle segment "C", for which an investigation of the main There are different types of highways in the country, and their respective selection to carry out the road tests with predefined speeds, to guarantee the homogeneity of the times, the vibration and noise measurement instruments for the tire were elaborated with Arduino modules. , with which it was possible to store the measurements on a micro SD card for later graphing, prior to carrying out the road tests on the different types of terrain, acquisition of tires with different types of tread to be used in the different terrains, the car used was subjected to balancing of its tires, alignment, comprehensive review of suspension and systems of the engine, verification of the inflation pressure in each of the tires, location of the vibration sensors, and noise for the tire, with all of this the tests and data collection continue to be carried out, given as a result that in the test of vibrations on the cobbled road this value was very high, on the other hand with the noise sensor it was possible to obtain the maximum values of noise in the tire and with the addition of external factors, concluding that the types of terrain do affect the generation of noise and vibrations of the tire, having an influence on the comfort of driving the car.

Key words:

- **TIRE NOISE**
- **VIBRATION MEASUREMENT**
- **EFFECTS OF NOISE**
- **ROAD TESTS**

Capítulo I

1. Introducción

1.1. Antecedentes investigativos

Siempre que se desea estudiar el ruido y vibraciones en un auto los aspectos del estado de la carretera son obviados, pero en la realidad tiene una mayor influencia en la generación de este fenómeno en comparación con los parámetros de los neumáticos en la generación del ruido y vibraciones, por el efecto de la interacción que se da entre el neumático y la carretera.

Los diferentes aspectos del estado y condiciones de la carretera influyen de manera directa en los diferentes elementos del tren de potencia permitiendo que se dé una mayor o menor grado de generación y propagación de ruido.

Al hablar de las condiciones de una carretera se debe tomar en cuenta “los parámetros relacionados con el pavimento que pueden clasificarse en parámetros primarios, parámetros secundarios y parámetros terciarios. Los parámetros primarios son aquellos para el diseño del pavimento o propiedades de la mezcla, tales como el contenido de aglutinante y el espesor; los parámetros secundarios son características que se manifiestan y permanecen relativamente constantes después de la construcción del pavimento, como porosidad, textura y rigidez / impedancia. Los parámetros terciarios son aquellos que pueden cambiar con el tiempo, como la humedad, el desgaste / edad y la clasificación de la superficie”. (Maxxis Technology Center & Department of Mechanical Engineering)

“Es generalmente aceptado que la textura del pavimento es el parámetro más dominante para el ruido de los neumáticos / carreteras”. (Maxxis Technology Center & Department of Mechanical Engineering).

Según estudios previos, (Aguilera, Herrera, Torres, González, & González, 2010) detallan como el análisis de elementos finitos pueden ser aplicables en el análisis de ruidos y vibraciones de una parte en particular del automóvil, mediante el uso de un software de simulación 3D, como lo es ANSYS, en el cual se puede ir configurando

(parámetros) cada una de las condiciones que va tener el modelo.

“La industria automotriz está invirtiendo millones de dólares en el campo del NVH para desarrollar nuevos materiales y técnicas de disminución del nivel de ruido, los nuevos métodos de diseño están empezando por incluir el NVH en todo el proceso de diseño, no sólo en las etapas posteriores, esto implica la integración de modelos de cálculo más complejos, la simulación, evaluación y optimización técnicas en el proceso de diseño para asegurar unas características adecuadas para el ruido, la vibración y la comodidad.” (Sanz, 2012).

“El análisis vibratorio se emplea como un método para prever fallas en maquinaria rotativa especialmente, este análisis permite diagnosticar la condición mecánica de rodamientos o engranajes por medio de técnicas ampliamente utilizadas en el mantenimiento predictivo, el diagnóstico consiste en juzgar si la evolución de los diferentes parámetros en una onda de vibración son representativos de un estado normal de la máquina o se refiere a posibles fallas.” (Lagos, 2014)

Según el artículo científico de (Dalmaua M.E., J., & Marzoccaa, 2014) aplicaron el análisis modal mediante el uso de un martillo, con el fin de poder obtener las frecuencias de vibraciones naturales que pueden llegar a originarse en dos neumáticos de análisis con diferentes dimensiones, teniendo en cuenta ciertos parámetros tales como la carga aplicada al neumático y la presión de inflado implementada, este estudio también abarco otros sistemas como la suspensión, y el comportamiento de la rueda, también realizaron una parte de simulación, para un análisis de elementos finitos con el software Abaque, con todo esto se puede tener claro que el análisis de ruidos y vibraciones es un tema muy amplio de estudio.

1.2. Planteamiento de problema

Entre las posibles causas que contribuyen a la generación del ruido y vibraciones de neumático son las carreteras dado que se tiene una gran variedad de tipos de carreteras en el Ecuador, por ejemplo, se tiene carreteras de tipo asfáltico, de arena, adoquinado, empedrado, lodosas, con lo cual se puede tomar en cuenta que los ruidos y vibraciones en las carreteras mencionadas van a variar una de otra, dado que se tiene la presencia de defectos en las carreteras, como los baches.

Otra de las causas es el tipo de neumático utilizado, dado que es el elemento en cuestión que tiene la interacción directa con el tipo de carretera por la cual circula el mismo, teniendo en cuenta que en el mercado se tiene una gran cantidad de modelos de neumáticos, con los cuales se puede experimentar diferentes condiciones de ruidos y vibraciones al circular.

El inflado de los neumáticos también tiende a contribuir en la generación del ruido y vibraciones, dado que un neumático con una mala presión de inflado va tener un comportamiento diferente al interactuar con el tipo de carretera, en comparación que el mismo neumático tenga la presión de inflado recomendada por el fabricante del automotor.

La suspensión también juega un papel importante en el grado de amortiguación o absorción de las irregularidades de la carretera, dado que si la misma se encuentra deficiente además de generar un exceso de ruido y vibraciones, el confort del conductor también se verá afectado, por lo cual el correcto mantenimiento es fundamental.

La velocidad que un auto circule por una carretera tiende a influir directamente en la cantidad de ruido y vibraciones que se puedan llegar a percibir, por lo cual es necesario tener una velocidad media para poder analizar las vibraciones.

Finalmente el camber y caster son parámetros que todos los vehículos tienen y deben ser controlados, dado que un mal ajuste de los mismos pueden originar que el neumático que se encuentra en contacto con la carretera tienda a desgastarse prematuramente de manera irregular y con ello influir en la generación del ruido y

vibraciones.

1.3. Justificación e importancia

Con el presente proyecto se busca obtener y tabular los datos de ruidos o vibraciones que puede experimentar un vehículo al circular por una carretera la cual presenta determinadas características tanto en materiales constituyentes de la misma, como los defectos que esta pueda tener y puedan ser causal de ruido o vibraciones que se producen al momento de que un determinado tipo neumático está en contacto con la superficie de la misma, para conocer como el tipo de terreno afecta directamente en el origen de ruidos o vibraciones en el neumático y su respectiva cadena cinemática.

La importancia del presente proyecto está en determinar cómo las carretas con mal estado, así como la geografía de las mismas pueden afectar a la generación de ruido o vibraciones en la cadena cinemática, con lo cual el conductor tiende a experimentar una pérdida de confort durante la conducción, al igual que una inestabilidad del automotor en altas velocidades.

Con el presente proyecto se busca generar un precedente investigativo realizado en el Ecuador tomando en cuenta las carreteras disponibles, para futuras investigaciones.

1.4. Objetivos del proyecto

1.4.1. *Objetivo general*

Identificar los efectos que se puede tener el tipo de terreno en el fenómeno de generación de ruido y vibración del neumático de un vehículo de turismo segmento "C".

1.4.2. *Objetivos específicos*

- Recopilar de información bibliografía de diferentes autores relacionado con el estudio de los efectos del tipo de terreno en el ruido y vibración del

neumático.

- Determinar los tipos de terreno existentes en el país.
- Selección de los tipos de terreno para la posterior realización de los ensayos.
- Crear un protocolo estándar para la realización de cada una de las pruebas experimentales en los diferentes tipos de terreno.
- Obtener los datos luego de los ensayos en los diferentes tipos de terrenos determinados previamente.
- Tabular los datos obtenidos según los ensayos realizados en los diferentes tipos de terrenos.
- Analizar los datos tabulados a partir de los ensayos realizados y como afecta al ruido y vibraciones.

1.5. Hipótesis

La gran variedad de carreteras que existen en el Ecuador provocan que el ruido y vibraciones generadas por el neumático de un automóvil sean muy variadas.

1.6. Variables de investigación

1.6.1. *Variable dependiente*

1.6.1.1. Ruido y vibraciones. Son el efecto causado por el contacto natural que tiene el neumático con la carretera por donde circula.

1.6.2. *Variable independiente*

1.6.2.1. El tipo de terreno. Según el terreno en el cual circula el automotor, va tener un diferente comportamiento en la generación del ruido y vibraciones por parte del neumático.

Capítulo II

2. Fundamentación teórica

2.1. Cadena Cinemática

2.1.1. Definición de cadena cinemática

En diseño de elementos de maquina siempre se considera que una cadena cinemática no es más que un ensamble de eslabones y juntas conectados de forma que produzcan un movimiento controlado en respuesta a un movimiento abastecido, por lo cual se considera que la cadena cinemática más básica es aquella en la cual se tiene el eslabonamiento de 4 barras.

2.1.2. Tipos de cadenas cinemáticas

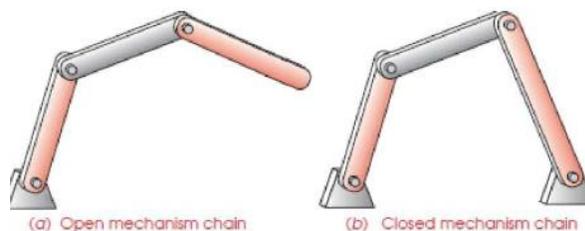
Las cadenas cinemáticas o mecanismos pueden ser abiertos o cerrados.

Cadena cinemática abierta es cuando más de un eslabón siempre tendrá más de un grado de libertad, por lo que requiere tantos motores como grados de libertad tenga.

Cadena cinemática cerrada se da cuando no tiene puntos de fijación o nodos abiertos, y puede tener uno o más grados de libertad.

Figura 1

Cadena cinemática abierta y cerrada



Nota. Representación básica de una cadena cinemática abierta y cerrada. Tomada de (Norton, 2009)

2.1.3. Cadena cinemática en un vehículo

En un vehículo con motor de combustión interna, la cadena cinemática es la disposición de componentes que producen el movimiento, al mismo tiempo que se origina una fuerza de tracción, también conocida como torque, transmitiendo ese movimiento hacia a las ruedas motrices, permitiendo que se dé el desplazamiento del automotor.

2.1.4. Componentes de la cadena cinemática de un vehículo

Se puede decir que la cadena cinemática del auto está compuesto de dos partes decisivas, como lo es el motor, y la transmisión.

2.1.4.1. El motor. Un motor es una máquina diseñada para convertir una o más formas de energía en energía mecánica. Los motores térmicos mecánicos convierten el calor en trabajo mediante varios procesos termodinámicos, el motor de combustión interna es quizás el ejemplo más común de un motor térmico químico, en el que el calor de la combustión de un combustible provoca una rápida presurización de los productos de combustión gaseosos en la cámara de combustión, lo que hace que se expandan y accionan un pistón, que hace girar al cigüeñal.

Hay dos tipos de motores de combustión interna actualmente en producción, el motor de gasolina de encendido provocado por chispa (MEP) y el motor diésel de encendido por compresión (MEC). La mayoría de estos son motores de ciclo de cuatro tiempos, los cuales son la admisión, compresión, combustión y escape.

2.1.4.2. La transmisión. La transmisión se encuentra conectada al cigüeñal del motor de combustión interna por medio del volante de inercia, embrague, o convertidor de par, la transmisión permite reducir la velocidad del motor, para ser tramitada a las ruedas motrices, originado que el par generado aumente, permite disponer de diferentes velocidades de funcionamiento, obviamente con su respectiva influencia en el torque.

Las transmisiones manual de un auto se compone de cinco y seis conjuntos de engranajes, y trenes de engranajes, con todo se logra que el conductor pueda controlar la potencia desarrollada por el automóvil, sin modificar la velocidad de trabajo del motor.

2.2. Vibraciones

2.2.1. Definición de vibraciones

Se puede decir que la vibración es el movimiento de oscilatorio que puede llegar a experimentar una máquina o equipo en cualquier trayectoria del espacio, a partir de una posición de equilibrio ideal.

Generalmente, la causa de la vibración reside en problemas mecánicos como el desequilibrio de elementos rotativos, la desalineación en acoplamientos; engranajes desgastados o dañados; rodamientos deteriorados; fuerzas aerodinámicas o hidráulicas, y problemas eléctricos. (Equipos y Laboratorio de Colombia S.A.S., s.f.).

2.2.2. Parámetros característicos de las vibraciones

Las particularidades más importantes son que se debe tomar en cuenta es la frecuencia, el desplazamiento, la velocidad y la aceleración, y finalmente el spike energy también conocida como energía de impulsos.

Primeramente la frecuencia es la cantidad de ciclos completos que se desarrollan por un período de tiempo determinado, tiene como magnitud los ciclos por minuto.

Seguidamente se tiene al desplazamiento, el cual también es llamado amplitud de la vibración permitiendo dar una idea del estado de la máquina en análisis.

La velocidad posee una correspondencia directa con la gravedad de la vibración.

La aceleración está definida con el impulso que provoca la vibración de un elemento de estudio.

El spike energy o llamado también de energía de impulso, se encarga de medir los impulsos de energía de vibración de transitorio duración.

2.2.3. Principios del análisis de vibraciones

- 2.2.3.1. Según el dominio del tiempo.** No es más que la amplitud trazada respecto al tiempo.
- 2.2.3.2. Según el dominio de frecuencia.** La grafica obtenida es de frecuencia respecto a la amplitud, la cual recibe el nombre de espectro, gran parte de análisis de vibración en maquinaria se lo lleva a cabo con este tipo de análisis.
- 2.2.3.3. Según el dominio conjunto.** También llamada como Gabor-Wigner-Wavelet, se manipula para deducir las variaciones de las transformadas rápidas de Fourier.
- 2.2.3.4. Según el análisis modal.** Se mide la frecuencia de un componente de maquinaria, y dichos valores son alimentados a un modelo computacional, en el cual se puede mostrar en animación todos los modos de vibración, la ventaja de este modelo es la posibilidad de optimizar masas y rigidez para analizar sus efectos.

2.2.4. Tipos de ondas de vibraciones

2.2.4.1. Según la dirección de propagación de la onda.

Ondas longitudinales: Las partículas vibran en igual dirección en la que se propaga la onda de vibración.

Ondas transversales: Las partículas que vibran están perpendicularmente a la dirección en la que se propaga la onda de vibración.

2.2.4.2. Según la dimensión de propagación de la onda.

Ondas unidimensionales: Las propagación se da en una sola dimensión (x; y;z).

Ondas bidimensionales: Las propagación se da en dos dimensiones (x,y).

Ondas tridimensionales: Las propagación se da en tres dimensiones (x,y,z)

2.2.4.3. Según el medio que necesitan para propagarse.

Ondas de tipo mecánicas. Son aquellas que su propagación se da por medio u materia.

Ondas de tipo electromagnéticas. Son aquellos que no necesita un espacio para propagarse, es decir, su propagación se puede dar en vacío.

2.2.5. Instrumentos para la medición de vibraciones

2.2.5.1. Vibrómetro. Se trata de un equipo para la medición de vibraciones, para determinar las vibraciones producidas en artefactos e instalaciones, tienen por característica ser portátiles, permitiendo el almacenaje de datos.

Figura 2

Vibrómetro digital



Nota. El gráfico representa un instrumento de medición de vibraciones de tipo digital, muy utilizado en el estudio de vibraciones. Tomado de:

<http://www.uco.es/RiesgosLaborales/fisicoyquimico/vibraciones/photos/view/1->

Vibrometro

2.2.5.2. Transductores de vibraciones. Se encarga de convertir las vibraciones percibida en señales eléctricas, con las cuales se puede determinar el desplazamiento, la velocidad y aceleración presentes en las vibraciones, además son reconocidos por su alta precisión.

2.2.5.3. Acelerómetros de vibraciones. Son ideales para la medición de las vibraciones de las máquinas de gran dimensión.

2.2.6. Ventajas y desventajas del análisis de vibraciones

2.2.6.1. Ventajas

- Los intervalos de recopilación de datos son razonablemente cortos.
- Permite el soporte de monitoreo a condición remota.
- Permite tener un amplio rango de análisis de vibraciones.

2.2.6.2. Desventajas

- El costo para su instalación es muy elevado.
- La delicada calibración de estos equipos.
- La localización de fallas es más laboriosa.

2.2.7. Normas internacionales sobre vibraciones mecánicas

2.2.7.1. Norma ISO 10816. Según (Energiza, 2018) la norma “establece las condiciones y procedimientos generales para la medición y evaluación de la vibración, utilizando mediciones realizadas sobre partes no rotativas de las máquinas. El criterio general de evaluación se basa tanto en la monitorización operacional como en pruebas de validación que han sido establecidas fundamentalmente con objeto de garantizar un funcionamiento fiable de la máquina a largo plazo”.

2.2.7.2. Norma ISO 7919. En esta norma se detalla las generalidades para la medida y evaluación de vibraciones en maquinaria, con una medición directa del eje rotativo, permitiendo la obtención de medidas absolutas o relativas.

2.2.7.3. Norma ISO 10817-1. Esta norma hace referencia a los sistemas de medición de vibraciones de eje giratorio, orientada en la detección relativa y absoluta de vibraciones radiales.

2.3. Ruido

2.3.1. Definición de ruido

Es un sonido o conjunto de sonidos de tipo no deseado, es decir, son desagradables, la intensidad de este puede ser leve o fuerte.

También se puede decir que es un sonido ensordecedor que se genera por el funcionamiento de una máquina, su unidad de medida es el decibelio (dB).

2.3.2. Niveles de ruido

Dichos valores en decibelios se encuentran tabulados en las tablas 1 y 2, las cuales fueron tomadas de algunas fuentes de investigación revisadas.

Tabla 1

Niveles de ruido en dB

| Nivel de ruido (dB) | Fuente del ruido (sonido) | Consideración del sonido |
|----------------------------|--|---------------------------------|
| 0 | El silencio absoluto | Sonidos más débiles posibles |
| 10 | La respiración humana | Sonidos silenciosos |
| 20 | Un murmullo | Sonidos muy débiles |
| 30 | Área rural | Sonidos muy débiles |
| 40 | Interior de una biblioteca | Sonidos débiles |
| 50 | Dialogo normal en un domicilio | Ruidos bajos |
| 60 | Dialogo en un restaurante | Ruidos bajos |
| 70 | Audio del televisor | Sonidos altos |
| 80 | Un lavavajillas | Sonidos muy altos |
| 90 | Una motocicleta a 10 metros de distancia | Sonidos muy altos |

| Nivel de ruido (dB) | Fuente del ruido (sonido) | Consideración del sonido |
|----------------------------|---|---------------------------------|
| 100 | Una cortadora de césped eléctrica o un helicóptero a 30 metros de distancia | Sonidos muy altos |
| 110 | Concierto en vivo | Sonidos extremadamente altos |
| 120 | Despegue de un avión caza militar a una distancia de 20 metros | Sonidos ensordecedores |
| 130 | Automóvil de F1 | Sonidos ensordecedores |
| 140 | Ruido de motor de un auto | Sonidos ensordecedores |
| 150 | Despegue de un avión | Sonidos ensordecedores |
| 160 | Fuegos artificiales | Sonidos más altos posibles |
| 170 | Disparo de una arma de fuego | Sonidos más altos posibles |
| 180 | Despegue de una nave espacial | Sonidos más altos posibles |
| 190 | Explosión de un volcán | Sonidos más altos posibles |
| 200 | Explosión de una bomba atómica | Sonidos más altos posibles |

Nota. En esta tabla se tienen las consideraciones de cada uno de los rangos de sonidos que se puede encontrar en el medio. Adaptado de (RTVE.es, 2010)

Tabla 2

Límites de presión sonora para vehículos automotores

| Tipo de auto | Nivel de ruido (dB) | Detalles |
|---------------------|----------------------------|--|
| Motocicleta | 88 | De uso personal |
| Vehículo liviano | 88 | Con peso bruto de 2 500 kg, excepto los autos con 3 o menos ruedas |

| Tipo de auto | Nivel de ruido (dB) | Detalles |
|-----------------------|----------------------------|------------------------------------|
| Vehículo de pasajeros | 1. 88 | 1. Furgoneta de hasta 16 pasajeros |
| | 2. 90 | 2. Busetas de hasta 28 pasajeros |
| | 3. 90 | 3. Bus de hasta 55 pasajeros |
| Vehículo de carga | 90 | Con peso neto mayor a los 3 500 kg |

Nota. Esta tabla establece los límites de ruidos permitidos según cada uno de los tipos de automotores, con sus respectivas clasificaciones cada uno de ellos. Adaptado de (CIP)

2.3.3. Tipos de ruido

- 2.3.3.1. Ruido Continuo.** Se da en maquinaria que operan de modo ininterrumpido, para lo cual la medición del nivel de ruido es apta medir por unos pocos minutos.
- 2.3.3.2. Ruido Intermitente.** Se da cuando la maquinaria opera en ciclos, o cuando circulan vehículos aislados o aviones, el nivel de ruido puede aumentas y disminuir rápidamente, el nivel de ruido puede medirse absolutamente como un ruido continuo.
- 2.3.3.3. Ruido Impulsivo.** Es precario y escabroso, y su efecto sorprendente causa mayor molestia que la esperada a partir de una simple medida del nivel de presión sonora.

2.3.4. Equipos de medición de ruido

- 2.3.4.1. Sonómetro.** Permite medir los niveles de presión sonora, de un determinado lugar, su unidad de medida es en decibelio (dB).
- 2.3.4.2. Analizador de frecuencias.** También recibe el nombre de analizador de espectro, simboliza los elementos espectrales de una señal partiendo de una transformada de Fourier, pueden ser de frecuencias analógicas y digitales.
- 2.3.4.3. Dosímetro.** Es usado para deducir el ruido a la que una persona está sometida, se encarga de registrar el ruido y lo acumula registrando una suma total sobre una escala en un determinado tiempo, la herramienta mide las fluctuaciones en la presión atmosférica causada por el sonido.
- 2.3.4.4. Calibrador Acústico.** También conocido como pistófono, es un instrumento el cual es utilizado para asegurar el correcto funcionamiento de un sonómetro o un dosímetro, su funcionamiento consiste en producir un sonido estable a una frecuencia predeterminada.

2.3.5. Regulación del ruido en neumáticos

Para esta sección de debe tomar en cuenta el reglamento Nro. 117 emitido por la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas cuyas siglas son CEPE, en la cual se hace referencia a los ruidos emitidos por los neumáticos de acuerdo a las siguientes consideraciones de anchura nominal de sección del neumático (tabla 3) y la categoría de utilización del neumático (tabla 4).

Tabla 3

Límites de ruido en el neumático de acuerdo a la anchura nominal de sección

| Medida de anchura nominal | Límite de ruido en dB |
|----------------------------------|------------------------------|
| 185 o inferior | 70 |
| Mayor a 185 hasta 245 | 71 |
| Mayor a 245 hasta 275 | 72 |
| Mayor a 275 | 73 |

Nota. Ahí se tiene el límite de ruido determinado por la CEPE de acuerdo a la medida de anchura nominal del neumático. Tomado de (Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE), 2016)

Tabla 4

Límites de ruido en el neumático en función de la aplicación

| Categoría de aplicación | Límite de ruido en dB |
|--------------------------------|------------------------------|
| Neumático normal | 75 |
| Neumático de nieve | 77 |
| Neumático de uso especial | 78 |

Nota. Ahí se tiene el límite de ruido determinado por la CEPE de acuerdo a la categoría establecida de los neumáticos. Tomado de (Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE), 2016)

2.4. Terreno

2.4.1. Definición de terreno

La palabra terreno se usa normalmente al referirse a un área de tierra o un tipo de tierra cuando se considera sus características físicas.

2.4.2. Definición de carretera

Una carretera no es más que un terreno largo y duro que se construye entre dos lugares (punto A y punto B) con una superficie lisa o pavimentada, para que las personas puedan trasladarse con su automóvil fácilmente de un lugar a otro en

un tiempo relativamente cortó.

2.4.3. Clasificación de las carreteras

2.4.3.1. Según el tipo de terreno. Se determinada por la topografía predominante en el tramo de análisis, por lo cual se tiene:

Terreno plano: son aquellos en el cual se tiene la presencia de pendientes transversales con el eje de la vía, cuyo valor es menores de 5° , por lo cual exige el minúsculo movimiento de tierras durante la obra, por lo que no presenta conflicto en su trazado ni en su explanación, cuenta con pendientes longitudinales menores al 3%.

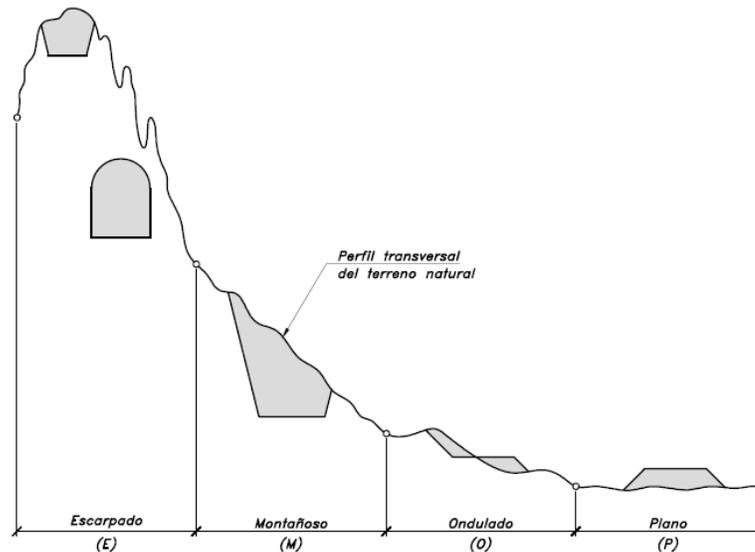
Terreno ondulado: Presenta pendientes transversales con eje de la vía con valor de 6° a 13° , por lo cual es necesario un moderado desplazamiento de tierras durante la construcción, no presenta dificultades en el trazado y en la explanación, finalmente las pendientes longitudinales están entre 3% a 6%.

Terreno montañoso: Consta de pendientes transversales al eje de la vía con valores de 13° a 40° , es necesario el movimiento de grandes extensiones de tierra durante la construcción, demuestra dificultades en el trazado y en la explanación, las pendientes longitudinales preponderantes son del 6% a 8%.

Terreno escarpado: Incorpora pendientes transversales respecto al eje de la vía, generalmente superiores a 40° , demanda el colosal movimiento de tierras durante la obra, genera grandes dificultades en el trazado y en la explanación, las pendientes longitudinales son superiores a 8%.

Figura 3

Tipos de carreteras



Nota: En la figura se puede ver de manera esquemática la representación de un perfil transversal de un terreno de tipo natural en el cual se puede diferenciar claramente los tipos de terrenos con sus respectivas secciones transversales que pueden presentar con frecuencia (Cárdenas, 2013)

2.4.3.2. Según la jerarquía

Autopistas: Son las carreteras de acceso limitado, admiten que la autopista funcione con menos fricción a una velocidad aún mayor y con mayor flujo.

Arteriales: Son carreteras principales que transportan grandes volúmenes de tráfico, se suelen dividir en arterias mayores, menores, rurales y urbanas.

Coleccionistas: Se encargan de recoger el tráfico de las carreteras particulares e intercambian a las arterias.

Carreteras locales: Aquí se encuentran las calles y carreteras locales, su límite

de velocidad es el más bajo, además de contar con un bajo volumen de tráfico, estas carreteras pueden no estar pavimentadas.

2.4.3.3. Según la condición del asfalto.

Carreteras pavimentadas: Son aquellas que están completamente asfaltadas y son las más óptimas para trasladarse con el vehículo.

Carreteras revestidas: Presentan leves capas de cemento que permiten la generación de pequeños baches que hacen complicado circular.

Carreteras rústicas: Son aquellas que no cuentan con ningún tipo de revestimiento, su transición es muy difícil, aptas para vehículos con características de todo terreno.

2.4.3.4. Según su tránsito. Para este tipo de clasificación se toma en cuenta el número (cantidad) de automotores que transitan con la carretera en un periodo de tiempo de 1 año, por lo que se tiene las siguientes:

Carretera de tipo A: Son aquellas en las cuales se tiene un tránsito (desplazamiento) de vehículos mayores a 4000 coches.

Carretera de tipo B: Son aquellas en las cuales se tiene un tránsito (desplazamiento) de vehículos en un rango de 2000 a 4000 automotores.

Carretera de tipo C: Son aquellas en las cuales se tiene un tránsito (desplazamiento) de vehículos en un rango de entre 1000 a 2000 coches.

Carretera de tipo D: Son aquellas en las cuales se tiene un tránsito (desplazamiento) de vehículos menores a 1000 automóviles.

Carretera de tipo E: Son aquellas en las cuales se tiene un tránsito (desplazamiento) de vehículos menores a 500 autos.

2.4.3.5. Según su ancho

Carretera de tipo A: En este tipo de carretera se tiene un total de cuatro vías, con lo cual dicha carretera puede llegar a medir alrededor de 25 m de ancho.

Carretera de tipo B: En este tipo de carretera se tiene dos vías, por lo cual su dimensión de ancho va ser de 10 a 12 m con su respectiva división.

Carretera de tipo C: En este tipo de carretera se tiene al igual que el tipo B dos vías, con la diferencia que la dimensión de ancho va de 8 a 10 metros sin tomar en cuenta la división entre ellas.

Carretera de tipo D: En este tipo de carretera se tiene una sola vía, la cual ya tiene incluido un muro de contención.

Carretera de tipo E: Al igual que la carretera tipo D cuenta con una sola vía, con la diferencia que esta vía no cuenta con el muro de contención, por lo cual se considera una carretera con mayor índice de riesgo para poder trasladarse (transitar).

2.4.4. Carreteras en Ecuador

La red vial del Ecuador está administrada por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, como única entidad responsable de su manejo, control y mantenimiento.

Vías primarias: Son las rutas que enlazan los cruces de frontera, puertos, y capitales de provincia formando una malla estratégica, el tráfico proviene de las vías colectoras, por lo cual es necesario que posean una alta movilidad, accesibilidad controlada, y estándares geométricos adecuados, actualmente se tiene 12 vías primarias en Ecuador las cuales representan el 66% del total de la Red Vial Estatal.

Vías colectoras: Son las que recolectan el tráfico de una zona rural o urbana para conducirlo a las vías primarias, se tiene en total 43 vías de este tipo en Ecuador con un porcentaje del 33% del total de la Red Vial Estatal.

Red vial provincial: Son el conjunto de vías administradas por cada uno de los Consejos Provinciales, está integrada por las vías terciarias y caminos vecinales.

Red vial cantonal: Son el conjunto de vías urbanas e interparroquiales administradas por cada uno de los Consejos Municipales, está integrada por las vías terciarias y caminos vecinales.

2.4.4.1. Defectos de las carreteras en Ecuador. Existen numerosos tipos de defectos que pueden formarse en nuestras carreteras, incluidos baches profundos, baches poco profundos, deterioro de la superficie, fallas en los bordes, grietas, cuarteaduras, surcos y hundimientos.

2.4.4.1.1. Baches. *Un bache podría describirse como un hoyo de bordes afilados dentro de las capas superiores de la superficie de una carretera; estos son un síntoma de que el agua ha penetrado en las grietas de la superficie de la carretera y, con el tiempo, ha debilitado sus cimientos hasta que finalmente se forma un bache.*

Figura 4

Ejemplos de baches en vías de tipo asfáltico





Nota: En la figura se muestran algunos ejemplos de profundos baches que se encuentran en las carreteras de Staffordshire. Tomado de (Staffordshire County Council, s.f.)

2.4.4.1.2. Agrietamiento. Este es un tipo de defecto que podría indicar la falla parcial o total de las capas de la calzada, si bien no suele requerir una respuesta inmediata, si no se trata, existe un mayor riesgo de entrada de agua que inevitablemente conducirá a la formación de baches.

Figura 5

Ejemplo de agrietamiento en una carretera



Nota: En la figura se muestran un agrietamiento que se encuentran en las carreteras de Staffordshire. Tomado de (Staffordshire County Council, s.f.)

2.4.4.1.3. Resquebrajamiento. *El resquebrajamiento de la calzada es similar al agrietamiento en que generalmente es un síntoma de falla parcial o total de las capas de la superficie de la carretera, pero el resquebrajamiento generalmente aparece como una serie de grietas poligonales adyacentes.*

Figura 6

Ejemplo de resquebrajamiento



Nota: En la figura se muestran un resquebrajamiento considerable en las carreteras de Staffordshire. Tomado de (Staffordshire County Council, s.f.)

2.4.4.1.4. Fallo de borde. *La falla de borde se encuentra más comúnmente en carreteras con un borde sin acera, como en las rutas rurales. La parte más débil de una carretera sin acera es la que está inmediatamente adyacente al borde. Esta parte de la calzada se llama anca, correr a lo largo del borde del borde dañará gravemente el borde y dará como resultado defectos como fallas en el borde.*

Por lo general, se encuentran cerca de los lugares de paso en los carriles rurales, donde no hay una estructura de soporte debajo de la superficie de la carretera.

Figura 7

Ejemplo de fallo de borde



Nota: En la figura se muestran un fallo de borde profundo que se encuentran en las carreteras de Staffordshire. Tomado de *(Staffordshire County Council, s.f.)*

2.5. Neumático

2.5.1. Definición de neumático

Se puede decir que es un anillo de goma lleno de aire, que se coloca alrededor de la rueda de un automóvil, y otros automotores, es el elemento que se encuentra en contacto contante con la superficie de la carretera por la cual circula.

2.5.2. Clasificación de los neumáticos

Según el (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012) la clasifica en:

- **Según su construcción**
 - Diagonal
 - Radial

- **Según la serie**
 - Relación entre la altura de la sección y el ancho nominal de la sección, por ejemplo, serie “60”, “70”, “80”.
 -
- **Según el diseño de la banda de rodamiento**
 - Tracción
 - Direccional
 - Mixto
 -
- **Según el servicio**
 - Se la clasifica en 4 tipos los cuales se detallan en la tabla 5 extraída de la normativa INEN.

Tabla 5*Clasificación de los neumáticos por su servicio*

| Tipo | Servicio | Descripción | Características |
|-------------|---|--|---------------------------|
| I | <ul style="list-style-type: none"> ○ Bicicletas ○ Motocicletas ○ Motonetas ○ Cuadrones (All terrain vehicle, ATV) | Neumáticos con aro de diámetro nominal mayor o igual a 178 mm (aro 7) | Convencionales y radiales |
| II | Vehículos de pasajeros. Vehículos comerciales (vehículos excepto de pasajeros): <ul style="list-style-type: none"> • Camioneta • Utilitarios • Camiones livianos (Light Truck,LT) | Neumáticos para vehículos SUV (sport utility vehicle), station wagon, Furgoneta (VAN), deportivos. | Convencionales y radiales |

| Tipo | Servicio | Descripción | Características |
|-------------|--|--|------------------------------------|
| III | Vehículos de actividades comerciales, de transporte y carga. | Camiones, autobuses, remolques, Volquetas, tráileres y otros vehículos para carga pesada. | Convencionales y radiales |
| IV | Vehículos para fuera de carretera | Neumáticos para vehículos de: <ul style="list-style-type: none"> - minería, maderas y movimiento de tierra, camineros, fuera de carretera (OTR) - motoniveladora (máximo 40 km/h) - grúas móviles (máximo 10 km/h) - equipo liviano - montacargas y elevadores - tractores industriales - agrícolas, forestales | Convencionales, radiales y sólidas |

Nota: En la tabla muestra una descripción detallada de la clasificación de los neumáticos según el servicio de acuerdo a la normativa ecuatoriana vigente. Adaptada de (*Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012*).

2.5.3. Materiales de fabricación

Según (BRIDGESTONE OFF-THE-ROAD TIRE PERU, 2019) nos dice que se utilizan los siguientes elementos:

- **Caucho natural:** Es el componente principal de las capas de la banda de rodamiento.
- **Caucho sintético:** Es el componente de la parte de las bandas de los neumáticos.

Los químicos mezclados con el caucho son los siguientes:

- **Negro de carbón y sílice:** Usado como agente de refuerzo para mejorar la durabilidad.
- **Aceite:** Suaviza el caucho.
- **Antioxidantes:** Inhibe la oxidación del caucho.
- **Azufre:** Brinda elasticidad al caucho
- **Acelerados de vulcanización:** El acelerador de vulcanización ayuda a construir enlaces cruzados entre el caucho y el azufre.

Por otro lado los materiales de construcción empleados son los siguientes:

- **Poliéster y cables de acero:** Permite generar el esqueleto del neumático, es decir, se puede generar formas geométricas, las mismas que proporcionan rigidez al neumático.

Capítulo III

3. Metodología de desarrollo del proyecto y resultados obtenidos

3.1. Metodología de las pruebas

A nivel internacional y nacional se tiene una serie de normas relacionadas con el ruido y vibraciones, en las cuales se establecen los procedimientos (estándares de pruebas) y requisitos que se deben tomar en cuenta previo a la realización de ensayos de ruidos y vibraciones en automóviles, por lo cual algunas de las entidades encargadas de proporcionar dichas normas son la ASTM, ISO, UNE, INEN (normativa nacional), entre muchas más.

3.1.1. Normas

- **Norma internacional ISO 10816:** La Organización Internacional de Normalización en esta norma se instituye las condiciones y los procedimientos universales para realizar la medición, al igual que la evaluación de vibraciones, en segmentos no rotativos de las máquinas.
- **Norma nacional NTE INEN 2665:** En esta norma técnica ecuatoriana establece de manera detalla cómo se debe realizar el método de ensayo de obtención de la medida de ruido emitido por los automóviles en condiciones de aceleración.
- **Norma nacional NTE INEN 2666:** En esta norma implanta el respectivo procedimiento de ensayo, la condición ambiental y los equipos de medición necesarios para evaluar los niveles de presión sonora provocados por vehículos en condición estática (estacionario).

3.1.2. Metodología planteada

- Obtención de información estadística sobre los tipos de terreno existentes en el cantón Latacunga, proporcionado por entidades gubernamentales de la provincia de Cotopaxi.

Tabla 6

Estadísticas de superficies de rodadura en km en el Cantón Latacunga

| Pavimento flexible | Adoquín | Empedrado | Lastre | Mixto | Suelo Natural |
|---------------------------|----------------|------------------|---------------|--------------|----------------------|
| 237,8 | 1,71 | 72,27 | 191,77 | 14,35 | 485,52 |

Nota: Dicho estudio tiene valides hasta el año 2023. Adaptada de (Consortio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador - CONGOPE, 2019).

- Selección y trazado de las rutas a ser usadas en las pruebas experimentales de la investigación, de acuerdo a las estadísticas proporcionadas por CONGOPE.
- Elaboración de los equipos de medición necesarios para la obtención de los datos de ruido y vibraciones presentes en el neumático, mediante el uso de sensores de sonido y de vibración compatibles para su uso con Arduino.
- Selección de los puntos de ubicación para cada uno de los sensores para la obtención de datos de cada tipo de terreno.
- Obtención de los datos proporcionados por los equipos de medición.
- Tabulación y graficado de los datos obtenidos.

3.2. Equipos utilizados para las pruebas

Para la realización de las pruebas tanto de vibraciones como de ruidos se usó equipos de medición de elaboración propia, mediante el uso de sensores (módulos) tanto de vibraciones y de sonidos compatibles con Arduino, para su programación respectiva, con el fin de poder ir obteniendo las mediciones necesarias de cada una de las pruebas a realizadas para la tabulación de resultados y su correspondiente representación gráfica.

3.2.1. Elaboración de un analizador de vibraciones

Como ya se detalló en el capítulo 2 el analizador de vibraciones es un instrumento de medida, con el cual se puede ir obteniendo los valores de

vibración en hercios (Hz) de un elemento.

3.2.1.1. Elementos necesarios

- **Arduino Uno:** El cual es una placa de microcontrolador de código abierto basado en el microchip ATmega328P, y perfeccionado por Arduino.cc., equipada con conjuntos de pines de entrada y salida de tipo analógicos y digitales, los cuales se pueden conectar a otros circuitos, módulos o placas de expansión.
- **Módulo micro SD:** Permite colocar una memoria Micro SD para el almacenamiento de los datos, su alimentación es de 5 voltios.
- **Pantalla LCD 16x2:** Nos permite visualizar el tiempo de desarrollo de la prueba de medición y otros mensajes.
- **Módulo I2C:** Es el elemento que permite manejar la pantalla LCD de una manera más sencilla.
- **Led:** No es más que un simple diodo emisor de luz.
- **Sensor de vibración:** Nos da una señal analógica al captar una vibración sobre su superficie.
- **Fusible:** Protege al sistema de picos de voltaje que puedan afectar los componentes electrónicos del sistema.
- **Placa de cobre:** Permite realizar el diseño de pistas para circuitos electrónicos a partir de un PCB elaborado previamente.
- **Pulsadores:** Son interruptores que permiten o no el flujo de corriente hacía un sistema.
- **Caja de plástico:** Es el espacio donde se va colocar todos los elementos del analizador de vibraciones, como la pantalla LCD, el Arduino, los pulsadores, entre otros.

3.2.1.2. Diseño del circuito electrónico. En este punto se usó el software Proteus 8.8, en el cual se procedió a realizar todo lo correspondiente a la ubicación de cada uno de los elementos del sistema, es decir, el esquema eléctrico para la posterior realización de la PCB la cual va ser plasmada en la placa de cobre, con el fin de evitar el uso de cables, los cuales son poco estético, y con esto permite que la circuitería sea más compacta.

Figura 8

Diseño del esquema eléctrico en Proteus

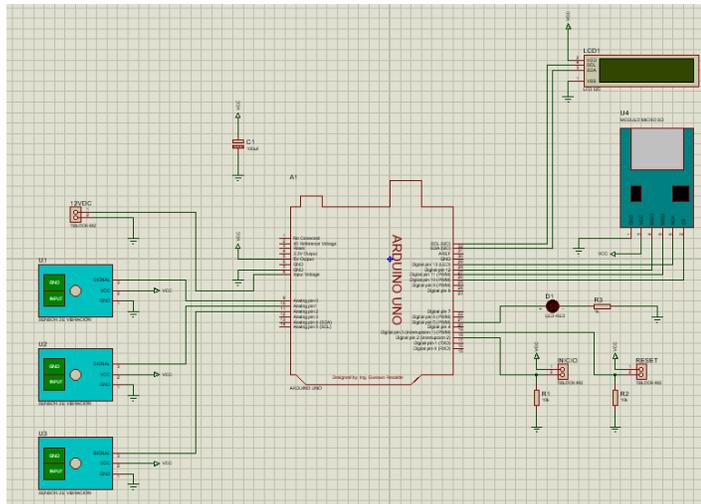
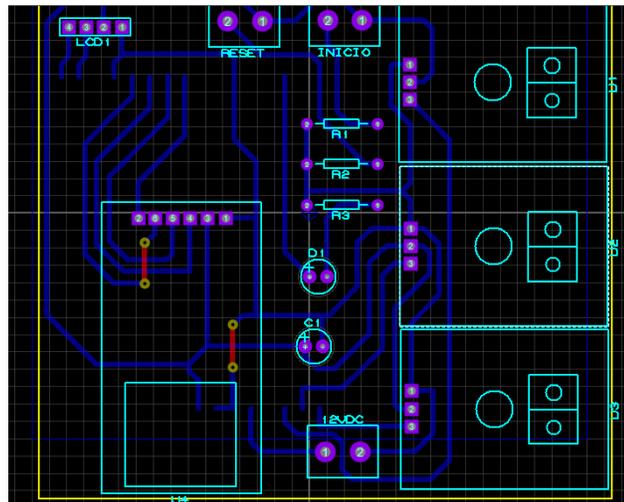


Figura 9

Diseño de la PCB en Proteus



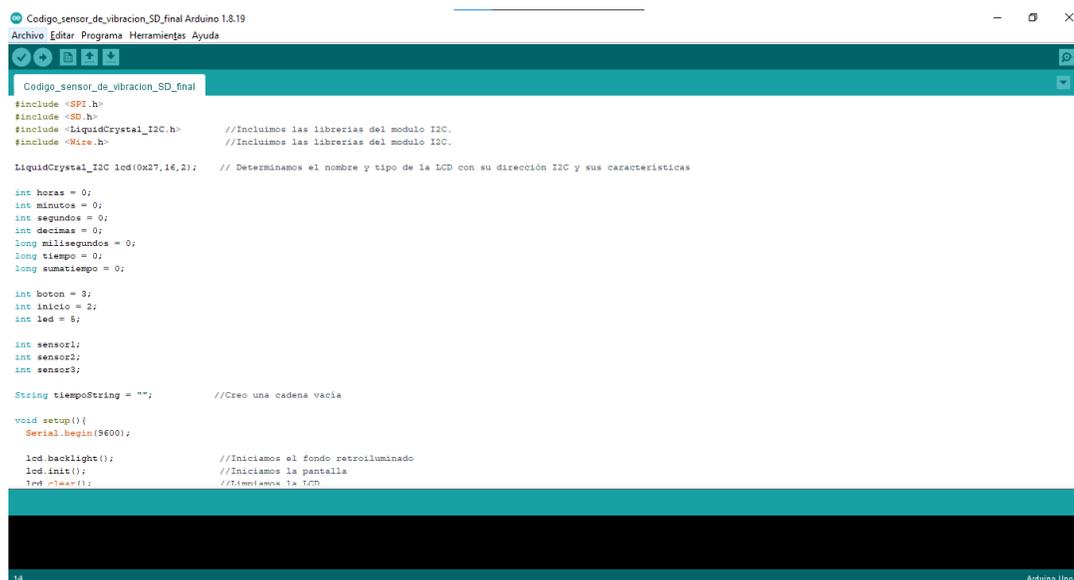
3.2.1.3. Programación. Para esta operación se usó el software de programación Arduino 1.8.19, para lo cual fue necesario el uso de las siguientes librerías:

- SPI.h
- SD.h
- LiquidCrystal_I2C.h
- Wire.h

También fue necesario el uso de variables de tiempo (milisegundos, segundo, minutos, horas), variables individuales para cada uno de los sensores de vibración (para este caso se usó 3 sensores), así como buques para la activación de la pantalla LCD, otra para la realización de las diferentes mediciones de acuerdo al número predeterminado por cada segundo (1000 mediciones por cada segundo), de igual manera para la impresión de cada uno de los valores de medición y su correspondiente almacenamiento en la memoria SD, para mayor detalle de la programación revisar el Anexo “A”.

Figura 10

Programación en 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 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 = 2;
int led = 8;

int sensor1;
int sensor2;
int sensor3;

String tiempoString = ""; //Creo una cadena vacía

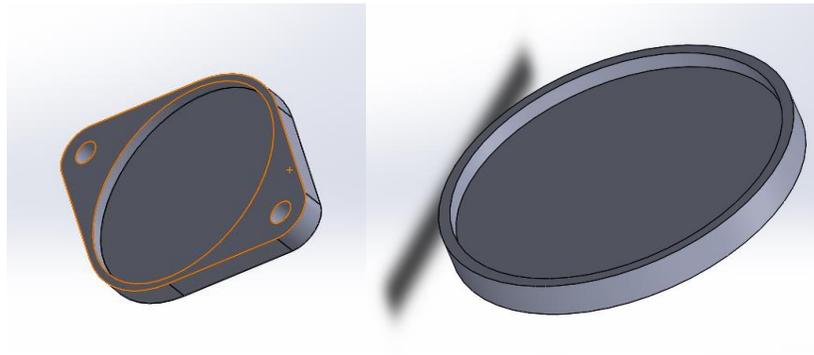
void setup() {
  Serial.begin(9600);

  lcd backlight(); //Iniciamos el fondo retroiluminado
  lcd init(); //Iniciamos la pantalla
  lcd clear(); //Eliminamos la LCD
  
```

3.2.1.4. Diseño de carcasas para los sensores. Con el fin de evitar que el sensor se encuentre a la intemperie y pueda sufrir del polvo que se encuentre en la zona de ubicación o el calor generado por los diferentes componentes del automotor, se optó por el diseño de una carcasa superior e inferior con lo cual el sensor se encuentre sellado en vacío.

Figura 11

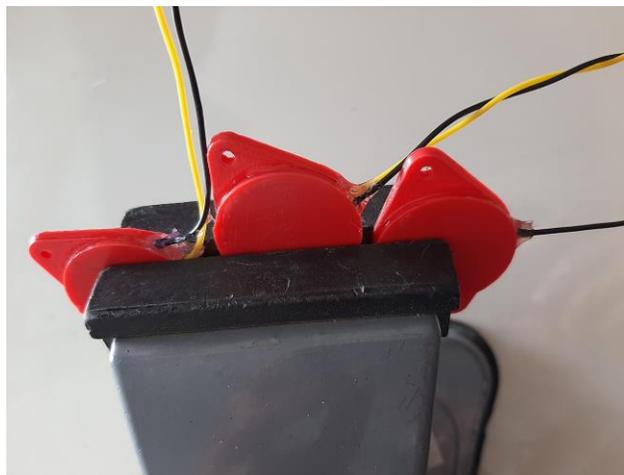
Carcasa superior e inferior diseñada en Solidworks



Para su montaje se usó pegamento instantáneo y una prensa de banco, para asegurar el sellado del sensor en la carcasa impresa en 3D, y en la salida de cables se tiene un poco de silicona para evitar el ingreso de agua o polvo al sensor.

Figura 12

Colocación de los sensores de vibración en las carcasas

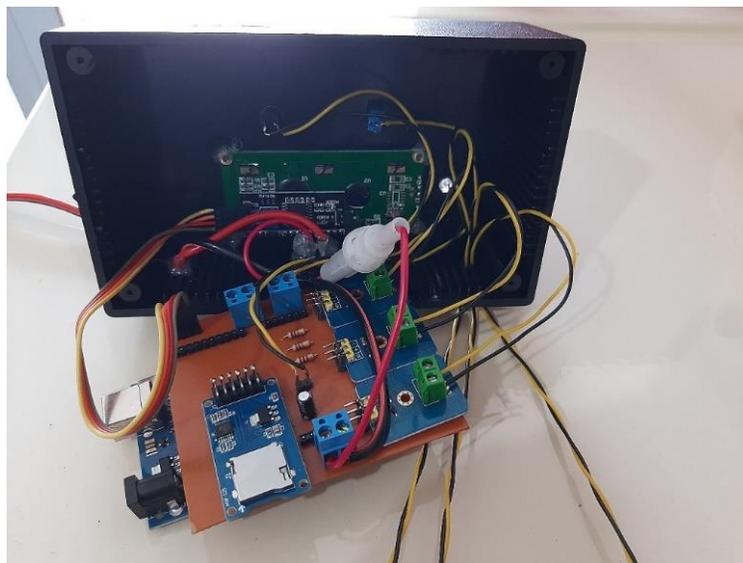


3.2.1.5. Montaje de los componentes

1. Impresión láser del circuito eléctrico PCB del programa Proteus en papel fotográfico.
2. Transferencia del diseño PCB a la placa de cobre, con la ayuda de una plancha caliente, por unos 5 a 7 minutos, realizando una presión continua.
3. Retirado del papel fotográfico de la placa de cobre con la ayuda de un recipiente de agua, y revelar el diseño transferido.
4. Seguidamente se debe verificar que estén todas las pistas, caso contrario se deberá trazar manualmente esa pista con marcador especial para circuitos impresos.
5. A continuación la placa de cobre se tiene que someter a un tratamiento químico con ácido ferroso, con el fin de quitar el exceso de cobre y dejar solo las pistas del circuito impreso.
6. Se realiza las perforaciones correspondientes del circuito en la placa de cobre.
7. Se instala todos los elementos en la placa de cobre.
8. Se instala la el circuito impreso en la caja.

Figura 13

Ubicación de los elementos en la caja



Figuras del proceso de armado en el Anexo “B”

3.2.2. Elaboración del sonómetro

Como ya se detalló en el capítulo 2 el sonómetro es un instrumento de medida de sonidos (ruidos) presentes en un ambiente, con el cual se puede ir obteniendo los valores en decibeles (dB) de un elemento puntual.

3.2.2.1. Elementos necesarios. Los elementos utilizados son los mismos que se empleó en la elaboración del analizador de vibraciones con la diferencia que se usó:

- Arduino Nano
- Módulos de sonido (Sensor de ruido)

3.2.2.2. Diseño del circuito electrónico. Se usó el programa “Proteus 8.8” en el cual se procedió a realizar todo lo correspondiente a la ubicación de cada uno de los elementos del sistema, es decir, el esquema eléctrico para la posterior realización de la PCB en el mismo programa.

Figura 14

Diseño del esquema eléctrico en Proteus

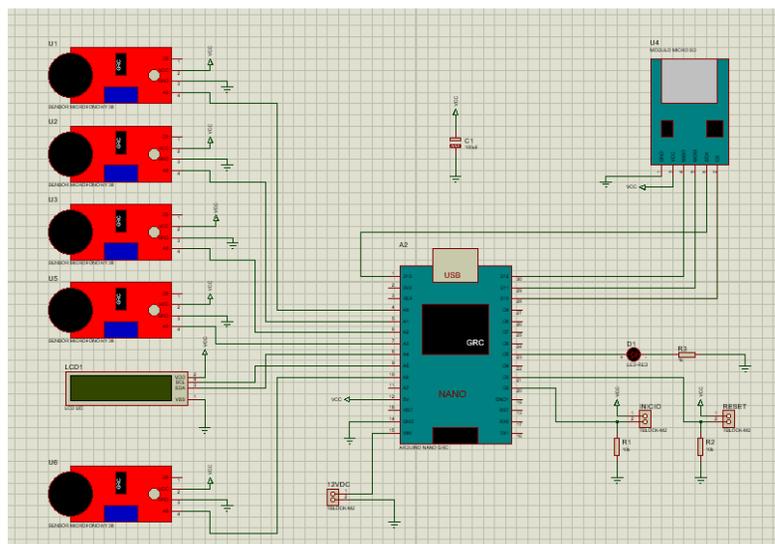
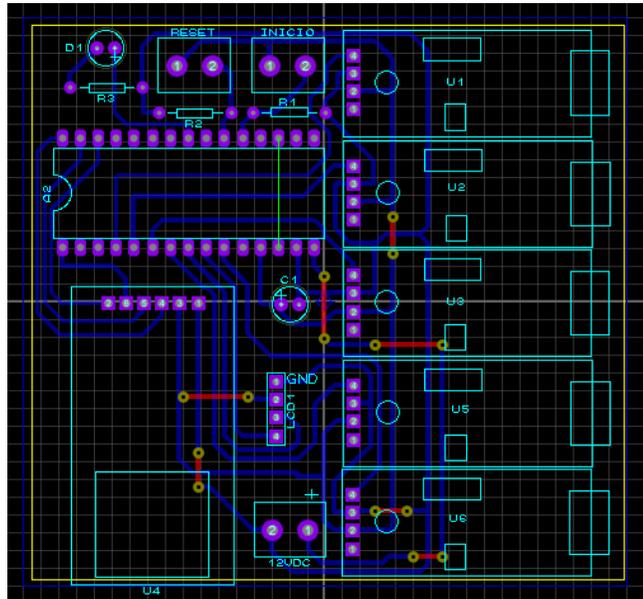


Figura 15

Diseño de la PCB en Proteus



3.2.2.3. Programación. Para esta operación se usó el software de programación Arduino 1.8.19, para lo cual fue necesario el uso de las siguientes librerías:

- SPI.h
- SD.h
- LiquidCrystal_I2C.h
- Wire.h

También fue necesario el uso de variables de tiempo:

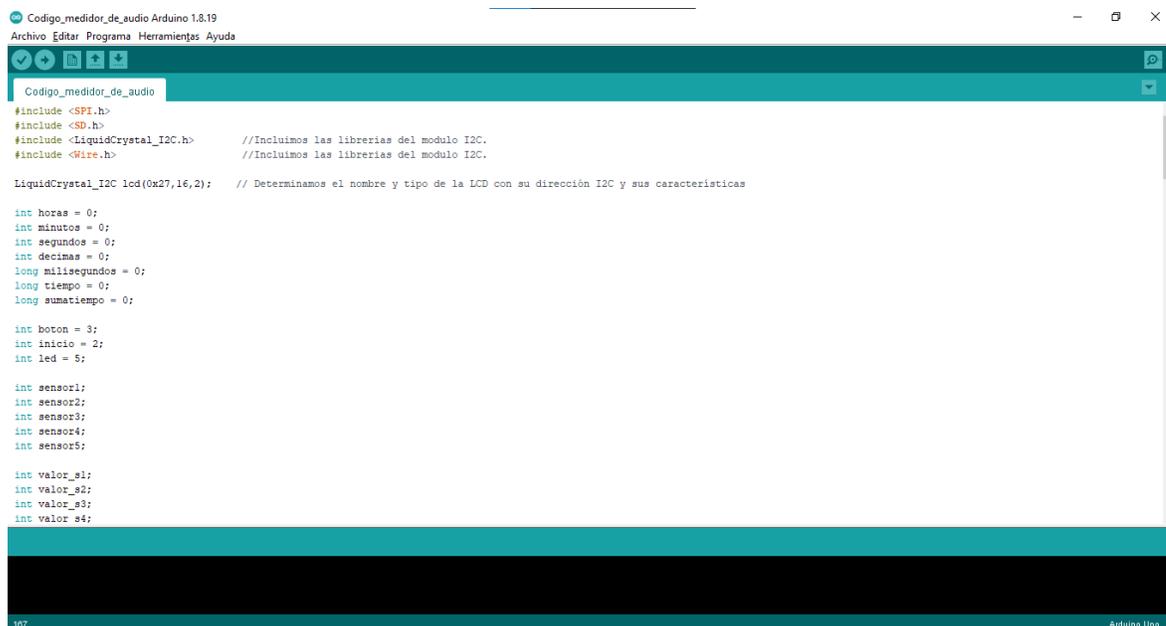
- milisegundos,
- segundo,
- minutos,
- horas.

Variables individuales para cada uno de los sensores de ruido (para este caso se usó 5 sensores), así como buques para la activación de la pantalla LCD, otra para la realización de las diferentes mediciones de acuerdo al número predeterminado por cada

segundo (1000 mediciones por cada segundo), de igual manera para la impresión de cada uno de los valores de medición y su correspondiente almacenamiento en la memoria SD, para mayor detalle de la programación revisar el Anexo “C”.

Figura 16

Programación en Arduino del Sonómetro



```

Codigo_medidor_de_audio Arduino 1.8.19
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Codigo_medidor_de_audio
#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 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 = 2;
int led = 5;

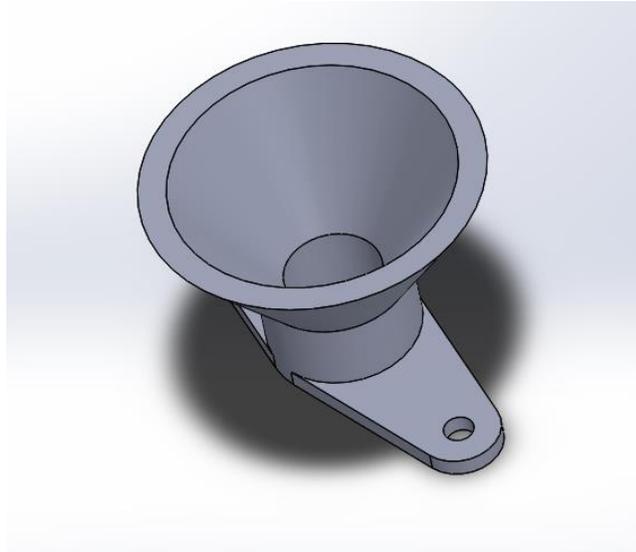
int sensor1;
int sensor2;
int sensor3;
int sensor4;
int sensor5;

int valor_s1;
int valor_s2;
int valor_s3;
int valor_s4;
  
```

3.2.2.4. Soportes para sensores. Con el fin de mejorar la recepción del sensor de los sonidos de la intemperie, se optó por el diseño de una carcasa en forma de campana con lo cual el sensor se encuentre ubicado de manera óptima.

Figura 17

Carcasa del micrófono de audio



3.2.2.5. Montaje de los componentes. Se realizó el mismo procedimiento detallado en el punto 3.2.1.4.

Figuras del proceso de armado en el Anexo "D"

3.3. Características técnicas del vehículo usado

Para la realización de este proyecto de investigación se usó un vehículo tipo hatchback, es decir, un auto que cuenta con un espacio (área) para pasajeros con una zona de carga ya integrada, cuyo acceso se da mediante una puerta trasera, concretamente era un Volkswagen Gol 1.8 del año 2002, las características principales se detallan en la tabla 7.

Tabla 7*Características del auto utilizado*

| Aspecto | Detalle |
|-----------------------|--|
| Cilindrada | 1781 cc |
| Potencia | 99.3 hp a 5250 rpm |
| Torque | 15.5 Nm a 300 rpm |
| Alimentación | Inyección electrónica |
| Cilindros | 4 en línea |
| Número de válvulas | 8 |
| Motor | Delantero |
| Tracción | Delantera |
| Transmisión | Manual de 5 velocidades |
| Frenos (del. - tras.) | Disco - tambor |
| Suspensión delantera | Tipo McPherson independientes con barra de torsión |
| Suspensión trasera | Tipo interdependiente con cuerpo auto estabilizante. |
| Largo | 388,30 cm |
| Alto | 141,50 cm |
| Ancho sin los espejos | 162,80 cm |
| Distancia entre ejes | 246,80 cm |
| Peso | 985 kg |

Nota. Se destacan los aspectos técnicos del vehículo empleado. Adaptado de <https://www.autocosmos.com.ec/auto/usado/volkswagen/gol/18-comfort/c1ae83347bb849b48942aeb1c12687bc>

Figura 18

Auto usado para las pruebas



3.4. Determinación de rutas

Para la realización del presente trabajo investigativo se selección de 4 rutas en diferentes tipos de terreno y con distancias similares de las mismas, revisar la tabla 6, para poder obtener los datos correspondientes para un posterior análisis.

Tabla 8

Rutas utilizadas en la investigación

| Nro. de ruta | Tipo de terreno | Distancia |
|---------------------|------------------------|------------------|
| 1 | Asfáltico | 3 Km |
| 2 | Adoquín | 3 Km |
| 3 | Empedrado | 3 Km |
| 4 | Arena (Suelo natural) | 3 Km |

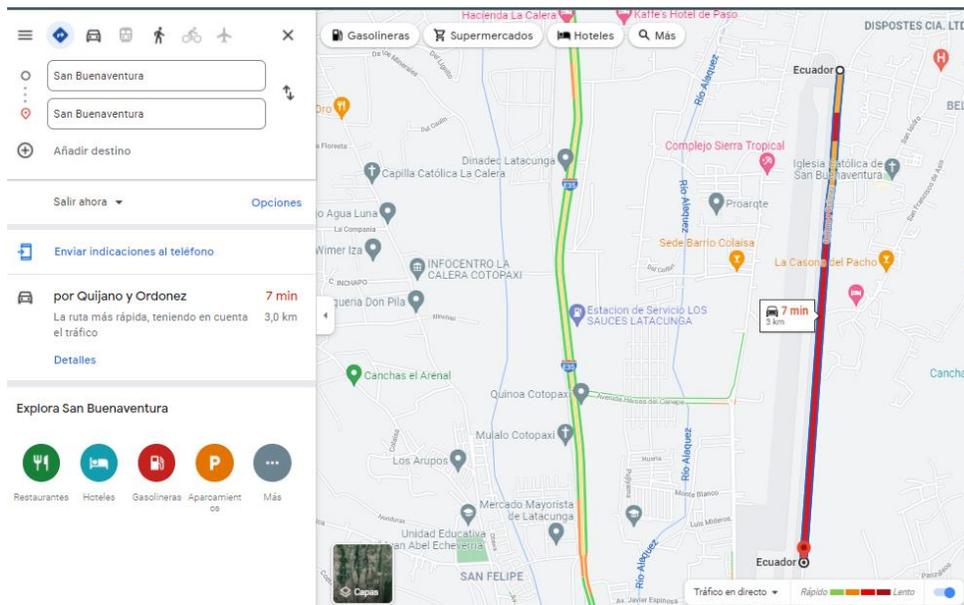
Nota. En la tabla se muestra una descripción detallada de la distancia en kilómetros de las rutas seleccionadas. Realizado por el grupo de investigación.

La ruta Nro. 1 empleada en el proyecto de investigación se encuentra está situada al norte de la ciudad de Latacunga en el sector del Aeropuerto Internacional Cotopaxi, teniendo como punto inicial la coordenada -0.8891051670781186, -78.61353932343782, y cuyo punto final de la ruta tiene como coordenada -

0.9173411710618729, -78.61573629156575 en el sector de “La Cocha”, como se indica en la figura 19.

Figura 19

Ruta Nro. 1: Asfaltado



Nota. Datos obtenidos de Google Maps. Realizado por el grupo de investigación

Tabla 9

Hoja de ruta para la carretera de asfaltado

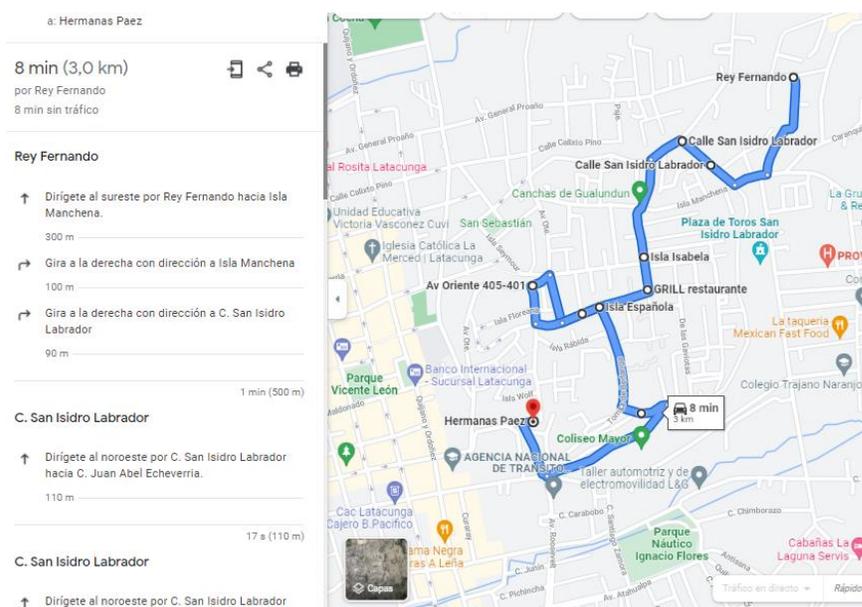
| <i>Distancia a recorrer</i> | <i>Dirección</i> | <i>Información</i> |
|-----------------------------|-----------------------|--|
| 3 km | Dirígete hacia el sur | Por Quijano y Ordoñez hacia la intersección de la calle Luis de Anda |

La ruta Nro. 2 empleada en el proyecto de investigación se encuentra está situada al Este de la ciudad de Latacunga en el sector de la Comando de Policía N.5 Subzona Cotopaxi, teniendo como punto inicial la coordenada -0.9256764256450402, -78.60370268083683, y cuyo punto final de la ruta tiene como coordenada -0.9378971107437182, -78.60999546586058 en el sector de la Universidad de las

Fuerzas Armadas ESPE – Sede Latacunga, como se indica en la figura 20.

Figura 20

Ruta Nro. 2: Adoquín



Nota. Datos obtenidos de Google Maps.

Tabla 10

Hoja de ruta para la carretera de adoquín

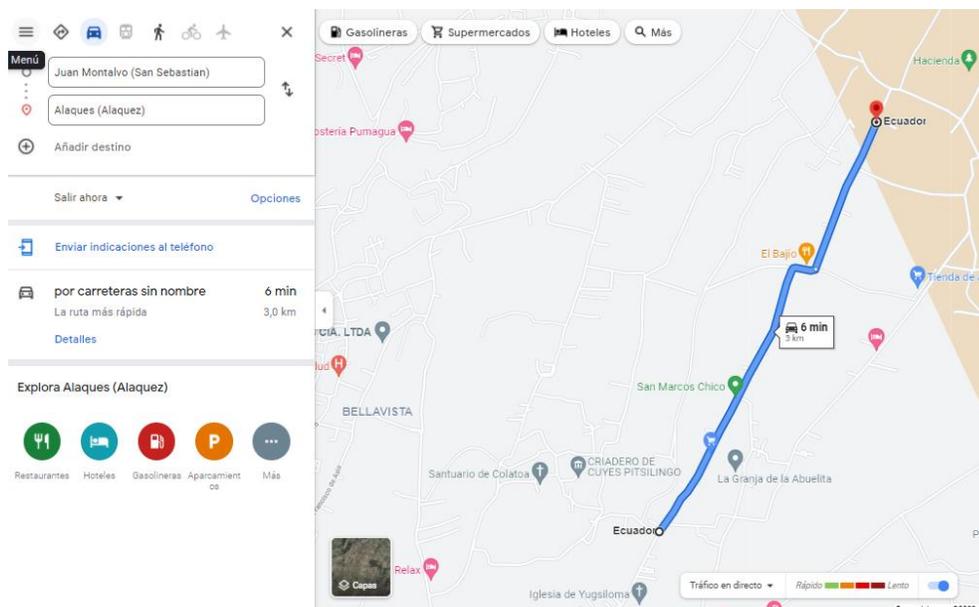
| Distancia a recorrer | Dirección | Información |
|-----------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| 300 m | Dirígete al sureste | Por Rey Fernando hacia Isla Manchena. |
| 100 m | Gira a la derecha | Con dirección a Isla Manchena |
| 90 m | Gira a la derecha | Con dirección a Cristóbal Colón |

| <i>Distancia a recorrer</i> | <i>Dirección</i> | <i>Información</i> |
|-----------------------------|-----------------------------|--|
| | | <i>Por C. San Isidro</i> |
| <i>110 m</i> | <i>Dirígete al noroeste</i> | <i>Labrador hacia C. Juan Abel Echeverria</i> |
| <i>100 m</i> | <i>Gira a la izquierda</i> | <i>Con dirección a C. Juan Abel Echeverria</i> |
| <i>100 m</i> | <i>Gira a la izquierda</i> | <i>Con dirección a C. Juan Abel Echeverria</i> |
| <i>300 m</i> | <i>Gira a la izquierda</i> | <i>Con dirección a Isla Isabela</i> |
| <i>97 m</i> | <i>Dirígete al sur</i> | <i>Por Isla Isabela hacia San Cristóbal</i> |
| <i>6 m</i> | <i>Dirígete al sur</i> | <i>Por Isla Isabela hacia Isla Española</i> |
| <i>270 m</i> | <i>Gira a la derecha</i> | <i>En la 1ª intersección hacia Isla Española</i> |
| <i>140 m</i> | <i>Gira a la derecha</i> | <i>Con dirección a Av Ote. Para continuar por Av</i> |
| <i>59 m</i> | <i>Gira a la izquierda</i> | <i>Ote.</i> |
| <i>5 m</i> | <i>Dirígete al oeste</i> | <i>Por Av Ote. hacia Isla San Salvador</i> |
| <i>110 m</i> | <i>Gira a la izquierda</i> | <i>Con dirección a Isla San Salvador</i> |
| <i>200 m</i> | <i>Gira a la izquierda</i> | <i>En la 2ª intersección hacia Isla Española.</i> |

| <i>Distancia a recorrer</i> | <i>Dirección</i> | <i>Información</i> |
|-----------------------------|--|--|
| 4 m | Dirígete al este | Por Isla Española hacia Tomas de Berlanga. |
| 300 m | Gira a la derecha | Con dirección a Tomas de Berlanga |
| 140 m | Gira a la izquierda | Con dirección a De las Iguanas |
| 400 m | Gira pronunciadamente a la derecha | Con dirección a Marquez de Maenza/Trajano Naranjo |
| 180 m | En la rotonda, toma la 1. ^a salida | En dirección a Av. Roosevelt |
| 33 m | Gira a la derecha | Con dirección a Hermanas Paez |

Nota. Datos obtenidos de Google Maps.

La ruta Nro. 3 empleada en el proyecto de investigación se encuentra está situada al Noroeste de la ciudad de Latacunga en la parroquia Juan Montalvo (Barrio San Marcos Chico), teniendo como punto inicial la coordenada -0.8976942960772489, -78.59036133068862, y cuyo punto final de la ruta tiene como coordenada -0.8732783819804512, -78.57752964274172 en el sector de la parroquia Aláquez (Barrio San Marcos Grande), como se indica en la figura 21.

Figura 21**Ruta Nro. 3: Empedrado**

Nota. Datos obtenidos de Google Maps.

Tabla 11**Hoja de ruta para la carretera de empedrado**

| <i>Distancia a recorrer</i> | <i>Dirección</i> | <i>Información</i> |
|------------------------------------|-------------------------------|--|
| 2 km | Dirígete al noroeste | Por la vía principal a San Marcos Grande |
| 1 km | Gira levemente a la izquierda | En el Restaurante “El Bajío” |

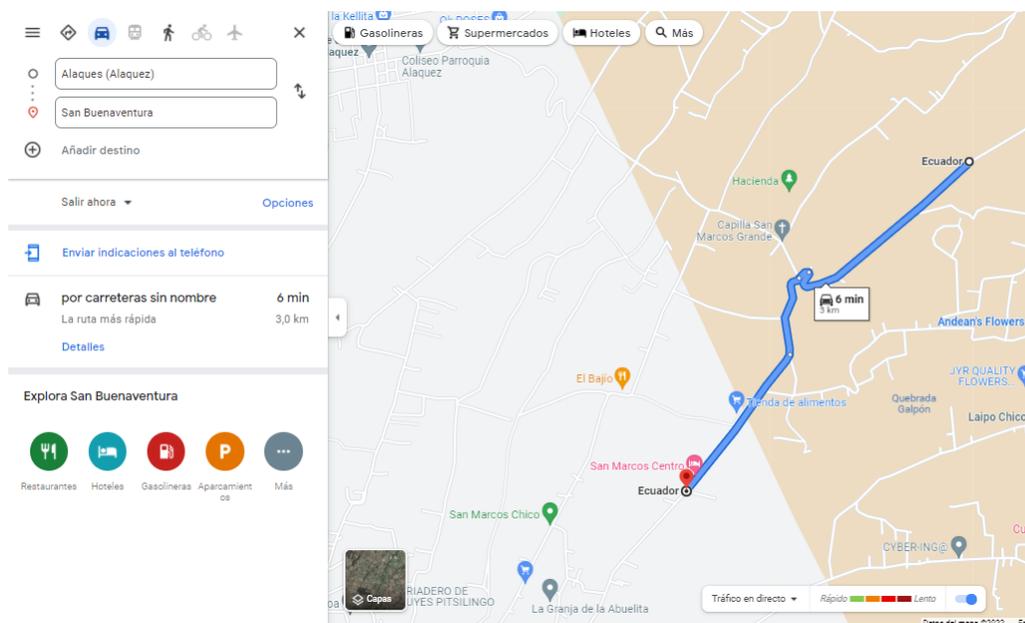
Nota. Datos obtenidos de Google Maps.

La ruta Nro. 4 empleada en el proyecto de investigación se encuentra está situada al Noroeste de la ciudad de Latacunga en la parroquia Aláquez (Barrio San Marcos Grande), teniendo como punto inicial la coordenada -0.8708776789058633, -78.56344786865655, y cuyo punto final de la ruta tiene como coordenada -

0.8885567162487246, -78.57894030795029 en el sector de la parroquia de Juan Montalvo (Barrio San Marcos Centro), como se indica en la figura 22.

Figura 22

Ruta Nro. 4: Arena



Nota. Datos obtenidos de Google Maps.

Tabla 12

Hoja de ruta para la carretera de arena

| <i>Distancia a recorrer</i> | <i>Dirección</i> | <i>Información</i> |
|------------------------------------|-------------------------|--|
| 1.4 km | Dirígete al suroeste. | En dirección a plantación de flores |
| 100 m | Gira a la izquierda. | En el puente En dirección a la casa de limatón |
| 500 m | Continúa recto | |

| <i>Distancia a recorrer</i> | <i>Dirección</i> | <i>Información</i> |
|-----------------------------|------------------------|---|
| 1.0 km | Mantente a la derecha. | En dirección a las canchas de uso múltiples barrio San Marcos Centro |

Nota. Datos obtenidos de Google Maps.

3.5. Tipos de neumáticos a usados

Para la realización de las pruebas se usó un total de 4 neumáticos con numeración 195/55 R15, de diferentes tipos de banda de rodadura, ver tabla 13.

Tabla 13

Detalles de neumáticos utilizados para las pruebas

| Nro. de neumáticos | Fabricante | Tipos de banda de rodadura | Imagen |
|---------------------------|-------------------|-----------------------------------|---|
| 1 | GoodYear | Patrón asimétrico |  |
| 2 | Anchee | Patrón simétrico |  |
| 3 | Nexen | Patrón direccional "V" |  |
| 4 | Sonar | Patrón asimétrico |  |

Cabe destacar que el neumático Nro. 1 es un neumático usado, dado que era uno de los 4 neumáticos tenía instalado el auto, y los otros 3 neumáticos fueron adquiridos para la realización del trabajo de investigación, por lo tanto esos son nuevos.

3.6. Preparación previa del automotor de las pruebas

En este punto se buscó garantizar el correcto funcionamiento mecánico del automóvil, enfocado a los neumáticos y suspensión, para tener una condición estándar de estos sistemas, por lo cual se realizó los siguientes procedimientos:

3.6.1. Balanceo de los 4 neumáticos del auto

En esta actividad se utilizó una maquina balanceador de neumáticos, con lo cual nos permitió conocer donde se presenta el desequilibrio de pesos entre la llanta y rin, para lo cual se colocó unas pesas de acuerdo a la medida y ubicación proporcionada por el equipo de balanceo, para poder a llegar a equilibrar la distribución de pesos en el neumático, este procedimiento se desarrolló en cada rueda.

Figura 23

Balanceo del neumático



3.6.2. Alineación del vehículo

Con la alineación del auto se buscó el ajuste y corrección de los ángulos de los neumáticos (camber, caster) para su contacto óptimo con la carretera, y la dirección para evitar que se produzca desviaciones hacia la izquierda o derecha, de acuerdo a las especificaciones del fabricante del auto.

Figura 24

Alineación del vehículo



Tabla 14

Reporte de alineación del vehículo

| | Ángulos | | Inicial | Especificaciones | | Final |
|-----------------------|------------------------------|-----------|---------|------------------|-------|-------|
| | | | | Mín. | Máx. | |
| Delanter a | Ángulo de avance | Izquierdo | 0.4° | 7.2° | 8.2° | 0.4° |
| | | Derecho | 2.4° | 7.2° | 8.2° | 2.4° |
| | Inclinació n de ruedas | Izquierdo | 0.6° | -0.2° | 0.5° | 0.6° |
| | | Derecho | -0.3° | -1.5° | -0.9° | -0.3° |

| Ángulos | | Inicial | Especificaciones | | Final | |
|-----------------------|--------------------|-----------|------------------|-------|--------|--------|
| | | | Mín. | Máx. | | |
| 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° | |
| Inclinación de ruedas | Izquierdo | 1.3° | -1.8° | -0.8° | 1.3° | |
| | Derecho | 0.8° | -1.8° | -0.8° | 0.8° | |
| Trasera | 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° | |

3.6.3. Revisión del estado de la suspensión

En este punto se realizó el desmontaje de la suspensión delantera del vehículo de pruebas, mediante lo cual se pudo detectar que los amortiguadores se encuentran en mal estado, por lo cual se tomó la decisión de cambiar los amortiguadores de las ruedas motrices.

Figura 25

Cambio de amortiguadores



3.6.4. Revisión de la presión de inflado de los neumáticos

Otro de los aspectos principales para la obtención de valores de ruidos y vibraciones ideales, fue la revisión de la presión de inflado de los neumáticos de acuerdo a lo establecido por el fabricante, el cual establece para las ruedas delanteras de 32 psi y en las posteriores de 34 psi.

Figura 26

Verificación de presión de inflado



3.6.5. Revisión integral del automóvil

Se realizó la verificación de niveles de líquidos (aceite lubricante, refrigerante, líquido de frenos), así también el estado de las pastillas de freno, funcionamiento del sistema de alumbrado del vehículo.

Figura 27

Revisión realizada al vehículo de pruebas

**3.7. Colocación de los sensores de ruido y vibración en el vehículo**

En este punto se realizó la colocación de los sensores tanto de vibración, como de ruido en los puntos de análisis de acuerdo al tema del proyecto de investigación.

- Se decidió colocar el sensor de vibración en la mordaza de frenos, con el fin de obtener las vibraciones transmitidas por el neumático hacia ese elemento, en el desplazamiento por la carretera.

Figura 28

Ubicación del sensor de vibración

**Figura 29**

Cableado del sensor de vibración en el auto de prueba



- Para el sensor de ruido se decidió colocar en el guardapolvo de guardafango a una distancia de 10 cm del neumático, en un soporte propio del vehículo, con el fin de captar las ondas sonoras producidas por el neumático en su rodaje por los diferentes tipos de terrenos.

Figura 30

Ubicación del sensor de ruido en el auto

**Figura 31**

Cableado del sensor de ruido en el auto de prueba



3.8. Velocidades y tiempos para las pruebas

Para ello se tomó en cuenta los límites de velocidad vigentes en el país, así como pruebas de ruta para comprobar tiempos, para mejor detalle revisar la tabla 15

Tabla 15

Tiempos y velocidades para las pruebas en cada ruta

| Tipo de terreno | Tiempo estimado | Velocidad (km/h) |
|------------------------|------------------------|-------------------------|
| Asfáltico | 3 min | 70 |
| Adoquín | 5 – 6 min | 45 |
| Empedrado | 7- 8 min | 20 - 30 |
| Arena (Suelo natural) | 7 – 8 min | 20 - 30 |

Nota. Valores de velocidad elegidos de acuerdo a los límites de velocidad establecidos por ANT.

3.9. Condiciones ambientales en las pruebas

Para la realización de las respectivas pruebas de vibraciones se dio efecto el día 27 y 28 de diciembre de 2021, en los cuales se presentaron las siguientes condiciones ambientales las mismas que están detalladas en las tablas 16 y 17 respectivas.

Tabla 16

Condiciones ambientales para el día 1 de pruebas

| Parámetro | Magnitud |
|------------------------------------|-------------------------|
| <i>Temperatura (máxima-mínima)</i> | <i>11,5 °C – 5,5 °C</i> |
| <i>Probabilidad de lluvia</i> | <i>90 %</i> |
| <i>Humedad</i> | <i>81,5 %</i> |
| <i>Viento</i> | <i>12,5 km/h</i> |

Nota. Adaptado de <https://www.tiempo3.com/south-america/ecuador/cotopaxi/latacunga?page=past-weather#day=27&month=12>

Tabla 17*Condiciones ambientales para el día 2 de pruebas*

| Parámetro | Magnitud |
|------------------------------------|-----------------|
| <i>Temperatura (máxima-mínima)</i> | 12 °C – 6,5 °C |
| <i>Probabilidad de lluvia</i> | 96,5 % |
| <i>Humedad</i> | 81,4 % |
| <i>Viento</i> | 10,5 km/h |

Nota. Adaptado de <https://www.tiempo3.com/south-america/ecuador/cotopaxi/latacunga?page=past-weather#day=28&month=>

Por otro lado, las pruebas de ruido se lo realizo el día 14 enero del presente año, en el cual se presentaron las siguientes condiciones ambientales que se detallan en la tabla 18.

Tabla 18*Condiciones ambientales para el día 3 de pruebas*

| Parámetro | Magnitud |
|------------------------------------|-----------------|
| <i>Temperatura (máxima-mínima)</i> | 10 °C – 6 °C |
| <i>Probabilidad de lluvia</i> | 97 % |
| <i>Humedad</i> | 79,3 % |
| <i>Viento</i> | 9 km/h |

Nota. Adaptado de <https://www.tiempo3.com/south-america/ecuador/cotopaxi/latacunga?page=past-weather#day=14&month=1>

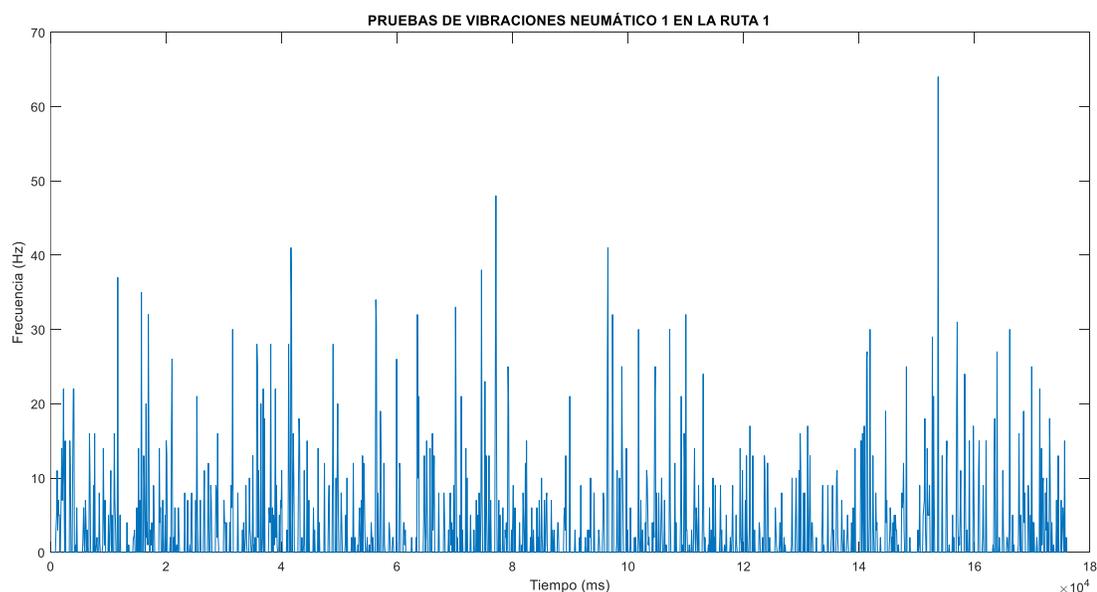
3.10. Resultados obtenidos de las pruebas de vibraciones

A continuación, se procedió a plasmar en graficas todos los datos recopilados, mediante las mediciones proporcionadas por el equipo de medición de vibraciones elaborado, en los diferentes tipos de terreno y con una variación de neumáticos.

En la figura 32 se presenta la gráfica obtenida la prueba de vibración realizada en la ruta Nro. 1 (asfalto) con el neumático 1 (patrón asimétrico), del cual se puede destacar los valores de vibraciones máximas (picos) son de 64, 48, 41 Hz, y valores de vibraciones mínimas son de 4, 2, 1 Hz.

Figura 32

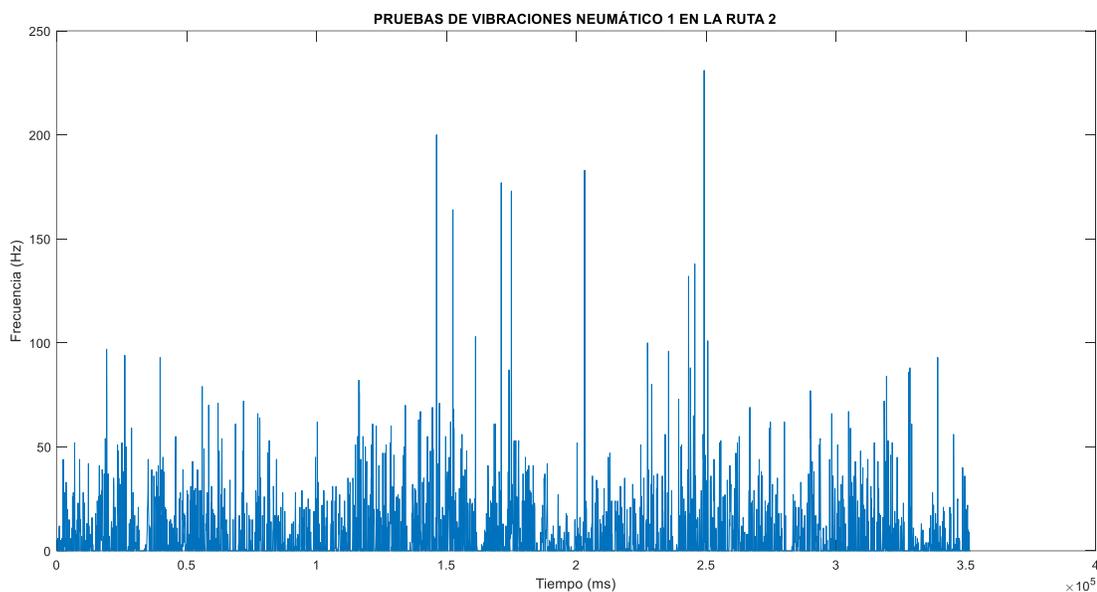
Prueba vibración del neumático Nro. 1 en la ruta Nro. 1



En la figura 33 se presenta la gráfica obtenida la prueba de vibración realizada en la ruta Nro. 2 (adoquín) con el neumático 1 (patrón asimétrico), del cual se puede destacar los valores de vibraciones máximas (picos) son de 231, 200, 183 Hz, y valores de vibraciones mínimas son de 4, 3, 1 Hz.

Figura 33

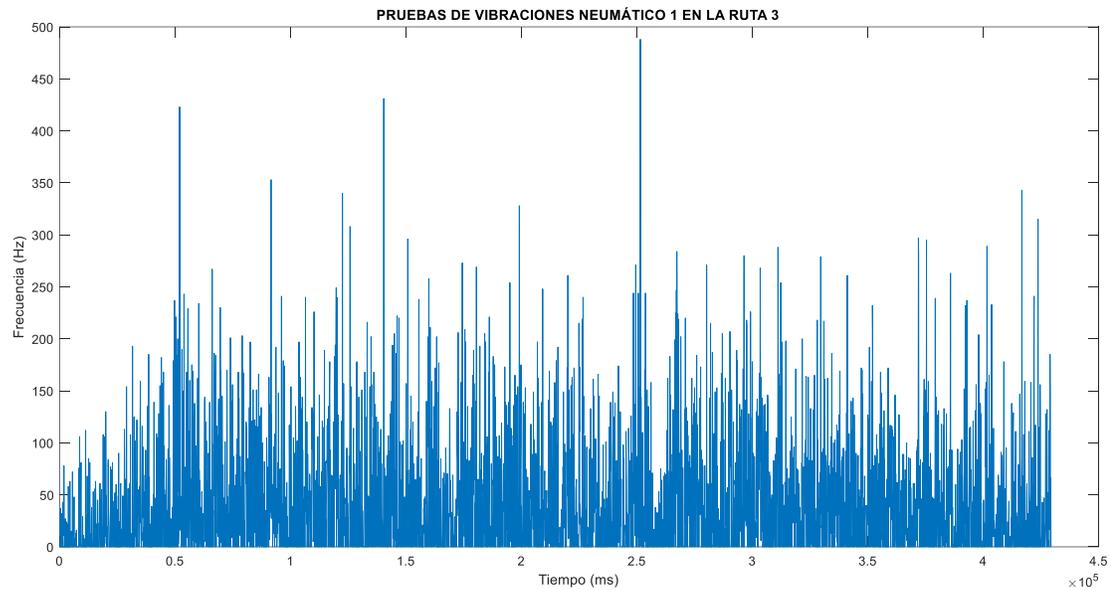
Prueba de vibración del neumático Nro. 1 en la ruta Nro. 2



En la figura 34 se presenta la gráfica obtenida la prueba de vibración realizada en la ruta Nro. 3 (empedrado) con el neumático 1 (patrón asimétrico), del cual se puede destacar los valores de vibraciones máximas (picos) son de 488, 431, 423 Hz, y valores de vibraciones mínimas son de 16, 12, 8 Hz.

Figura 34

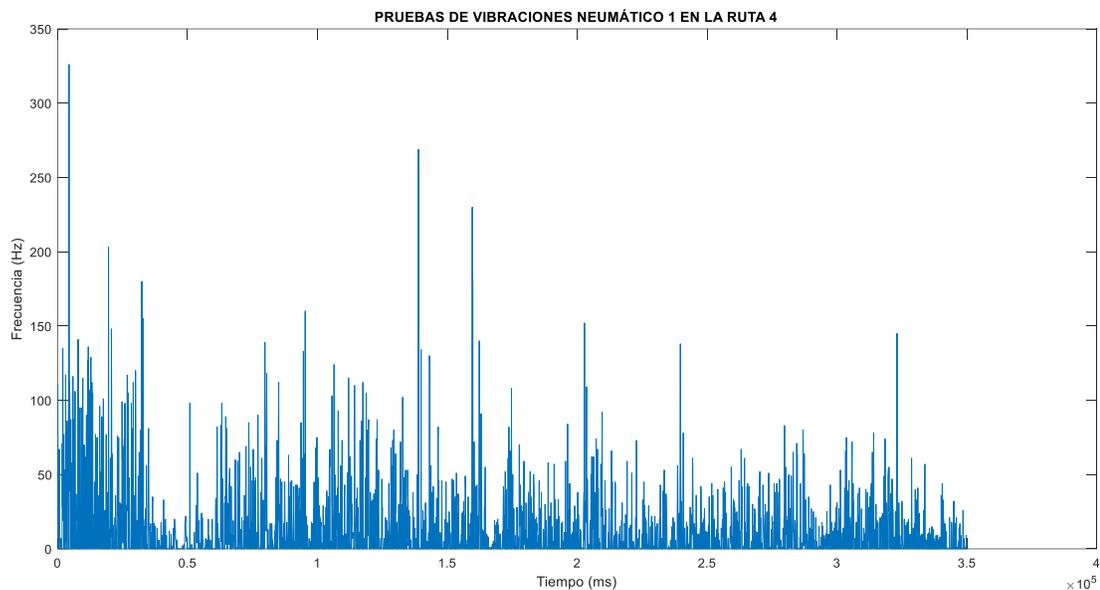
Prueba de vibraciones del neumático Nro. 1 en la ruta Nro. 3



En la figura 35 se presenta la gráfica obtenida la prueba de vibración realizada en la ruta Nro. 4 (arena - suelo natural) con el neumático 1 (patrón asimétrico), del cual se puede destacar los valores de vibraciones máximas (picos) son de 326, 269, 230 Hz, y los valores de vibraciones mínimas son de 6, 3, 2 Hz.

Figura 35

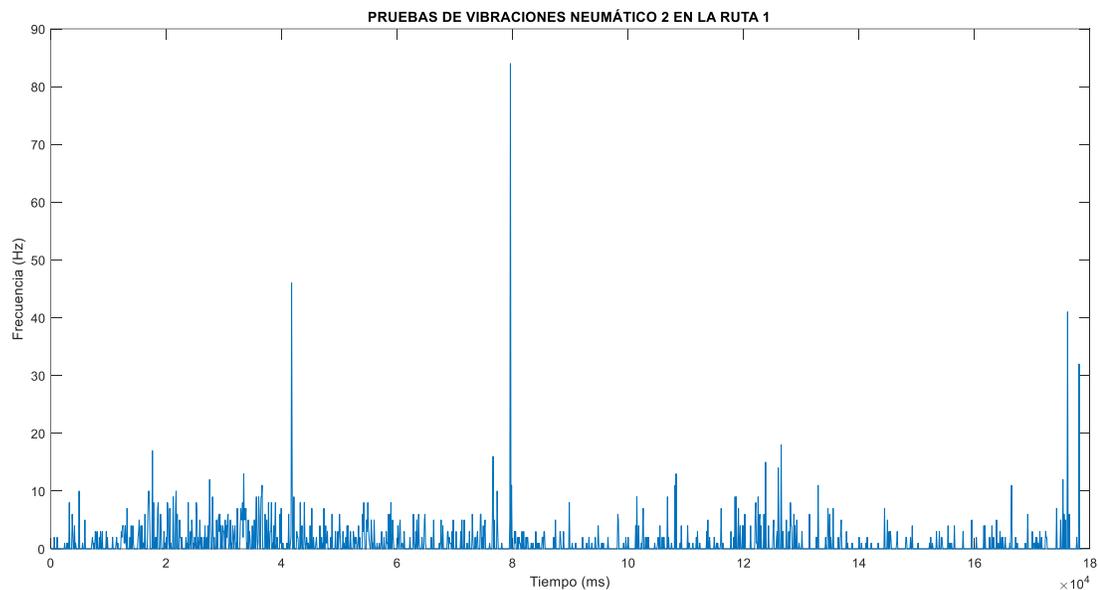
Prueba vibración del neumático Nro. 1 en la ruta Nro. 4



En la figura 36 se presenta la gráfica obtenida la prueba de vibración realizada en la ruta Nro. 1 (asfalto) con el neumático 2 (patrón simétrico), del cual se puede destacar los valores de vibraciones máximas (picos) son de 84, 46, 41 Hz, y valores de vibraciones mínimas son de 3, 2, 1 Hz.

Figura 36

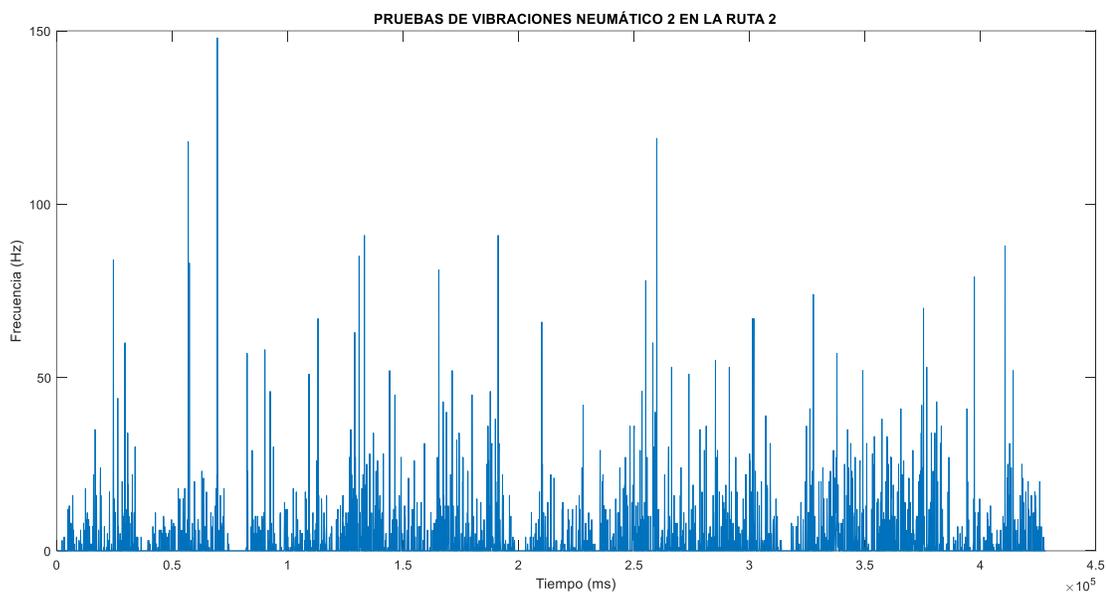
Prueba de vibración del neumático Nro. 2 en la ruta Nro. 1



En la figura 37 se presenta la gráfica obtenida la prueba de vibración realizada en la ruta Nro. 2 (adoquín) con el neumático 2 (patrón simétrico), del cual se puede destacar los valores de vibraciones máximas (picos) son de 148, 119, 118 Hz, y valores de vibraciones mínimas son de 3, 2, 1 Hz.

Figura 37

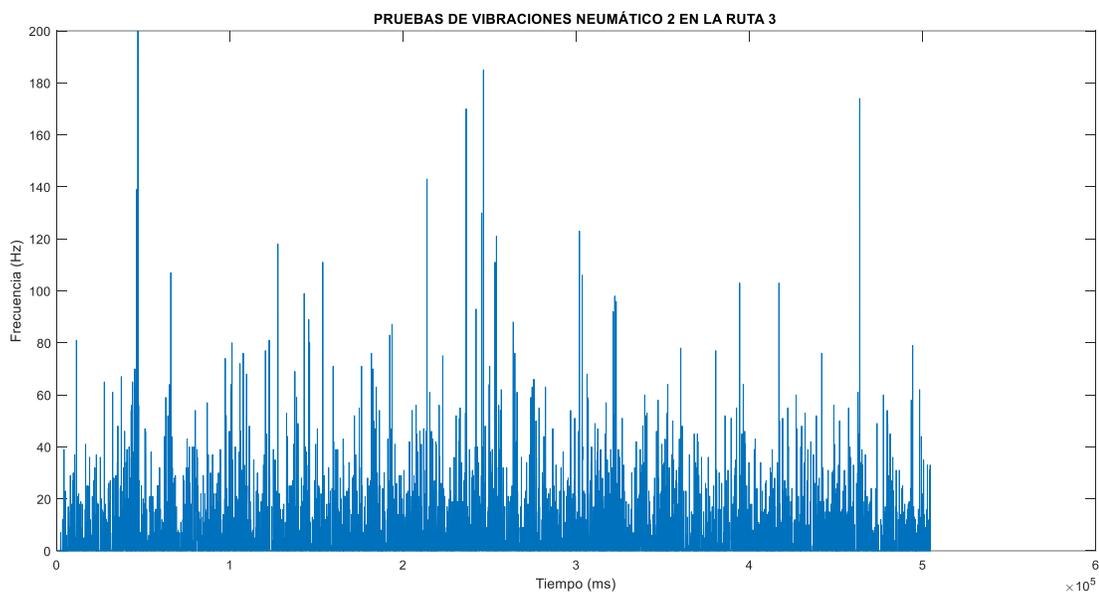
Prueba del neumático Nro. 2 en la ruta Nro. 2



En la figura 38 se presenta la gráfica obtenida la prueba de vibración realizada en la ruta Nro. 3 (empedrado) con el neumático 2 (patrón simétrico), del cual se puede destacar los valores de vibraciones máximas (picos) son de 200, 185, 174 Hz, y valores de vibraciones mínimas son de 12, 7, 5 Hz.

Figura 38

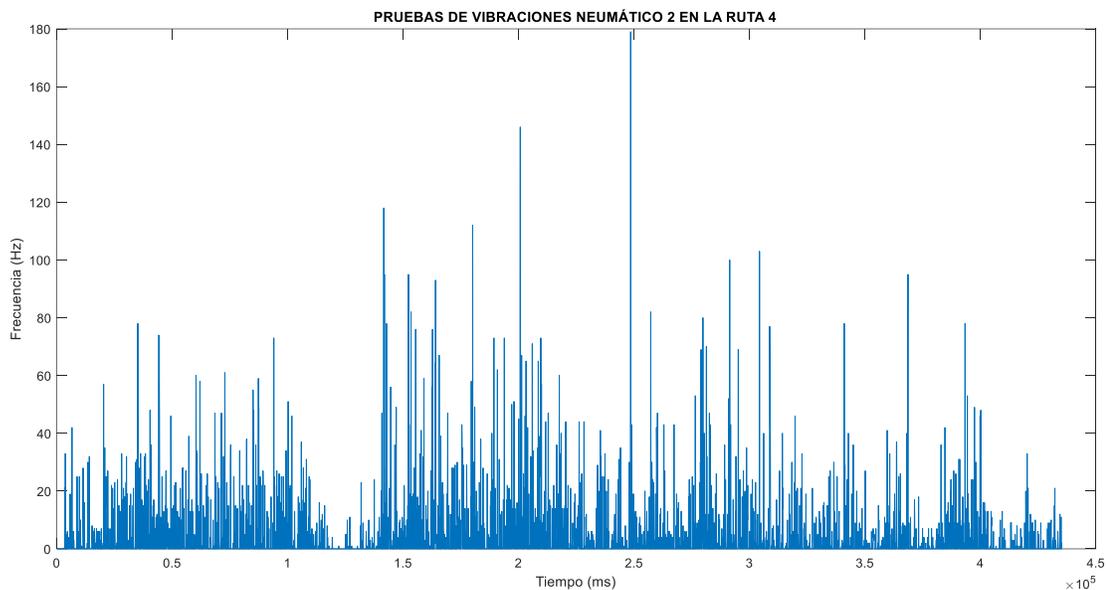
Prueba de vibraciones del neumático Nro. 2 en la ruta Nro. 3



En la figura 39 se presenta la gráfica obtenida la prueba de vibración realizada en la ruta Nro. 4 (asfalto) con el neumático 2 (patrón simétrico), del cual se puede destacar los valores de vibraciones máximas (picos) son de 179, 146, 118 Hz, y valores de vibraciones mínimas de 4, 2, 1 Hz.

Figura 39

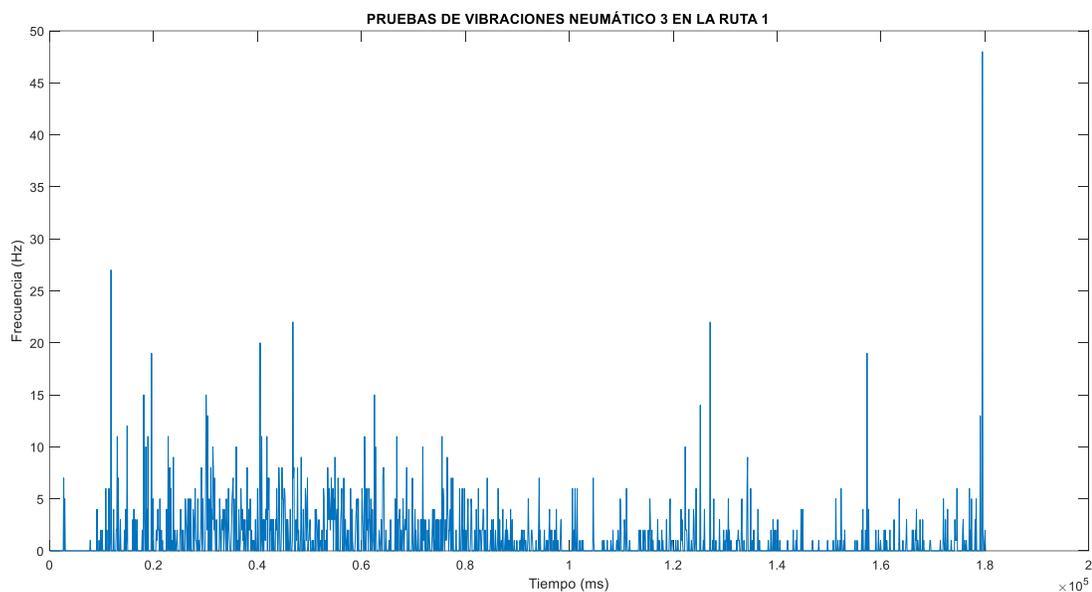
Prueba de vibraciones del neumático Nro. 2 en la ruta Nro. 4



En la figura 40 se presenta la gráfica obtenida la prueba de vibración realizada en la ruta Nro. 1 (asfalto) con el neumático 3 (patrón direccional "V"), del cual se puede destacar los valores de vibraciones máximas (picos) son de 48, 27, 22 Hz, y valores de vibraciones mínimas son de 3, 2, 1 Hz.

Figura 40

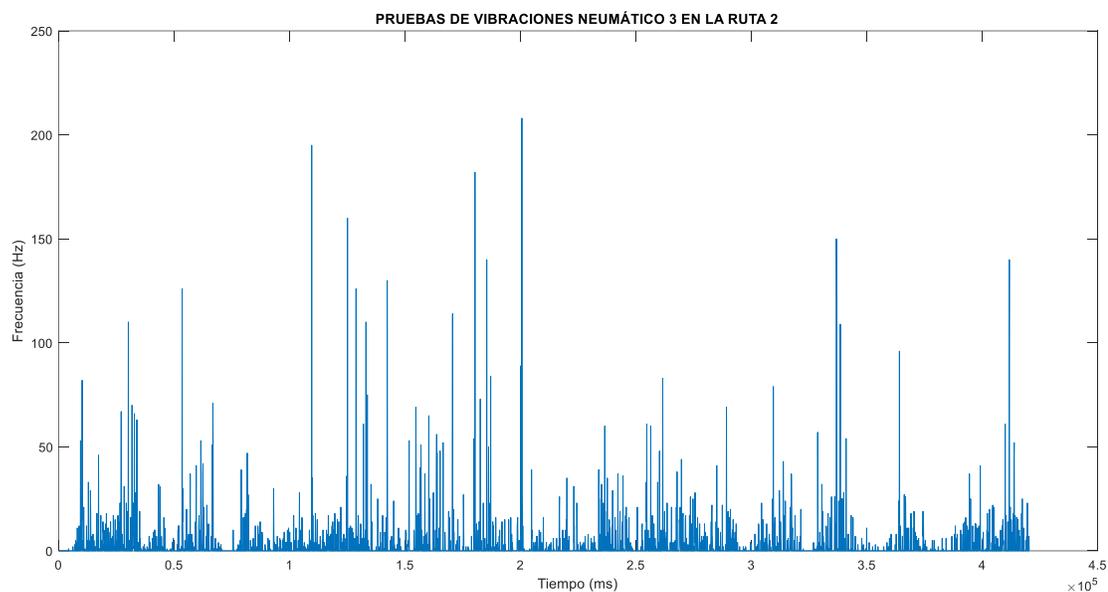
Prueba de vibraciones del neumático Nro. 3 en la ruta Nro. 1



En la figura 41 se presenta la gráfica obtenida la prueba de vibración realizada en la ruta Nro. 2 (adoquín) con el neumático 3 (patrón direccional "V"), del cual se puede destacar los valores de vibraciones máximas (picos) son de 208, 195, 182 Hz, y valores de vibraciones mínimas son de 8, 4, 1 Hz.

Figura 41

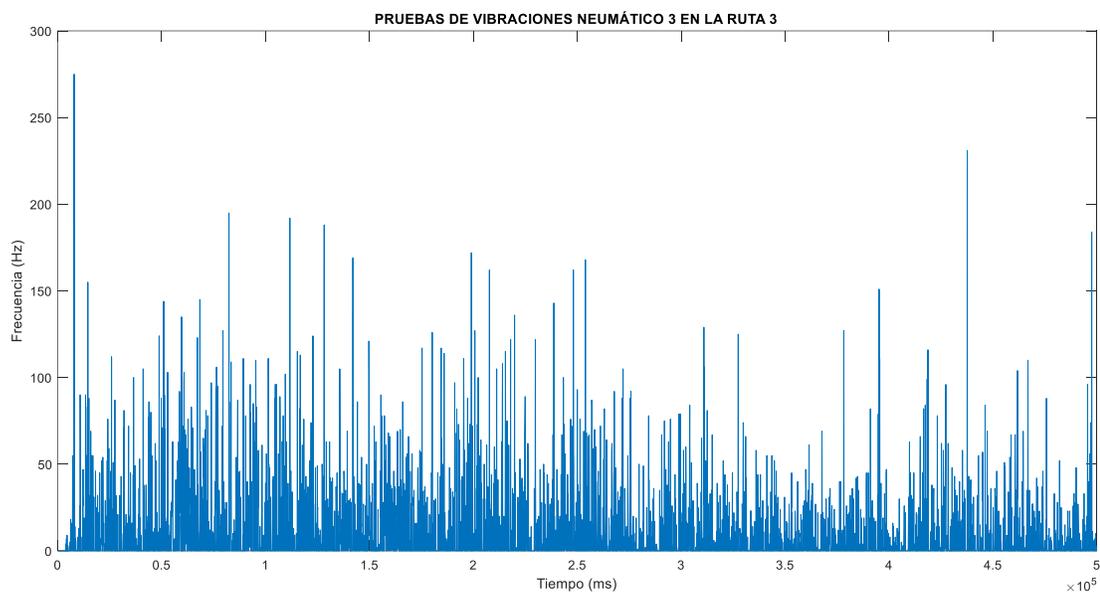
Prueba de vibraciones del neumático Nro. 3 en la ruta Nro. 2



En la figura 42 se presenta la gráfica obtenida la prueba de vibración realizada en la ruta Nro. 3 (empedrado) con el neumático 3 (patrón direccional "V"), del cual se puede destacar los valores de vibraciones máximas (picos) son de 275, 231, 195 Hz, y valores de vibraciones mínimas son de 10, 6, 4 Hz.

Figura 42

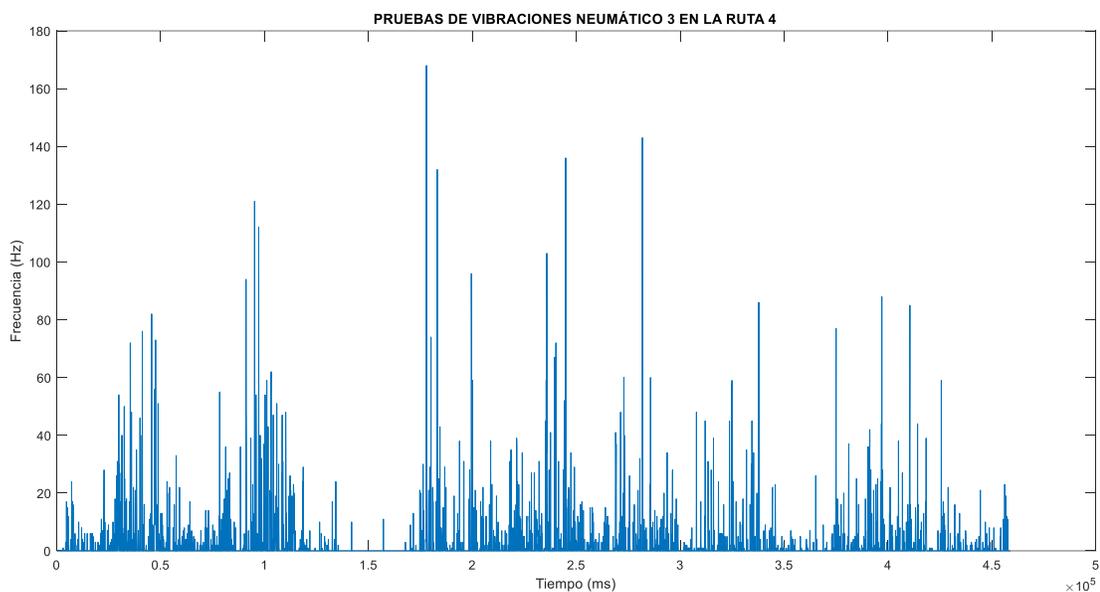
Prueba de vibraciones del neumático Nro. 3 en la ruta Nro. 3



En la figura 43 se presenta la gráfica obtenida la prueba de vibración realizada en la ruta Nro. 4 (arena - suelo natural) con el neumático 3 (patrón direccional "V"), del cual se puede destacar los valores de vibraciones máximas (picos) son de 168, 143, 136 Hz y vibraciones mínimas de 3, 2, 1 Hz.

Figura 43

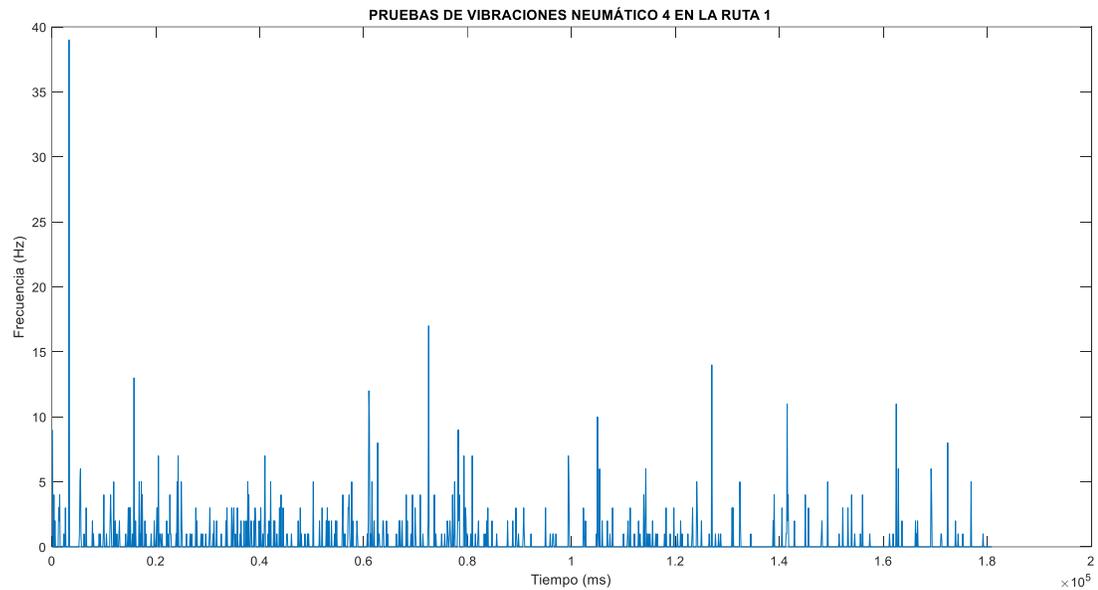
Prueba de vibraciones del neumático Nro. 3 en la ruta Nro. 4



En la figura 44 se presenta la gráfica obtenida la prueba de vibración realizada en la ruta Nro. 1 (asfalto) con el neumático 4 (patrón asimétrico), del cual se puede destacar los valores de vibraciones máximas (picos) son de 39, 17,14 Hz, y valores de vibraciones mínimas de 3, 2, 1 Hz.

Figura 44

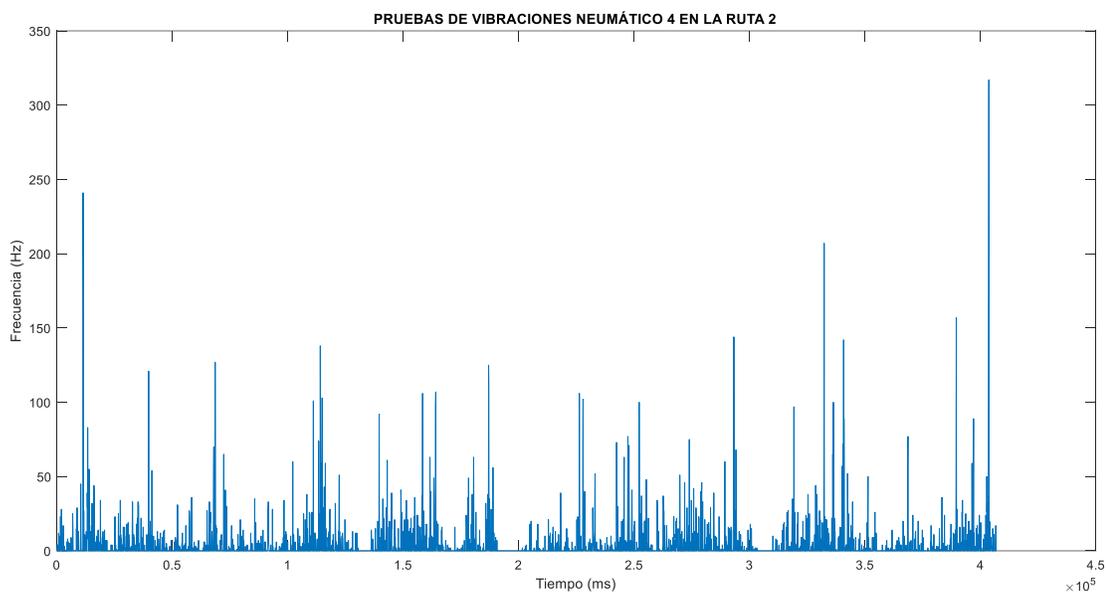
Prueba de vibraciones del neumático Nro. 4 en la ruta Nro. 1



En la figura 45 se presenta la gráfica obtenida la prueba de vibración realizada en la ruta Nro. 2 (adoquín) con el neumático 4 (patrón asimétrico), del cual se puede destacar los valores de vibraciones máximas (picos) son de 317, 241, 207 Hz, y valores de vibraciones mínimas son de 6, 3, 2 Hz.

Figura 45

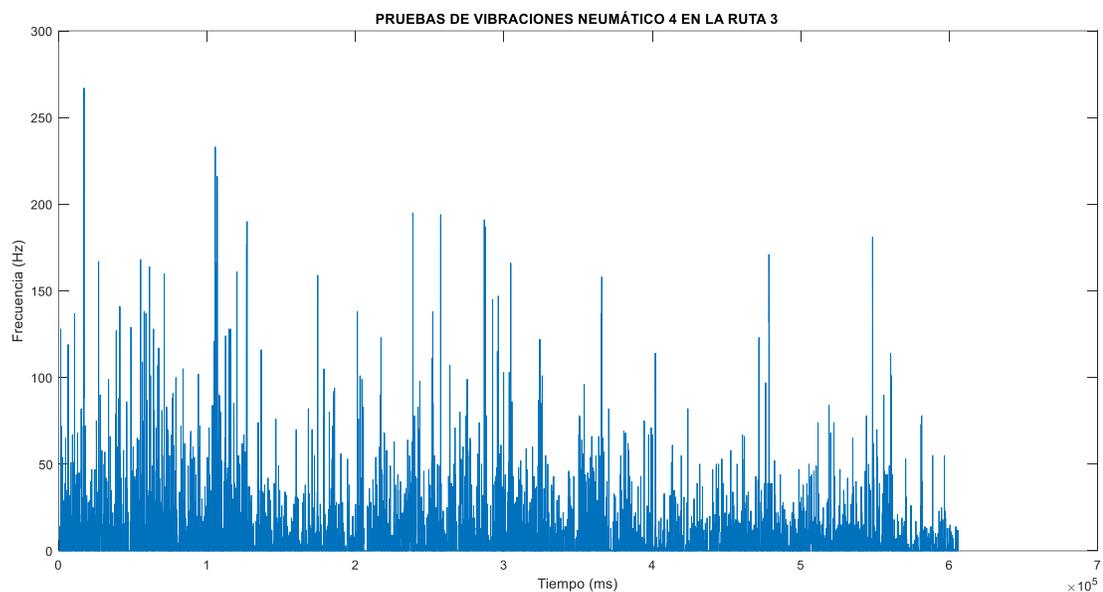
Prueba de vibraciones del neumático Nro. 4 en la ruta Nro. 2



En la figura 46 se presenta la gráfica obtenida la prueba de vibración realizada en la ruta Nro. 3 (empedrado) con el neumático 4 (patrón asimétrico), del cual se puede destacar los valores de vibraciones máximas (picos) son de 267, 233, 216 Hz, y valores de vibraciones mínimas son de 5, 3, 2 Hz.

Figura 46

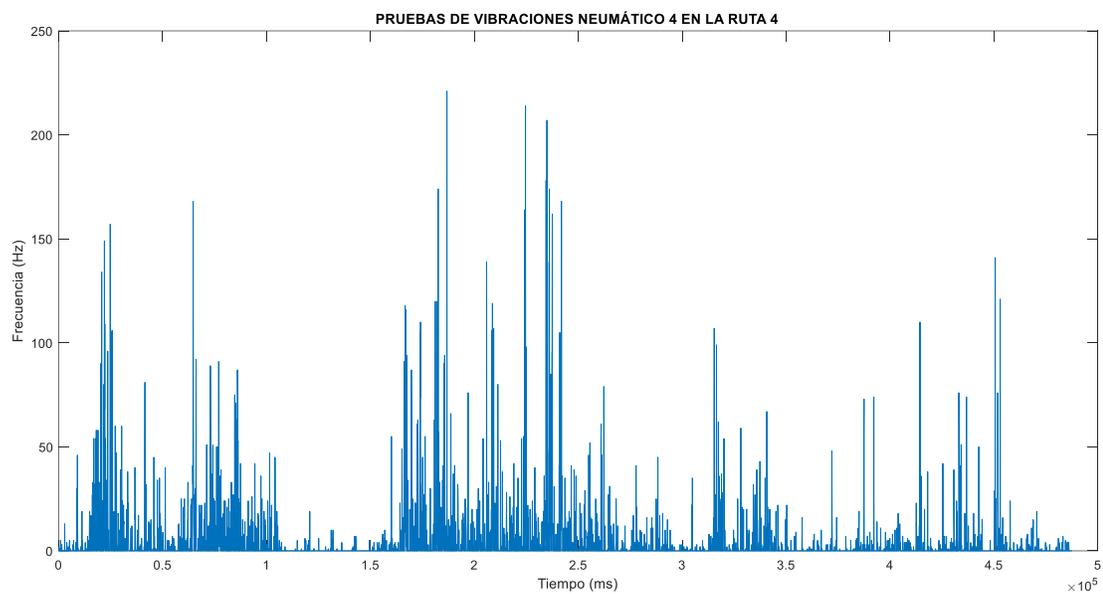
Prueba de vibraciones del neumático Nro. 4 en la ruta Nro. 3



En la figura 47 se presenta la gráfica obtenida la prueba de vibración realizada en la ruta Nro. 4 (arena – suelo natural) con el neumático 4 (patrón asimétrico), del cual se puede destacar los valores de vibraciones máximas (picos) son de 221, 214, 207 Hz, y valores de vibraciones mínimas son de 7, 5, 2 Hz.

Figura 47

Prueba de vibraciones del neumático Nro. 4 en la ruta Nro. 4



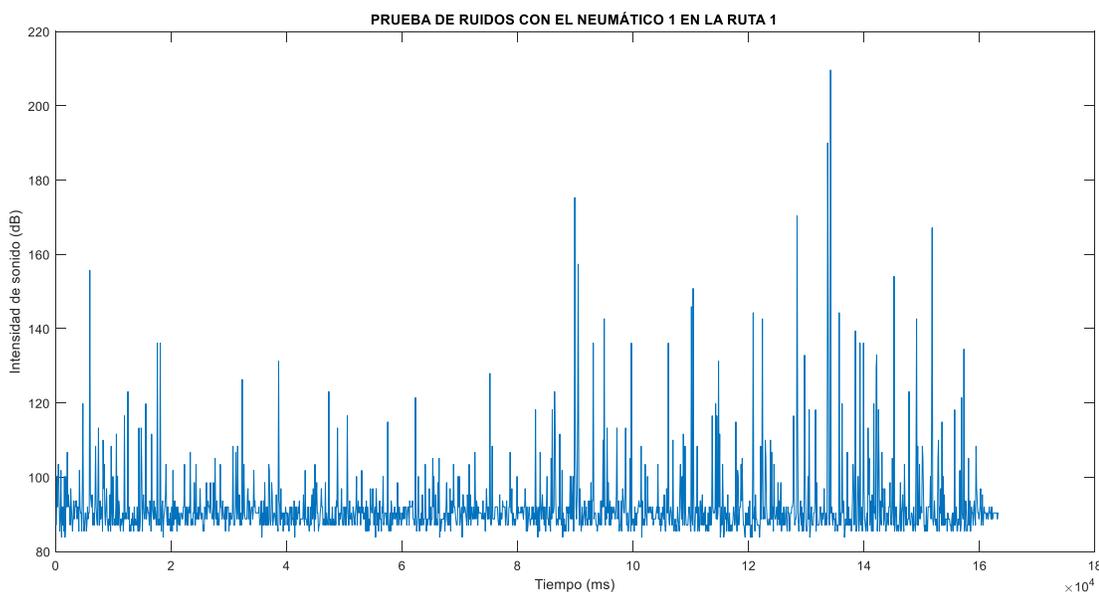
3.11. Resultados obtenidos de las pruebas de ruido

A continuación, se procedió a plasmar en graficas todos los datos recopilados, mediante las mediciones proporcionadas por el equipo de medición de ruido elaborado, en los diferentes tipos de terreno y con una variación de neumáticos.

En la figura 48 se presenta la gráfica obtenida la prueba de ruido realizada en la ruta Nro. 1 (asfalto) con el neumático 1 (patrón asimétrico), del cual se puede destacar los valores de ruidos máximos (picos) son de 209,6, 190, 175,3 dB, y valores de ruidos mínimos son de 88,77, 85,85, 83,87 dB.

Figura 48

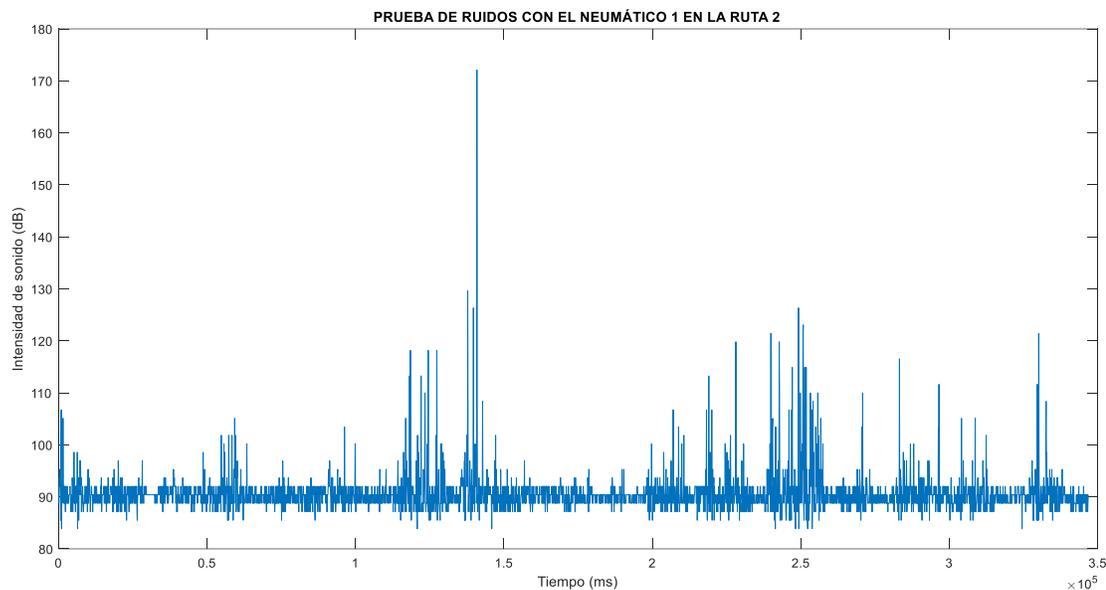
Prueba de ruido del neumático Nro. 1 en la ruta Nro. 1



En la figura 49 se presenta la gráfica obtenida la prueba de ruido realizada en la ruta Nro. 2 (adoquín) con el neumático 1 (patrón asimétrico), del cual se puede destacar los valores de ruidos máximos (picos) son de 172,10, 129,69, 126,30 dB, y valores de ruidos mínimos son de 87,13, 85,85, 83,87 dB.

Figura 49

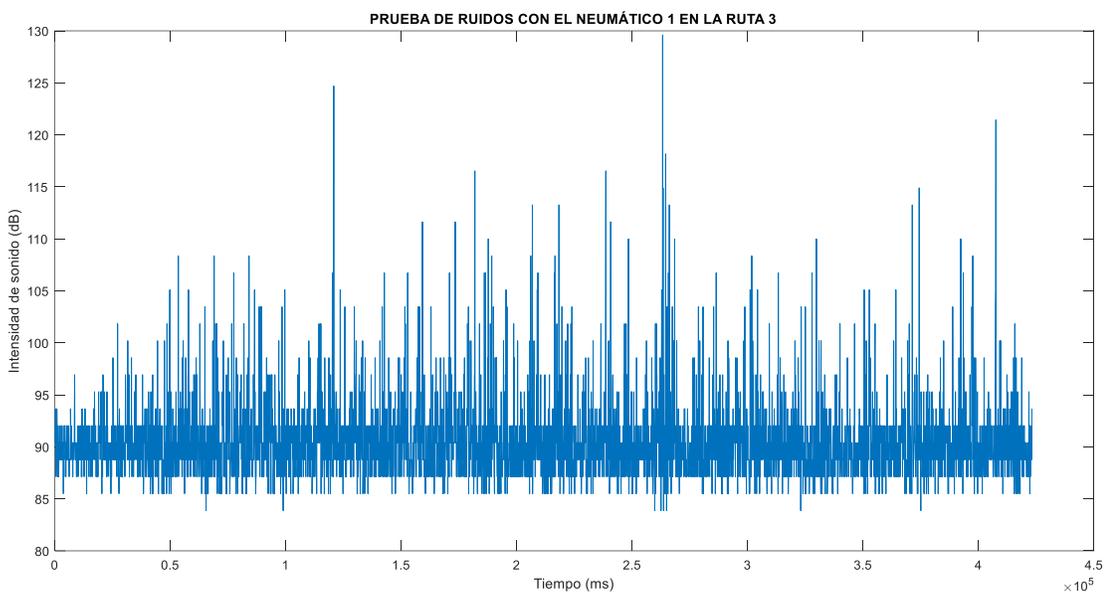
Prueba de ruido del neumático Nro. 1 en la ruta Nro. 2



En la figura 50 se presenta la gráfica obtenida la prueba de ruido realizada en la ruta Nro. 3 (empedrado) con el neumático 1 (patrón asimétrico), del cual se puede destacar los valores de ruidos máximos (picos) son de 129,60, 124,70, 121,40 dB, y valores de ruidos mínimos son de 87,13, 85,50, 83,87 dB.

Figura 50

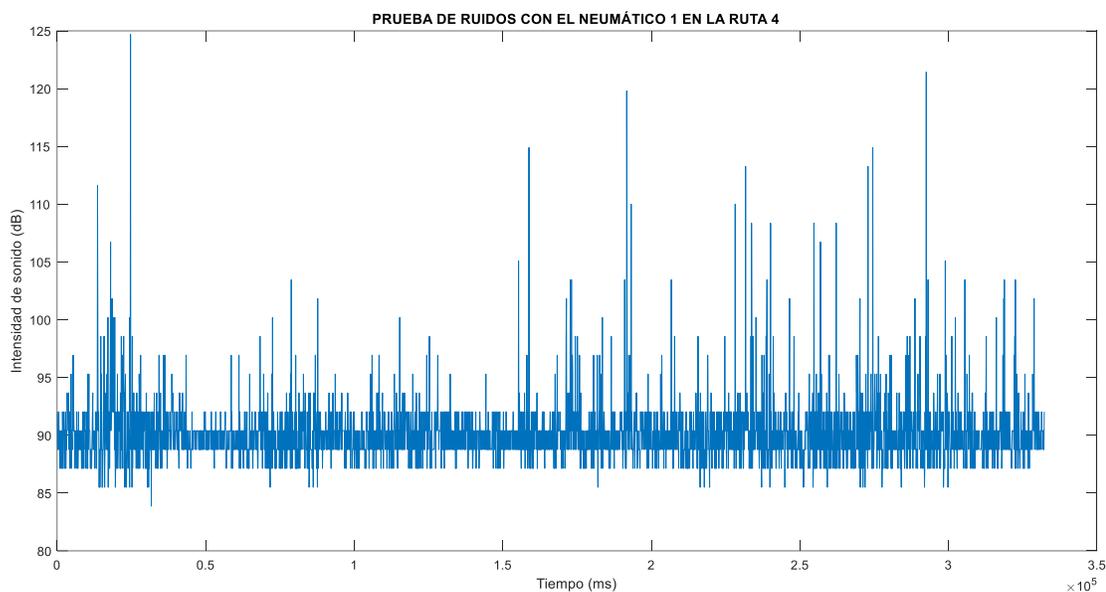
Prueba de ruido del neumático Nro. 1 en la ruta Nro. 3



En la figura 51 se presenta la gráfica obtenida la prueba de ruido realizada en la ruta Nro. 4 (arena – suelo natural) con el neumático 1 (patrón asimétrico), del cual se puede destacar los valores de ruidos máximos (picos) son de 124,70, 121,40, 119,80 dB, y valores de ruidos mínimos son de 85,50, 84,50, 83,13 dB.

Figura 51

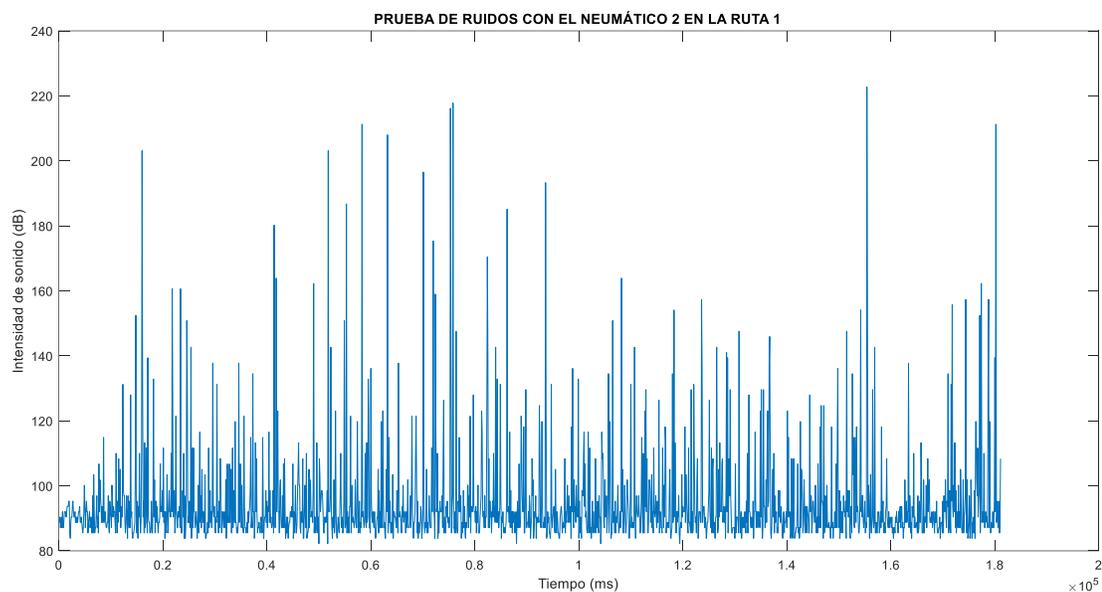
Prueba de ruido del neumático Nro. 1 en la ruta Nro. 4



En la figura 52 se presenta la gráfica obtenida la prueba de ruido realizada en la ruta Nro. 1 (asfalto) con el neumático 2 (patrón simétrico), del cual se puede destacar los valores de ruidos máximos (picos) son de 222,70, 217,80, 216,20 dB, y valores de ruidos mínimos son de 84,50, 83,73, 82,23 dB.

Figura 52

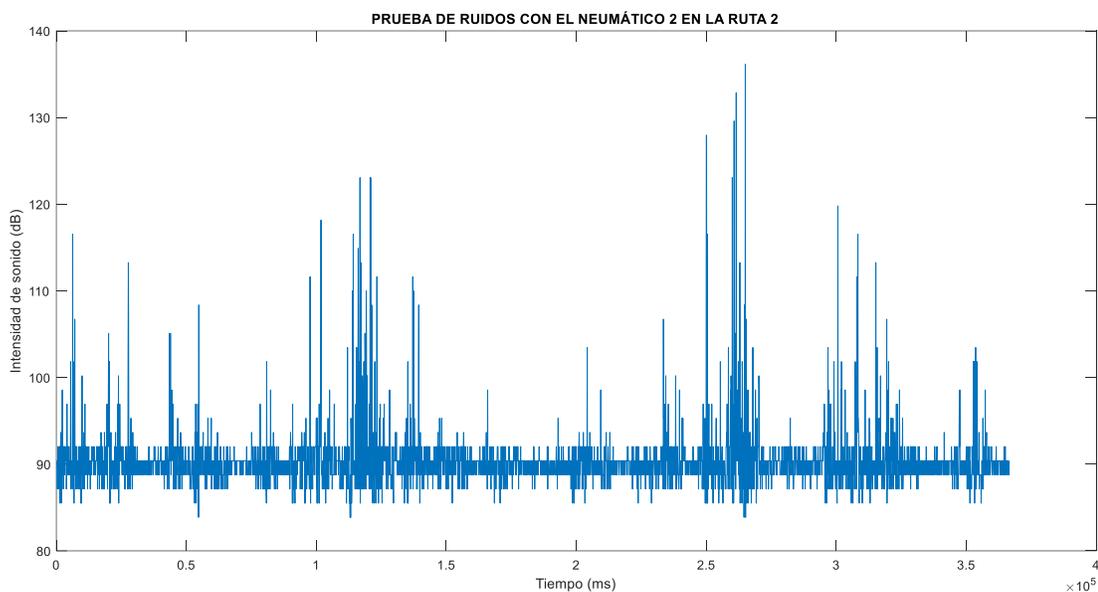
Prueba de ruido del neumático Nro. 2 en la ruta Nro. 1



En la figura 53 se presenta la gráfica obtenida la prueba de ruido realizada en la ruta Nro. 2 (adoquín) con el neumático 2 (patrón simétrico), del cual se puede destacar los valores de ruidos máximos (picos) son de 136,10, 132,90, 129,60 dB, y valores de ruidos mínimos son de 88,77, 85,50, 83,73 dB.

Figura 53

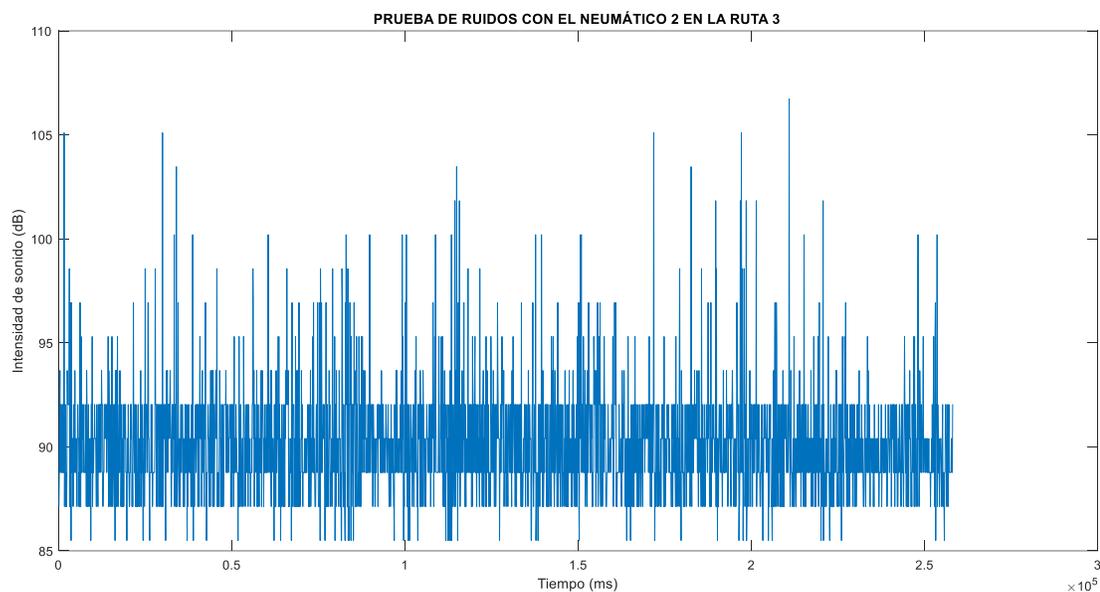
Prueba de ruido del neumático Nro. 2 en la ruta Nro. 2



En la figura 54 se presenta la gráfica obtenida la prueba de ruido realizada en la ruta Nro. 3 (empedrado) con el neumático 2 (patrón simétrico), del cual se puede destacar los valores de ruidos máximos (picos) son de 106,70, 105,10, 103,50 dB, y valores de ruidos mínimos son de 88,77, 87,13, 85,50, dB.

Figura 54

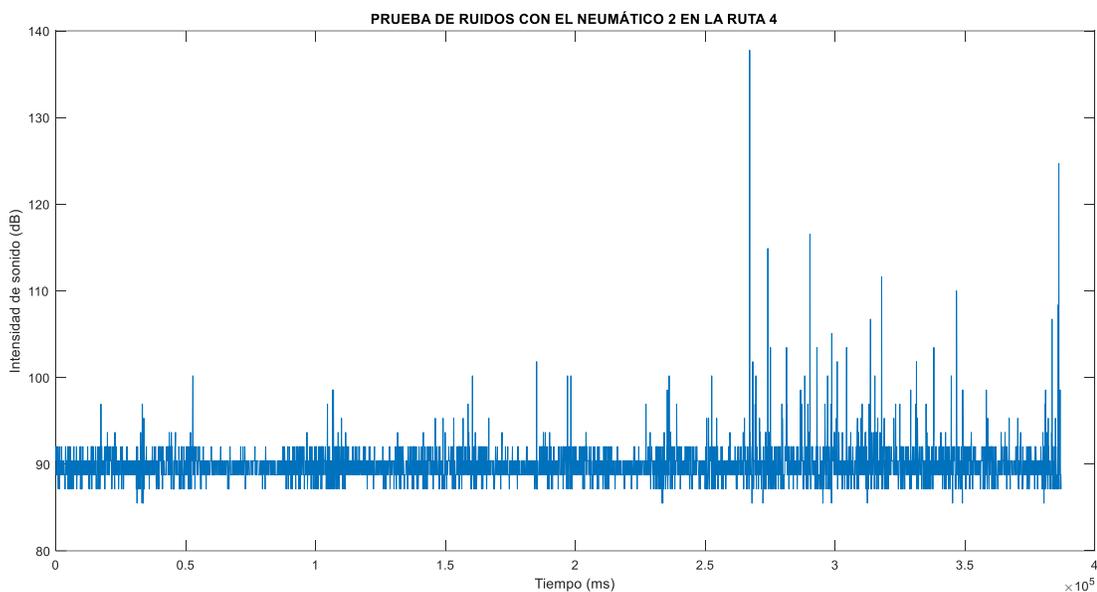
Prueba de ruido del neumático Nro. 2 en la ruta Nro. 3



En la figura 55 se presenta la gráfica obtenida la prueba de ruido realizada en la ruta Nro. 4 (arena – suelo natural) con el neumático 2 (patrón simétrico), del cual se puede destacar los valores de ruidos máximos (picos) son de 137,80, 124,70, 116,50 dB, y valores de ruidos mínimos son de 88,77, 87,13, 85,50, dB.

Figura 55

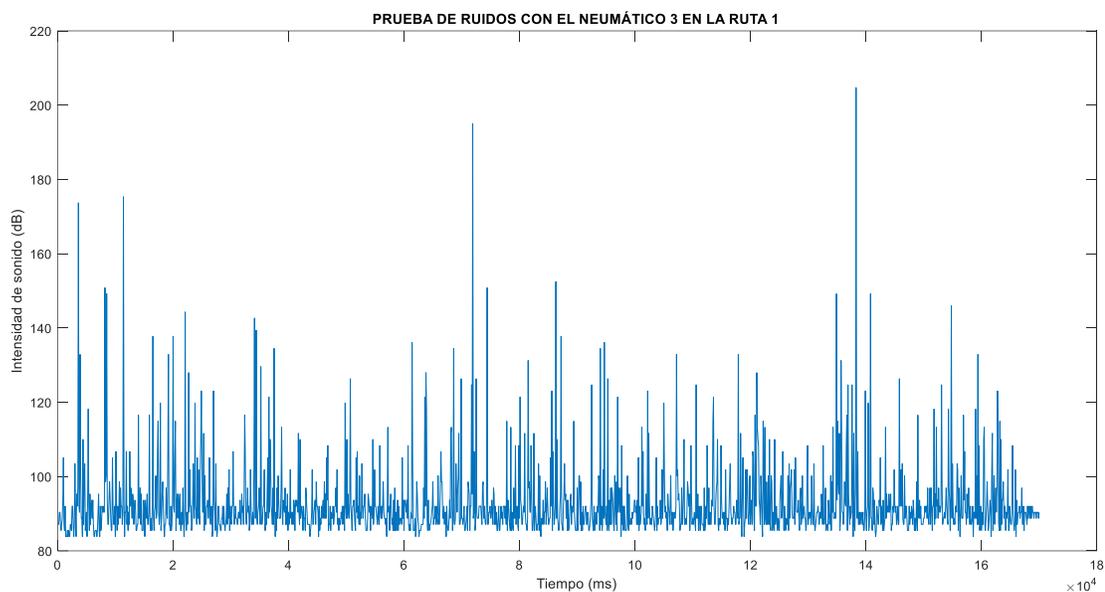
Prueba de ruido del neumático Nro. 2 en la ruta Nro. 4



En la figura 56 se presenta la gráfica obtenida la prueba de ruido realizada en la ruta Nro. 1 (asfalto) con el neumático 3 (patrón direccional "V"), del cual se puede destacar los valores de ruidos máximos (picos) son de 204,50, 194,90, 175,30 dB, y valores de ruidos mínimos son de 88,77, 85,50, 83,87 dB.

Figura 56

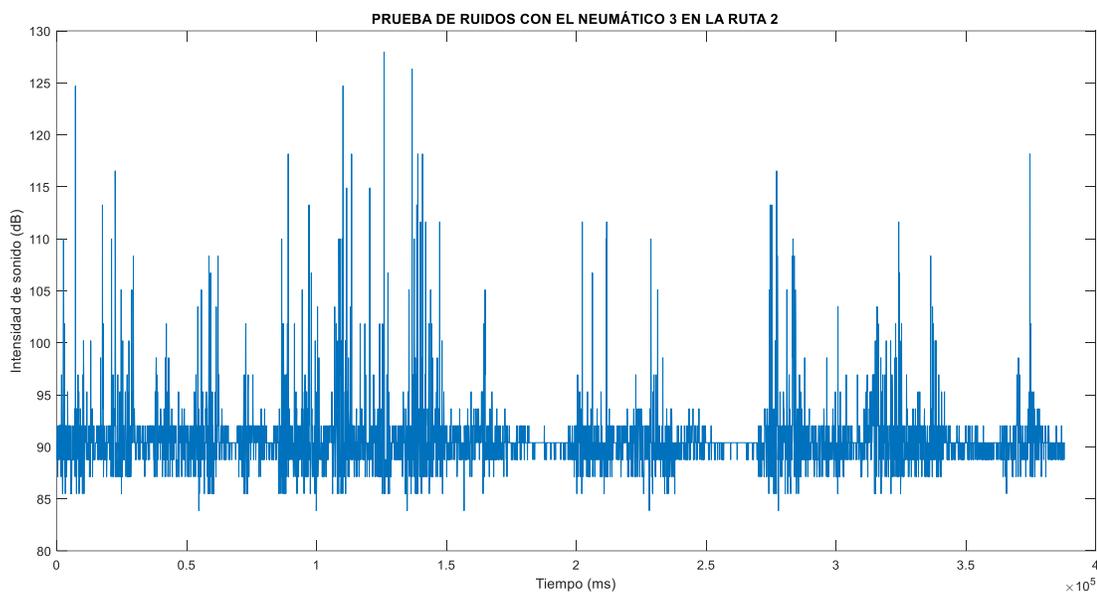
Prueba de ruido del neumático Nro. 3 en la ruta Nro. 1



En la figura 57 se presenta la gráfica obtenida la prueba de ruido realizada en la ruta Nro. 2 (adoquín) con el neumático 3 (patrón direccional "V"), del cual se puede destacar los valores de ruidos máximos (picos) son de 128,00, 124,70, 118,20 dB, y valores de ruidos mínimos son de 87,13, 85,50, 83,73 dB.

Figura 57

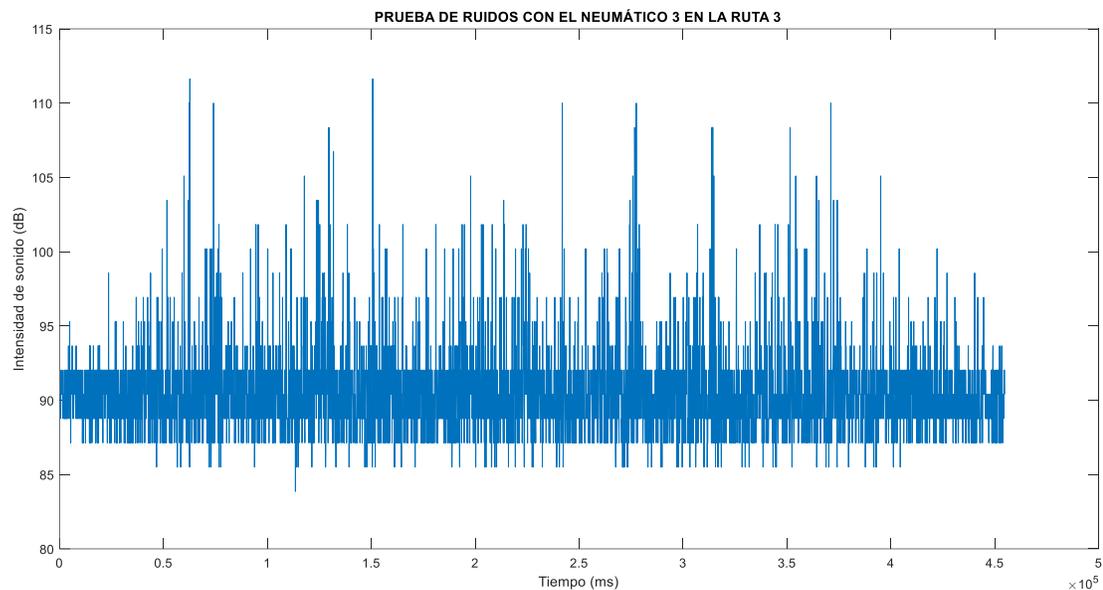
Prueba de ruido del neumático Nro. 3 en la ruta Nro. 2



En la figura 58 se presenta la gráfica obtenida la prueba de ruido realizada en la ruta Nro. 3 (empedrado) con el neumático 3 (patrón direccional "V"), del cual se puede destacar los valores de ruidos máximos (picos) son de 111,60, 110,00, 108,40 dB, y valores de ruidos mínimos son de 87,13, 85,50, 83,87 dB.

Figura 58

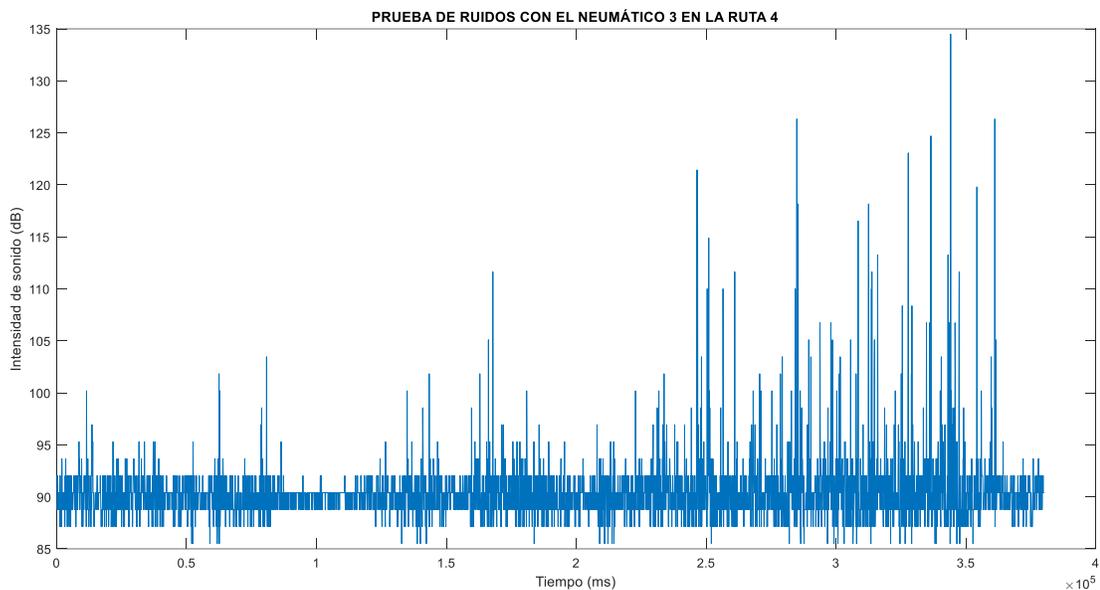
Prueba de ruido del neumático Nro. 3 en la ruta Nro. 3



En la figura 59 se presenta la gráfica obtenida la prueba de ruido realizada en la ruta Nro. 4 (arena – suelo natural) con el neumático 3 (patrón direccional “V”), del cual se puede destacar los valores de ruidos máximos (picos) son de 134,50, 126,30, 124,70 dB, y valores de ruidos mínimos son de 88,77, 87,13, 85,50 dB.

Figura 59

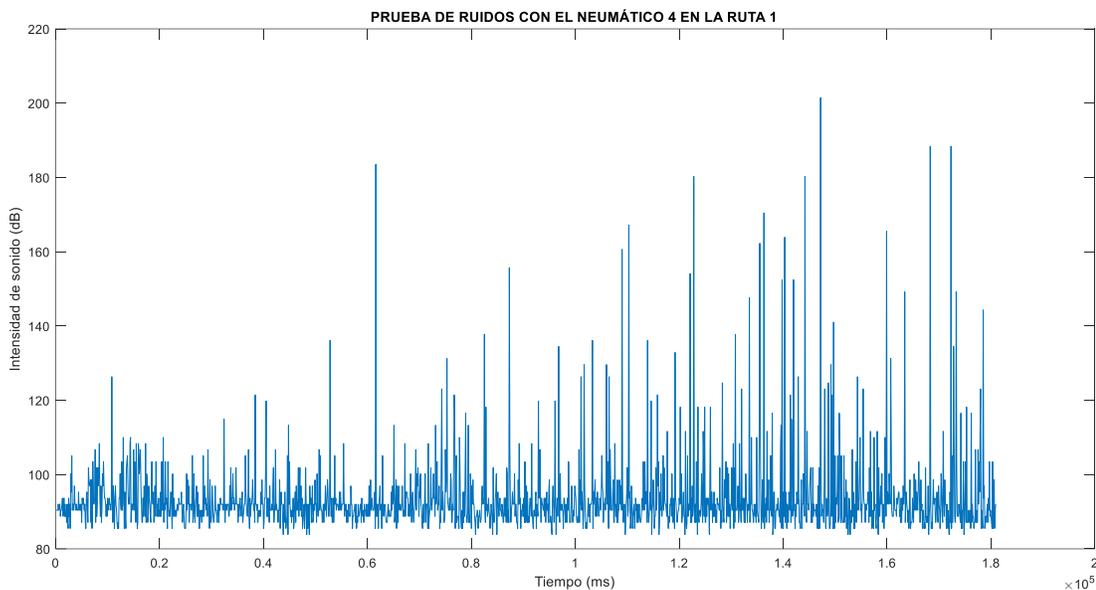
Prueba de ruido del neumático Nro. 3 en la ruta Nro. 4



En la figura 60 se presenta la gráfica obtenida la prueba de ruido realizada en la ruta Nro. 1 (asfalto) con el neumático 4 (patrón asimétrico), del cual se puede destacar los valores de ruidos máximos (picos) son de 201,50, 188,40, 183,50 dB, y valores de ruidos mínimos son de 87,13, 85,50, 83,87 dB.

Figura 60

Prueba de ruido del neumático Nro. 4 en la ruta Nro. 1

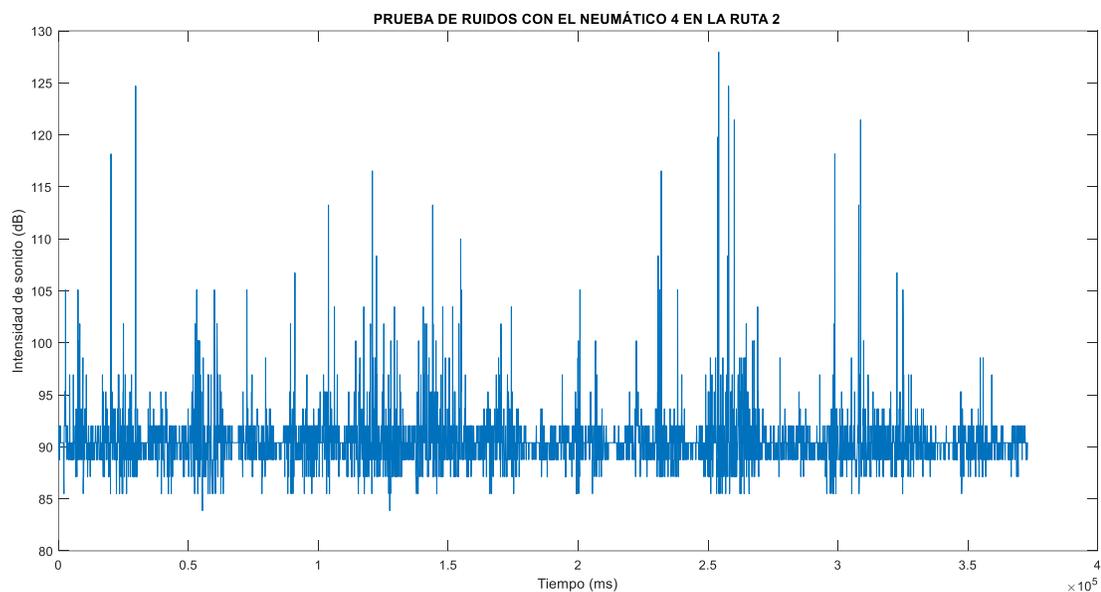


Nota: Elaboración propia en el software Matlab (versión de prueba).

En la figura 61 se presenta la gráfica obtenida la prueba de ruido realizada en la ruta Nro. 2 (adoquín) con el neumático 4 (patrón asimétrico), del cual se puede destacar los valores de ruidos máximos (picos) son de 128,00, 124,70, 121,40 dB, y valores de ruidos mínimos son de 88,77, 85,50, 83,87 dB.

Figura 61

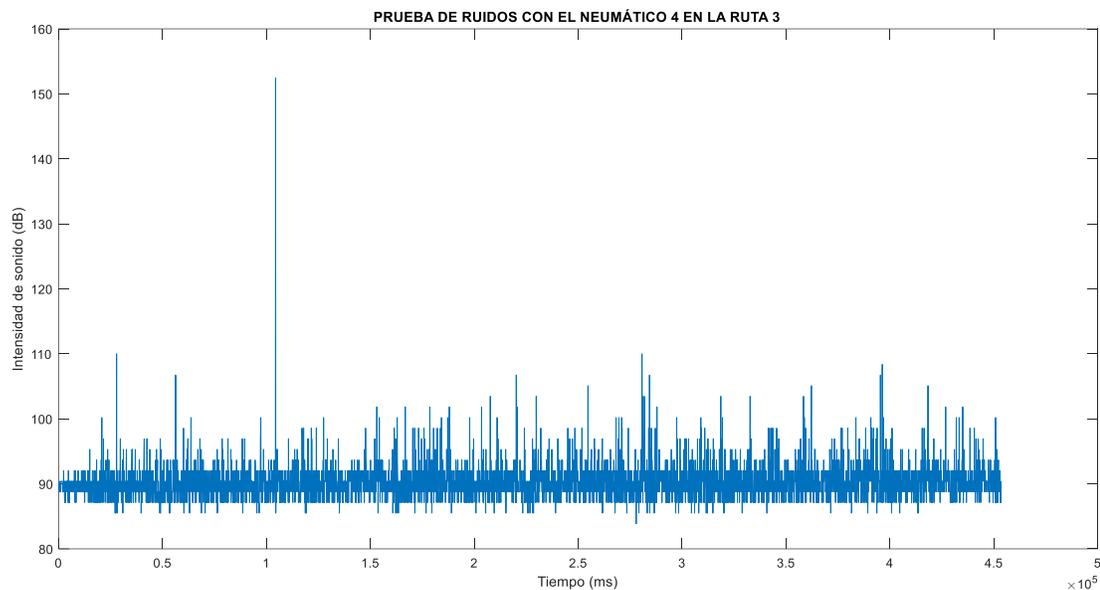
Prueba de ruido del neumático Nro. 4 en la ruta Nro. 2



En la figura 62 se presenta la gráfica obtenida la prueba de ruido realizada en la ruta Nro. 3 (empedrado) con el neumático 4 (patrón asimétrico), del cual se puede destacar los valores de ruidos máximos (picos) son de 152,50, 110,00, 108,40 dB, y valores de ruidos mínimos son de 88,77, 85,50, 83,87 dB.

Figura 62

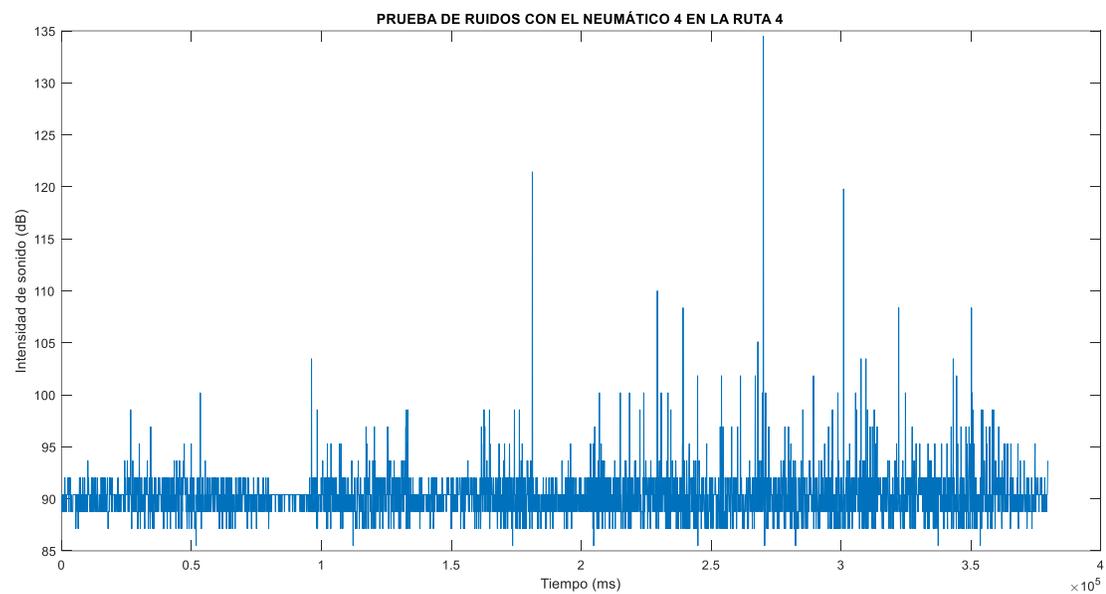
Prueba de ruido del neumático Nro. 4 en la ruta Nro. 3



En la figura 63 se presenta la gráfica obtenida la prueba de ruido realizada en la ruta Nro. 4 (arena – suelo natural) con el neumático 4 (patrón asimétrico), del cual se puede destacar los valores de ruidos máximos (picos) son de 134,50, 121,40, 110,00 dB, y valores de ruidos mínimos son de 88,77, 87,13, 85,50 dB.

Figura 63

Prueba de ruido del neumático Nro. 4 en la ruta Nro. 4



Capítulo IV

4. Análisis de resultados

En esta sección se presenta el análisis de los diferentes patrones obtenidos tanto de vibraciones y ruidos generados por el neumático en los diferentes tipos de terrenos seleccionados y experimentados de manera práctica, de acuerdo a lo revisado en el capítulo 3 del presente trabajo.

4.1. Prueba de vibraciones con diferentes neumáticos en asfalto

En la figura 64 se puede observar la unificación de todas las curvas de vibraciones obtenidas en la carretera de tipo asfáltico, en la cual se puede identificar que el neumático 1, el cual tenía ya un tiempo considerable de uso presenta una mayor concentración de vibraciones, es decir, valores más elevados en comparación con los neumáticos 2, 3, 4 los cuales eran nuevos.

También se puede identificar que en el neumático 2 presenta el mayor pico de vibración, el cual se pudo originar por la presencia de un bache en la carretera, el cual es de manera instantánea.

Por otro lado el neumático por menor presencia de ruidos al realizar la ruta de asfalto es el número 4 (color negro), el mismo que posee una banda de rodadura con patrón asimétrico, por lo cual se puede decir que ese tipo de banda de rodadura tiende a desempeñarse de mejor manera en este tipo de terreno.

De igual forma se puede identificar una homogeneidad en el patrón (espectro) y los tiempos de realización de las pruebas experimentales de esta ruta, en el caso del patrón lo único que varía es la intensidad del ruido generado en el neumático.

La presencia de grietas en la carretera asfáltica contribuye para que la generación de vibraciones en el neumático vaya aumentando, la posible disminución de velocidad del auto al desplazarse por este tipo de carretera contribuirá de gran manera a una mejor captación de las vibraciones.

También se puede identificar que los valores de vibración promedio en este tipo de terreno (asfaltado) está comprendida entre valores de 2 a 25 Hz aproximadamente, para todos los neumáticos usados.

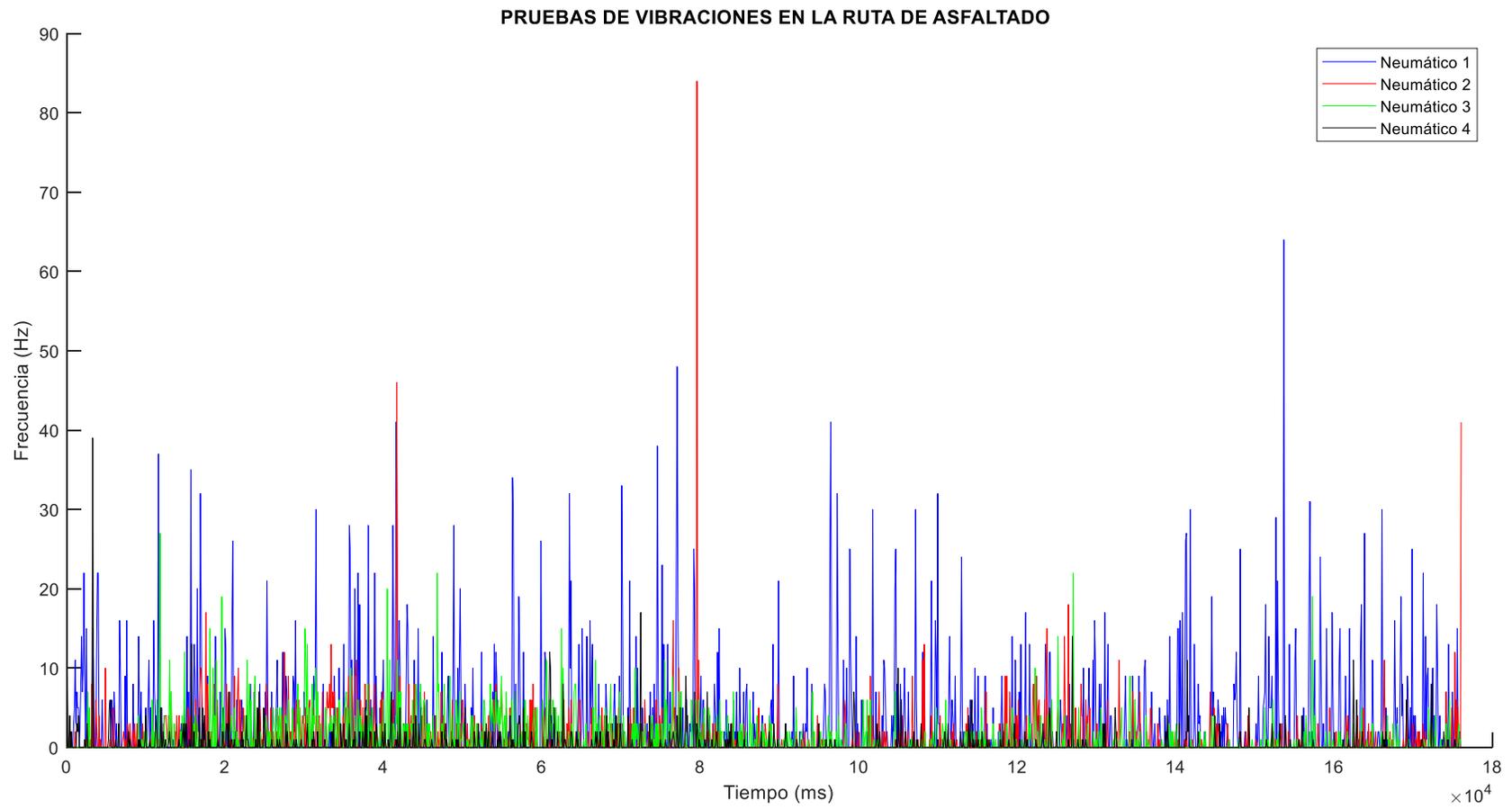
Otra de las particularidades que se puede destacar es que el valor máximo de vibración captada por el sensor es 84 Hz con el neumático número 2 con el patrón simétrico, de igual manera el neumático nro. 1 con el patrón asimétrico experimento un valor máximo de 64 Hz, al final de la prueba.

El neumático nro. 4 experimento un valor máximo de 17 Hz, y de ahí las mediciones son relativamente pequeñas, de lo cual se puede decir que ese neumático es el más adecuado para cuando se desea desplazarse por una carretera de primero orden, por un tiempo considerable de conducción, dado que las vibraciones generadas son mínimas, dado que esta prueba fue realizada a la velocidad constante de 70 km/h, lo asegura que a mayor velocidades su rendimiento será bueno.

La concentración de vibraciones en este tipo de ruta son muy contenidas, es decir, la propia carretera uniforme permite que el contacto de los 4 tipos de neumáticos se dé de manera homogénea, la baja cantidad de vibraciones en esta carretera es esperaría que el desgaste de los neumáticos sea muy bajo, y además de eso la vibración no será detectada por el conductor.

Figura 64

Gráfica comparativa de vibraciones de la ruta de Asfaltado



4.2. Prueba de vibraciones con diferentes neumáticos en adoquín

En la figura 65 los picos de vibración instantáneos detectados por el sensor de vibraciones ya superar los 200 Hz, generados con el neumático 4 de patrón asimétrico, pero en general, todos los neumático presentan picos instantáneos en la parte central de la gráfica, es decir, a medio recorrido, esto tiene su causa por la presencia de reductores de velocidad, así como la topología de la carretera, en la cual se presentaban subidas, bajadas pronunciadas.

Otra de las causas para que de una mayor generación de vibraciones en este tipo de carretera se debe a la superficie de contacto entre el adoquín y el neumático, dado que el adoquín tiende a presentar rugosidad es sus caras y esta parte es la que interactúa con la banda de rodadura del neumático.

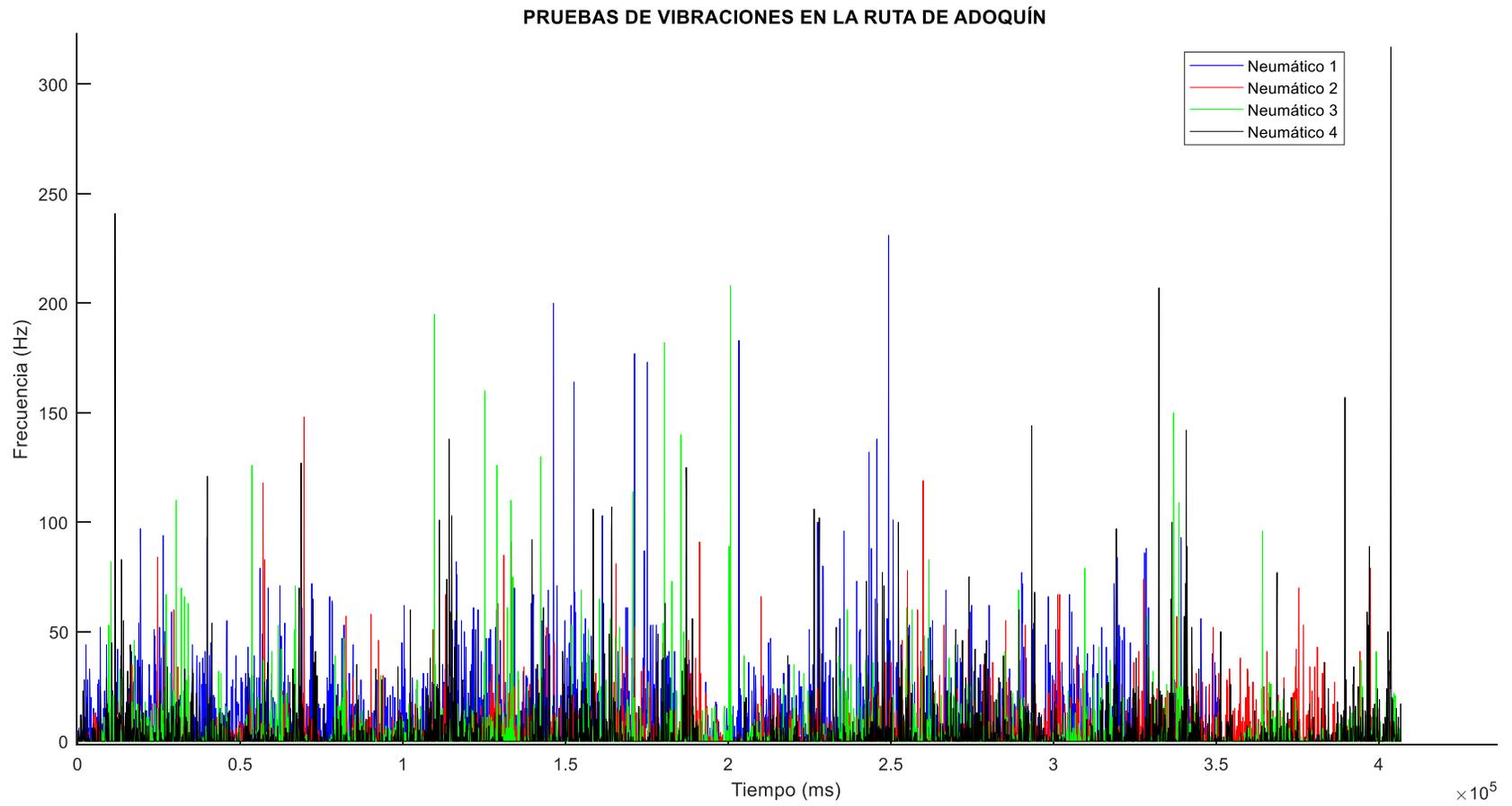
Se puede decir que la medida media de vibración en este tipo de ruta se encuentra alrededor de 50 Hz, el cual a diferencia de la vía asfaltada, entre adoquín y adoquín posee una pequeña grieta, la cual si no sellada adecuadamente puede ocasionar que el este elemento pueda desprenderse, o en otros casos pueda permitir la germinación de algún tipo de planta, como el quicuyo, la cual puede causar que la carretera a simple vista no se notable un desnivel entre un adoquín y otro.

El tener un espacio diminuto entre cada uno de los lados del adoquín, además de su textura fina, ocasiona que el contacto de la banda de rodadura del neumático no sea ideal (100% con la calzada), y con ello se pueda originar la vibración del neumático, cabe destacar que en esta prueba la velocidad fue de 45 km/h, y se dio en el sector urbano de la ciudad de Latacunga.

Los valores vibraciones en este tipo de carretera son un poco mayores, por lo motivos ya descritos anteriormente, principalmente por el contacto que va tener el neumático con este tipo de terreno de adoquín.

Figura 65

Gráfica comparativa de vibraciones de la ruta de Adoquín



4.3. Prueba de vibraciones con diferentes neumáticos en empedrado

Como se esperaba en la figura 66 se puede ver que la vibración del neumático independiente del tipo de banda de rodadura, son más elevados, tomado como referencia las gráficas obtenidas en el asfaltado y el adoquín, es decir, la intensidad por unidad de tiempo aumento.

Esto se debe que en el empedrado donde se realizó las pruebas se tenía una gran cantidad de baches, además en la construcción de dicha carretera se puede ver que las piedras usadas para su elaboración no tenía superficies planas que aseguren un correcto contacto de la banda de rodadura con la piedra, sino que tenía una piedras puntiagudas, que dificultan que el neumático no vibre erráticamente al transitar.

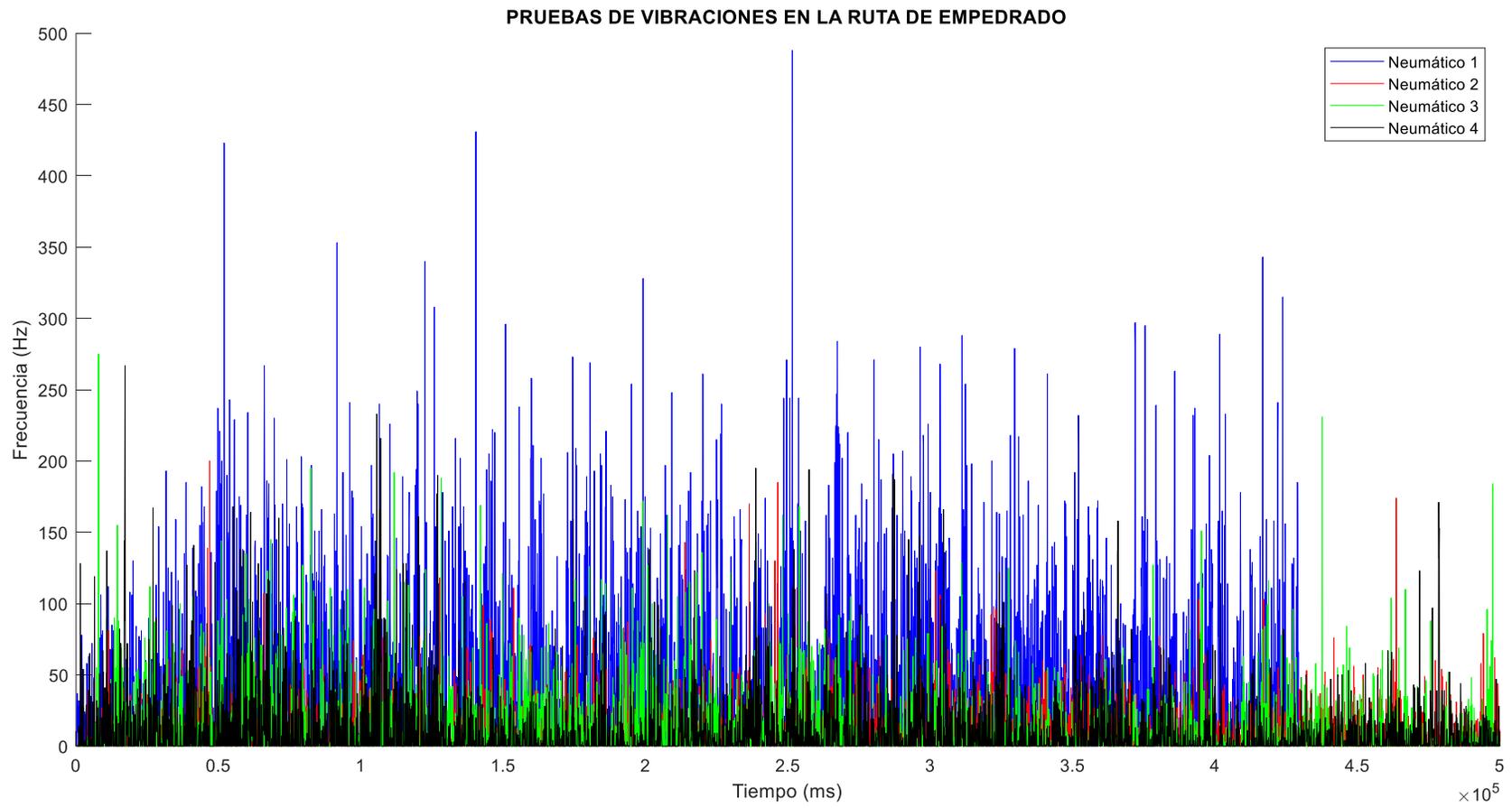
Uno de los neumáticos que más sufrió en este tipo de carretera fue el numero 1 el cual ya tenía un desgaste considerable, por lo cual su contacto fue más notorio, dado que su banda de rodadura no tiende a amortiguar las irregularidades presentes en la vía al realizar la prueba.

Los 3 neumáticos nuevos (nro. 2, 3, 4) al tener una banda de rodadura en perfecto estado tienden a absorber de mejor manera las vibraciones del contacto irregular de la carretera, originando que los picos de vibraciones captadas estén en un rango desde los 50 a 200 Hz.

Otra observación que se pudo identificar a realizar la prueba en esta tipo de terreno, fue que algunas piedras estaban libres, permitiendo que se generen nuevas irregularidad, también se puede ver que en la parte de las curvas, las piedras estaban tan sueltas que salían volando al pasar por ahí con el vehículo.

Figura 66

Gráfica comparativa de vibraciones de la ruta de Empedrado



4.4. Prueba de vibraciones con diferentes neumáticos en arena (suelo natural)

En este tipo de carretera a diferencia de empedrado la mayor intensidad de vibraciones registradas esta al inicio de la prueba, llegando a marcar 326 Hz con el neumático número 1.

En la gráfica 67 se puede identificar que el neumático con patrón asimétrico (neumático nro. 4), genera una gran cantidad de vibraciones instantáneas en la parte media de la gráfica.

Por su parte el neumático con patrón direccional en “V” sus valores picos de vibración instantánea se da de 168 Hz, mientras que en el tramo inicial sus valores de vibración están en un rango de 20 a 80 Hz.

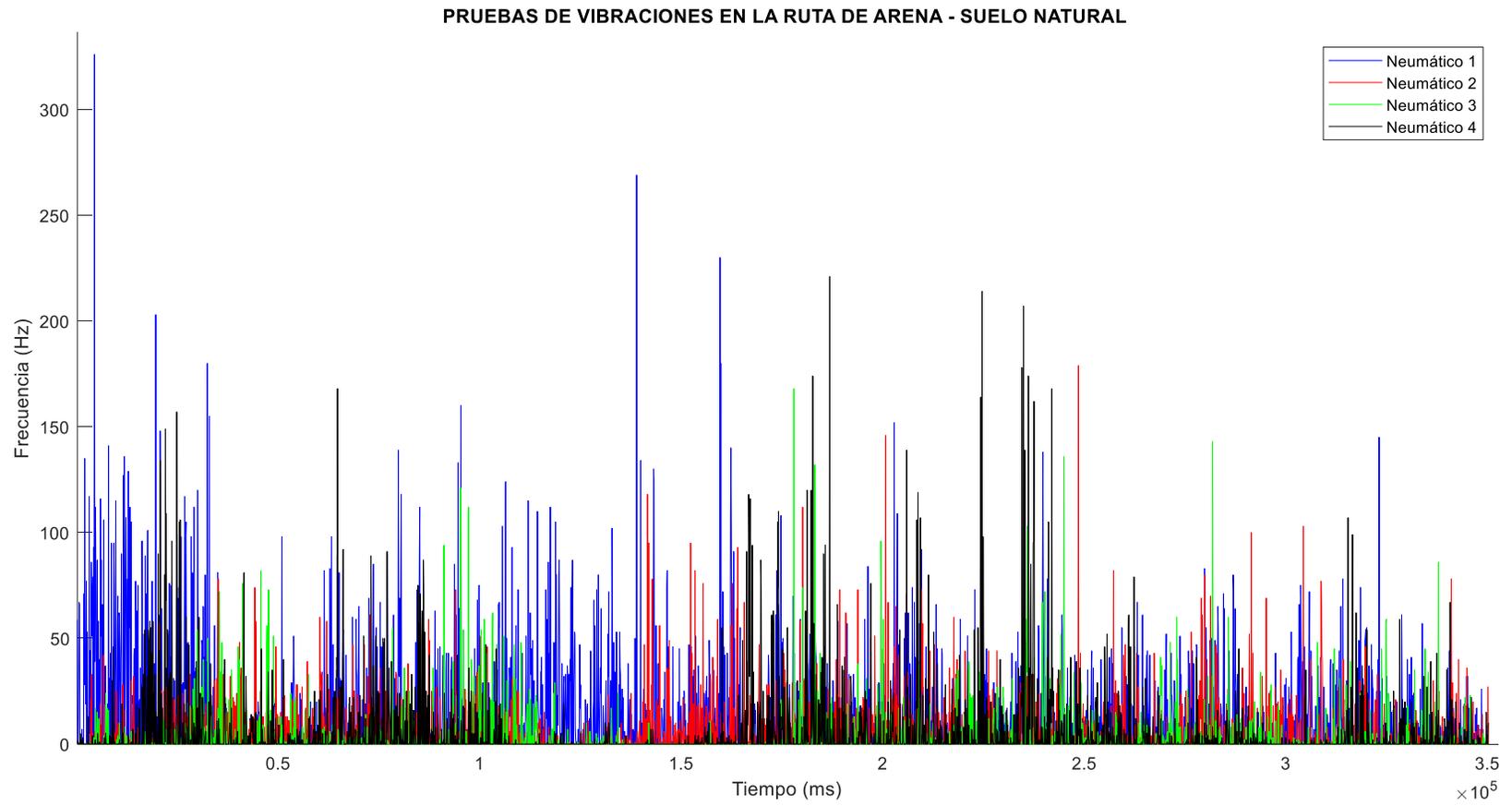
En esta grafica se puede observar cómo se da un comportamiento diferente entre uno tipo de neumático y otro, teniendo presente que las mediciones fueron tomadas en los mismos puntos de inicio y de finalización.

Al realizar la prueba tuvimos que pasar por un pequeño puente de cemento, y dicho paso se evidencio en la reducción de vibraciones en el tramos de 4 a 6×10^4 ms, llegando a tener valores de 20 Hz, debido al buen contacto del neumático con la superficie de la carretera.

Casi al final de la prueba en este tipo de terreno se tenía unos montículos de arena, lo cual origino eso picos de vibraciones al final de la gráfica.

Figura 67

Gráfica comparativa de vibraciones de la ruta de Arena



4.5. Prueba de ruidos con diferentes neumáticos en asfalto

En la gráfica 68 se puede ver que el valor de intensidad de sonido máxima esta por los 222,70 dB, con el neumático número 2 de patrón simétrico de manera instantánea, este neumático tiene la particularidad de marcar valores elevados de ruido, superiores a los 200 dB, por lo cual se puede dar cuenta que este valor obtenido de ruido es combinado, por una parte el ruido propio del neumático y otros externos, como lo es el viento, o el tránsito que ahí se desarrolló en la carretera en el momento de la prueba.

También se puede notar que los valores mínimos de ruidos detectados es este tipo de terreno esta de 83,87 dB, dado que si recordamos la parte de teoría en la tabla 4 para vehículo livianos el valor esta de 88 dB, por lo cual se puede decir que los 4 neumáticos cumplen con ese valor de ruido en la prueba.

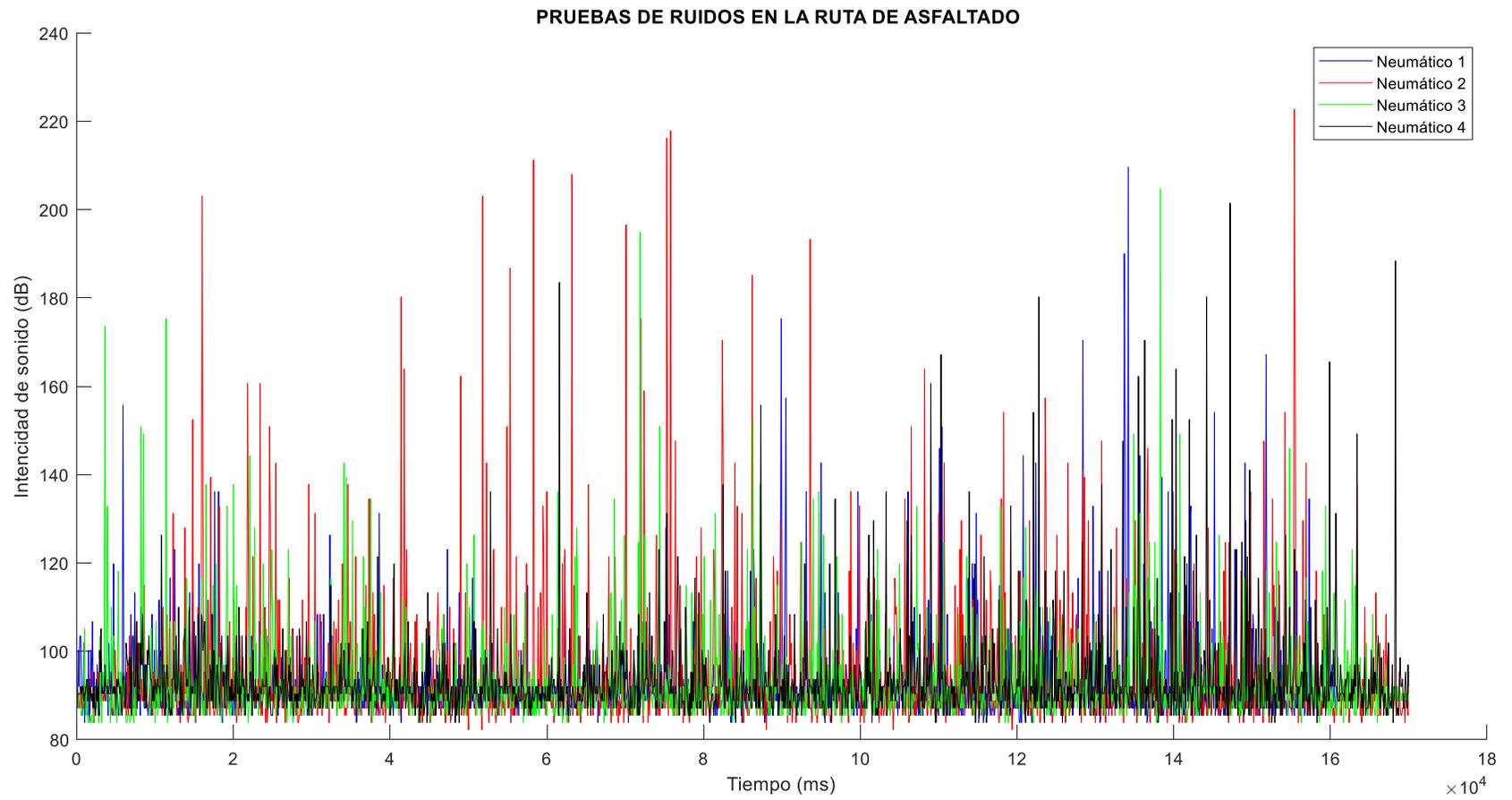
Se puede identificar que en la parte final de la prueba se tiene un incremento de ruido captado por el sensor, esto se debe a que en ese punto ya llegábamos al área urbana de Latacunga.

La onda de ruido obtenido de los neumáticos 3 y 4 (patrón direccional "V" y asimétrico respectivamente) tiende a ser de tipo fluctuante con valores contantes de ruido, y por otro lado la onda del neumático número 1 y 2, es más semejante a una onda de ruido impulsivo repetitivo.

La gran sensibilidad del sensor de ruido aplicado para la medición en asfaltado tuvo un desempeño adecuado, dado que sus mediciones obtenidas son la combinación del neumático y los exteriores.

Figura 68

Gráfica comparativa de ruidos de la ruta de Asfalto



4.6. Prueba de ruidos con diferentes neumáticos en adoquín

En la figura 69 se puede notar que los valores mínimos de ruidos detectados es este tipo de terreno esta de 83,87 dB, dado que si recordamos la parte de teoría en la tabla 4 para vehículo livianos el valor esta de 88 dB, por lo cual se puede decir que los 4 neumáticos cumplen con ese valor de ruido en la prueba.

En el neumático número 1 se pudo identificar un valor de ruido instantáneo muy elevado de alrededor de los 172,10 dB, el cual se pudo ser el resultado de los ruidos de la zona urbana donde se desarrolló la prueba.

A comparación con la figura 68 estos valores son más bajos, es decir, que el neumático tiende a generar menor cantidad de ruido en el adoquín, o de que los factores externos en este caso eran mucho menores, y por ello no las mediciones captadas por el sensor de ruido son menores.

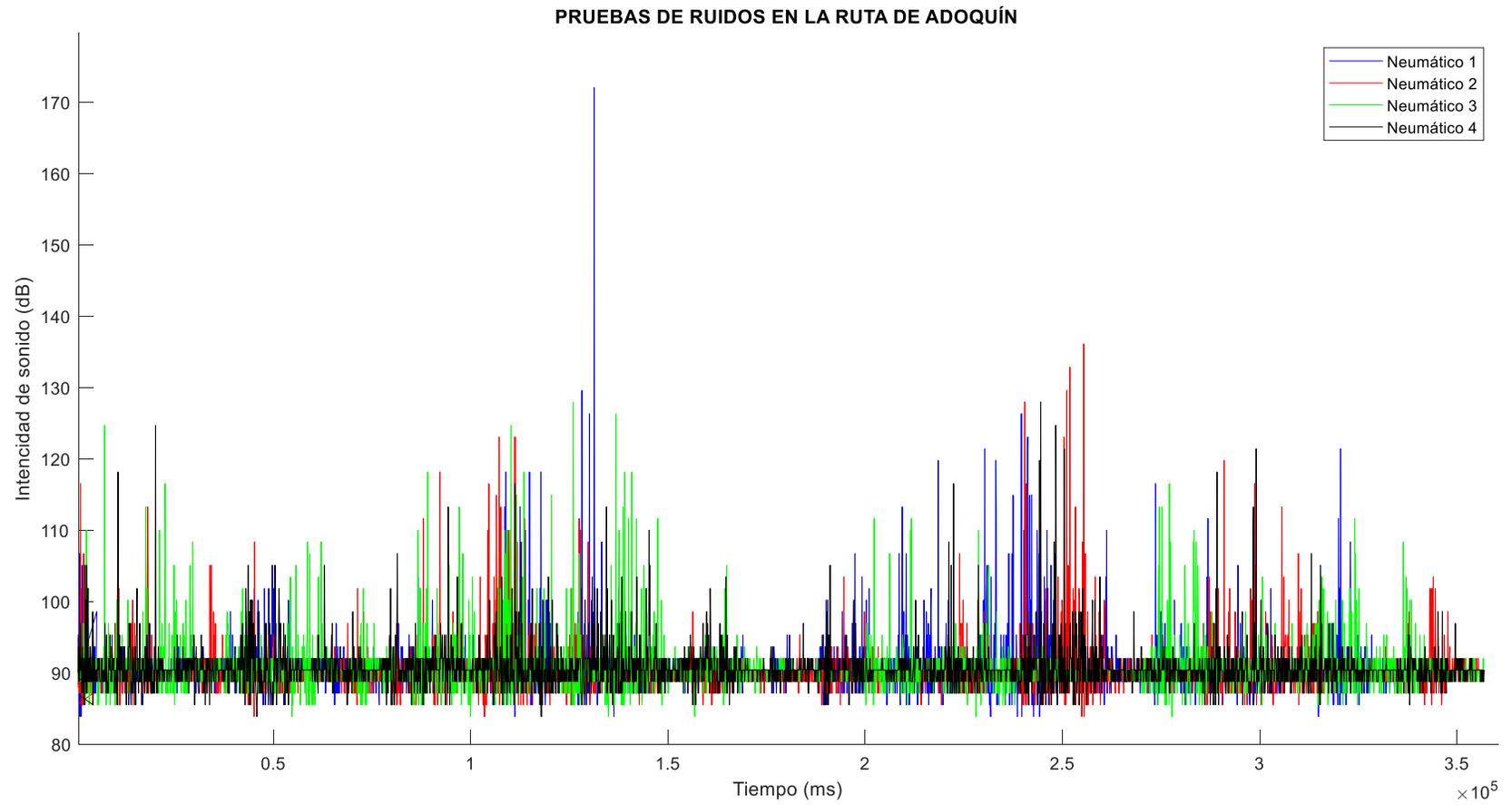
La onda generada por el neumático 4 de patrón asimétrico, tiende a presentar un patrón homogéneo durante toda la prueba de ruta realizada.

La onda generada por el neumático 3 de patrón direccional "V", al inicio presenta algunos picos de ruido, que fue detectado por el sensor de ruido, llegando a tener un valor pico instantáneo de 124 dB, los cuales se producen en un lapso de tiempo muy reducido, debido a las mediciones por segundo realizadas.

La onda generada por el neumático 2 de patrón simétrico, tendió a dar valores picos en el último tramo de carretera.

Figura 69

Gráfica comparativa de ruidos de la ruta de Adoquín



4.7. Prueba de ruidos con diferentes neumáticos en empedrado

En la figura 70 se puede notar que los valores mínimos de ruidos detectados es este tipo de terreno esta de 85 dB, dado que si recordamos la parte de teoría en la tabla 4 para vehículo livianos el valor esta de 88 dB, por lo cual se puede decir que los 4 neumáticos cumplen con ese valor de ruido en la prueba.

La onda de ruido generado por los diferentes tipos de neumáticos es de tipo fluctuante a lo largo del tiempo.

Los rangos de ruido captados por el sensor durante la realización de este tipo de prueba esta aproximadamente entre 120 a 85 dB.

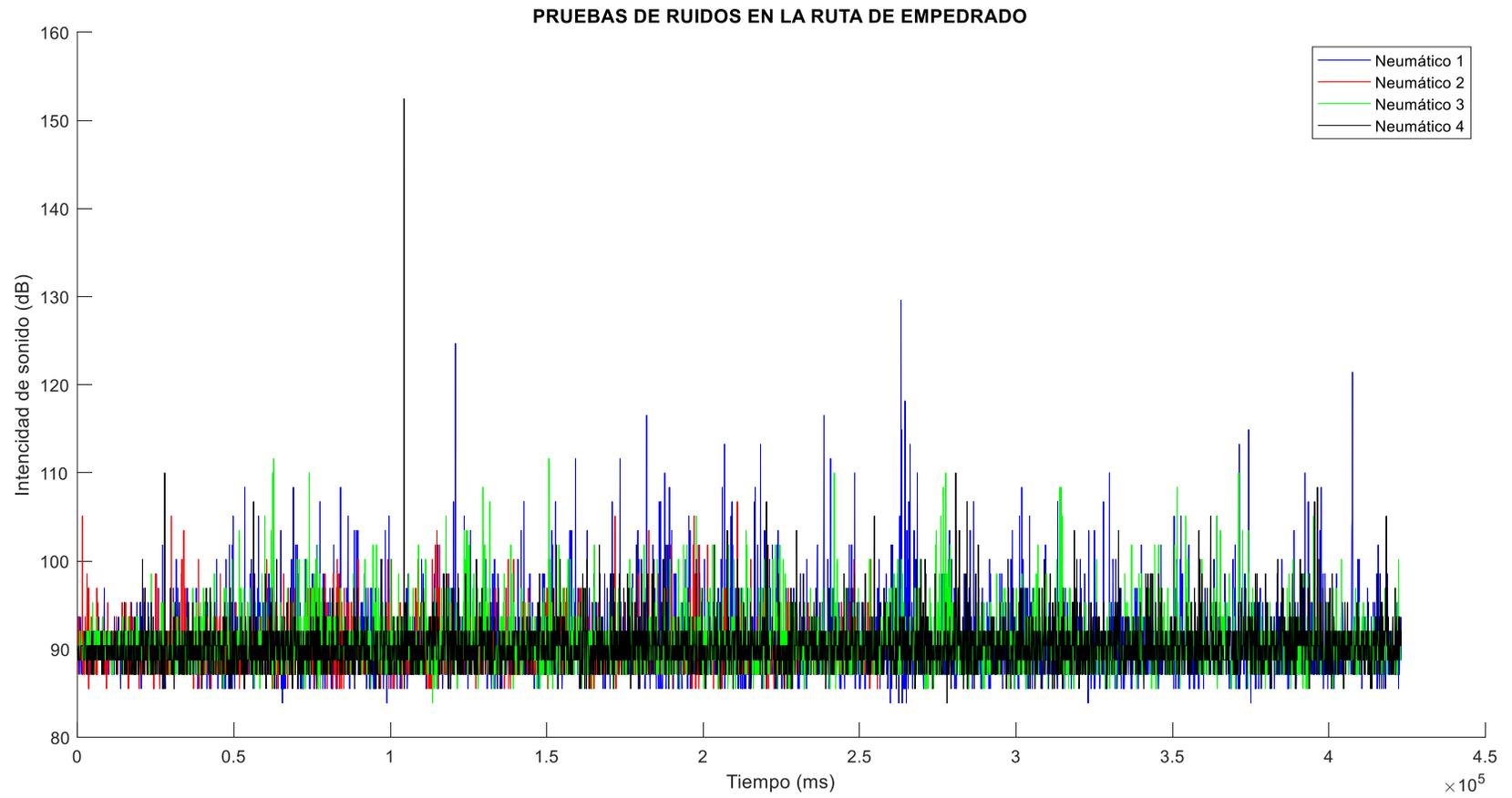
El neumático con la presencia de desgaste no genera un valor de ruido muy elevado, por el contrario los valores obtenidos son muy homogéneos.

Las ondas obtenidas de las diferentes pruebas dan a conocer una semejanza de forma sin tener en cuenta el tipo de patrón de banda de rodadura.

La diferencia que se tiene de los valores de esta prueba vs los valores obtenidos en el asfaltado se debe principalmente a que la carretera es muy silenciosa, el tránsito de autos es muy bajo, lo cual ayuda a que el sensor de ruido no capte señales parasitas del entorno por donde circula el automóvil.

Figura 70

Gráfica comparativa de ruidos de la ruta de Empedrado



4.8. Prueba de ruidos con diferentes neumáticos en arena (suelo natural)

En la figura 71 se puede notar que los valores mínimos de ruidos detectados es este tipo de terreno esta de 85,50 dB, dado que si recordamos la parte de teoría en la tabla 4 para vehículo livianos el valor esta de 88 dB, por lo cual se puede decir que los 4 neumáticos cumplen con ese valor de ruido en la prueba.

La onda generada por el neumático 4 de patrón asimétrico en esta carretera tiende a forma de un ruido continuo intermitente, generando solo un pico instantáneo de 152,50 dB.

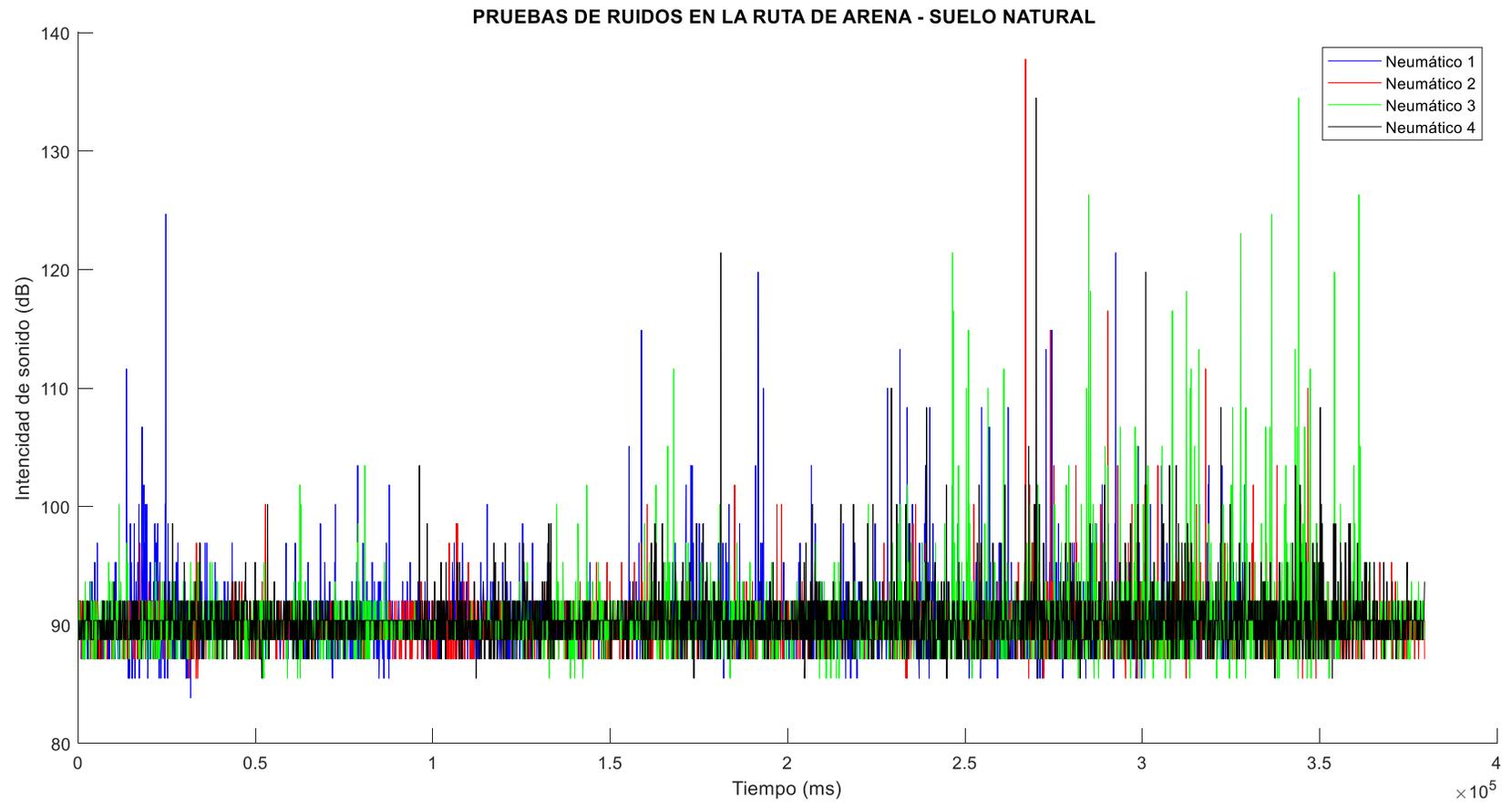
La diferencia que se tiene de los valores de esta prueba vs los valores obtenidos en el asfaltado y adoquín se debe principalmente a que la carretera es muy silenciosa, el tránsito de autos es muy bajo, lo cual ayuda a que el sensor de ruido no capte señales parasitas del entorno por donde circula el automóvil.

Los neumáticos que presentaron una mayor generación de ruido en este tipo de terreno son el neumático 1, 2, 3 (patrón asimétrico, simétrico, y direccional en "V"), lo cuales entre sí, tienen a formar un patrón de onda muy uniforme entre ellos.

En este caso la intensidad de toma de lecturas es muy contante y no existen cortes en los datos recabados por el sensor de ruido

Figura 71

Gráfica comparativa de ruidos de la ruta de Arena



Capítulo V

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

- Con el fin de comparar la generación del ruido y vibración en el neumático se optó por usar cuatro rutas con diferente tipo de terreno, por lo cual se tiene el asfaltado, adoquín, empedrado y arena o suelo natural.
- Según los resultados obtenidos de las pruebas de vibraciones, tomando como referencia el neumático 1 con patrón de rodadura asimétrico, para el asfaltado el valor máximo fue de 64 Hz, en el adoquín es de 231 Hz, en empedrado es de 488 Hz, y en arena (suelo natural) se tiene 326 Hz, con lo cual se evidencia claramente que el tipo de terreno influye directamente en la generación de vibraciones del neumático, debido al contacto que puede llegar a experimentar dicho elemento con la superficie de la carretera, así como los defectos propios como son los baches y agrietamientos.
- Según los resultados obtenidos de las pruebas de ruido, tomando como referencia el neumático 2 con patrón simétrico, para el asfaltado el valor máximo fue de 217 dB, en el adoquín es de 136 dB, en empedrado es de 106,30 dB, y en arena (suelo natural) se tiene 137,70 dB, con lo cual se ratifica que el tipo de terreno influye directamente en la generación de ruido del neumático.
- De los resultados obtenidos en las pruebas de ruido en asfaltado se pudo identificar valores que superan los 200 dB, algo muy perjudicial para el oído del ser humano, pero cabe destacar que esas mediciones son de tipo instantáneo de alrededor de una milésima de segundo, por lo cual su efecto no es percibido por el conductor del auto y sus acompañantes.
- También se puede concluir que según el tipo de patrón de rodadura del neumático los valores picos de ruido y vibraciones varían, para lo cual se

va tomar en cuenta el tipo de terreno de arena (suelo natural), con lo que el neumático 1 (patrón asimétrico) se tiene valores de 326 Hz y 124,70 dB, en el neumático 2 (patrón simétrico) son de 179 Hz y 137,70 dB, en el neumático 3 (patrón direccional "V") son de 168 Hz y 134,50 dB, y en el neumático 4 (patrón asimétrico) son de 221 Hz y 121,40 dB, cabe también destacar que los neumáticos 2,3,4 fueron nuevos, y el neumático 1 ya contaba con un tiempo considerable de uso.

- Según los datos obtenidos en la pruebas de ruido del neumático se pudo identificar que los valores medios están en un rango de 85 a 110 dB, lo cuales son considerados como valores de ruido alto y muy alto de acuerdo a lo revisado en la tabla 1 del capítulo 2, causando en las personas una sensación de molestia en su oído, es decir, una ligera sensación de sordera momentánea.
- Según los resultados obtenidos de las pruebas de ruido, con el uso del sensor de ruido se puede evaluar que las mediciones obtenidas son la combinación de varios ruidos, es decir, las propias del neumático y de otros ruidos externos de la carretera, como el flujo de vehículos al realizar las pruebas en la ruta, entre otros.

5.2. Recomendaciones

- Para un análisis más a profundidad se recomienda efectuar pruebas con diferentes condiciones del auto, es decir, una con el estado inicial de auto y luego otro con balanceo y alineación de acuerdo a los parámetros del fabricante, así como en condición de sin carga y con carga.
- Para futuras investigaciones se recomienda la realización de un tipo de estructura que permita aislar al neumático de los ruidos externos, para el desarrollo de las mediciones de ruido.
- También se recomienda para la medición de ruidos en el neumático incorporar más de un sensor de ruido en diferentes ubicaciones, de tal forma que se pueda ampliar la base de datos para el respectivo análisis.
- Para la adquisición de datos con los equipos de medición (de ruido y vibración) se recomienda el uso de escalas de tiempo muy reducidas, con el fin de captar cualquier variación considerable para el análisis.
- De igual forma se aconseja para la adquisición de datos el uso de equipos de medición con certificaciones internacionales, para tener un mayor rango de confiabilidad en los datos obtenidos, para lo cual se debe tomar en cuenta el tamaño y forma que va tener dicho elemento para su ubicación en el auto.
- Asimismo se recomienda el uso de una aplicación móvil de odómetro y velocímetro, para verificar el cumplimiento de las distancias recorridas y velocidad de desplazamiento predefinidas del auto en cada una de las pruebas.
- Finalmente se recomienda dar a conocer los beneficios que se logra alcanzar con el control efectivo de la generación de ruidos y vibraciones

en cada uno de los tipos de terreno, tanto para las personas dentro del auto y a sus alrededores.

Bibliografía

- Aguilera, L., Herrera, A., Torres, M., González, M., & González, E. (2010). Estudio acústico–estructural de la cabina de un vehículo automotriz. *Ingeniería, investigación y tecnología*.
- ALIGNMENT. (2019). *Tire balance vs. Alignment: which one do you need?* Obtenido de <https://www.firestonecompleteautocare.com/blog/alignment/tire-balance-vs-alignment/>
- Ayuntamiento de Madrid. Área de Gobierno de Medio Ambiente. (2008). *La medición del ruido*. Obtenido de http://aprendersinruidomadrid.com/para_conocer/la-medicion-del-ruido.htm
- Bridgestone Off-The-Road Tire Peru. (2019). *¿Cuales son los materiales usados para elaborar los neumáticos?* Obtenido de <https://www.otr.bridgestone.com.pe/materialesllanta/>
- Cárdenas, J. (2013). *Diseño geométrico de carreteras*. Colombia: Ecoe Ediciones.
- CIP. (s.f.). *Norma técnica que establece los límites permisibles de ruido ambiente para fuentes fijas y fuentes móviles*.
- Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE). (2016). *Reglamento n.o 117 : Disposiciones uniformes relativas a la homologación de neumáticos por lo que se refiere a las emisiones de ruido de rodadura, a la adherencia en superficie mojada y/o a la resistencia a la rodadura [2016/1350]*. Diario Oficial de la Unión Europea. Obtenido de <http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29docstts.html>
- Consortio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador - CONGOPE. (2019). *Plan de Desarrollo Vial Integral de la Provincia de Cotopaxi*. Quito.
- Dalmaua M.E., J. L., J., K., & Marzoccaa, A. (2014). Estudio y caracterización de modos normales en neumáticos para vehículos de pasajeros. *ANALES AFA*, 214-219.
- Energiza. (2018). *Norma 10816-21: Análisis de vibraciones en aerogeneradores*. Obtenido de https://www.energiza.org/index.php?option=com_k2&view=item&id=1344:norma-10816-21-an%C3%A1lisis-de-vibraciones-en-aerogeneradores
- Equipos y Laboratorio de Colombia S.A.S. (s.f.). *Análisis de vibraciones*. Obtenido de <https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/analisis-de-vibraciones>

- Griffin, M. (s.f.). *Vibraciones*. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2012). *Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2096: Clasificación de los neumáticos*. Quito.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (2014). *Aspectos ergonómicos de las vibraciones*. Madrid: NIPO.
- Lagos, S. (2014). *Estudio de vibraciones mediante Cepstrum y comparación con otras técnicas para diagnosticar fallas en rodamientos y engranajes*. Concepción: Universidad del Bío-Bío.
- Maxxis Technology Center & Department of Mechanical Engineering. (s.f.). *Influence of road texture on tire/road noise*. United States.
- National Center for Environmental Health. (2019). *What Noises Cause Hearing Loss?* Obtenido de https://www.cdc.gov/nceh/hearing_loss/what_noises_cause_hearing_loss.html
- Norton, R. (2009). *Diseño de maquinaria: Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos* (Quinta ed.). México: McGraw Hill Interamericano.
- RTVE.es. (2010). *Niveles de decibelios (dB) en nuestro entorno*. Obtenido de <https://www.rtve.es/noticias/20100328/niveles-decibelios-db-nuestro-entorno/322078.shtml>
- Sanz, C. (2012). *Técnicas para el estudio acústico en vehículos (Noise, Vibration and Harshness)*. Gandia: Universidad Politecnica de Valencia.
- Staffordshire County Council. (s.f.). *Road surface defects*. Obtenido de <https://www.staffordshire.gov.uk/Highways/Problems-with-roads/Road-surface-defects.aspx>
- Tecnologías Automotrices Especializadas. (s.f.). *Alineación del vehículo*. Obtenido de <https://german7644dotcom.wordpress.com/alineacion-del-vehiculo/#:~:text=B%C3%A1sicamente%20una%20alineaci%C3%B3n%20consiste%20en,de%20acuerdo%20a%20especificaciones%20prescritas.>
- TWI GLOBAL. (s.f.). *What is vibration analysis and what is it used for?* Obtenido de <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/vibration-analysis#Advantages>
- Vidroiu, N., & Co., N. C. (2011). *Vibration Analysis for Managers*. Obtenido de <https://www.pumpsandsystems.com/vibration-analysis-managers>

ANEXOS