



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Análisis del comportamiento de la suspensión de un vehículo de turismo segmento "C" y su influencia en la generación del ruido y la vibración en los neumáticos

Velasco Delgado, Edgar Fabián

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.

03 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, **“Análisis del comportamiento de la suspensión de un vehículo de turismo segmento "C" y su influencia en la generación del ruido y la vibración en los neumáticos”** fue realizado por el señor **Velasco Delgado, Edgar Fabián** 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, 03 de febrero del 2022



Firmado electrónicamente por:

**HENRY
HERIBERTO**

Ing. Iza Tobar, Henry Heriberto Mgs.

CC. 0502005242

REPORTE DE VERIFICACIÓN DE CONTENIDO



TRABAJO DE UIC_VELASCO FABIAN (wecompress.com).docx

Scanned on: 12:20 February 4, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	285
Words with Minor Changes	46
Paraphrased Words	293
Ommited Words	0



Escanea este código QR para
HENRY
HERIBERTO



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

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Velasco Delgado, Edgar Fabián** con cédula de ciudadanía N°**1722742333**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de Unidad de Integración Curricular: **“Análisis del comportamiento de la suspensión de un vehículo de turismo segmento "c" y su influencia en la generación del ruido y la vibración en los neumáticos”** es de propia 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, 03 de febrero del 2022

Velasco Delgado, Edgar Fabián

C.C.: 1722742333



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

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Velasco Delgado, Edgar Fabián** con cédula de ciudadanía N°**1722742333**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de Unidad de Integración Curricular: **“Análisis del comportamiento de la suspensión de un vehículo de turismo segmento "c" y su influencia en la generación del ruido y la vibración en los neumáticos”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de propia responsabilidad.

Latacunga, 03 de febrero del 2022

Velasco Delgado, Edgar Fabián

C.C.: 1722742333

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo investigativo a mis padres Vicente Velasco y Mercedes Delgado que día a día se esforzaron por darme lo necesario para mi formación, pese a las necesidades, siendo ellos el pilar fundamental de mi vida, mi motivación cada día y por los cuales me he esforzado para lograr esta meta tan anhelada en mi vida, siempre recordando sus sabias palabras que la mejor herencia que me pueden dejar es la “educación” y diciéndome constantemente que soy capaz de lograr todo lo que me proponga con el esfuerzo y dedicación. Gracias, papi y mami por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, por ustedes he logrado cumplir mi anhelado sueño.

VELASCO DELGADO, EDGAR FABIÁN

Agradecimiento

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la vida y la fuerza necesaria para la culminación de mis estudios y poder cumplir esta meta tan anhelada.

Agradezco de todo corazón a mis padres por siempre estar pendientes de mi persona y por brindarme la fuerza necesaria para seguir adelante y no rendirme en el transcurso de mi formación profesional, apoyándome moral y económicamente Dios le pague infinitamente.

A mi hermana Mercedes y Carmen por brindarme su cariño a diario y motivarme a culminar mi carrera profesional.

A toda mi familia, amigos y conocidos en general que confiaron en mí y estuvieron pendientes a lo largo de mi etapa universitaria.

Finalmente agradezco por su ayuda incondicional quien ha sido mi tutor de proyecto al Ing. Henry Iza Mgs. por guiarme en el desarrollo del presente trabajo.

VELASCO DELGADO, EDGAR FABIÁN

Tabla de contenidos

Carátula.....	1
Certificación	2
Reporte de verificación de contenido	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.....	22
Abstract.....	23
Introducción	24
Antecedentes investigativos	24
Planteamiento del problema	24
Justificación e importancia.....	25
Objetivos del proyecto	26
<i>Objetivo general</i>	26

<i>Objetivos específicos</i>	26
Metas	27
Variables de investigación	27
<i>Variable dependiente</i>	27
<i>Variable independiente</i>	27
Hipótesis	28
Fundamentación teórica	29
La suspensión	29
Configuraciones de la suspensión	30
<i>Suspensión de ballestas</i>	30
<i>Suspensión de eje rígido</i>	31
<i>Sistema de suspensión de eje semirrígido</i>	31
<i>Sistema de suspensión independiente</i>	32
<i>Sistema de suspensión McPherson</i>	33
Ventajas de la suspensión McPherson	34
Desventajas de la suspensión McPherson	34
Funcionamiento de la suspensión McPherson	35
Suspensión de doble horquilla	35
<i>Ventajas de la suspensión de doble horquilla</i>	35
<i>Desventajas de la suspensión de doble horquilla</i>	36
Elementos de la suspensión	37
La función de la suspensión	38
Ángulo de las ruedas	39

<i>Ángulo de convergencia</i>	39
<i>Ángulo de incidencia (avance o caster)</i>	40
<i>Ángulo de inclinación (caída o camber)</i>	41
Presión de inflado	42
Metodología de desarrollo del proyecto y Resultados Obtenidos	44
Metodología empleada en las pruebas	45
Caracterización de las rutas	46
<i>Condiciones ambientales</i>	49
<i>Velocidad del vehículo por ruta</i>	49
Equipos de medición	49
<i>Analizador de vibraciones</i>	50
Elaboración del analizador de vibraciones	50
<i>El sonómetro</i>	55
Elaboración del sonómetro	55
Características técnicas del vehículo empleado	58
<i>Preparación de la suspensión previo a los ensayos</i>	59
Revisión del estado de la suspensión	60
Balanceo de los neumáticos del vehículo	61
Alineación del vehículo.....	62
Revisión de la presión de inflado	64
<i>Neumáticos empleados en los ensayos</i>	64
Tipos de neumáticos empleados	65
<i>Instalación de los sensores</i>	66
Instalación de sensor de vibración	66

<i>Instalación del sensor en la suspensión</i>	66
<i>Instalación del sensor en el neumático</i>	67
Instalación de sonómetro	68
<i>Instalación del sensor en la suspensión</i>	68
<i>Instalación del sensor en el neumático</i>	68
Realización de las pruebas	69
<i>Pruebas con analizador de vibraciones.</i>	69
Pruebas en la suspensión	69
<i>Neumático 1 (GOOD YEAR)</i>	69
<i>Neumático 2 (ANCHEE)</i>	72
<i>Neumático 3 (NEXEN)</i>	74
<i>Neumático 4 (SONAR)</i>	76
Pruebas en los neumáticos	78
<i>Neumático 1 (GOOD YEAR)</i>	78
<i>Neumático 2 (ANCHEE)</i>	80
<i>Neumático 3 (NEXEN)</i>	82
<i>Neumático 4 (SONAR)</i>	84
<i>Pruebas con sonómetro</i>	86
Pruebas en la suspensión	86
<i>Neumático 1 (GOOD YEAR)</i>	86
<i>Neumático 2 (ANCHEE)</i>	88
<i>Neumático 3 (NEXEN)</i>	90
<i>Neumático 4 (SONAR)</i>	92
Pruebas en los neumáticos	95
<i>Neumático 1 (GOOD YEAR)</i>	95

<i>Neumático 2 (ANCHEE)</i>	97
<i>Neumático 3 (NEXEN)</i>	100
<i>Neumático 4 (SONAR)</i>	102
Análisis de resultados	105
Análisis de las pruebas de vibraciones	105
<i>Análisis de vibraciones en la suspensión en asfalto (ruta 1)</i>	105
<i>Análisis de vibraciones en la suspensión en adoquinado (ruta 2)</i>	107
<i>Análisis de vibraciones en la suspensión en empedrado (ruta 3)</i>	109
<i>Análisis de vibraciones en la suspensión en suelo natural (ruta 4)</i>	111
<i>Análisis de vibraciones en el neumático en asfalto (ruta 1)</i>	113
<i>Análisis de vibraciones en el neumático en adoquinado (ruta 2)</i>	115
<i>Análisis de vibraciones en el neumático en empedrado (ruta 3)</i>	117
<i>Análisis de vibraciones en el neumático en suelo natural (ruta 4)</i>	119
Análisis de las pruebas de sonómetro	121
<i>Análisis de ruido en la suspensión en asfalto (ruta 1)</i>	121
<i>Análisis de ruido en la suspensión en adoquinado (ruta 2)</i>	123
<i>Análisis de ruido en la suspensión en empedrado (ruta 3)</i>	125
<i>Análisis de ruido en la suspensión en suelo natural (ruta 4)</i>	127
<i>Análisis de ruido del neumático en asfaltado (ruta 1)</i>	129
<i>Análisis de ruido del neumático en adoquinado (ruta 2)</i>	131
<i>Análisis de ruido del neumático en empedrado (ruta 3)</i>	133
<i>Análisis de ruido del neumático en suelo natural (ruta 4)</i>	135
Conclusiones y Recomendaciones	137
Conclusiones	137

Recomendaciones	138
Bibliografía	141
Anexos	144

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Rutas utilizadas en la investigación</i>	46
Tabla 2 <i>Velocidad del vehículo según la ruta establecida</i>	49
Tabla 3 <i>Especificaciones técnicas del vehículo de prueba</i>	59
Tabla 4 <i>Reporte de alineación del vehículo empleado</i>	63
Tabla 5 <i>Presiones de inflado del neumático</i>	65
Tabla 6 <i>Características técnicas de los neumáticos utilizados en las pruebas</i>	65

Índice de figuras

Figura 1 <i>Suspensión de ballestas</i>	30
Figura 2 <i>Suspensión de eje rígido</i>	31
Figura 4 <i>Suspensión independiente</i>	32
Figura 5 <i>Componentes de la suspensión McPherson</i>	34
Figura 6 <i>Sistema de suspensión de doble horquilla</i>	36
Figura 8 <i>Función de la suspensión (adherencia)</i>	39
Figura 9 <i>Ángulos de convergencia y divergencia.</i>	40
Figura 10 <i>Ángulo de incidencia o caster positivo</i>	40
Figura 11 <i>Ángulo de incidencia o caster negativo</i>	41
Figura 12 <i>Sentido del ángulo de inclinación o caída</i>	42
Figura 13 <i>Variación de la presión de inflado en función del contacto con la calzada</i>	43
Figura 14 <i>Ruta Nro. 1: Asfaltado</i>	47
Figura 15 <i>Ruta Nro. 2: Adoquinado</i>	47
Figura 16 <i>Ruta Nro. 3: Empedrado</i>	48
Figura 17 <i>Ruta Nro. 4: Suelo natural</i>	48
Figura 18 <i>Diseño del esquema eléctrico en Proteus</i>	52
Figura 19 <i>Diseño de la PCB en Proteus</i>	52

Figura 20 <i>Carcasa superior e inferior diseñada en Solidworks</i>	53
Figura 21 <i>Colocación de los sensores de vibración en las carcasas</i>	54
Figura 22 <i>Ubicación de los componentes ensamblados en la caja</i>	55
Figura 23 <i>Diseño del esquema electrónico en Proteus 8.8.</i>	56
Figura 24 <i>Distribución en la PCB electrónica en Proteus 8.8.</i>	57
Figura 25 <i>Carcasa del micrófono de audio (Sonómetro)</i>	58
Figura 26 <i>Vehículo empleado para la realización de los ensayos</i>	59
Figura 27 <i>Amortiguador hidráulico Volkswagen Gol 2002</i>	60
Figura 28 <i>Bases de los amortiguadores Volkswagen Gol 2002</i>	61
Figura 29 <i>Engrase de juntas homocinéticas</i>	61
Figura 30 <i>Balanceo de los neumáticos del vehículo</i>	62
Figura 31 <i>Alineación del vehículo de ensayos</i>	62
Figura 32 <i>Software de alineación vehicular</i>	63
Figura 33 <i>Presión de inflado de los neumáticos</i>	64
Figura 34 <i>Instalación del sensor de vibración en la suspensión</i>	67
Figura 35 <i>Instalación del sensor de vibración en el neumático</i>	67
Figura 36 <i>Instalación del sonómetro en la suspensión</i>	68
Figura 37 <i>Instalación del sonómetro en el neumático</i>	69

Figura 38 <i>Prueba de vibración en la suspensión Good Year en el asfaltado</i>	70
Figura 39 <i>Prueba de vibración en la suspensión del Good Year en el adoquinado</i>	70
Figura 40 <i>Prueba de vibración en la suspensión o Good Year en el empedrado</i>	71
Figura 41 <i>Prueba de vibración en la suspensión Good Year en el suelo natural</i>	71
Figura 42 <i>Prueba de vibración en la suspensión Anchee en el asfaltado</i>	72
Figura 43 <i>Prueba de vibración en la suspensión Anchee en el adoquinado</i>	72
Figura 44 <i>Prueba de vibración en la suspensión Anchee en el empedrado</i>	73
Figura 45 <i>Prueba de vibración en la suspensión Anchee en el suelo natural</i>	73
Figura 46 <i>Prueba de vibración en la suspensión Nexen en el asfalto</i>	74
Figura 47 <i>Prueba de vibración en la suspensión Nexen en el adoquinado</i>	74
Figura 48 <i>Prueba de vibración en la suspensión Nexen en el empedrado</i>	75
Figura 49 <i>Prueba de vibración en la suspensión Nexen en el suelo natural</i>	75
Figura 50 .. <i>Prueba de vibración en la suspensión Sonar en el asfaltado</i>	76
Figura 51 <i>Prueba de vibración en la suspensión Sonar en el adoquinado</i>	76
Figura 52 <i>Prueba de vibración en la suspensión Sonar en el empedrado</i>	77
Figura 53 <i>Prueba de vibración en la suspensión Sonar en el suelo natural</i>	77
Figura 54 <i>Prueba de vibración del neumático Good Year en el asfaltado</i>	78
Figura 55 <i>Prueba de vibración del neumático Good Year en el adoquinado</i>	78

Figura 56 <i>Prueba de vibración del neumático Good Year en el empedrado</i>	79
Figura 57 <i>Prueba de vibración del neumático Good Year en el suelo natural</i>	79
Figura 58 <i>Prueba de vibración del neumático Achee en el asfaltado</i>	80
Figura 59 <i>Prueba de vibración del neumático Achee en el adoquinado</i>	80
Figura 60 <i>Prueba de vibración del neumático Achee en el empedrado</i>	81
Figura 61 <i>Prueba de vibración del neumático Achee en el suelo natural</i>	81
Figura 62 <i>Prueba de vibración del neumático Nexen en el asfaltado</i>	82
Figura 63 <i>Prueba de vibración del neumático Nexen en el adoquinado</i>	82
Figura 64 <i>Prueba de vibración del neumático Nexen en el empedrado</i>	83
Figura 65 <i>Prueba de vibración del neumático Nexen en el suelo natural</i>	83
Figura 66 <i>Prueba de vibración del neumático Sonar en el asfalto</i>	84
Figura 67 <i>Prueba de vibración del neumático Sonar en el adoquinado</i>	84
Figura 68 <i>Prueba de vibración del neumático Sonar en el empedrado</i>	85
Figura 69 <i>Prueba de vibración del neumático Sonar en el suelo natural</i>	85
Figura 70 <i>Prueba de sonido en la suspensión Good Year en el asfaltado</i>	86
Figura 71 <i>Prueba de sonido en la suspensión Good Year en el adoquinado</i>	87
Figura 72 <i>Prueba de sonido en la suspensión Good Year en el empedrado</i>	87
Figura 73 <i>Prueba de sonido en la suspensión Good Year en el suelo natural</i>	88

Figura 74 <i>Prueba de sonido en la suspensión del neumático Anchee en el asfalto.....</i>	88
Figura 75 . <i>Prueba de sonido en la suspensión Anchee en el adoquinado.....</i>	89
Figura 76 .. <i>Prueba de sonido en la suspensión Anchee en el empedrado</i>	89
Figura 77 . <i>Prueba de sonido en la suspensión Anchee en el suelo natural.....</i>	90
Figura 78 <i>Prueba de sonido en la suspensión Nexen en el asfalto.....</i>	90
Figura 79 <i>Prueba de sonido en la suspensión Nexen en el adoquinado.....</i>	91
Figura 80 <i>Prueba de sonido en la suspensión Nexen en el empedrado.....</i>	91
Figura 81 . <i>Prueba de sonido en la suspensión Nexen en el suelo natural.....</i>	92
Figura 82 <i>Prueba de sonido en la suspensión Sonar en el asfaltado</i>	93
Figura 83 <i>Prueba de sonido en la suspensión Sonar en el adoquinado.....</i>	93
Figura 84 <i>Prueba de sonido en la suspensión Sonar en el empedrado.....</i>	94
Figura 85 <i>Prueba de sonido en la suspensión Sonar en el suelo natural.....</i>	94
Figura 86 <i>Prueba de sonido del neumático Good Year en el asfaltado.....</i>	95
Figura 87 <i>Prueba de sonido del neumático Good Year en el adoquinado.....</i>	96
Figura 88 <i>Prueba de sonido del neumático Good Year en el empedrado</i>	96
Figura 89 <i>Prueba de sonido del neumático Good Year en el suelo natural.....</i>	97
Figura 90 <i>Prueba de sonido del neumático Anchee en el asfalto</i>	98
Figura 91 <i>Prueba de sonido del neumático Anchee en el adoquinado</i>	98

Figura 92 <i>Prueba de sonido del neumático Anchee en el empedrado.....</i>	99
Figura 93 <i>Prueba de sonido del neumático Anchee en el suelo natural</i>	99
Figura 94 <i>Prueba de sonido del neumático Nexen en el asfalto</i>	100
Figura 95 <i>Prueba de sonido del neumático Nexen en el adoquinado.....</i>	101
Figura 96 <i>Prueba de sonido del neumático Nexen en el empedrado</i>	101
Figura 97 <i>Prueba de sonido del neumático Nexen en el suelo natural.....</i>	102
Figura 98 <i>Prueba de sonido del neumático Sonar en el asfaltado.....</i>	103
Figura 99 <i>Prueba de sonido del neumático Sonar en el adoquinado.....</i>	103
Figura 100 <i>Prueba de sonido del neumático Sonar en el empedrado</i>	104
Figura 101 <i>Prueba de sonido del neumático Sonar en el suelo natural.....</i>	104
Figura 102 <i>Análisis de vibración en la suspensión en la ruta de asfaltado.....</i>	106
Figura 103 <i>Análisis de vibración en la suspensión en la ruta de adoquinado.....</i>	108
Figura 104 <i>Análisis de vibración en la suspensión en la ruta de empedrado</i>	110
Figura 105 <i>Análisis de vibración en la suspensión en la ruta de suelo natural.....</i>	112
Figura 106 <i>Análisis de vibración de los neumáticos en la ruta de asfalto.....</i>	114
Figura 107 <i>Análisis de vibración de los neumáticos en la ruta de adoquinado.....</i>	116
Figura 108 <i>Análisis de vibración de los neumáticos en la ruta de empedrado</i>	118
Figura 109 <i>Análisis de vibración de los neumáticos en la ruta de suelo natural.....</i>	120

Figura 110 <i>Análisis de ruido en la suspensión en asfalto</i>	122
Figura 111 <i>Análisis de ruido en la suspensión en adoquinado</i>	124
Figura 112 <i>Análisis de ruido en la suspensión en empedrado</i>	126
Figura 113 <i>Análisis de ruido en la suspensión en suelo natural</i>	128
Figura 114 <i>Análisis de ruido en los neumáticos en asfaltado</i>	130
Figura 115 <i>Análisis de ruido en los neumáticos en adoquinado</i>	132
Figura 116 <i>Análisis de ruido en los neumáticos en empedrado</i>	134
Figura 117 <i>Análisis de ruido en los neumáticos en suelo natural</i>	136

Resumen

En el presente trabajo de investigación se enfocó en analizar el ruido y la vibración de la suspensión y como esta va a influir en el ruido y vibración de los neumáticos, utilizando cuatro diferentes bandas de rodadura para compararlas entre sí y verificar cual banda de rodadura es la que menor vibración y ruido va a producir, dichos ensayos se realizaron en condiciones ambientales normales para obtener un mínimo margen de error, los ensayos requeridos se realizaron en cuatro diferentes rutas, las cuales son las más transitadas en el Ecuador. Con ayuda del software de Matlab se realizaron graficas mediante la recolección de datos que se pudieron obtener gracias a los instrumentos de medición manufacturados como fueron el analizador de vibraciones y el sonómetro, para así identificar mediante las ondas que obtenidas en dicho software cual neumático va a reducir considerablemente los posibles ruidos no deseados y vibraciones tanto en la suspensión como en el neumático por los picos altos y bajos que tuvieron las mismas, esto se realiza para brindar al usuario un mejor confort al momento de conducir su vehículo de turismo tipo “C” y ayudando a la selección correcta del neumático con la banda de rodadura adecuada para la ruta por donde vaya a transitar el vehículo con más frecuencia.

Palabras claves:

- **RUIDO DE SUSPENSIÓN**
- **VIBRACIÓN DE NEUMÁTICOS**
- **FRECUENCIA VIBRATORIA**
- **INTENSIDAD SONORA**
- **EQUIPOS DE MEDICIÓN ELECTRÓNICOS**

Abstract

In the present research work, the focus was on analyzing the noise and vibration of the suspension and how it will influence the noise and vibration of the tires, using four different treads to compare them with each other and verify which tread is better. The one that will produce the least vibration and noise, these tests were carried out under normal environmental conditions to obtain a minimum margin of error, the required tests were carried out on four different routes, which are the busiest in Ecuador. With the help of Matlab software, graphs were made by collecting data that could be obtained thanks to manufactured measurement instruments such as the vibration analyzer and the sound level meter, to identify, through the waves obtained in said software, which tire is going to be used. Considerably reduce possible unwanted noise and vibrations both in the suspension and in the tire due to the high and low peaks that they had, this is done to provide the user with better comfort when driving their type "C" tourism vehicle and helping the correct selection of the tire with the right tread for the route where the vehicle will travel most frequently.

Keywords:

- **SUSPENSION NOISE**
- **TIRE VIBRATION**
- **VIBRATIONAL FREQUENCY**
- **SOUND INTENSITY**
- **MEASURING EQUIPMENT ELECTRICS**

Capítulo I

1. Introducción

1.1. Antecedentes investigativos

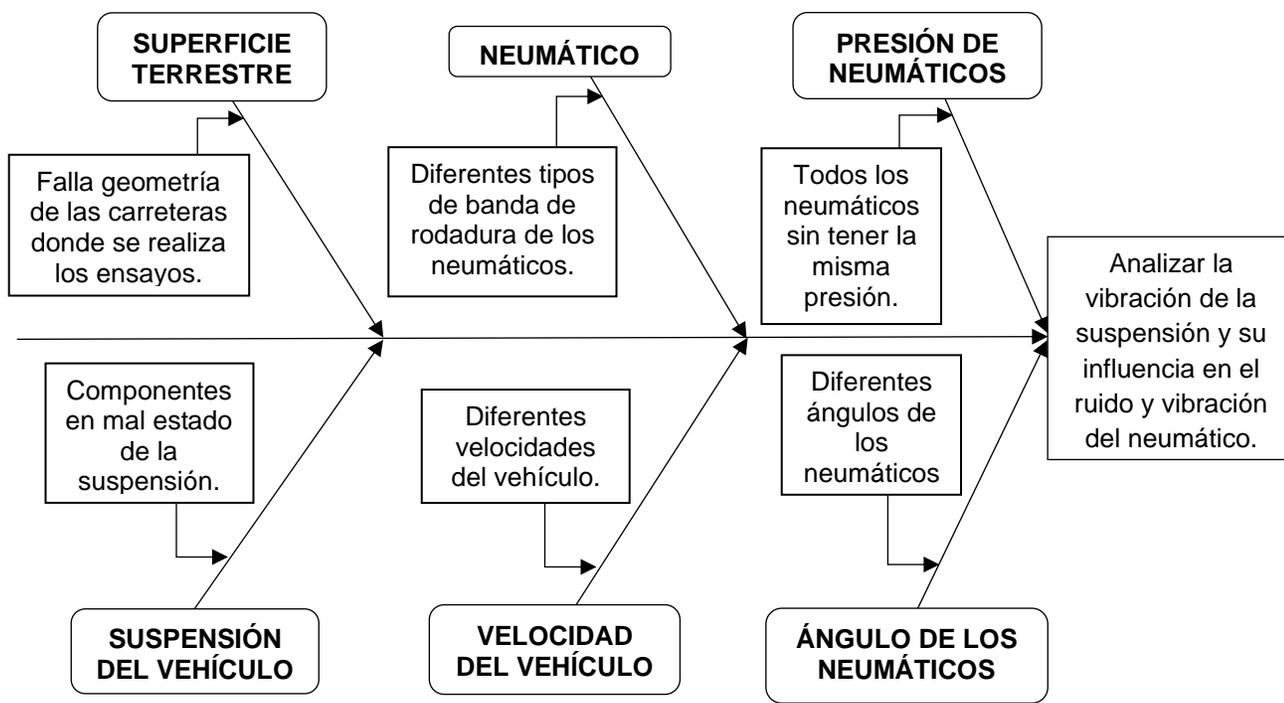
El sonido es el resultado de variaciones de presión pequeñas y rápidas y se propaga en un medio fluido. En el caso del ruido de neumáticos sobre el pavimento el sonido no deseado se propaga en el medio del aire.

La influencia de la suspensión y el ruido que esta ocasiona va directamente a los neumáticos ya que es la estructura que amortigua la vibración del vehículo para así poder dar más confort al que lo conduce, reduciendo estrés, malestares y ayudando a un mejor manejo de los usuarios y acompañantes.

La carretera influirá directamente con el origen del ruido y la vibración del vehículo ya que dependerá mucho de la geometría de la superficie y su estado físico.

1.2. Planteamiento del problema

A continuación, se desarrolla un diagrama causa – efecto.



El presente estudio se basa en la necesidad de entender sobre la carencia que existe acerca de información sobre la posible vibración y ruidos, donde los usuarios carecen de confort ya sea por los diferentes caminos por donde recorre el vehículo.

Concretamente se basará en la suspensión del vehículo, ya que esta es la que regulará las posibles vibraciones y ruidos, conjuntamente a esta se encuentra anclada la velocidad del vehículo que depende como se desempeña las diferentes suspensiones que poseen los distintos vehículos, sus elementos ya que son los que controlan la convergencia y divergencia de los neumáticos.

En el presente proyecto se va a realizar una investigación minuciosa del contacto del neumático y la incidencia que tiene directamente con los diferentes tipos de superficies, para verificar cuando existe la presencia de más vibración o ruido en el vehículo.

Para el proyecto se utilizarán los elementos de medición adecuados para realizar ensayos en las diferentes rutas que se tiene estipulado para la verificación del ruido y vibración del vehículo, estos ensayos son llevados a cabo con la suspensión en sus óptimas condiciones, así como las bandas de rodadura deberán estar en buen estado para una mejor recolección de datos.

Se mostrarán los resultados obtenidos mediante cuadros y tablas didácticas donde se detalla lo que se realizó durante el periodo de ensayos, mediciones para poder dar a conocer al lector de manera más concisa cuál es la incidencia de los neumáticos y la suspensión en cuanto la generación de ruido y vibración.

1.3. Justificación e importancia

En el presente proyecto se pretende analizar las posibles causas que inciden con los neumáticos y con la superficie, ya que en el lugar de residencia tenemos carreteras deterioradas y una mala geografía, estas causas podrían dar origen a ruidos y vibraciones dentro del vehículo, teniendo como consecuencias la disminución del

confort de usuarios dentro del habitáculo y pérdida de estabilidad cuando el vehículo se encuentre a altas velocidades.

La importancia de este proyecto es que muchas personas pasan por alto el rendimiento de los tipos de suspensiones y las diferentes bandas de rodadura siendo estas las que brindan un mejor confort dentro del habitáculo, también es necesario recalcar que es importante tener en cuenta los factores que ocasionan el ruido y vibración para poder efectuar una posible solución o buscar alternativas para la disminución de ruidos y conseguir un mejoramiento en la conducción.

1.4. Objetivos del proyecto

1.4.1. Objetivo general

Analizar la influencia de la suspensión en el ruido y vibración del neumático, mediante instrumentos de medición manufacturados para comprobar los factores de ruido y vibración que inciden directamente la suspensión en las diferentes bandas de rodadura en las diferentes superficies a analizar.

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar los elementos de la suspensión del vehículo que afectan directamente en la generación de ruido y vibración.
- Analizar los puntos que indiquen mayormente a que se produzca la vibración en la suspensión.
- Determinar las diferentes bandas de rodadura que tienen los neumáticos juntamente con su sentido de rotación.
- Identificar las diferentes suspensiones utilizadas en los vehículos.
- Explicar cuál es el funcionamiento de la suspensión en el vehículo y como este ayuda a la disminución de posibles vibraciones y sonidos no deseados.

1.5. Metas

En el presente proyecto se pretende analizar la incidencia del ruido y vibración, con estos resultados que se analizarán se podrá llegar a conclusiones de cuál es la banda de rodadura que ayudará que la suspensión tenga menos ruido y vibración mediante ondas obtenidas con los instrumentos manufacturados.

Poder verificar cuales son los posibles elementos que causan ruidos para una mejora en el confort de los usuarios cuando van por las diferentes superficies y con las bandas de rodadura adecuadas para la suspensión del vehículo a utilizar.

1.6. Variables de investigación

El ruido de llanta sobre la carretera también se conoce como ruido de interacción llanta-carretera se define como el ruido emitido por una llanta que rueda sobre alguna superficie.

La vibración y el sonido que es el que causan los neumáticos juntamente con la superficie de contacto depende mucho de la presión que tengan los neumáticos, el tipo de banda de rodadura.

1.6.1. Variable dependiente

“El ruido y vibración”

El ruido y la vibración es donde nos vamos a centrar para realizar la investigación para realizar una mejora y disminuir la contaminación sonora, ayudando a darle confort al usuario.

1.6.2. Variable independiente

“La suspensión del vehículo”

La suspensión la cual será muy importante analizarla dentro del presente proyecto ya que es la que nos ayudará a verificar cuales son los componentes que causan dichos sonidos molestos y vibraciones, previamente antes de los ensayos esta deberá estar en óptimas condiciones.

1.7. Hipótesis

Una de las principales causas de la producción del sonido no deseado y la vibración es la suspensión y sus componentes ya que esta es la encargada de amortiguar posibles vibraciones para así poder proporcionar mayor confort a los usuarios. Los tipos de suspensión de un vehículo afecta directamente en el origen del ruido y la vibración del vehículo dentro del habitáculo cuando se va por una superficie terrestre y como esta influye en la provocación de estos factores.

Capítulo II

2. Fundamentación Teórica

2.1. La suspensión

“El sistema de suspensión de un automóvil tiene la misión de hacer más cómoda la marcha de este para los pasajeros y contribuir en todo momento a la mayor estabilidad del vehículo. Para cumplir estos objetivos debe tener dos cualidades importantes: elasticidad, que evita que las desigualdades del terreno se transmitan al vehículo en forma de golpes secos, y amortiguación, que impide un balanceo excesivo.”(Alonso, 2001, pág. 93).

El sistema de amortiguación de un vehículo tiene una función principal la cual es absorber las irregularidades que se encuentran sobre la superficie por la cual se desplaza, se encarga de mantener el contacto del neumático con la calzada, proporciona a los usuarios un mejor confort dentro del habitáculo y la seguridad que este requiere cuando este alcanza velocidades máximas en carreteras y así protege a los demás sistemas pasivos del automóvil.

El sistema de suspensión se presenta desde cuando se implementaron las carreteras, siendo estas primeras conformadas por muelles y ballestas, las cuales son hojas metálicas apiladas que tienen como ventaja una gran resistencia por lo general esta suspensión es para los vehículos de carga.

Esta serie de hojas metálicas se encarga de eliminar las oscilaciones producidas por un elemento flexible, también conocidos como elementos disipadores de energía.

El conjunto de hojas metálicas son las encargadas de eliminar las posibles oscilaciones que se produce por un elemento flexible, también son conocidas como elementos que disipan la energía.

2.2. Configuraciones de la suspensión

El sistema de suspensión es uno de los más importantes para el automóvil, así como también se lo cataloga como uno de los más valorados, debido a que, por lo general, realizan un esfuerzo considerable al recibir los golpes de un terreno irregular, ya que colabora así a mantener la estabilidad de este en las diversas situaciones presentadas, es importante recordar que depende mucho del tipo del vehículo para que sea resistente y lo necesariamente cómodo para los pasajeros (Ponce, 2020)

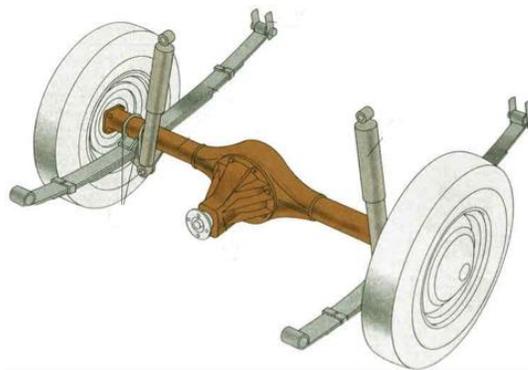
Actualmente existen diferentes tipos de suspensiones, desde las que son simples hasta las más completas que tienen todo el sistema de suspensión optimizado, en el presente proyecto se tratarán de las suspensiones más utilizadas actualmente en los vehículos, las cuales son las siguientes son las más importantes:

2.2.1. *Suspensión de ballestas*

Este tipo de sistema está conformado por una serie de hojas metálicas apiladas, proporcionando como ventaja una gran resistencia, por lo general para los vehículos de carga, se encarga de eliminar las oscilaciones producidas por un elemento flexible, también conocidos como disipadores de energía. (Ponce, 2020)

Figura 1

Suspensión de ballestas



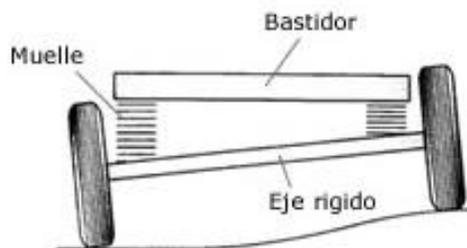
Nota. El número de hojas y el espesor de estas están en función de la carga que han de soportar. Su flexibilidad variable se consigue con la colaboración de hojas suplementaria. Tomado de (Central de repuestos TR, 2017)

2.2.2. Suspensión de eje rígido

El sistema de eje rígido también conocido como uno de los sistemas más básicos y primitivos existentes, durante un largo tiempo fue muy popular y reconocido, debido que en su funcionamiento depende de amortiguadores que van directamente anclados a la barra transversal del puente, pero su desventaja fue no presentar la suficiente estabilidad, uno de los modelos que lo lanzó a la fama fue el Ford Mustang, aunque en la actualidad ha terminado siendo utilizado en vehículos de trabajo y todo terreno. (Riera, 2010)

Figura 2

Suspensión de eje rígido



Nota. En la ilustración se puede identificar como es el funcionamiento de la suspensión de eje rígido, como tal es unida directamente por un eje. Tomado de (Central de repuestos TR, 2017)

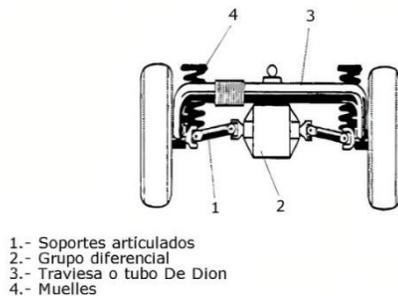
2.2.3. Sistema de suspensión de eje semirrígido

Este tipo de suspensión se asemeja a la suspensión de eje rígido, su diferencia radica en que se monta un brazo adicional que es el encargado de reducir las vibraciones y movimientos respectivos del vehículo según la superficie terrestre donde

se encuentre, por lo general se lo ubica en los vehículos de gamas bajas y medias. Los beneficios de este sistema de suspensión son que las vibraciones que transmite este sistema son menores de una rueda a la otra.

Figura 3

Suspensión de eje semirrígido



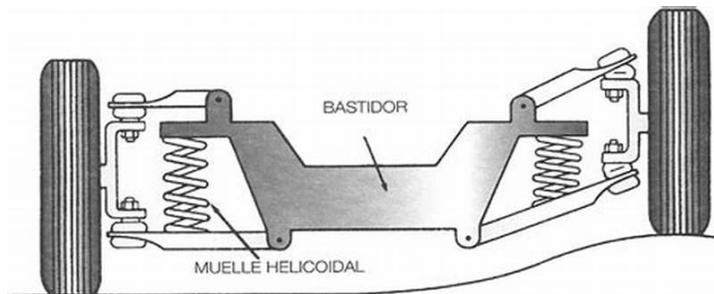
Nota. En la figura se puede ver los elementos de la suspensión de eje semirrígida los cuales son muy parecidos a la suspensión eje rígida. Tomado de (Multiservicio, 2011).

2.2.4. Sistema de suspensión independiente

El sistema de suspensión independiente ha evolucionado constantemente convirtiéndose así al sistema más empleados en la industria automotriz actualmente ya que no se encuentran unidos los neumáticos mediante un eje o un mecanismo similar, es decir, están vinculadas de manera independiente al chasis mediante brazos articulados y la misma se clasifica en diferentes tipos las cuales se detallarán en el presente estudio.

Figura 4

Suspensión independiente



Nota. En la figura se puede ver el sistema de suspensión independiente, claramente se puede ver que cada sistema trabaja autónomamente y es el actualmente utilizado.

Tomado de (CDRwebAdmin, 2017a)

2.2.5. Sistema de suspensión McPherson

“Esta suspensión está constituida básicamente con muelles y amortiguadores, siendo un sistema importante en los vehículos; existen diversos tipos de suspensiones tanto delanteros como traseros, la suspensión McPherson es la más utilizada en la actualidad” (Undes, 2016) citado en (Puruncaja, 2021)

“El sistema de suspensión es el conjunto de elementos que absorben las irregularidades del terreno por el que circula un automóvil, camión o motocicleta para aumentar el confort y el control del vehículo” (Martínez Obando & Morán Yépez, 2012)

Las funcionalidades más importantes que tiene el sistema de suspensión son mantener el peso específico del vehículo manteniendo el centro de gravedad de este,

Las funcionalidades más importantes del sistema de suspensión de un vehículo son mantener el peso de este, absorber las sacudidas de marcha, permitir al conductor guiar el vehículo eficientemente, dar confort, seguridad y estabilidad de sus ocupantes, se ejecutan cuatro ocupaciones básicas:

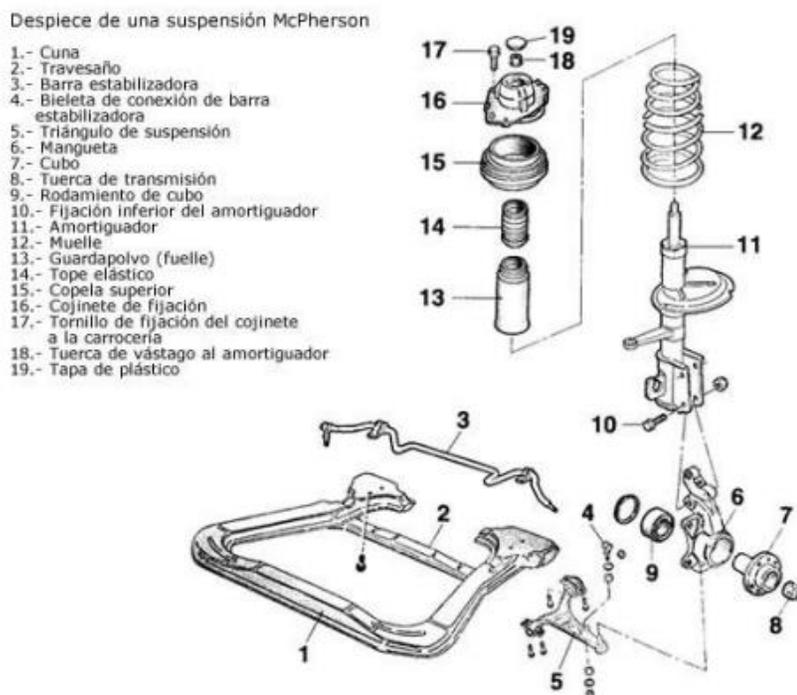
- Soportar el peso del vehículo.
- Mantener las ruedas alineadas.
- Permitir el contacto de las llantas con la carretera y la altura de marcha.
- Reducir los saltos del vehículo en la vía y mantener el control.
- Resistir los efectos de las curvas.
- Aguantar el par motor y de frenada
- Mantenerla perpendicularidad del bastidor y el ángulo de direccione en todo el recorrido.

a. Ventajas de la suspensión McPherson

El tipo de suspensión McPherson tiene varios beneficios como son la simplicidad, un bajo coste de producción y un fácil acceso de adquisición en el mercado como una de las principales ventajas de este tipo de suspensión.

Figura 5

Componentes de la suspensión McPherson



Nota. En la ilustración se puede visualizar el despiece de los componentes del sistema de la suspensión McPherson. Tomado de (Platas, 2019)

b. Desventajas de la suspensión McPherson

A pesar de sus ventajas y prestaciones, este modelo también presenta desventajas como, por ejemplo, influye mucho el diseño de la rueda, pues se puede provocar que no se genere un movimiento completamente vertical, sin embargo, al presentar una sujeción gracias a un brazo inferior que se sujeta a través de un eje directamente al coche (Donaire, 2019)

Como parte de una desventaja es transmitir de directamente las vibraciones al chasis del coche, causando así un ruido muy incómodo y fuerte en el habitáculo, si se presentara el caso en el que no se coloquen los respectivos aislantes requeridos, esto se produce ya que los amortiguadores se acoplan directamente al chasis. (Donaire, 2019)

c. Funcionamiento de la suspensión McPherson

El amortiguador y el muelle son aquellos que conforman a la suspensión McPherson, son aquellos que se encargan de absorber los baches, así como también son los encargados de mantener la rueda en un lugar correcto con ayuda de una mangueta que se encuentra sostenida a través del amortiguador. Se obtiene una gran agilidad en marcha, gran seguridad y confort.

2.3. Suspensión de doble horquilla

Este tipo de suspensiones ya existen desde hace mucho tiempo atrás, pero a pesar de ello se han ido generando varias versiones totalmente mejoradas. Este diseño usa generalmente dos brazos que se encuentran dispuestos en forma de A para sostener la rueda, uno rango para la parte superior y en la parte inferior (Blancarte, 2013)

Una suspensión de doble horquilla es aquella encargada de permitir un movimiento independiente que cada una de las ruedas, mediante la utilización de ejes más pequeños proporcionando así ventajas y desventajas que se pueden analizar a continuación. (Blancarte, 2013)

2.3.1. Ventajas de la suspensión de doble horquilla

Según (Stevenson, 2018), las ventajas que se presentan en una suspensión de doble horquilla se detallan a continuación.

- Una suspensión doble horquilla se acomoda muy bien para poder ser calibrada en cada uno de sus conjuntos móviles, debido a que las cargas son más equitativas entre sus partes.
- Las cargas de diseño son más resueltas y se puede adaptar para diversas cargas, velocidad y aplicaciones en las curvas.
- Los pesos de los componentes diseñados son capaces de reducirse y personalizarse debido a que los factores de carga por cada componente son más conocidos.

2.3.2. Desventajas de la suspensión de doble horquilla

Según (Stevenson, 2018) las desventajas que se presentan se detallan a continuación:

- El precio de reemplazo y servicio de reparación son más altos ya que ha medido requieren de múltiples ajustes, haciendo así una suma al tiempo de trabajo.
- Añaden un peso extra al chasis del vehículo debido a la complejidad de sus partes añadidas.

Figura 6

Sistema de suspensión de doble horquilla



Nota. En la figura se puede ver el modelado de un sistema de suspensión de doble horquilla. Tomado de (Blancarte, 2013).

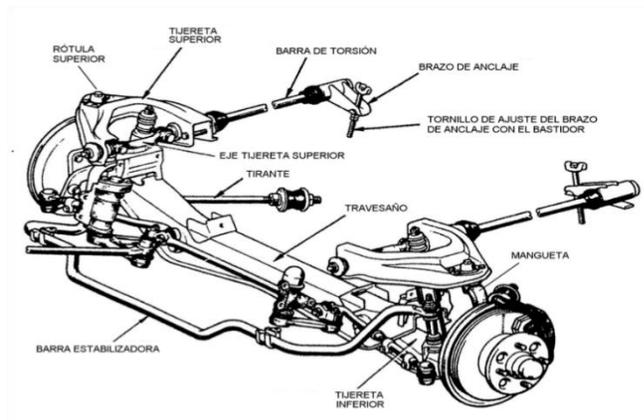
2.4. Elementos de la suspensión

En el presente estudio se va a determinar posibles elementos que ocasionen más ruido dentro de la suspensión específicamente en la cadena cinemática de la rueda en superficies irregulares, los posibles elementos se detallan a continuación:

- **Brazo / mesa:** Describe la cinemática de la rueda respecto al chasis.
- **Mango:** Es la zona donde se encuentra instalada la rueda, el sistema de frenado y el sistema de dirección, más conocido como mesa.
- **Rótula:** Es el mecanismo de unión del mango con los brazos
- **Bujes:** Unidades suplementarias para disipar la posible vibración y generación de ruidos no deseados.
- **Amortiguador:** Ayuda a amortiguar cuando existen irregularidades excesivas que hacen que el chasis se balancee según la carretera que se encuentre por el contacto que tienen las diferentes bandas de rodadura con la superficie.
- **Muelle/ resorte:** Evita que las irregularidades del terreno transmitan al vehículo para así evitar golpes secos, así como alargar la vida del amortiguador haciendo que el mismo vuelva a su lugar, los muelles absorben la energía que genera la rueda al encontrarse con posibles irregularidades de la superficie.

Figura 7

Elementos principales de la suspensión



Nota. En la figura se puede ver cuáles son los elementos principales de la suspensión independiente como tal. Tomado de (Central de repuestos TR,2017)

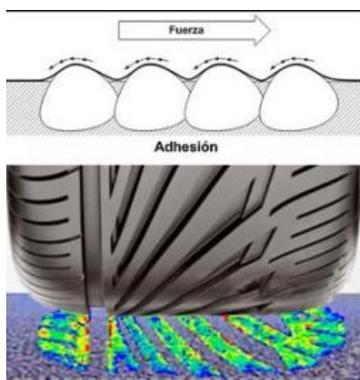
2.5. La función de la suspensión

La función de la suspensión es que se encarga de permitir el control total del vehículo en cualquier superficie terrestre, cumpliendo con el correcto contacto del neumático con el camino con lo que se consigue un mejoramiento en la disminución de la vibración y posible ruido del vehículo en terrenos irregulares además proporciona.

- **Confort:** Una de las funcionalidades de la suspensión es brindar el confort al usuario, se habla de una conformidad vertical para que los neumáticos puedan seguir el camino sin importar la superficie donde el mismo se encuentre.
- **Seguridad:** La seguridad reacciona de manera eficiente en lo que se refiere a los ocupantes o usuarios del vehículo ya que la suspensión brinda la sensación de seguridad dentro del habitáculo del vehículo y mucho más cuando se encuentra en superficies irregulares o cuando existen frenados y aceleraciones bruscas, manteniendo siempre la estabilidad y confort en el vehículo.
- **Manejo:** Otra de sus funciones de la suspensión es brindar un manejo más seguro al usuario, esto es directamente proporcional con las cargas que vaya a tener el vehículo, se debe tener en cuenta que se deben tener las cargas equilibradas correctamente.
- **Adherencia:** Un vehículo deportivo debe ser capaz de acelerar, frenar, cambiar rápidamente de dirección y virar perdiendo la menor velocidad posible. Para transmitir o resistir contra el suelo todas las fuerzas que actúan sobre él, todo esto depende de la adherencia (Infante, 2019).

Figura 8

Función de la suspensión (adherencia).



Nota. Se puede visualizar en la figura la adherencia que tiene el neumático con la calzada gracias a la suspensión que mantiene el neumático unido al chasis con una conformidad vertical.

2.6. Ángulo de las ruedas

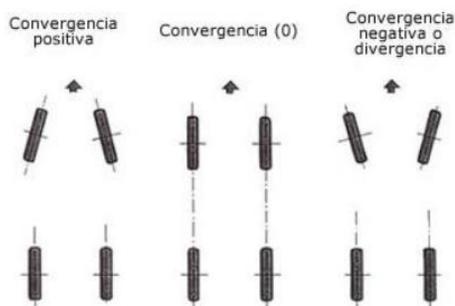
Los ángulos que tienen los neumáticos de un vehículo no son evidentes a simple vista, ya que no están completamente verticales ni mucho menos paralelas al eje longitudinal, particularmente las ruedas de dirección o delanteras giran en torno a un eje inclinado, para evitar posibles arrastres y desgastes en los neumáticos desiguales es necesario comprobar el camber y caster que deben tener los neumáticos se encuentren dentro de las tolerancias establecidas.

2.6.1. Ángulo de convergencia

El ángulo de convergencia en los neumáticos es la desviación que existe en la parte interior que tienen los neumáticos tanto en las ruedas delanteras como en las ruedas traseras, este ángulo puede ser hacia dentro o hacia afuera, cuando este ángulo apunta hacia dentro se dice que es una convergencia o que los ángulos de los neumáticos tienen convergencia, mientras que cuando apuntan hacia afuera se dice que se tiene una divergencia o una convergencia negativa los ángulos de los neumáticos, delanteros como posteriores en ambos casos.

Figura 9

Ángulos de convergencia y divergencia.



Nota. En la figura se representan los ángulos de divergencia y convergencia que mantienen los neumáticos de los vehículos. Tomado de (Meganeboy, 2022)

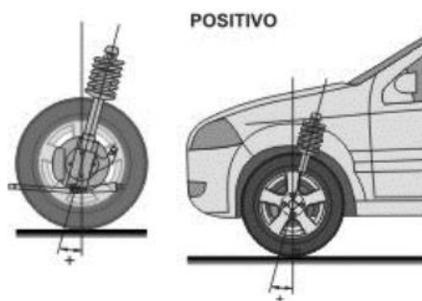
Cuando se tiene convergencia en los neumáticos delanteros de dirección en los vehículos que mantienen tracción posterior se dice que sirven para compensar cargas y así poder asegurar que con las cargas proporcionadas las ruedas recorran paralelamente.

2.6.2. Ángulo de incidencia (avance o caster)

En el ángulo de incidencia o avance se tiene que la inclinación de la mangueta se encuentra bien hacia adelante o hacia atrás, esto es con referencia a la vista vertical de los neumáticos, la incidencia hacia atrás se denomina ángulo de avance positivo.

Figura 10

Ángulo de incidencia o caster positivo

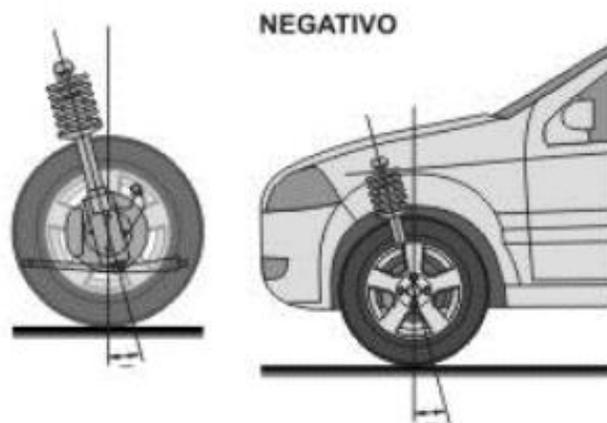


Nota. En la presente figura se puede identificar el ángulo de incidencia positivo. Tomado de (Sunset, 2021)

La idea de tener el ángulo de incidencia es que el eje pivote toque el suelo completamente con el terreno, es decir, que parezca un efecto de remolque en las ruedas ya que hay fuerzas que tiran en diferentes puntos de la rueda cuando esta se encuentra en pleno movimiento y esto ayuda conjuntamente a que las ruedas se pongan perpendiculares a la calzada o superficie cuando esta tiene irregularidades en algún punto, Según (Motor giga, 2021) indica que el avance no debe ser exagerado para no endurecer excesivamente la dirección, un ángulo entre 0 y 5° es un compromiso razonable.

Figura 11

Ángulo de incidencia o caster negativo



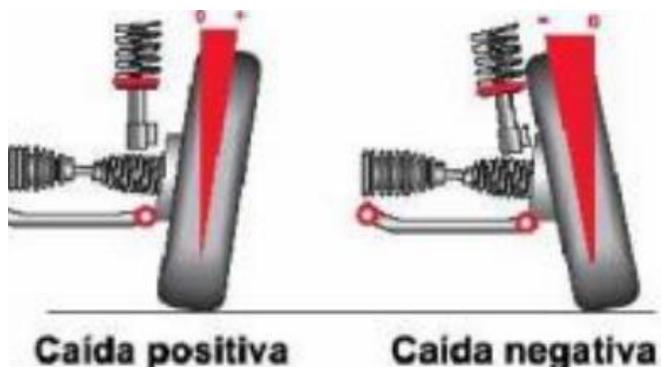
Nota. En la presente ilustración se puede visualizar el caster negativo en los neumáticos delanteros. Tomado de (Sunset, 2021).

2.6.3. Ángulo de inclinación (caída o camber)

En el ángulo de inclinación se lo visualiza entre el plano inclinado en la rueda y el plano vertical, es decir, que el camber es positivo cuando en la parte superior de la rueda se encuentra con caída hacia afuera con respecto al chasis del vehículo.

Figura 12

Sentido del ángulo de inclinación o caída



Nota. En la presente figura se muestra el sentido de inclinación ya sea positiva o negativa del camber. Tomado de (Riera, 2019).

Cuando el ángulo de caída se encuentra excesivamente positivo o negativo se darán posibles deformaciones en los neumáticos, así como el mal desgaste de este y el aumento de la temperatura y la fatiga en el interior de los flancos, lo que podría ocasionar la ruptura de las bandas de rodadura.

Si los neumáticos tienen un camber de cero este se puede empezar a levantarse del piso, lo que da inseguridad al momento de conducir ya que reduce el área de contacto con la superficie.

Por lo contrario, cuando el camber es negativo este efecto se reduce ya que se maximiza el área de contacto con la calzada o superficie, dando así una buena adherencia de los neumáticos.

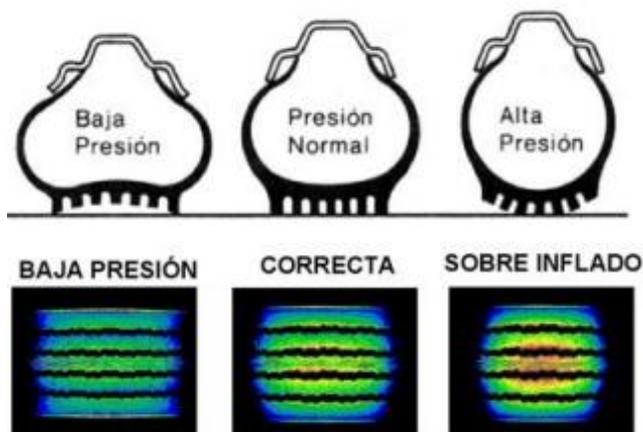
2.7. Presión de inflado

Actualmente los neumáticos se encuentran diseñados para presiones específicas de inflado, esto ayuda a mejorar el rendimiento de los neumáticos en las diferentes calzadas que se encuentren, estas presiones de inflado son muy estrechas y es recomendable utilizar las presiones exactas estimadas por el fabricante, dependiendo el valor de la presión el área de contacto de los neumáticos con la

superficie va a cambiar, si la presión es excesiva la parte central del neumático se va a sobresalir y los costados del neumático no se adhieren a la superficie, si la presión es demasiada baja los bordes quedan en contacto mientras que en la parte central no toca la calzada.

Figura 13

Variación de la presión de inflado en función del contacto con la calzada



Nota. En la presente imagen se puede visualizar las presiones posibles en los neumáticos, y se puede visualizar la presión correcta.

Capítulo III

3. Metodología de desarrollo del proyecto y resultados obtenidos

En el presente capítulo se describe el desarrollo de la aplicación práctica del ruido y la vibración que genera la suspensión con las diferentes bandas de rodadura, dependiendo en donde el neumático se asiente o por donde pase, en esto influirá el tipo de superficie y las condiciones climáticas en las que se encuentra dicha superficie, por lo que se tomara en cuenta normativas vigentes emitidas por la ASTM, ISO, UNE, INEN en Latacunga – Ecuador para la realización de las pruebas tales como son:

- **ISO 10816:** En la presente norma se establece condiciones y procedimientos generales y específicos para la realización de las pruebas, tanto como la medición y evaluación de la vibración producida en los elementos rodantes del vehículo.
- **UNE – EN 1032:19997:** En la presente norma se las vibraciones mecánicas, detallando el ensayo de maquinarias móviles para la determinación de los valores de vibración emitidos en el cuerpo completo que se tomará como referencia la suspensión.
- **NTE INEN 2665:** En la presente norma se establece el procedimiento correcto para la realización de ensayos de medición y evaluación de ruidos emitidos por vehículos de combustión interna.
- **NTE INEN 2666:** En la presente norma se establece el procedimiento correcto para los ensayos, teniendo en cuenta las condiciones ambientales e instrumentos requeridos para la medición y evaluación sonora emitida por vehículos de combustión interna.

Para el presente desarrollo es necesario un vehículo liviano para poder efectuar la recopilación de datos para posterior a esto proceder a realizar una comparativa de la vibración y posibles sonidos no deseados ocasionados en los neumáticos a causa de la

suspensión, datos obtenidos cuando el vehículo se encuentra en condiciones normales, previamente realizado alineación y balanceo de los neumáticos que se someterán a las pruebas de ruido y vibración a causa de la suspensión.

3.1. Metodología empleada en las pruebas

Para la recopilación correcta de datos se desarrolla una metodología en orden cronológico que se presentan en las siguientes fases:

- En la primera fase se procede a trazar los tramos de superficie en donde se van a realizar las distintas pruebas de cómo va a influir la suspensión en el ruido y vibración de los neumáticos, así como la velocidad empleada en los diferentes tramos de superficie.
- En la segunda fase se toma en cuenta las herramientas utilizadas para la recopilación de datos, tales como son un analizador de vibraciones y un sonómetro, en donde se detalla su manufactura de estos.
- En la tercera fase se tiene las especificaciones técnicas del vehículo empleado para la realización de las pruebas, así como en la misma fase se detalla los neumáticos a utilizarse descritos mediante una tabla didáctica.
- En la cuarta fase se presenta la preparación del vehículo efectuando revisiones generales en el sistema de la suspensión para posterior realizar una alineación, balanceo y medición de presión de los neumáticos para poder desarrollar de manera correcta las distintas pruebas.
- En la quinta fase se tiene las gráficas recopiladas por los instrumentos de medición, cada una de ellas se detalla las distintas ilustraciones obtenidas.

3.2. Caracterización de las rutas

Las rutas que se escogió para poder medir el ruido y la vibración que se tiene tanto en la suspensión del vehículo y como esta influirá en los neumáticos son cuatro rutas que generalmente se tienen en todo el Ecuador para así dar una mejor perspectiva de como mejora la suspensión en la reducción del ruido y vibración de los neumáticos que tendrán diferentes datos en cada superficie a probar, dichas superficies deberán estar libres de vehículos y peatones, cada una de estas se detalla en la tabla 3.

Tabla 1

Rutas utilizadas en la investigación

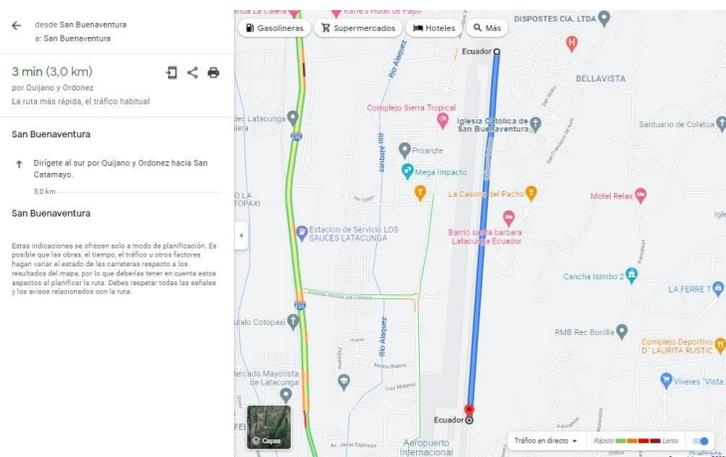
Nro. de ruta	Tipo de terreno	Distancia
1	Asfalto	3 km
2	Adoquín	3 km
3	Empedrado	3 km
4	Suelo natural	3 km

Nota. En la tabla se muestra una descripción detallada de las rutas seleccionadas.

La primera ruta que se toma en cuenta en el proyecto de investigación la cual es de asfalto, está situada al norte de la ciudad de Latacunga – Ecuador, la cual colinda al “Aeropuerto Nacional Cotopaxi” y este tramo cuenta con una longitud total de 4 Km como se muestra en la figura 14.

Figura 14

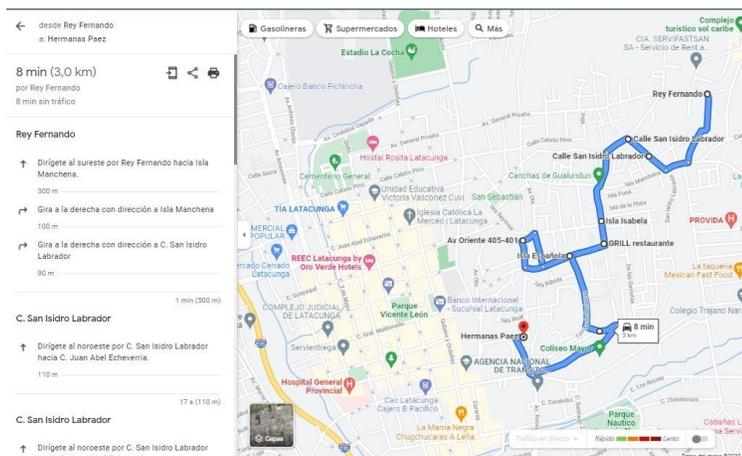
Ruta Nro. 1: Asfaltado



La segunda ruta que se toma en cuenta para el proyecto de investigación la cual es de adoquín se encuentra situada en el centro de la ciudad de Latacunga – Ecuador, que va desde la “Central Plaza” hasta la calle “Rey Fernando” y este tramo cuenta con una longitud total de 3.1 Km como se observa en la figura 15.

Figura 15

Ruta Nro. 2: Adoquinado

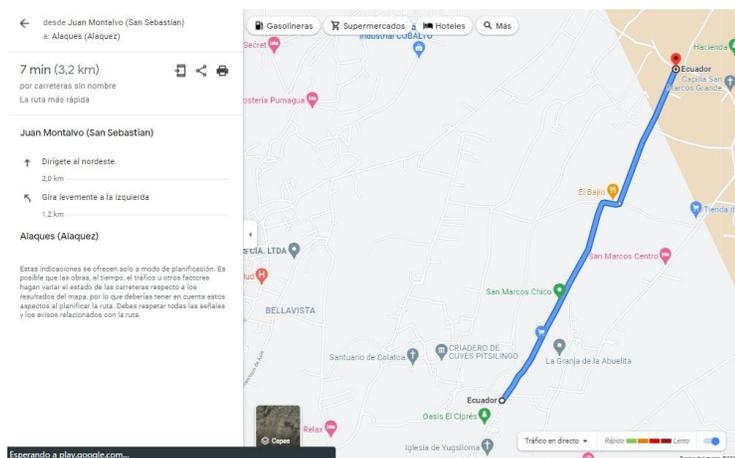


La tercera ruta que se toma en cuenta para el proyecto de investigación la cual es empedrada se encuentra situada al noreste de la ciudad de Latacunga – Ecuador,

por el sector de “San Marcos Chico” y este tramo cuenta con una longitud total de 3 Km como se observa en la figura 16.

Figura 16

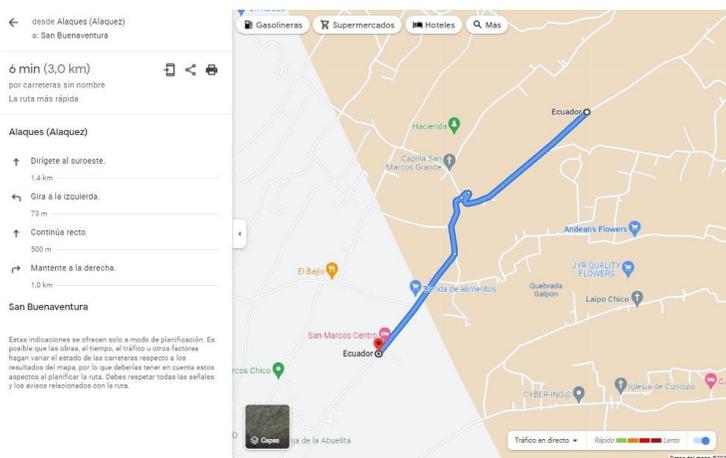
Ruta Nro. 3: Empedrado



La cuarta y última ruta que se toma en cuenta en el proyecto de investigación es de suelo natural, la cual se encuentra situada en la ciudad de Latacunga – Ecuador, misma que se encuentra por los sectores de “San Buenaventura” y “Alaquez” este tramo cuenta con una longitud total de 3 Km como se observa en la figura 17.

Figura 17

Ruta Nro. 4: Suelo natural



3.2.1. Condiciones ambientales

Las mediciones no se deberán efectuar en condiciones ambientales adversas, para así disminuir márgenes de error.

Los ensayos que se realiza en las diferentes superficies tomadas en cuenta con los distintos neumáticos se mantienen en las mismas condiciones ambientales, las principales a tomarse en cuenta son la presión atmosférica, la humedad relativa y mantener una temperatura constante, se debe tener en cuenta que todas las pruebas se realiza a la misma hora para así poder disminuir los márgenes de error y tener una mejor comparación del ruido y vibración tanto de la suspensión como del neumático.

3.2.2. Velocidad del vehículo por ruta

La velocidad del vehículo en las diferentes rutas es un factor muy importante para tomar en cuenta ya que es directamente proporcional tanto al ruido como a la vibración, esta velocidad irá variando, dependiendo el tipo de superficie donde el vehículo se encuentre para realizar los ensayos respectivos, en la tabla 4 se detalla los valores de velocidad utilizados en las diferentes rutas.

Tabla 2

Velocidad del vehículo según la ruta establecida

N° de ruta	Tipo de superficie	Velocidad [Km/h]
1	Asfalto	70
2	Adoquín	40
3	Empedrado	20 – 30
4	Suelo natural	20 – 30

Nota. En la tabla se muestra las superficies empleadas en el presente proyecto.

3.3. Equipos de medición

Para la realización de los ensayos tanto de ruido como de vibración se utilizan equipos de medición manufacturados por los integrantes del grupo de estudio, mediante el uso de sensores o módulo que ayuda a una mejor recolección de datos, tanto de las

vibraciones como de los posibles sonidos ocasionados en la suspensión y en el neumático, estos módulos son compatibles con Arduino, para el proceso de programación respectivo con el fin de ir obteniendo los valores y realizando una tabulación de datos con su correspondiente gráfica y así disminuyendo los posibles errores.

3.3.1. Analizador de vibraciones

Con este instrumento se realiza la medición de la vibración en la suspensión como el nombre lo indica, de igual manera se realiza la medición de la vibración en los neumáticos, la función principal de este equipo de medición es determinar las posibles frecuencias de una señal a través de un sensor ubicado directamente en la suspensión y cerca del neumático para una disminución del margen de error.

a. Elaboración del analizador de vibraciones

El analizador de vibraciones es un instrumento de medida con el cual vamos a poder obtener los resultados requeridos para la realización del presente estudio, los datos que vamos a obtener son medidos en hercios (Hz) de los elementos como son la suspensión y los neumáticos empleados.

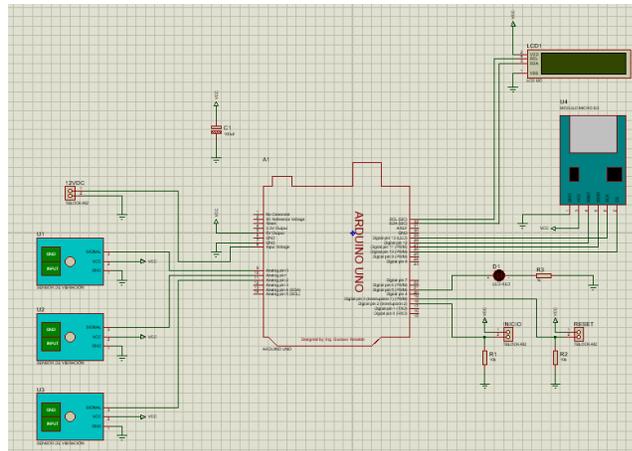
- **Elementos empleados para la realización**
- **Arduino Uno:** El Arduino Uno es una placa de programación de microcontrolador de código abierto basado en el microchip ATmega328P y es desarrollado por Arduino.cc. La placa está equipada con conjuntos de pines de E/S digitales y analógicos que estas pueden conectarse a varias placas de expansión y demás circuitos.
- **Módulo Micro SD:** Este módulo nos va a permitir insertar una memoria Micro SD que son los que comúnmente se comercializan en el mercado, el módulo Micro SD se puede alimentar con 3.3 V o 5 V usando los pines respectivos.

- **Pantalla LCD 16x2:** Esta pantalla LCD nos va a permitir visualizar un mensaje de aviso al momento de encender el analizador de vibración como cuando empiece a censar.
- **Módulo I2C:** Este módulo nos va a permitir manejar la pantalla LCD de una manera bastante fácil.
- **Led:** Es un diodo formado por un chip semi conductor dopado con impurezas que crean una unión PN.
- **Sensor de vibración:** Nos da una señal analógica al captar una vibración sobre la superficie.
- **Fusible:** Protege al sistema de picos de voltaje.
- **Placa de cobre:** Permite idealizar el diseño de pistas para los circuitos electrónicos.
- **Caja:** Este es el lugar donde se van a insertar todos los elementos ensamblados del analizador de vibraciones.
- ***Diseño del circuito Eléctrico***

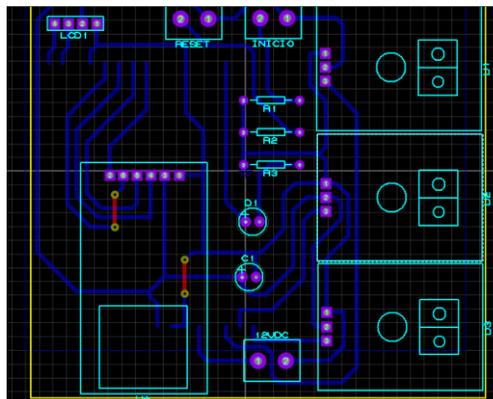
En este punto se usó el software Proteus 8.8, en el cual se procedió a realizar todo lo correspondiente a la ubicación de cada uno de los elementos del sistema, es decir, el esquema eléctrico para la posterior realización de la PCB la cual va a ser plasmada en la placa de cobre, con el fin de evitar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

Figura 18

Diseño del esquema eléctrico en Proteus

**Figura 19**

Diseño de la PCB en Proteus



- **Programación**

Para esta operación se usó el software de programación Arduino 1.8.19, para el cual fue necesario utilizar varias librerías las cuales se detallan a continuación:

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

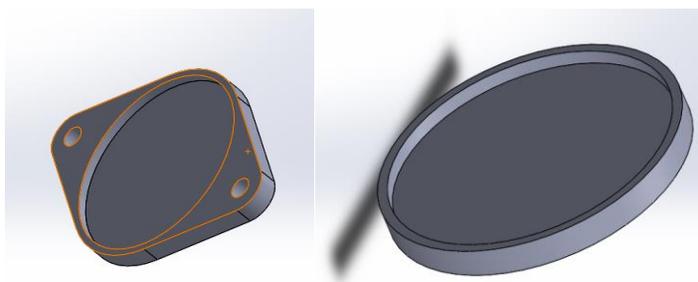
De la misma manera se utilizaron variables de tiempo las cuales se tomaron en milisegundos, variables individuales para cada uno de los sensores de vibración (en el presente caso se utilizaron 3 sensores para las pruebas experimentales), así como buques para la activación de la pantalla LCD, para la realización de diferentes mediciones de acuerdo al número determinado por cada segundo, es decir, en este caso se realizaron 1000 mediciones por segundo, de igual manera para la impresión de cada uno de los valores de medición y su correspondiente almacenamiento en la memoria Micro SD, para mayor detalle de la programación revisar el anexo "A".

- ***Diseño de carcasa para los componentes***

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 20

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 21

Colocación de los sensores de vibración en las carcasas

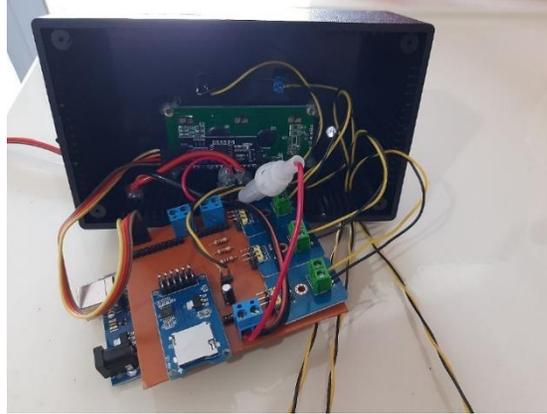


- **Montaje de los componentes**

1. Impresión 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 el circuito impreso en la caja.
9. Para figuras del proceso de armado revisar anexo "B".

Figura 22

Ubicación de los componentes ensamblados en la caja



3.3.2. El sonómetro

Con este instrumento se realiza la medición del posible sonido no deseado (ruido) en la suspensión y en los neumáticos, la función principal del equipo es determinar en decibeles los ruidos ocasionados en los diferentes sistemas que se van a analizar cabe recalcar que la instalación del sonómetro se va a instalar directamente en la suspensión y cerca del neumático para así tener datos más verídicos disminuyendo posibles márgenes de errores.

a. Elaboración del sonómetro

El sonómetro es un instrumento de medida de sonidos o posibles ruidos no deseados que se presentan en el ambiente, es un instrumento importante en el presente estudio ya que se va a obtener los valores experimentales en la unidad de decibeles (dB), en tanto a la medición se lo realiza de igual manera que en el analizador de vibraciones, es decir, 1000 mediciones por cada segundo.

- **Elementos necesarios**

Los elementos empleados en la manufacturación del sonómetro son los mismo que se emplearon en la elaboración del analizador de vibraciones con únicas diferencias que se cambiaron pequeños componentes que se presentan a continuación:

- Arduino Nano (El cual es muy parecido al funcionamiento del Arduino Uno).
- Módulo de sonido (Sensor de ruido) (Funciona de igual manera que el sensor de vibración nos convierte sonidos del sistema de suspensión en señales analógicas).
- ***Diseño del circuito electrónico***

Se utilizó de la misma manera que en el analizador de vibraciones 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 para la posterior realización de la PCB en el mismo programa.

Figura 23

Diseño del esquema electrónico en Proteus 8.8.

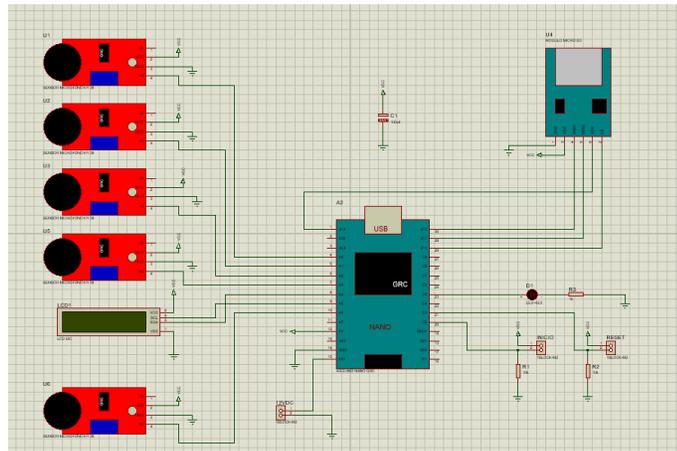
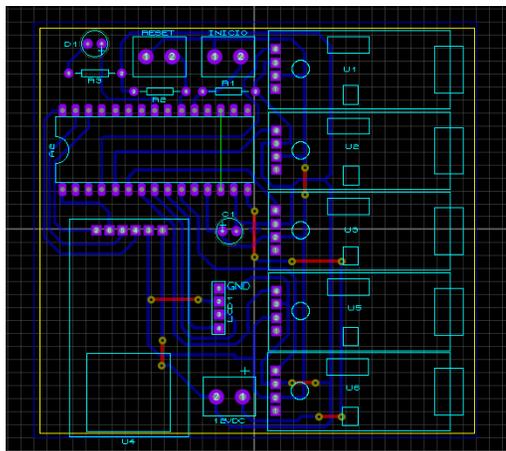


Figura 24

Distribución en la PCB electrónica en Proteus 8.8.



- **Programación**

Para la respectiva programación se utilizó el software de programación Arduino 1.8.19, para el cual fue necesario el uso de varias librerías que se describen a continuación:

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

De la misma manera se utilizaron variables de tiempo las cuales se tomaron en milisegundos, variables individuales para cada uno de los sensores de vibración (en el presente caso se utilizaron 5 sensores de sonido para las pruebas experimentales), así como buques para la activación de la pantalla LCD, para la realización de diferentes mediciones de acuerdo al número determinado por cada segundo, es decir, en este caso se realizaron 1000 mediciones por segundo, de igual manera para la impresión de cada uno de los valores de medición y su correspondiente almacenamiento en la memoria Micro SD, para mayor detalle de la programación revisar el anexo “C”.

- **Soporte para los sensores**

Para una mejor recepción del sonido del sistema de suspensión y demás sistemas se optó por realizar soportes para los sensores para que con ayuda de estos soportes el ruido no deseado de la intemperie no influya en la recolección de datos experimentales, esta carcasa se la hizo en forma de campana con la cual el sensor se encuentra ubicado de manera óptima en la base de esta.

Figura 25

Carcasa del micrófono de audio (Sonómetro)



- **Montaje de los componentes**

Para el presente caso del sonómetro se efectuó el mismo procedimiento que se pudo detallar en el punto d.4.

Nota: Para visualizar las figuras del ensamblaje del sonómetro revisar el anexo "D".

3.4. Características técnicas del vehículo empleado

El vehículo utilizado es de turismo tipo "C" Este vehículo fue la segunda generación del modelo Volkswagen Gol, supuso un cambio radical en la fisonomía del modelo, presentando un nuevo diseño de carrocería con dimensiones más amplias, pero manteniendo su base mecánica y buena eficiencia tanto en la zona urbana como en la zona rural, óptimo para carreteras y utilizarlo en familia con características importantes que se detallarán en la tabla

Tabla 3*Especificaciones técnicas del vehículo de prueba*

Especificaciones técnicas del vehículo Volkswagen Gol 2002 Hatchback	
Detalle	Valor
Marca	Volkswagen
Modelo	Gol
Tipo	Hatchback
Año	2002
Peso bruto vehicular (Kg)	1475
Peso vehicular (Kg)	1030
Tipo de suspensión	McPherson
Disposición del motor	Longitudinal
Cilindrada (cc)	1781
Relación de compresión	8.5: 1
Sistema de combustible	Inyección multipunto EFI

Nota. Especificaciones del vehículo empleado en los ensayos.

Figura 26

Vehículo empleado para la realización de los ensayos.



3.4.1. Preparación de la suspensión previo a los ensayos

En la preparación del vehículo se realiza primero una alineación para corregir los ángulos de camber y caster con la alineación correcta del vehículo se puede obtener resultados como son la dirección más firme y dando al usuario una mejor conducción,

seguidamente se hizo un balance a cada uno de los neumáticos para corregir los pesos que tendrán tanto en el aro (rin) con la llanta, esto se lo realiza con ayuda de pesas automotrices para todo esto se realiza para la recolección de datos mediante el ensayo realizado en el presente capítulo.

Es importante realizar de la mejor manera los procedimientos correctos para una buena preparación del vehículo, esto deberá ser minucioso porque dependerá mucho para la recolección de datos de los diferentes ensayos, los diferentes procedimientos a realizar son:

a. Revisión del estado de la suspensión

En este punto lo que se hace es realizar el desmontaje de la suspensión del vehículo donde se van a realizar las pruebas, en lo que se pudo corregir posibles daños, los cuales fueron:

- **Sustitución de amortiguadores:** En la sustitución de los amortiguadores, recomendablemente se lo realiza en los dos lados delanteros, los mismos que se sustituyen por unos originales que de igual manera fueron hidráulicos para una mejor amortiguación del sistema.

Figura 27

Amortiguador hidráulico Volkswagen Gol 2002.



- **Sustitución de bases de amortiguador:** Para la sustitución de las bases de los amortiguadores lo primero que se realiza es la comprobación mecánica y visual de los cauchos que emplean las bases del amortiguador.

Figura 28

Bases de los amortiguadores Volkswagen Gol 2002.



- **Engrase de juntas homocinéticas:** El engrase de las juntas homocinéticas se lo realiza debido a que se notó una posible fuga de grasa automotriz en la llanta delantera, por lo que fue recomendable sustituir la grasa por grasa azul recomendada por el fabricante.

Figura 29

Engrase de juntas homocinéticas



b. Balanceo de los neumáticos del vehículo

El balanceo de un vehículo es generalmente un procedimiento que se realiza para contrarrestar las posibles irregularidades de peso en las diferentes zonas de los rines y neumáticos del vehículo, estas irregularidades generalmente son generadas por diferencia de materiales en los rines o por calzadas – superficies defectuosas que hacen que los neumáticos tengan fuertes golpes, además la presión de los neumáticos también influye en el balanceo de estos, por lo que se recomienda mantener la presión

estipulada por el fabricante del vehículo teniendo en cuenta las dimensiones del neumático.

Figura 30

Balanceo de los neumáticos del vehículo



c. Alineación del vehículo

La alineación del vehículo generalmente consiste en la revisión y corrección de los ángulos de incidencia en las ruedas, descritos en el capítulo 2, esta corrección de ángulos permite mantener a los neumáticos perpendiculares a la superficie de la calzada y a que se encuentren paralelas entre sí, actualmente se tienen alineadoras 3D con la cual se hizo la alineación al vehículo de prueba ya que esta alineación es más exacta y confiable al momento de maniobrar la maquinaria, en la figura 31 se puede visualizar como se realiza la alineación respectiva del vehículo.

Figura 31

Alineación del vehículo de ensayos



La alineadora muestra los ángulos que tienen los neumáticos, al momento de los neumáticos encontrarse fuera de rangos normales el software de alineación se marcará de color rojo, al contrario, si los ángulos se encuentran dentro de los parámetros establecidos por el software que previamente es calibrado mediante los datos que preestablece el fabricante y en la pantalla dichos ángulos se marcarán de color verde como se muestra en la figura 32.

Figura 32

Software de alineación vehicular



En la siguiente tabla se muestran valores que se obtuvieron durante la alineación, los ángulos presentados indican el antes y el después de la alineación del vehículo empleado para realizar los ensayos.

Tabla 4

Reporte de alineación del vehículo empleado

Reporte de alineación de Vehículo						
	Ángulos		Inicial	Especificaciones		Final
				Min.	Max.	
Delantera	Ángulo de avance	Izquierdo	0.4°	7.2°	8.2°	0.4°
		Derecho	2.4°	7.2°	8.2°	2.4°
	Inclinación de ruedas	Izquierdo	0.6°	-0.2°	0.5°	0.6°
		Derecho	-0.3°	-1.5°	-0.9°	-0.3°
	Convergencia	Izquierdo	0.65°	-0.20°	0.15°	-0.10°
		Derecho	0.60°	-0.20°	0.15°	-0.15°
	Total	1.25°	-0.40°	0.35°	-0.25°	

Reporte de alineación de Vehículo						
Trasera	Inclinación de ruedas	Izquierdo	1.3°	-1.8°	-0.8°	1.3°
		Derecho	0.8°	-1.8°	-0.8°	0.8°
	Convergencia	Izquierdo	-1.30°	0.00°	0.15°	-1.30°
		Derecho	0.10°	0.00°	0.15°	0.10°
		Total	-1.20°	0.00°	0.35°	-1.20°
	Angulo Direccional		-0.7°	0.3°		-0.7°

Nota. Alineación y balanceo del vehículo. Tomado de Tecnicentro Sagoquiza.

d. Revisión de la presión de inflado

Este aspecto de igual manera es muy esencial para la obtención de posibles sonidos no deseados – ruidos y vibraciones en la suspensión, se considera la presión estipulada por el fabricante para una mejor recolección de datos, en la figura 33 se puede visualizar la presión de inflado en los neumáticos con la que se realizaron los ensayos respectivos.

Figura 33

Presión de inflado de los neumáticos



3.4.2. Neumáticos empleados en los ensayos

Los neumáticos con las diferentes bandas de rodadura escogidas para poder realizar las diferentes pruebas son con la finalidad de ver como cada una de estas se comporta con la suspensión del vehículo que previamente se realizó todos los arreglos y se encuentran en óptimas condiciones para poder verificar el posible ruido y vibración

que se va a tener tanto en la suspensión como en los diferentes neumáticos, las presiones con las que se realizaron los ensayos así como las especificaciones de los neumáticos que se presentan en la tabla 1 y 2 respectivamente.

Tabla 5

Presiones de inflado del neumático

Neumáticos	Presión de inflado (psi)	
	Inicial	Final
Delantero derecho	30	32
Delantero izquierdo	36	32
Trasero derecho	32	34
Trasero izquierdo	32	34

Nota. Presiones de inflado en el neumático.

a. Tipos de neumáticos empleados

Para la realización de las pruebas se utilizó un total de cuatro neumáticos con una numeración de 195/55 R15, de diferentes tipos de banda de rodadura para poder verificar en cuál neumático existe un menor sonido y una menor vibración en las diferentes rutas a emplear, ver tabla 6.

Tabla 6

Características técnicas de los neumáticos utilizados en las pruebas

Neumático	Fabricante	Presión de inflado	Tipo de patrón de la banda de rodadura	Ilustración
1	Goodyear	51 PSI	Patrón asimétrico	
2	Anchee	44 PSI	Patrón simétrico	

Neumático	Fabricante	Presión de inflado	Tipo de patrón de la banda de rodadura	Ilustración
3	Nexen	44 PSI	Patrón direccional "V"	
4	Sonar	51 PSI	Patrón asimétrico	

Nota. Características de los neumáticos empleados en los ensayos del presente proyecto.

3.4.3. Instalación de los sensores

a. Instalación de sensor de vibración

Para la instalación correcta de los sensores de vibración primero se realizó una inspección minuciosa para ver donde quedaría de manera correcta dichos sensores, ayudando a una recolección de datos de una manera mejor manera.

a.1. Instalación del sensor de vibración en la suspensión

Para la suspensión se lo instaló directamente en el amortiguador, para poder obtener datos más correctos al momento de realizar la recolección de datos.

Figura 34

Instalación del sensor de vibración en la suspensión



a.2. Instalación del sensor de vibración en el neumático

Para la instalación del sensor en los neumáticos se lo hizo directamente en la mordaza del neumático, ya que es lo más cerca que puede estar para una recolección de datos más perfecta al momento de realizar dichos ensayos.

Figura 35

Instalación del sensor de vibración en el neumático



b. Instalación de sonómetro

Para la instalación correcta del sonómetro primero se realizó una inspección minuciosa para ver donde quedaría de manera correcta dichos sensores, ayudando a una recolección de datos de una manera mejor manera.

b.1. Instalación del sonómetro en la suspensión

Para la suspensión se lo instaló directamente en el amortiguador, en la base de este donde se asienta el muelle del amortiguador, un lugar indicado para poder recolectar los datos de manera más correcta ya que el sonido que emana se encuentra directamente a la base del sensor.

Figura 36

Instalación del sonómetro en la suspensión



b.2. Instalación del sonómetro en el neumático

Para el neumático se lo instaló directamente en la base del guardalodos, esto se realiza para una mejor recolección de datos ya que se encuentra directamente apuntando al ruido que produce el neumático al pasar por las diferentes superficies a realizar los ensayos.

Figura 37

Instalación del sonómetro en el neumático

**3.5. Realización de las pruebas****3.5.1. Pruebas con analizador de vibraciones.**

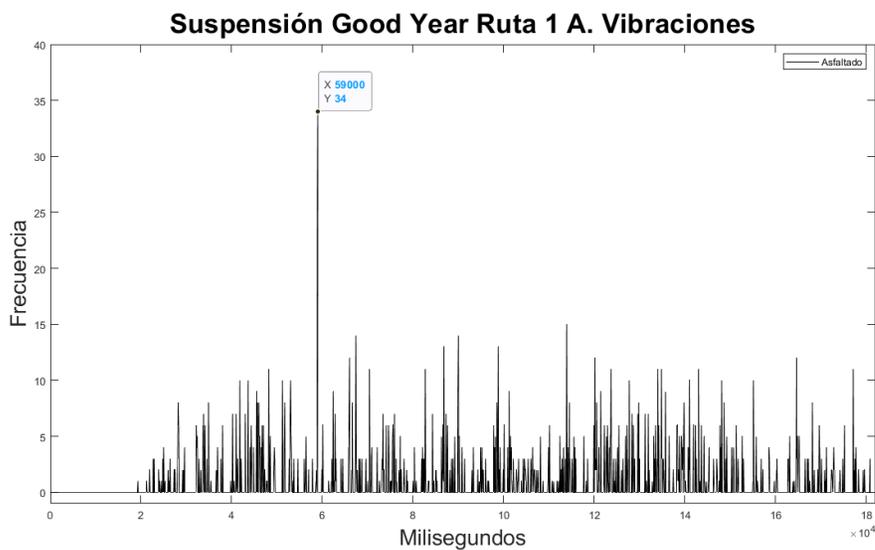
Para poder realizar las pruebas en el analizador de vibraciones es recomendable tomar en cuenta la velocidad descrita en la tabla 4 de igual manera tomar en cuenta las rutas tomadas en cuenta para obtener los datos deseados, además se debe tomar el orden de los neumáticos a realizar los ensayos con su respectiva presión de inflado como se muestran en las tablas 6 y 5 respectivamente.

a. Pruebas en la suspensión**a.1. Neumático 1 (GOOD YEAR)**

En la prueba realizada en la ruta número 1 con el neumático 1 se puede determinar un valor máximo o pico de 34 Hz y un valor mínimo pico de 1 Hz.

Figura 38

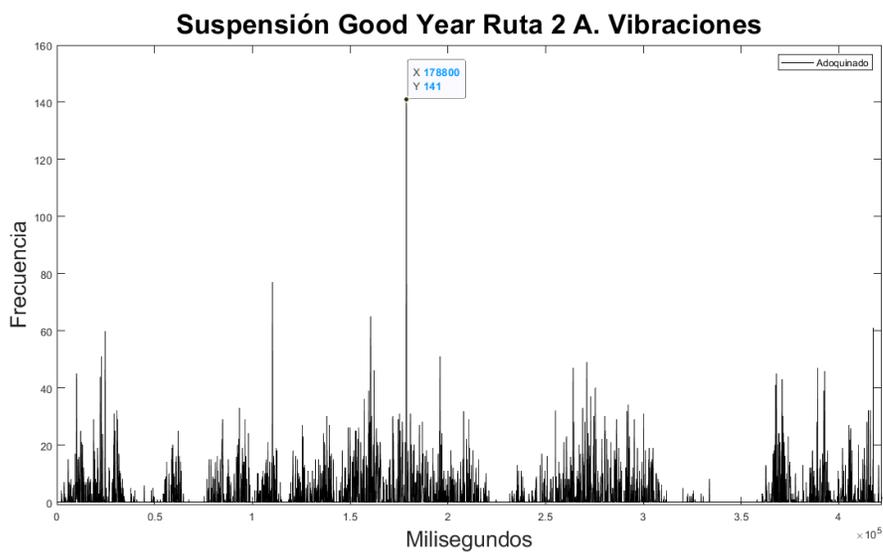
Prueba de vibración en la suspensión del neumático Good Year en el asfalto



En la prueba realizada en la ruta número 2 con el neumático 1 se puede determinar valores máximos de 82, 141 Hz y valores mínimos de 1, 5 Hz.

Figura 39

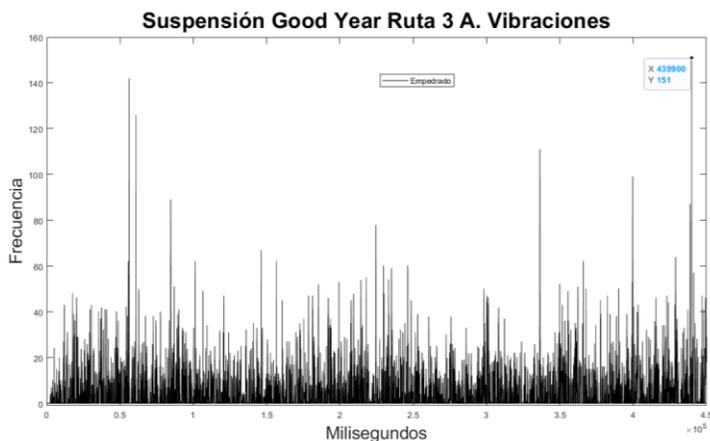
Prueba de vibración en la suspensión del neumático Good Year en el adoquinado



En la prueba realizada en la ruta número 3 con el neumático 1 se puede determinar valores máximos de 142, 151 Hz y valores mínimos de 8, 14 Hz.

Figura 40

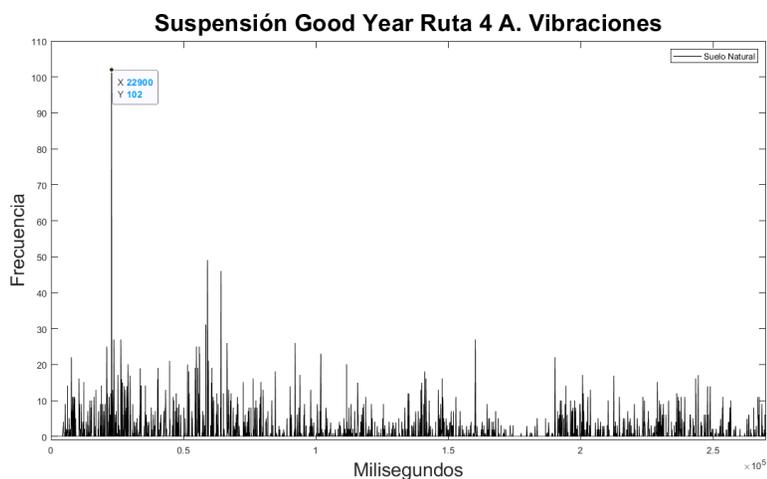
Prueba de vibración en la suspensión del neumático Good Year en el empedrado



En la prueba realizada en la ruta número 4 con el neumático 1 se puede determinar valores máximos 52, 102 Hz, esto por irregularidades presentadas en la superficie de ensayo y valores mínimos de 1, 3 Hz.

Figura 41

Prueba de vibración en la suspensión del neumático Good Year en el suelo natural

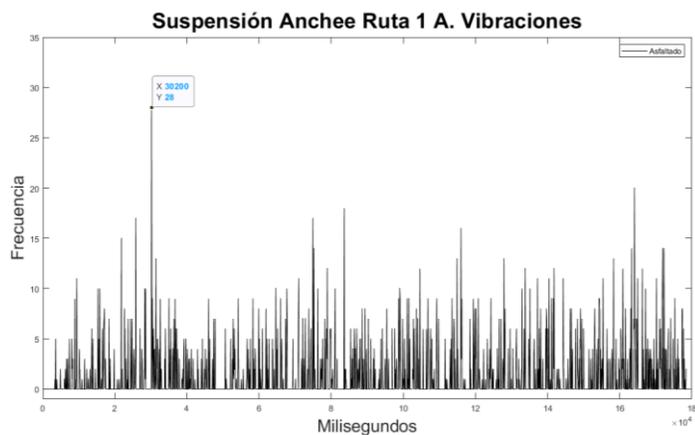


a.2. Neumático 2 (ANCHEE)

En la prueba realizada en la ruta número 1 con el neumático 2 se puede determinar valores máximos de 18, 28 Hz y valores mínimos de 1, 2 Hz.

Figura 42

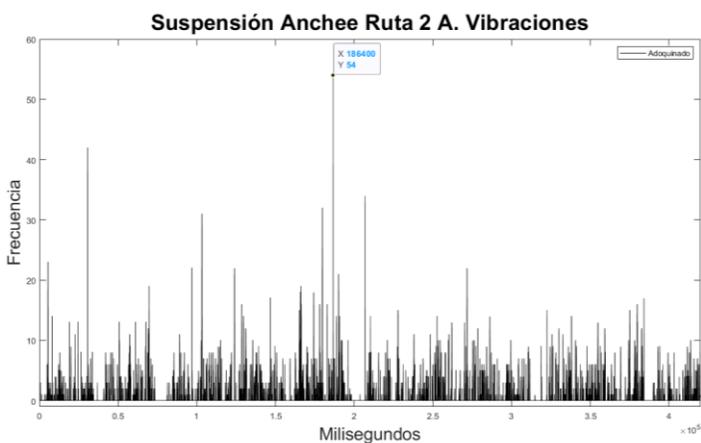
Prueba de vibración en la suspensión del neumático Anchee en el asfaltado



En la prueba realizada en la ruta número 2 con el neumático 2 se puede determinar valores máximos de 42, 54 Hz y valores mínimos de 3, 6 Hz.

Figura 43

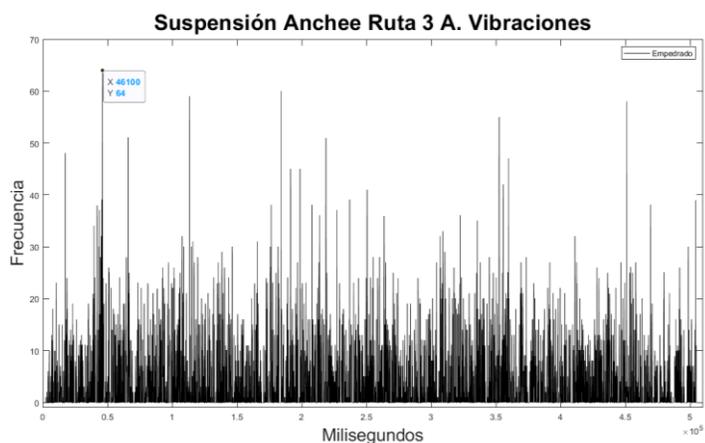
Prueba de vibración en la suspensión del neumático Anchee en el adoquinado



En la prueba realizada en la ruta número 3 con el neumático 2 se puede determinar valores máximos de 59, 64 Hz y valores mínimos de 8, 14 Hz.

Figura 44

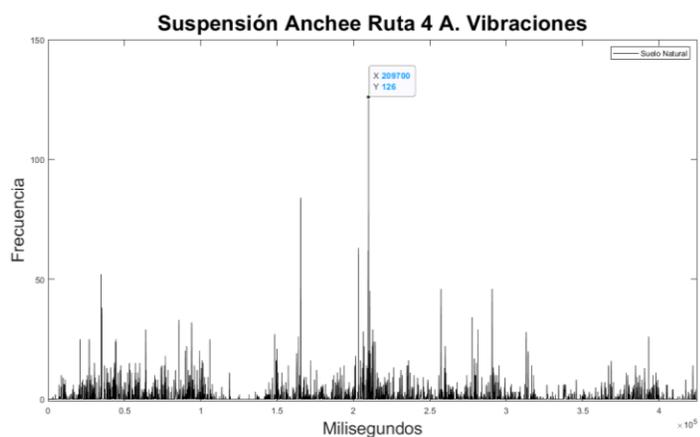
Prueba de vibración en la suspensión del neumático Anchee en el empedrado



En la prueba realizada en la ruta número 4 con el neumático 2 se puede determinar valores máximos de 60, 66 Hz, esto por irregularidades presentadas en la superficie de ensayo y valores mínimos de 1, 3 Hz.

Figura 45

Prueba de vibración en la suspensión del neumático Anchee en el suelo natural

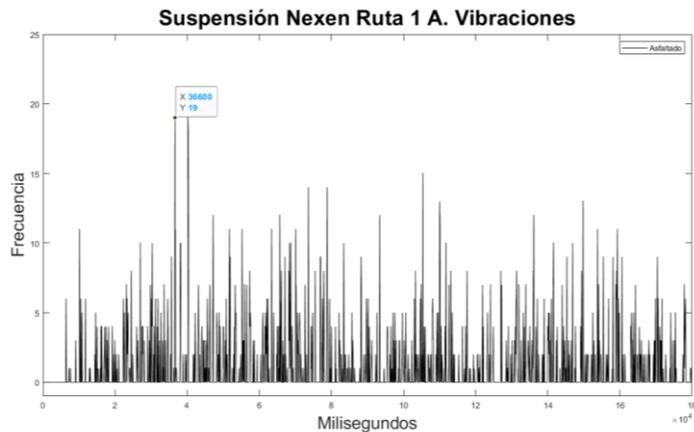


a.3. Neumático 3 (NEXEN)

En la prueba realizada en la ruta número 1 con el neumático 3 se puede determinar valores máximos de 16, 19 Hz y valores mínimos de 1, 2 Hz.

Figura 46

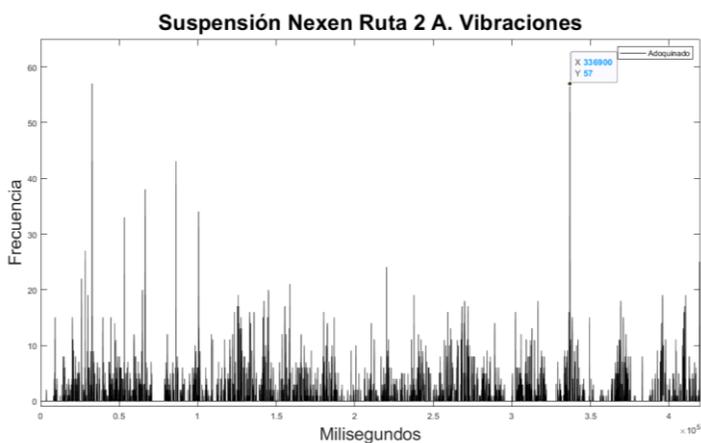
Prueba de vibración en la suspensión del neumático Nexen en el asfalto



En la prueba realizada en la ruta número 2 con el neumático 3 se puede determinar valores máximos de 56, 57 Hz y valores mínimos de 2, 4 Hz.

Figura 47

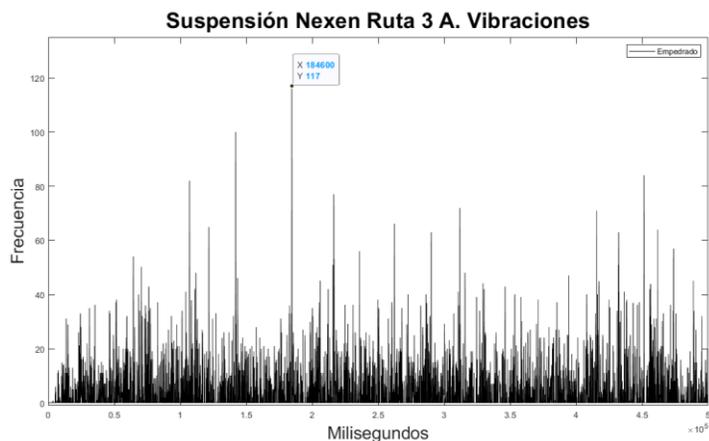
Prueba de vibración en la suspensión del neumático Nexen en el adoquinado



En la prueba realizada en la ruta número 3 con el neumático 3 se puede determinar valores máximos de 102, 117 Hz y valores mínimos de 8, 16 Hz.

Figura 48

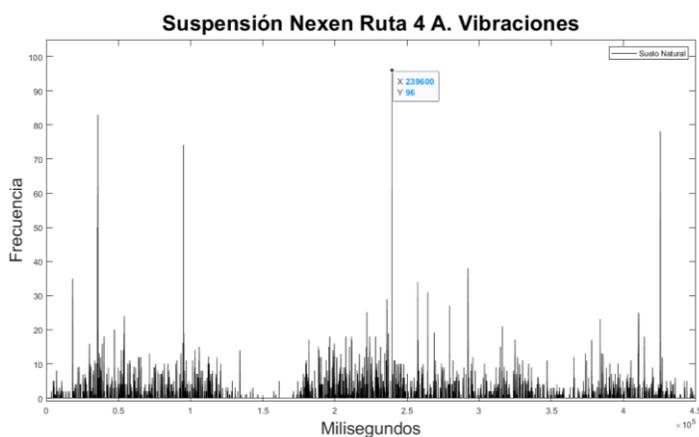
Prueba de vibración en la suspensión del neumático Nexen en el empedrado



En la prueba realizada en la ruta número 4 con el neumático 3 se puede determinar valores máximos de 72, 96 Hz, esto por irregularidades presentadas en la superficie de ensayo y valores mínimos de 0, 2 Hz.

Figura 49

Prueba de vibración en la suspensión del neumático Nexen en el suelo natural

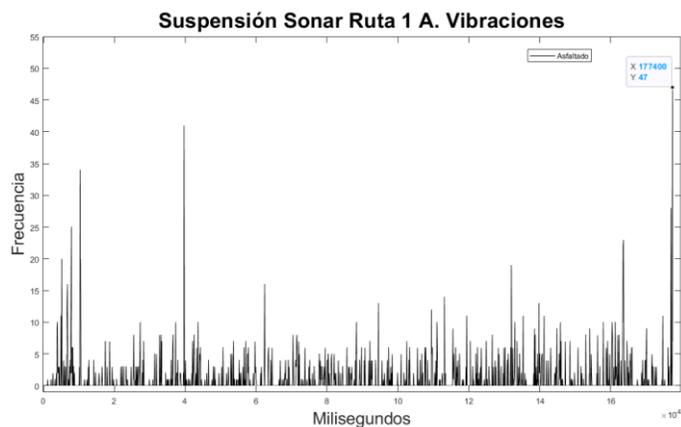


a.4. Neumático 4 (SONAR)

En la prueba realizada en la ruta número 1 con el neumático 4 se puede determinar valores máximos de 42, 47 Hz y valores mínimos de 1, 5 Hz.

Figura 50

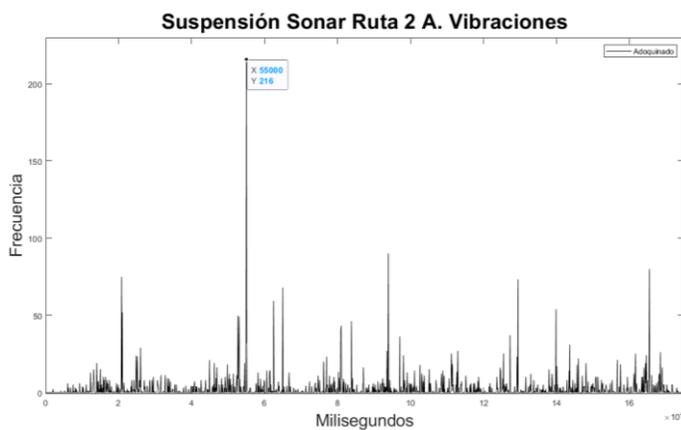
Prueba de vibración en la suspensión del neumático Sonar en el asfaltado



En la prueba realizada en la ruta número 2 con el neumático 4 se puede determinar valores máximos de 80, 82 Hz y el pico de 216 Hz por la irregularidad que existió en un tramo de la calzada y valores mínimos de 1, 5 Hz.

Figura 51

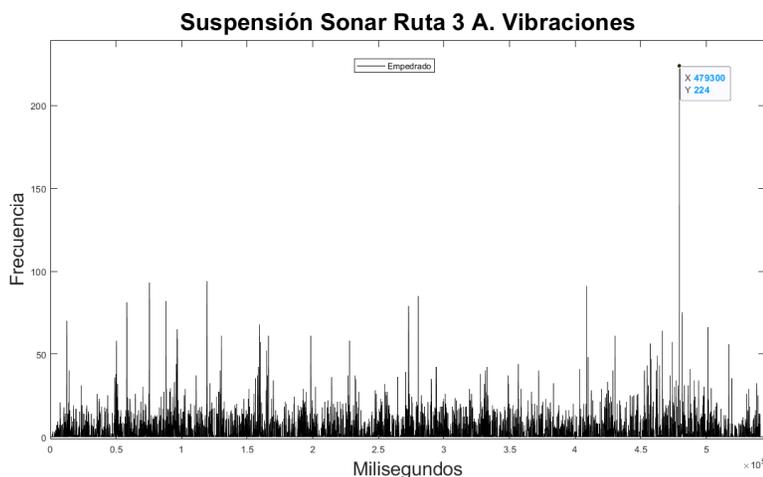
Prueba de vibración en la suspensión del neumático Sonar en el adoquinado



En la prueba realizada en la ruta número 3 con el neumático 4 se puede determinar un valor máximo de 224 Hz y valores mínimos de 5, 15 Hz.

Figura 52

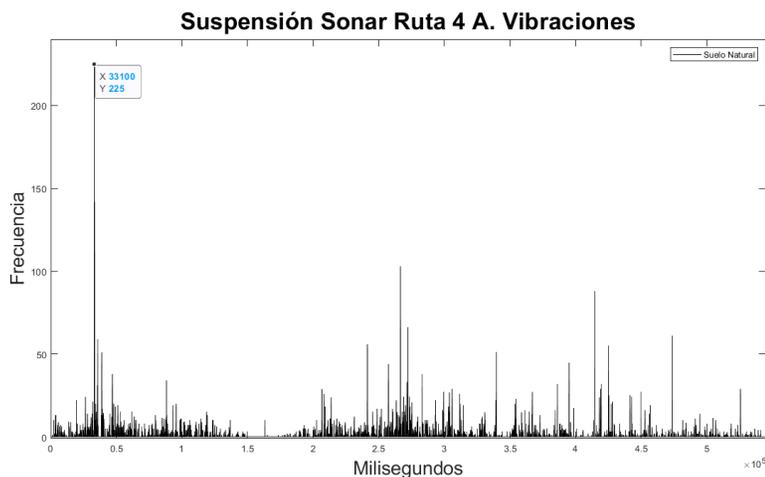
Prueba de vibración en la suspensión del neumático Sonar en el empedrado



En la prueba realizada en la ruta número 4 con el neumático 4 se puede determinar un valor máximo de 225 Hz como pico por una irregularidad donde cayó bruscamente el vehículo, los valores máximos notables son 96, 102 Hz y valores mínimos de 0, 1 Hz.

Figura 53

Prueba de vibración en la suspensión del neumático Sonar en el suelo natural



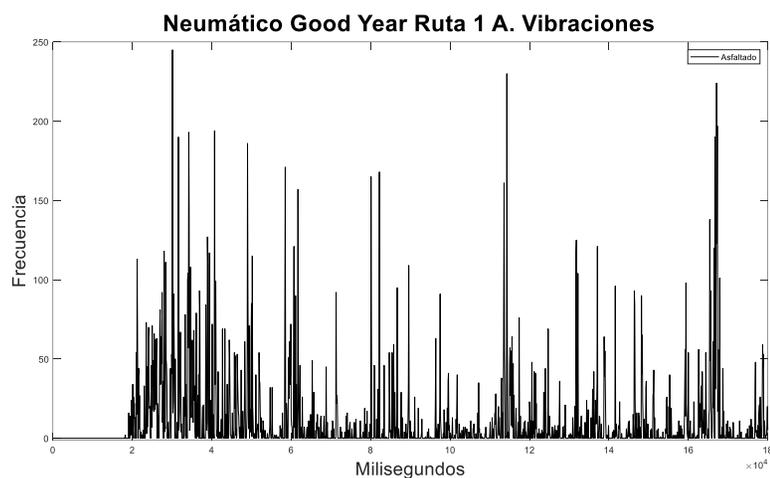
b. Pruebas en los neumáticos

b.1. Neumático 1 (GOOD YEAR)

En la prueba realizada en la ruta número 1 con el neumático 1 se puede determinar valores máximos son 230, 249 Hz y valores mínimos de 10,30 Hz.

Figura 54

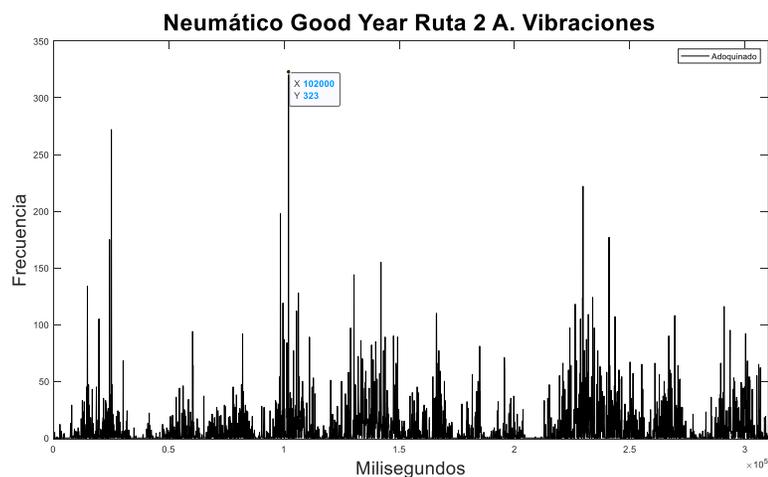
Prueba de vibración del neumático Good Year en el asfaltado



En la prueba realizada en la ruta número 2 con el neumático 1 se puede determinar valores máximos son 320, 323 Hz y valores mínimos de 30,45 Hz.

Figura 55

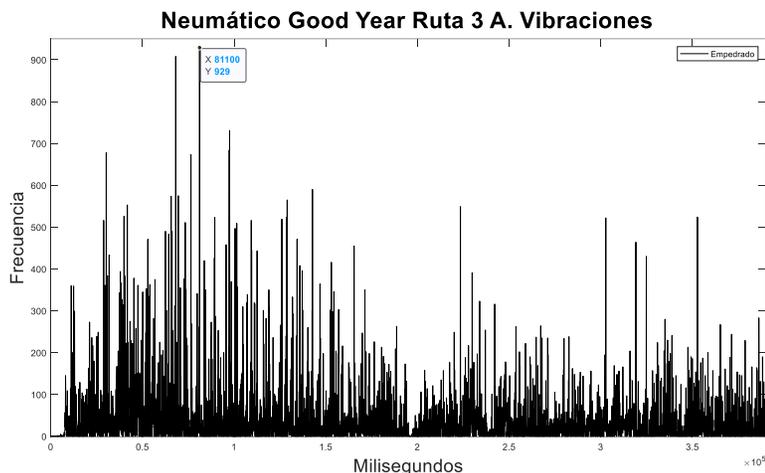
Prueba de vibración del neumático Good Year en el adoquinado



En la prueba realizada en la ruta número 3 con el neumático 1 se puede determinar valores máximos son 910, 929 Hz y valores mínimos de 90,105 Hz.

Figura 56

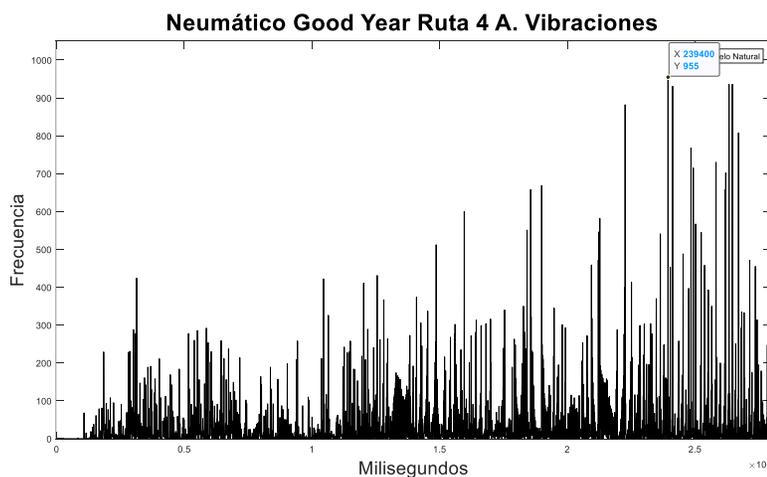
Prueba de vibración del neumático Good Year en el empedrado



En la prueba realizada en la ruta número 4 con el neumático 1 se puede determinar valores máximos son 550, 610 Hz con excepción de que la ruta tuvo irregularidades donde el neumático cayó bruscamente y el sensor tuvo un pico máximo de 955 Hz y valores mínimos de 90,105 Hz.

Figura 57

Prueba de vibración del neumático Good Year en el suelo natural

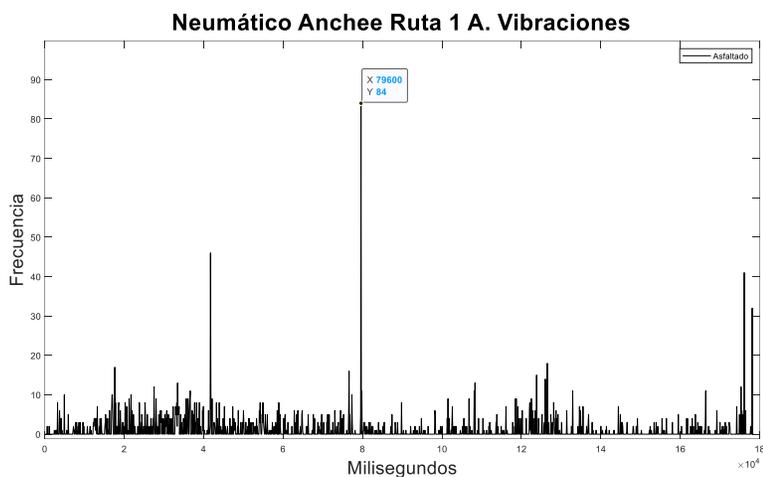


b.2. Neumático 2 (ANCHEE)

En la prueba realizada en la ruta número 1 con el neumático 2 se puede determinar valores máximos son 945, 84 Hz y valores mínimos de 2, 5 Hz.

Figura 58

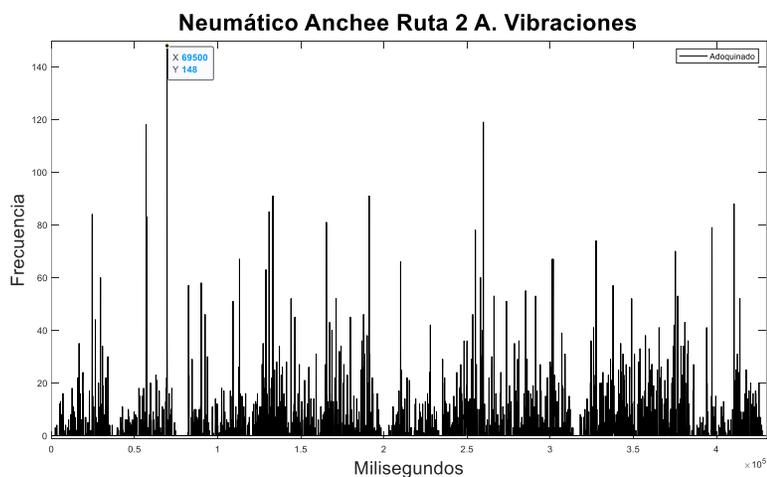
Prueba de vibración del neumático Achee en el asfaltado



En la prueba realizada en la ruta número 2 con el neumático 2 se puede determinar valores máximos son 118, 148 Hz y valores mínimos de 5, 10 Hz.

Figura 59

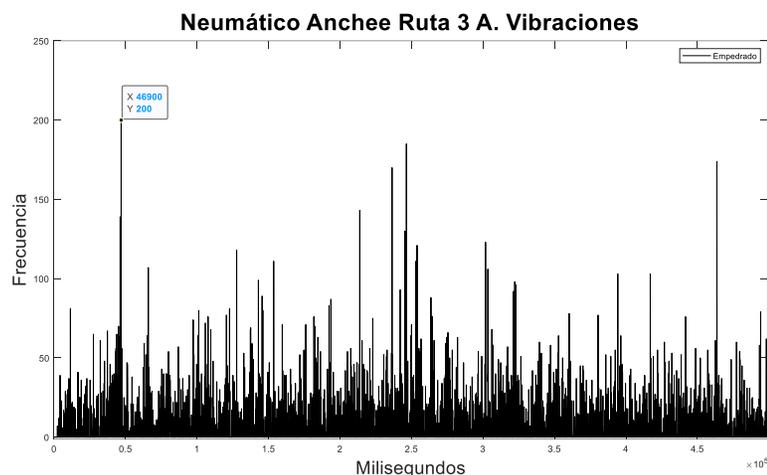
Prueba de vibración del neumático Achee en el adoquinado



En la prueba realizada en la ruta número 3 con el neumático 2 se puede determinar valores máximos son 168, 200 Hz y valores mínimos de 30, 40 Hz.

Figura 60

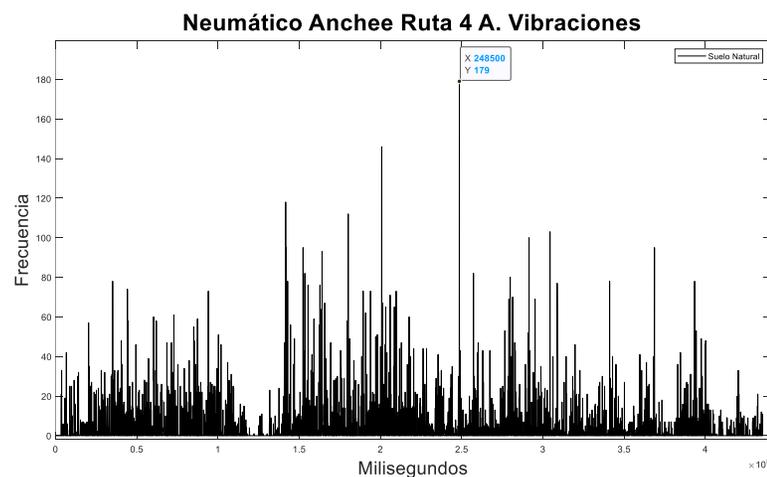
Prueba de vibración del neumático Achee en el empedrado



En la prueba realizada en la ruta número 4 con el neumático 2 se puede determinar valores máximos son 125, 145 Hz con excepción de que la ruta tuvo irregularidades donde el neumático cayó bruscamente y el sensor tuvo un pico máximo de 179 Hz y valores mínimos de 30, 40 Hz.

Figura 61

Prueba de vibración del neumático Achee en el suelo natural

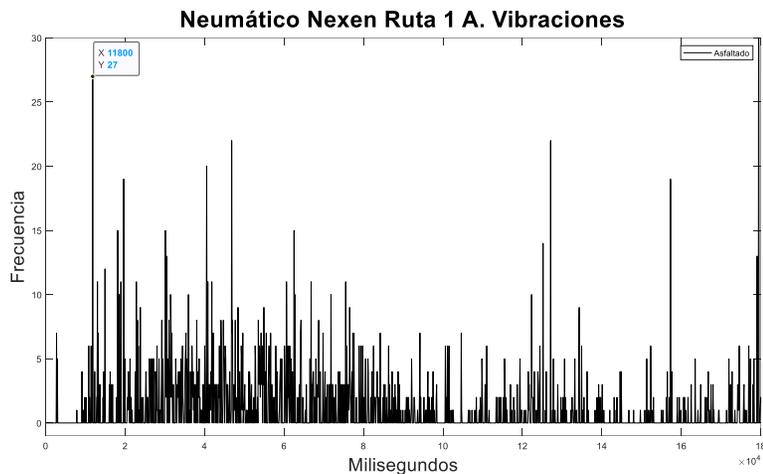


b.3. Neumático 3 (NEXEN)

En la prueba realizada en la ruta número 1 con el neumático 3 se puede determinar valores máximos son 20, 22, 27 Hz y valores mínimos de 0, 2 Hz.

Figura 62

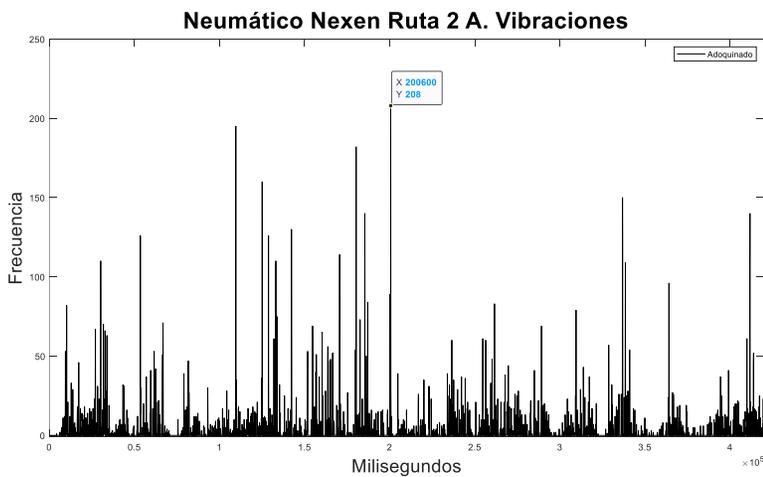
Prueba de vibración del neumático Nexen en el asfaltado



En la prueba realizada en la ruta número 2 con el neumático 3 se puede determinar valores máximos son 190, 208 Hz y valores mínimos de 5, 10 Hz.

Figura 63

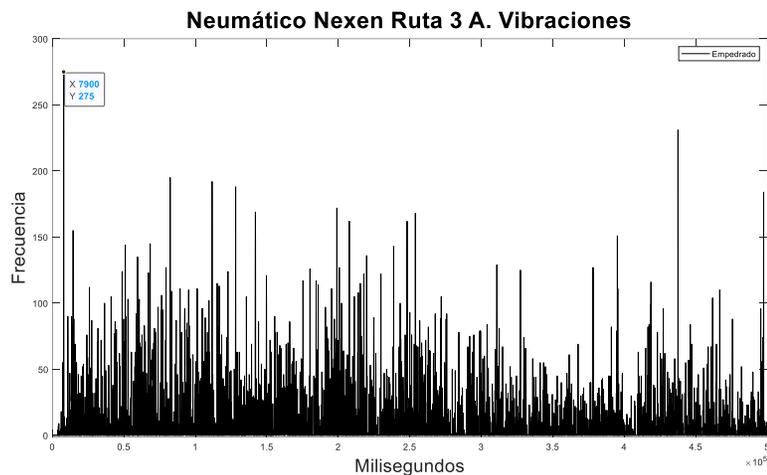
Prueba de vibración del neumático Nexen en el adoquinado



En la prueba realizada en la ruta número 3 con el neumático 3 se puede determinar valores máximos son 260, 275 Hz y valores mínimos de 20, 40 Hz.

Figura 64

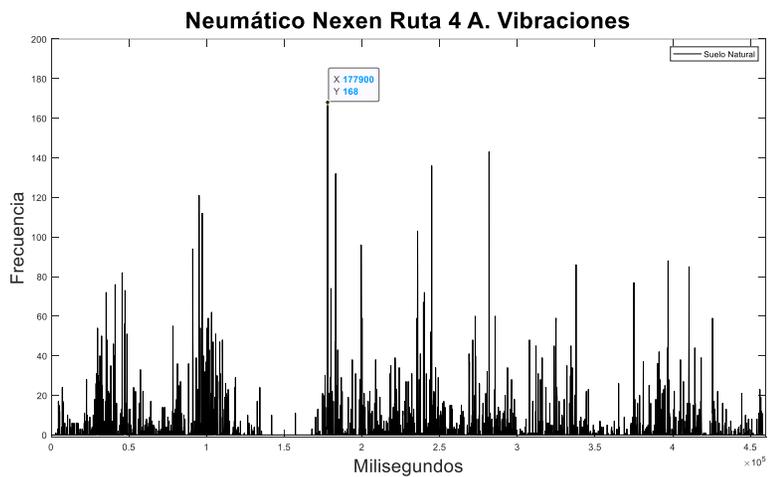
Prueba de vibración del neumático Nexen en el empedrado



En la prueba realizada en la ruta número 4 con el neumático 3 se puede determinar valores máximos son 141, 168 Hz y valores mínimos de 0, 10 Hz.

Figura 65

Prueba de vibración del neumático Nexen en el suelo natural

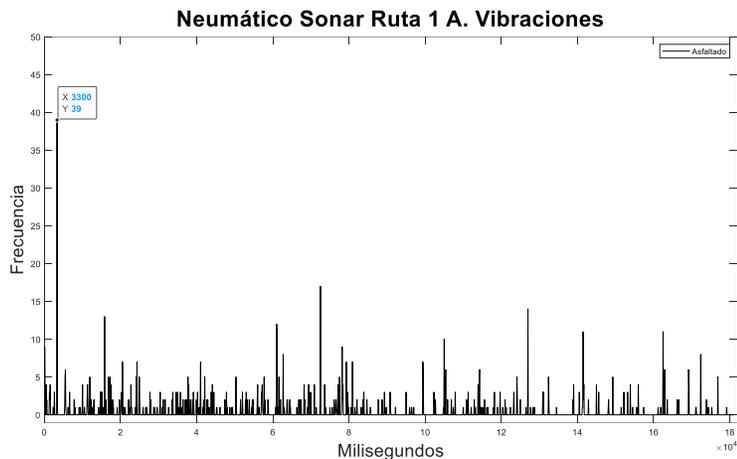


b.4. Neumático 4 (SONAR)

En la prueba realizada en la ruta número 1 con el neumático 4 se puede determinar valores máximos son 141, 168 Hz y valores mínimos de 0, 10 Hz.

Figura 66

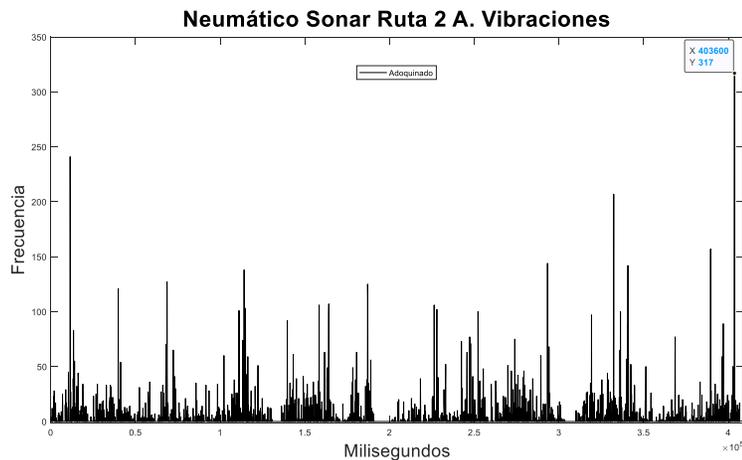
Prueba de vibración del neumático Sonar en el asfalto



En la prueba realizada en la ruta número 2 con el neumático 4 se puede determinar valores máximos son 210, 249 Hz con excepción de que la ruta tuvo irregularidades donde el neumático cayó bruscamente y el sensor tuvo un pico máximo de 317 Hz y valores mínimos de 5, 15 Hz.

Figura 67

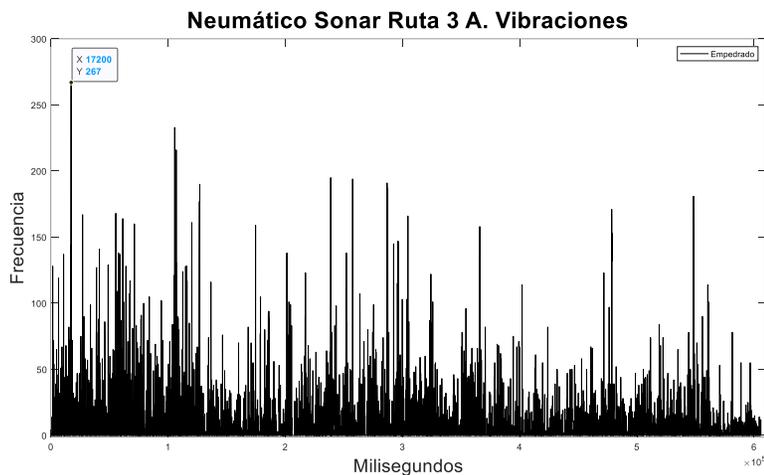
Prueba de vibración del neumático Sonar en el adoquinado



En la prueba realizada en la ruta número 3 con el neumático 4 se puede determinar valores máximos son 240, 267 Hz y valores mínimos de 10, 40 Hz.

Figura 68

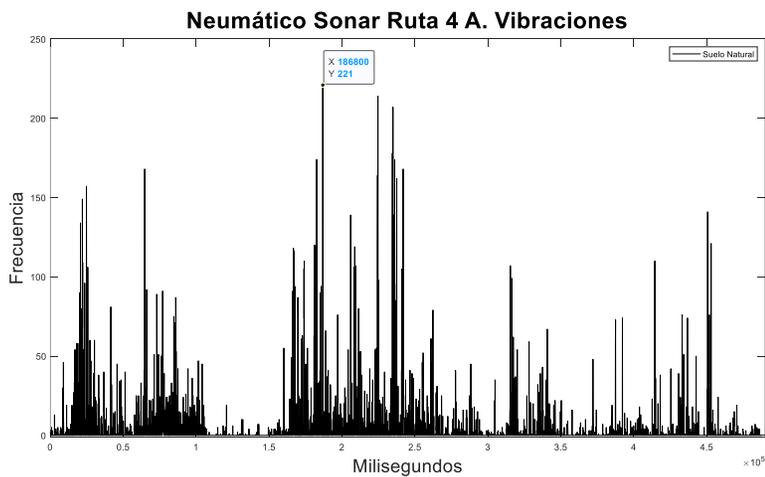
Prueba de vibración del neumático Sonar en el empedrado



En la prueba realizada en la ruta número 4 con el neumático 4 se puede determinar valores máximos son 180, 221 Hz y valores mínimos de 0, 10 Hz.

Figura 69

Prueba de vibración del neumático Sonar en el suelo natural



3.5.2. Pruebas con sonómetro

Para poder realizar las pruebas en el analizador de vibraciones es recomendable tomar en cuenta la velocidad descrita en la tabla 4 de igual manera tomar en cuenta las rutas tomadas en cuenta para obtener los datos deseados, además se debe tomar el orden de los neumáticos a realizar los ensayos con su respectiva presión de inflado como se muestran en las tablas 7 y 6 respectivamente.

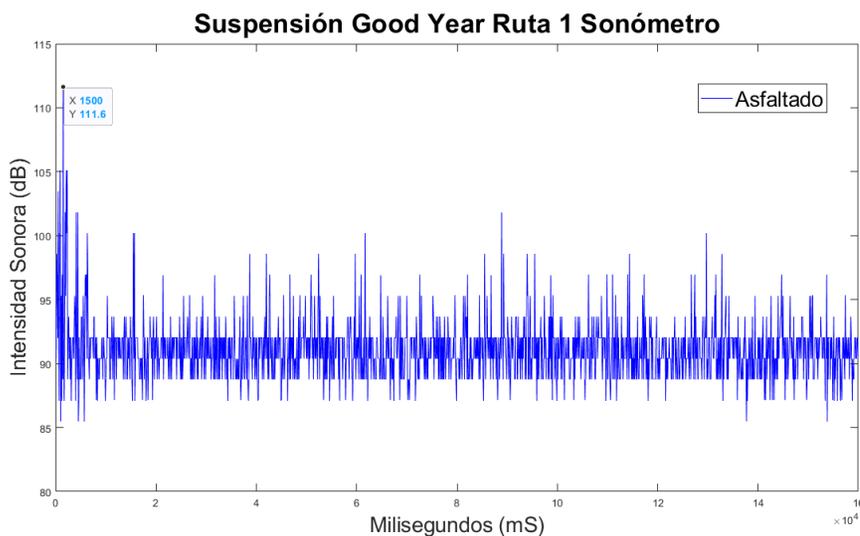
a. Pruebas en la suspensión

a.1. Neumático 1 (GOOD YEAR)

En la prueba realizada en la ruta número 1 con el neumático 1 se puede determinar valores máximos son 104, 111.6 dB y los valores mínimos son de 86, 88 dB.

Figura 70

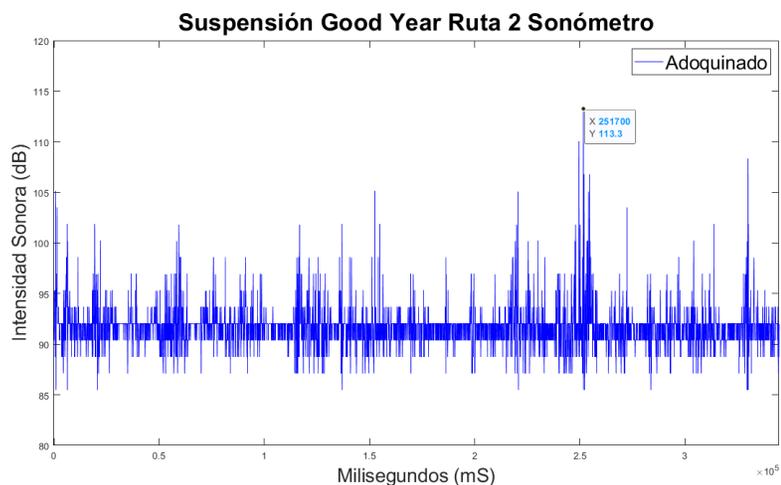
Prueba de sonido en la suspensión del neumático Good Year en el asfaltado



En la prueba realizada en la ruta número 2 con el neumático 1 se puede determinar valores máximos son 110, 113.3 dB y los valores mínimos son de 86, 87 dB.

Figura 71

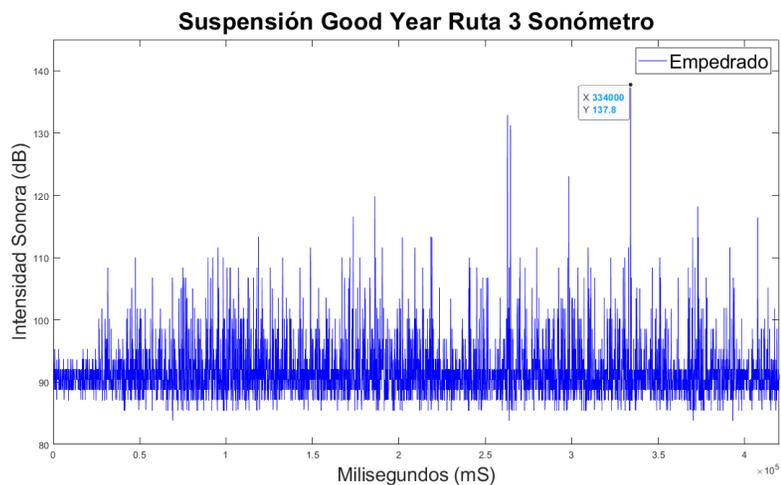
Prueba de sonido en la suspensión del neumático Good Year en el adoquinado



En la prueba realizada en la ruta número 3 con el neumático 1 se puede determinar valores máximos son 133, 137.8 dB y los valores mínimos son de 86, 88 dB.

Figura 72

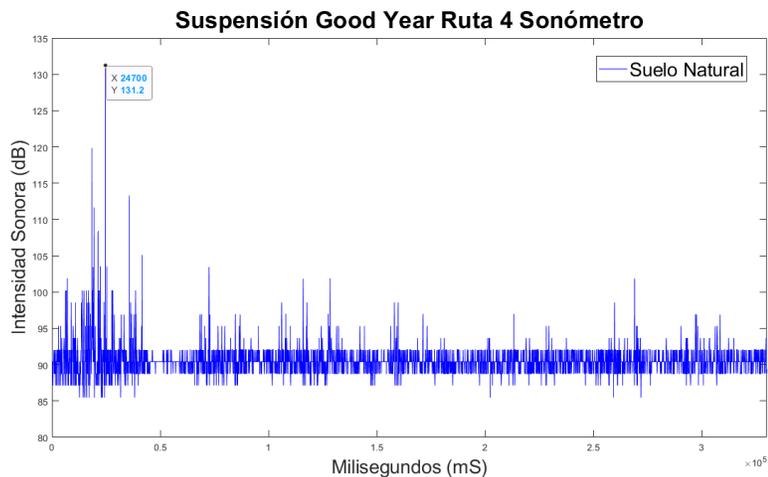
Prueba de sonido en la suspensión del neumático Good Year en el empedrado



En la prueba realizada en la ruta número 4 con el neumático 1 se puede determinar valores máximos son 119, 131.2 dB y los valores mínimos son de 86, 87 dB.

Figura 73

Prueba de sonido en la suspensión del neumático Good Year en el suelo natural

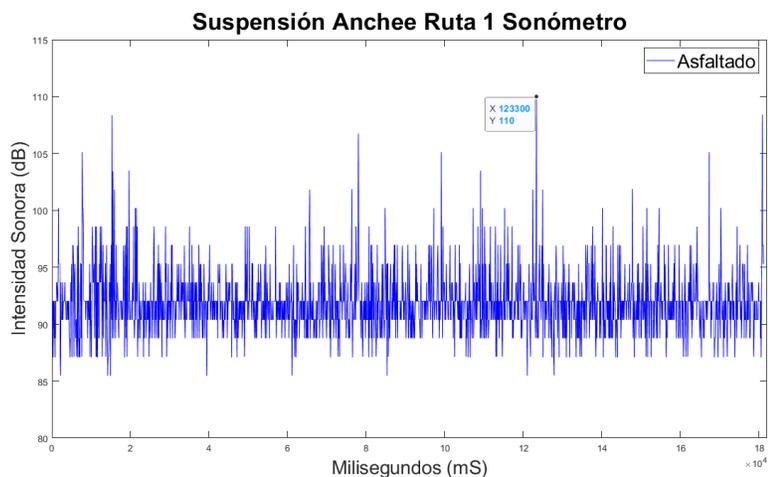


a.2. Neumático 2 (ANCHEE)

En la prueba realizada en la ruta número 1 con el neumático 2 se puede determinar valores máximos son 108, 110 dB y los valores mínimos son de 86, 87 dB.

Figura 74

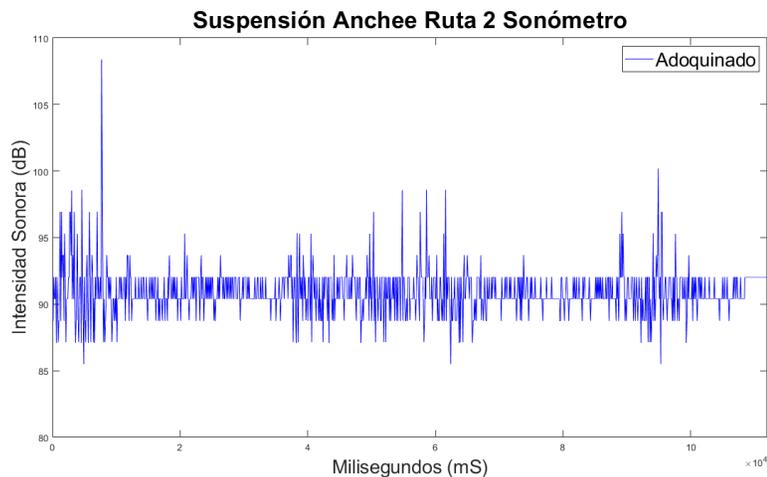
Prueba de sonido en la suspensión del neumático Anchee en el asfalto



En la prueba realizada en la ruta número 2 con el neumático 2 se puede determinar valores máximos son 103, 108.1 dB y los valores mínimos son de 85, 86 dB.

Figura 75

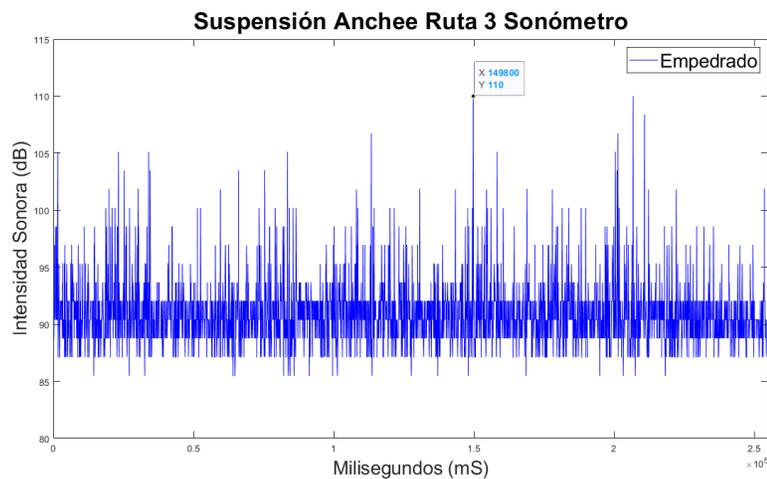
Prueba de sonido en la suspensión del neumático Anchee en el adoquinado



En la prueba realizada en la ruta número 3 con el neumático 2 se puede determinar valores máximos son 108, 110 dB y los valores mínimos son de 86, 88 dB.

Figura 76

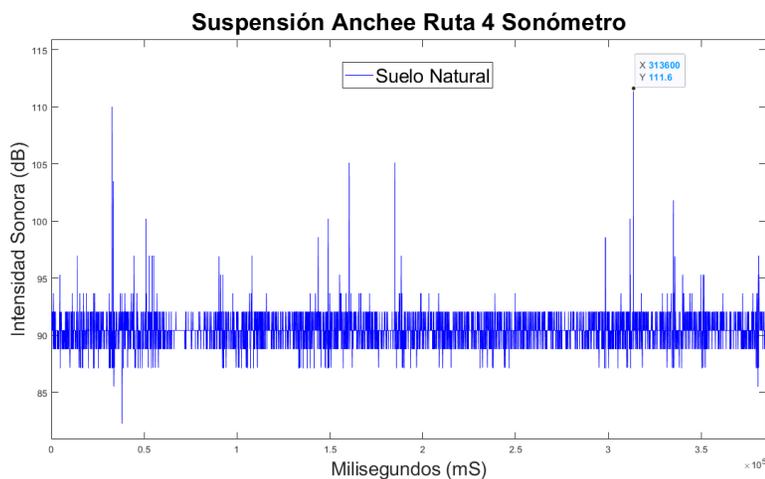
Prueba de sonido en la suspensión del neumático Anchee en el empedrado



En la prueba realizada en la ruta número 4 con el neumático 2 se puede determinar valores máximos son 110, 111.6 dB y los valores mínimos son de 82, 86 dB.

Figura 77

Prueba de sonido en la suspensión del neumático Anchee en el suelo natural

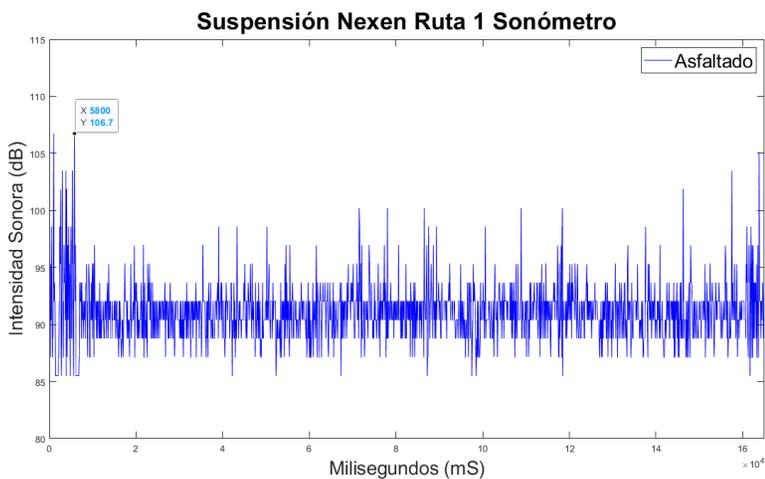


a.3. Neumático 3 (NEXEN)

En la prueba realizada en la ruta número 1 con el neumático 3 se puede determinar valores máximos son 105, 106.7 dB y los valores mínimos son de 85.5, 86 dB.

Figura 78

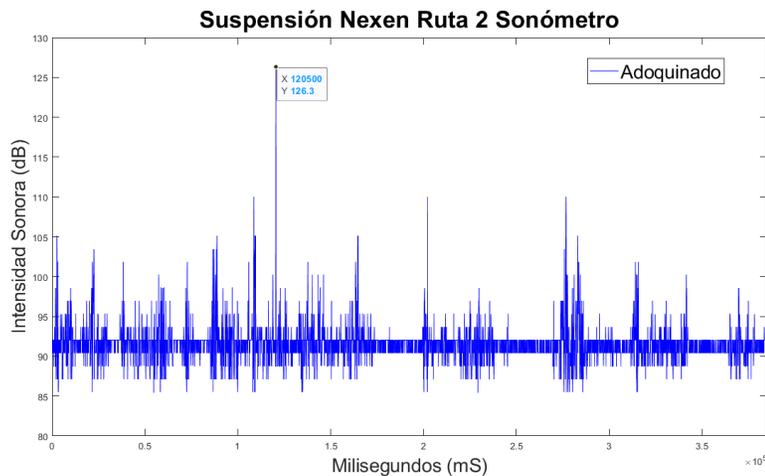
Prueba de sonido en la suspensión del neumático Nexen en el asfalto



En la prueba realizada en la ruta número 2 con el neumático 3 se puede determinar valores máximos son 111, 126.3 dB y los valores mínimos son de 85.5, 88 dB.

Figura 79

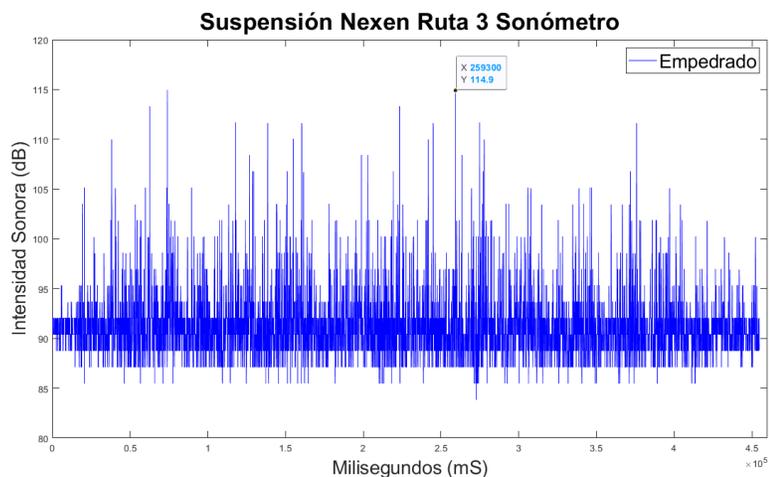
Prueba de sonido en la suspensión del neumático Nexen en el adoquinado



En la prueba realizada en la ruta número 3 con el neumático 3 se puede determinar valores máximos son 111, 114.9 dB y los valores mínimos son de 84, 86 dB.

Figura 80

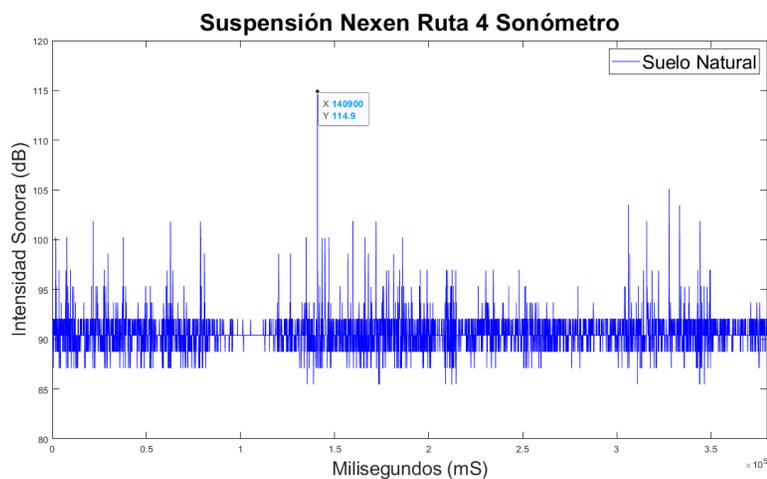
Prueba de sonido en la suspensión del neumático Nexen en el empedrado



En la prueba realizada en la ruta número 4 con el neumático 3 se puede determinar valores máximos son 102.5, 114.9 dB y los valores mínimos son de 86, 88 dB.

Figura 81

Prueba de sonido en la suspensión del neumático Nexen en el suelo natural

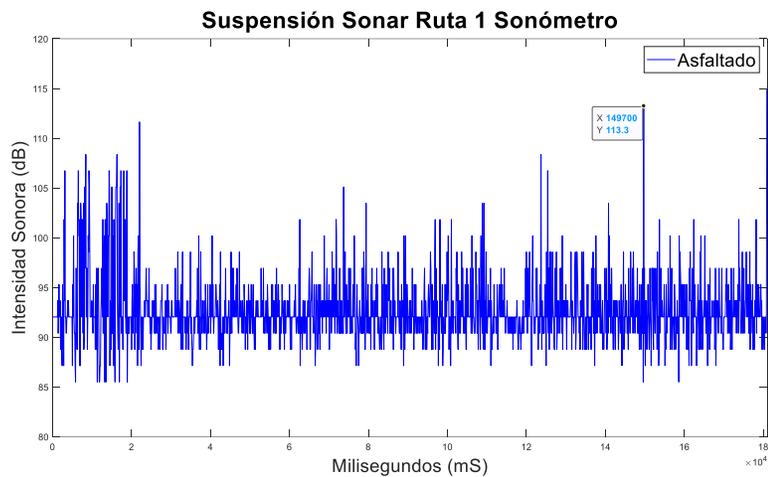


a.4. Neumático 4 (SONAR)

En la prueba realizada en la ruta número 1 con el neumático 4 se puede determinar valores máximos son 108, 113.3 dB y los valores mínimos son de 85.5, 87 dB.

Figura 82

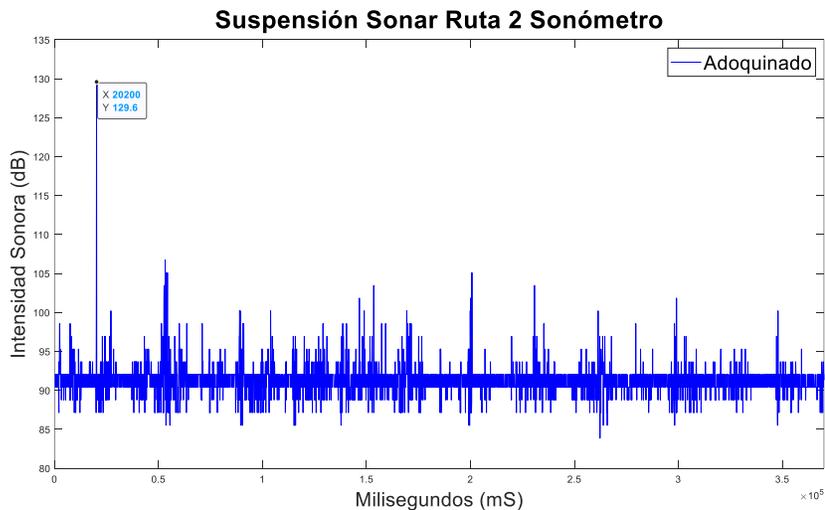
Prueba de sonido en la suspensión del neumático Sonar en el asfaltado



En la prueba realizada en la ruta número 2 con el neumático 4 se puede determinar valores máximos son 108, 129.6 dB y los valores mínimos son de 86, 87 dB.

Figura 83

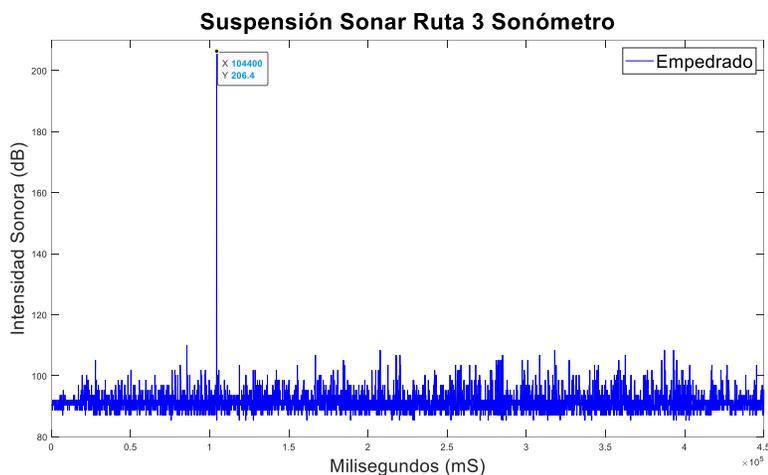
Prueba de sonido en la suspensión del neumático Sonar en el adoquinado



En la prueba realizada en la ruta número 3 con el neumático 4 se puede determinar valores máximos son 110, 206.4 dB y los valores mínimos son de 86, 87 dB.

Figura 84

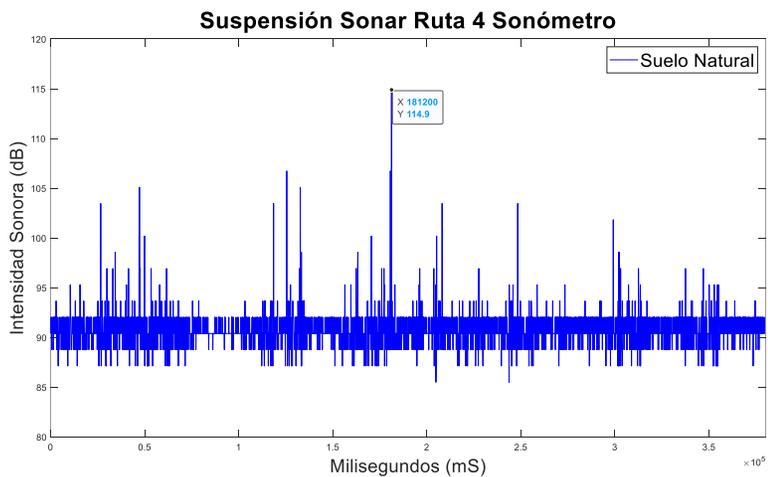
Prueba de sonido en la suspensión del neumático Sonar en el empedrado



En la prueba realizada en la ruta número 4 con el neumático 4 se puede determinar valores máximos son 106, 114.9 dB y los valores mínimos son de 86, 88 dB.

Figura 85

Prueba de sonido en la suspensión del neumático Sonar en el suelo natural



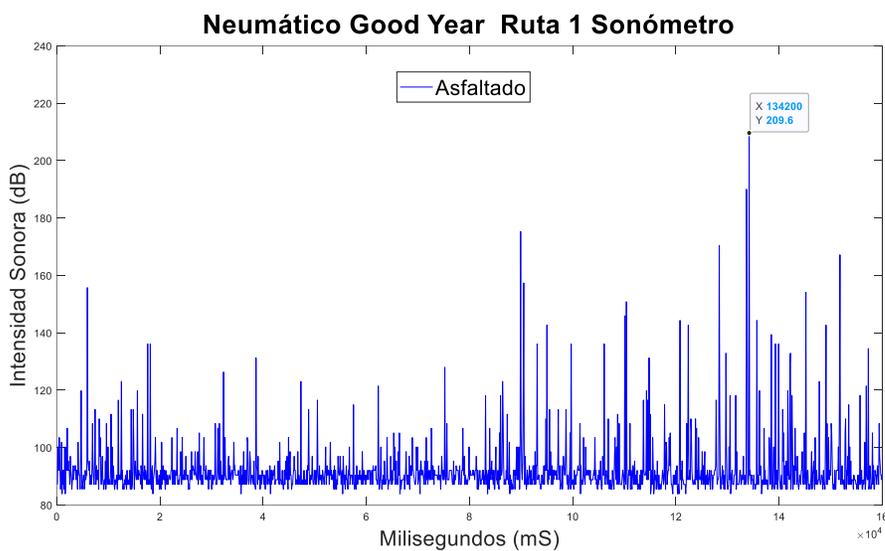
b. Pruebas en los neumáticos

b.1. Neumático 1 (GOOD YEAR)

En la prueba realizada en la ruta número 1 con el neumático 1 se puede determinar valores máximos son 190, 209.6 dB, dichos valores son juntamente con el ruido del viento que provoca al ir a una velocidad media, cabe recalcar que se dichas pruebas se desarrollaron en una zona urbana, por otra parte, los valores mínimos son de 84, 88 dB.

Figura 86

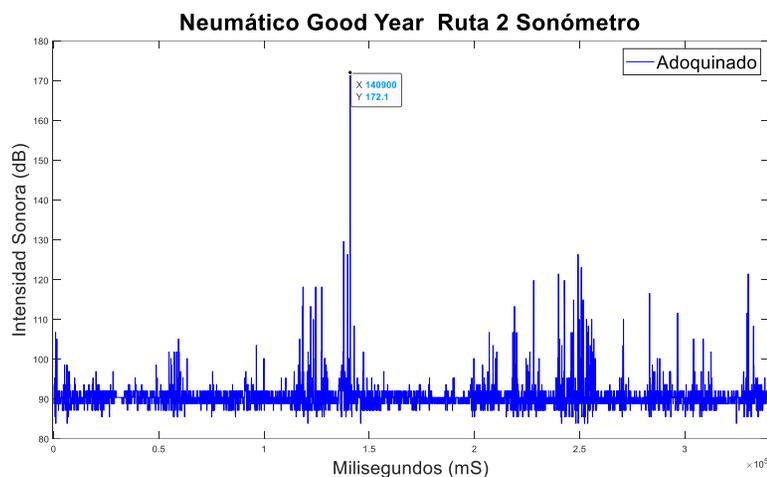
Prueba de sonido del neumático Good Year en el asfaltado



En la prueba realizada en la ruta número 2 con el neumático 1 se puede determinar valores máximos son 132, 172.1 dB, cabe recalcar que se dichas pruebas se desarrollaron en una zona urbana, por otra parte, los valores mínimos son de 85, 88 dB.

Figura 87

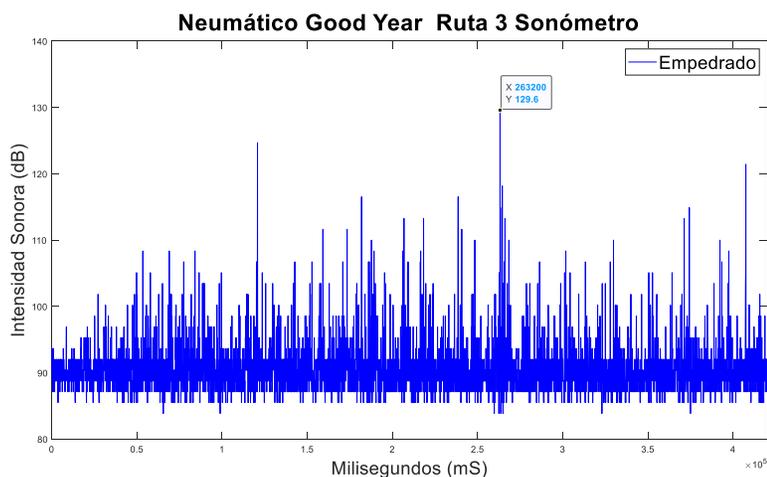
Prueba de sonido del neumático Good Year en el adoquinado



En la prueba realizada en la ruta número 3 con el neumático 1 se puede determinar valores máximos son 125, 129.6 dB, cabe recalcar que se dichas pruebas se desarrollaron en una zona rural, por otra parte, los valores mínimos son de 86, 87 dB.

Figura 88

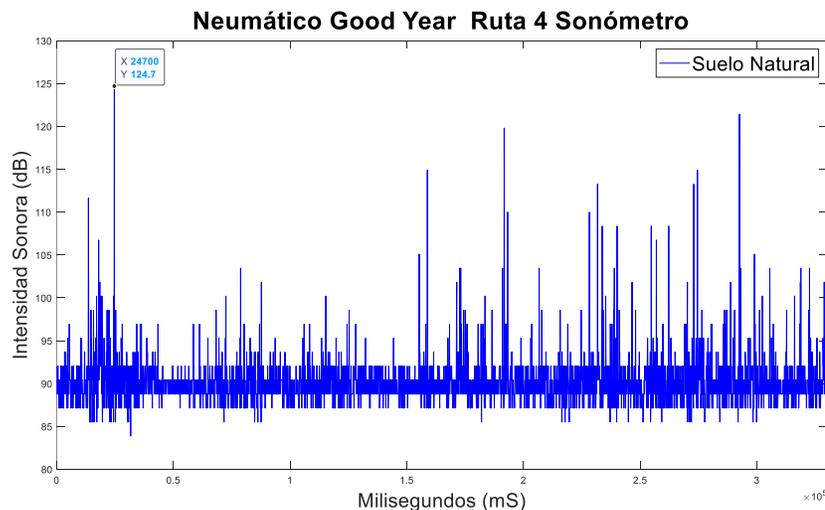
Prueba de sonido del neumático Good Year en el empedrado



En la prueba realizada en la ruta número 4 con el neumático 1 se puede determinar valores máximos son 120, 124.7 dB, cabe recalcar que se dichas pruebas se desarrollaron en una zona rural, por otra parte, los valores mínimos son de 83, 85 dB.

Figura 89

Prueba de sonido del neumático Good Year en el suelo natural

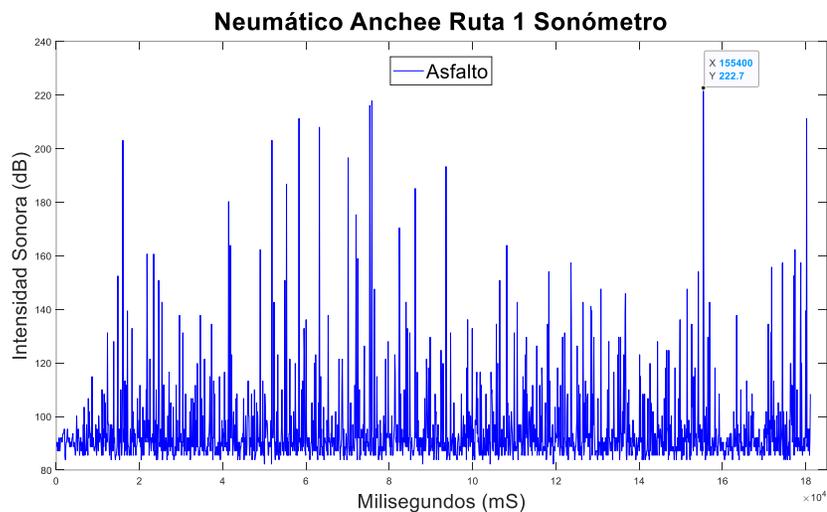


b.2. Neumático 2 (ANCHEE)

En la prueba realizada en la ruta número 1 con el neumático 2 se puede determinar valores máximos son 118, 222.7 dB, dichos valores son juntamente con el ruido del viento que provoca al ir a una velocidad media, cabe recalcar que se dichas pruebas se desarrollaron en una zona urbana, por otra parte, los valores mínimos son de 84, 87 dB.

Figura 90

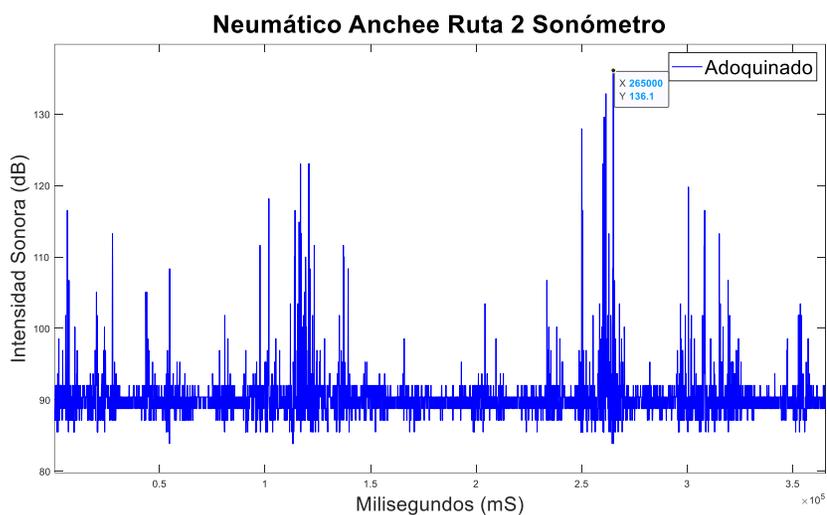
Prueba de sonido del neumático Anchee en el asfalto



En la prueba realizada en la ruta número 2 con el neumático 2 se puede determinar valores máximos son 128, 136.1 dB, cabe recalcar que se dichas pruebas se desarrollaron en una zona urbana, por otra parte, los valores mínimos son de 84, 86 dB.

Figura 91

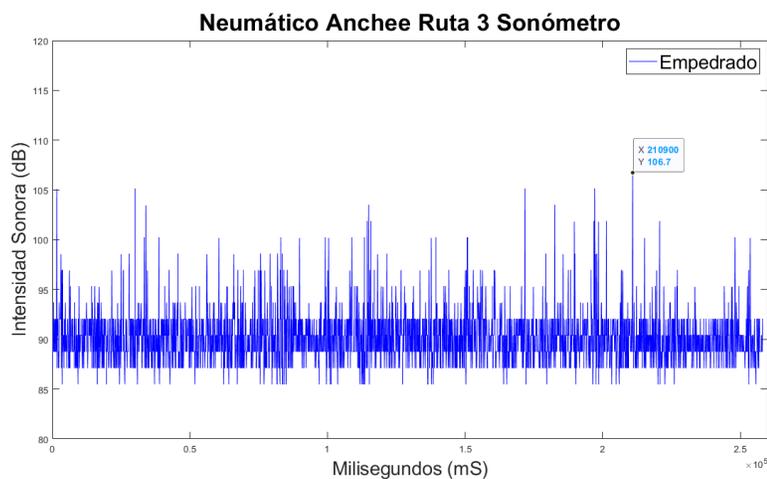
Prueba de sonido del neumático Anchee en el adoquinado



En la prueba realizada en la ruta número 3 con el neumático 2 se puede determinar valores máximos son 105, 106.7 dB, cabe recalcar que se dichas pruebas se desarrollaron en una zona rural, por otra parte, los valores mínimos son de 86, 88 dB.

Figura 92

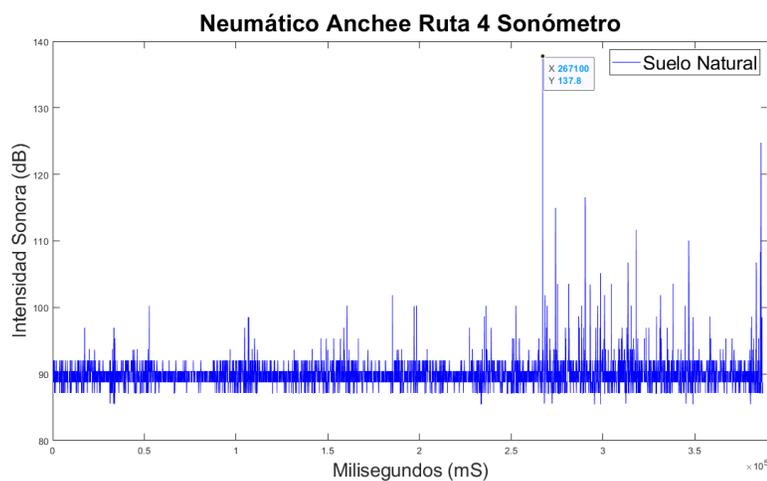
Prueba de sonido del neumático Anchee en el empedrado



En la prueba realizada en la ruta número 4 con el neumático 2 se puede determinar valores máximos son 118, 137.8 dB, cabe recalcar que se dichas pruebas se desarrollaron en una zona rural, por otra parte, los valores mínimos son de 86, 87 dB.

Figura 93

Prueba de sonido del neumático Anchee en el suelo natural

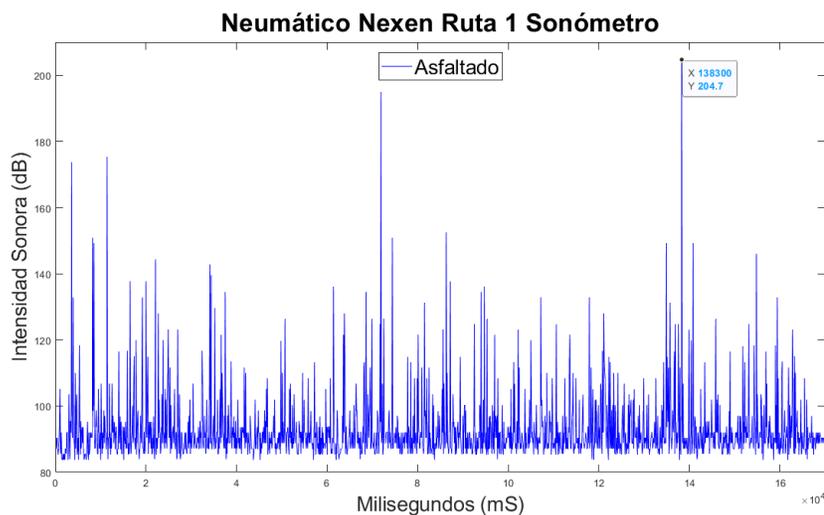


b.3. Neumático 3 (NEXEN)

En la prueba realizada en la ruta número 1 con el neumático 3 se puede determinar valores máximos son 188, 204.7 dB, dichos valores son juntamente con el ruido del viento que provoca al ir a una velocidad media, cabe recalcar que se dichas pruebas se desarrollaron en una zona urbana, por otra parte, los valores mínimos son de 86, 88 dB.

Figura 94

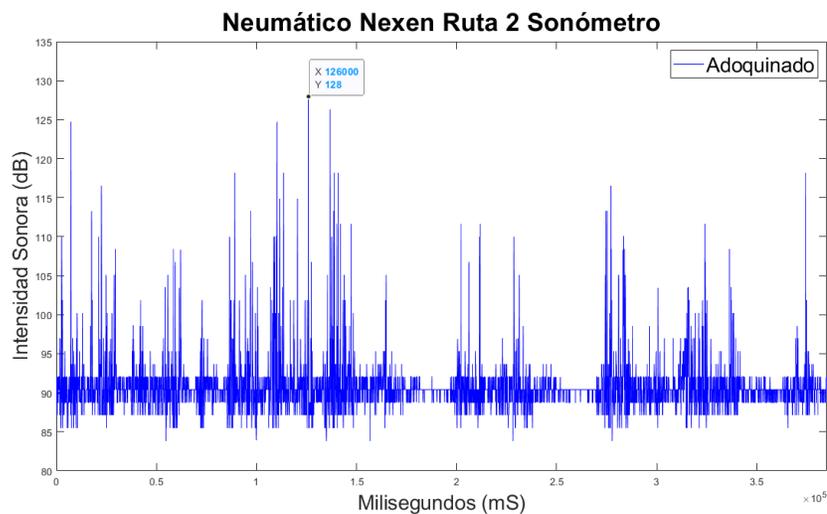
Prueba de sonido del neumático Nexen en el asfalto



En la prueba realizada en la ruta número 2 con el neumático 3 se puede determinar valores máximos son 124, 128 dB, cabe recalcar que se dichas pruebas se desarrollaron en una zona urbana, por otra parte, los valores mínimos son de 84, 86 dB.

Figura 95

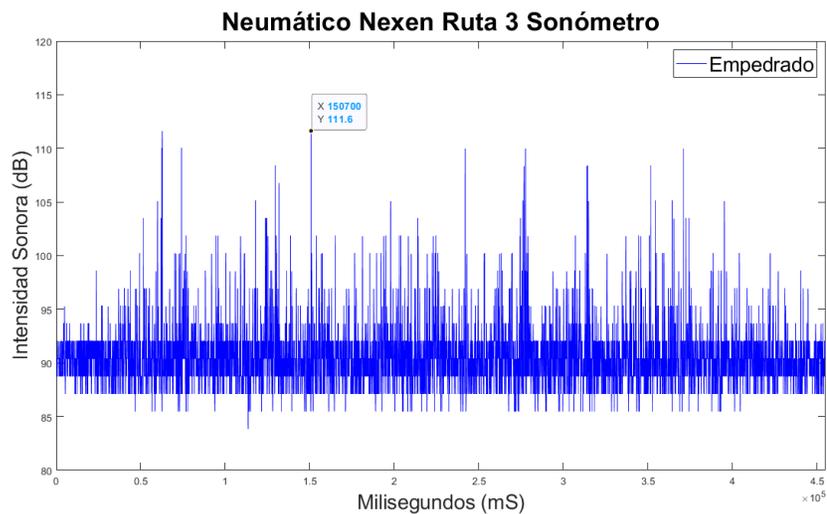
Prueba de sonido del neumático Nexen en el adoquinado



En la prueba realizada en la ruta número 3 con el neumático 3 se puede determinar valores máximos son 110, 111.6 dB, cabe recalcar que se dichas pruebas se desarrollaron en una zona rural, por otra parte, los valores mínimos son de 84, 87 dB.

Figura 96

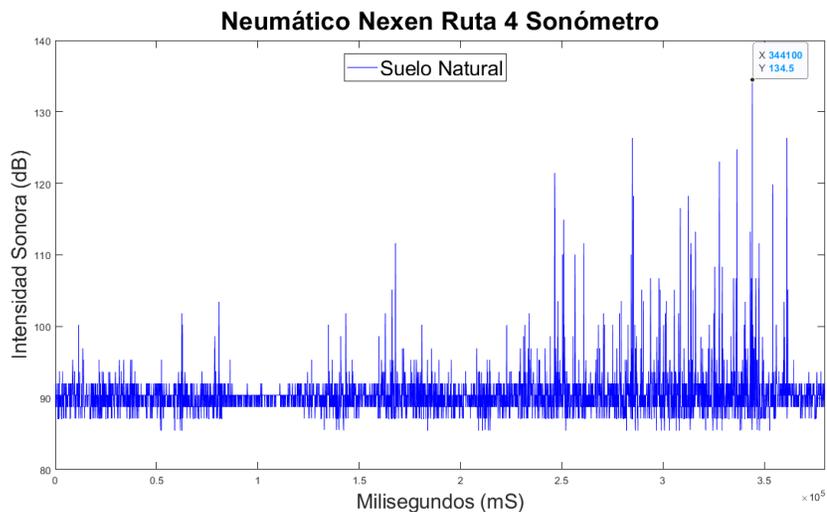
Prueba de sonido del neumático Nexen en el empedrado



En la prueba realizada en la ruta número 4 con el neumático 3 se puede determinar valores máximos son 124, 134.5 dB, cabe recalcar que se dichas pruebas se desarrollaron en una zona rural, por otra parte, los valores mínimos son de 86, 89 dB.

Figura 97

Prueba de sonido del neumático Nexen en el suelo natural

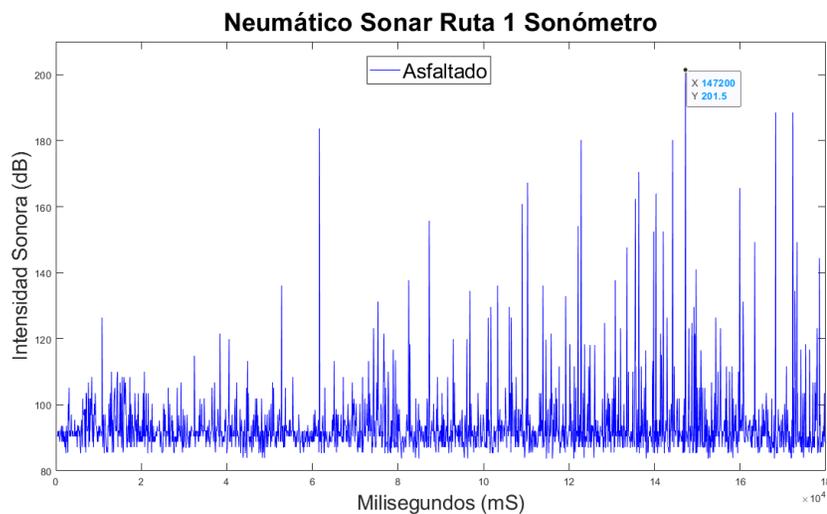


b.4. Neumático 4 (SONAR)

En la prueba realizada en la ruta número 1 con el neumático 4 se puede determinar valores máximos son 185, 201.5 dB, cabe recalcar que se dichas pruebas se desarrollaron en una zona rural, por otra parte, los valores mínimos son de 85, 87 dB.

Figura 98

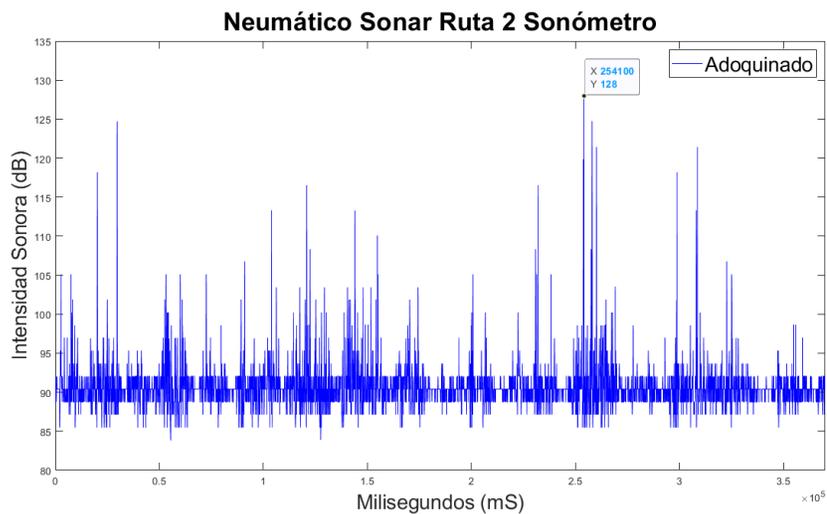
Prueba de sonido del neumático Sonar en el asfaltado



En la prueba realizada en la ruta número 2 con el neumático 4 se puede determinar valores máximos son 124, 128 dB, cabe recalcar que se dichas pruebas se desarrollaron en una zona rural, por otra parte, los valores mínimos son de 84, 87 dB.

Figura 99

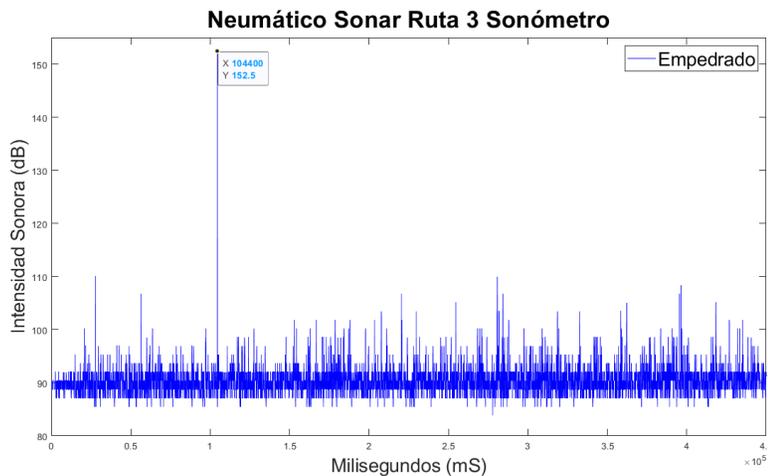
Prueba de sonido del neumático Sonar en el adoquinado



En la prueba realizada en la ruta número 3 con el neumático 4 se puede determinar valores máximos son 111, 152.5 dB, cabe recalcar que se dichas pruebas se desarrollaron en una zona rural, por otra parte, los valores mínimos son de 86, 87 dB.

Figura 100

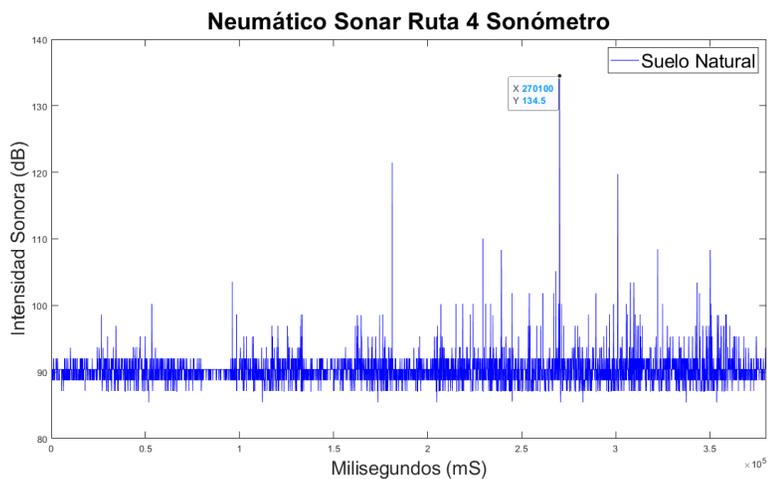
Prueba de sonido del neumático Sonar en el empedrado



En la prueba realizada en la ruta número 4 con el neumático 4 se puede determinar valores máximos son 122, 134.5 dB, cabe recalcar que se dichas pruebas se desarrollaron en una zona rural, por otra parte, los valores mínimos son de 86, 88 dB.

Figura 101

Prueba de sonido del neumático Sonar en el suelo natural



Capítulo IV

4. Análisis de resultados

En el presente capítulo se presenta el análisis de la recolección de datos previamente obtenida (capítulo 3 apartado de resultados obtenidos) mediante diferentes patrones ilustrados tanto para vibraciones como para el ruido generado por la suspensión y el neumático en los diferentes tipos de superficies seleccionadas y experimentadas de manera práctica.

4.1. Análisis de las pruebas de vibraciones

4.1.1. Análisis de vibraciones en la suspensión en asfalto (ruta 1)

En la figura 102 se puede visualizar la ilustración de las 4 curvas unificadas de la recolección de datos con el analizador de vibraciones obtenidas en la ruta número 1 (asfalto), se puede identificar que en la presente figura el neumático número 1 (color azul en la figura) tiene una homogeneidad con el neumático número 3 (color celeste en la figura) ya que los dos mantienen unas curvas constantes en todo el tramo de 3 km., con algunos picos superiores los cuales son 34 y 19 Hz respectivamente, esto es ocasionado por irregularidades en la superficie del asfalto, además se puede decir que estos dos neumáticos tienen un patrón asimétrico y direccional en V respectivamente.

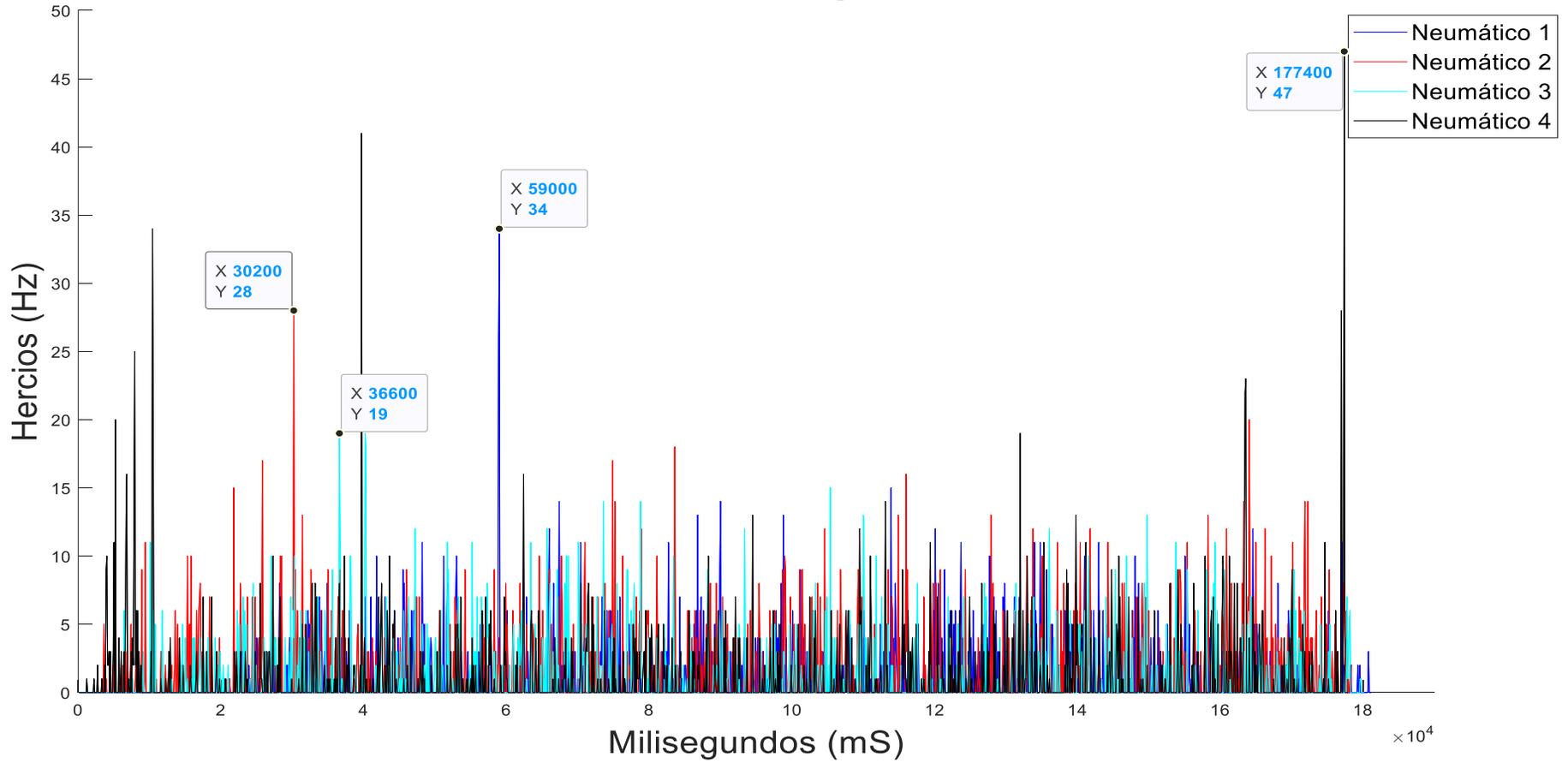
En el neumático 2 (color rojo en la figura), dicho neumático presenta una banda de rodadura con patrón simétrico, con valores que oscilan entre 18 Hz y 28 Hz como máximo.

Por otra parte, el neumático 4 (color negro en la figura), dicho neumático posee una banda de rodadura con un patrón asimétrico, por lo que se puede decir que este tipo de neumático puede desempeñarse de mejor manera en la ruta de asfalto ya que en el mismo el pico más alto que se puede ver es de 47 Hz, por irregularidades que se encuentran en la superficie de la ruta, pero con una homogeneidad en la ruta que oscila entre 1 Hz y 10 Hz en la mayor parte de la ruta.

Figura 102

Análisis de vibración en la suspensión de los neumáticos en la ruta de asfaltado

Análisis de vibración de suspensión en asfaltado



4.1.2. Análisis de vibraciones en la suspensión en adoquinado (ruta 2)

En la figura 103 se puede visualizar la ilustración de las 4 curvas unificadas de la recolección de datos con el analizador de vibraciones obtenidas en la ruta número 2 (adoquinado), se puede identificar que en la presente figura el neumático número 1 (color azul en la figura), con una banda de rodadura de patrón asimétrico tiene valores muchos más altos de vibración con respecto a los neumáticos 2, 3, 4, con valores que oscilan entre 10 Hz y 52 Hz a lo largo de la ruta y con un pico máximo de 141 Hz.

En el neumático 2 (color rojo en la figura), dicho neumático presenta una banda de rodadura con patrón simétrico, y se puede notar al momento de visualizar la figura esta onda es casi imprescindible en algunos tramos, por lo que se consideraría un neumático normal para utilizarlo en la superficie de adoquín, con valores que oscilan entre 5 Hz y 46 Hz, con un pico máximo de 54 Hz por irregularidades que se encuentran en la superficie de la ruta.

En el neumático 3 (color celeste en la figura), dicho neumático posee una banda de rodadura con un patrón direccional en "V" y se puede notar que en la figura esta es la onda que es menor que las demás, pudiendo definir así que este neumático es el óptimo y recomendado para la ruta de adoquinado ya que los valores que oscilan en esta onda son entre 5 Hz y 28 Hz aproximadamente, teniendo un valor pico máximo de 57 Hz por irregularidades que se encuentran en la superficie de la ruta.

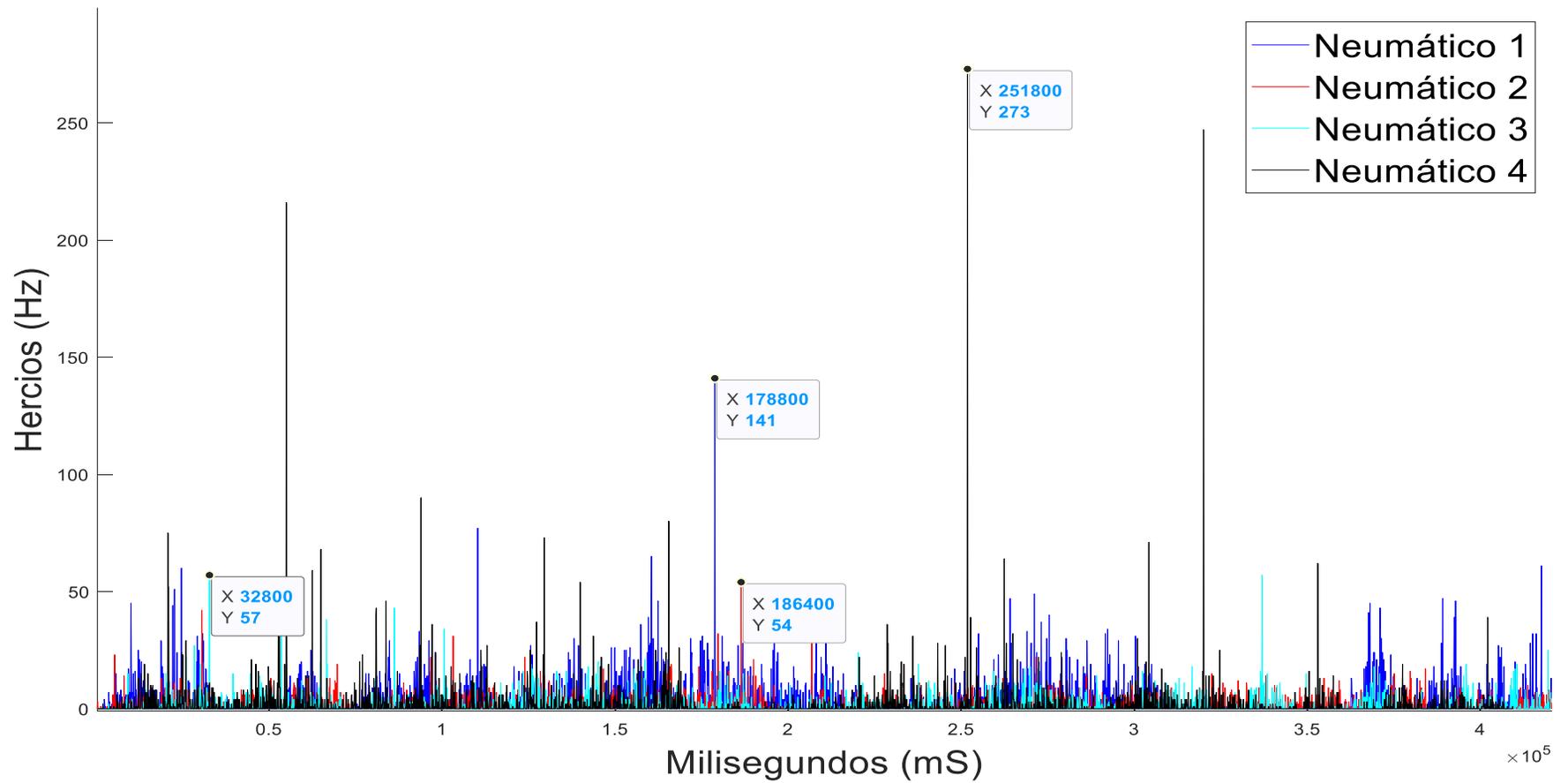
Por otra parte, el neumático 4 (color negro en la figura), dicho neumático posee una banda de rodadura con un patrón asimétrico, se puede notar que existe una onda muy pequeña, con valores que oscilan entre 10 Hz y 32 Hz aproximadamente, con un pico máximo de 273 Hz por irregularidades en la superficie que se encuentra en esta ruta.

Teniendo como resultado en esta ruta al neumático 3 como el más eficiente con una menor onda que quiere decir menor vibración en la suspensión.

Figura 103

Análisis de vibración en la suspensión de los neumáticos en la ruta de adoquinado

Análisis de vibración de suspensión en adoquinado



4.1.3. Análisis de vibraciones en la suspensión en empedrado (ruta 3)

En la figura 104 se puede visualizar la ilustración de las 4 curvas unificadas de la recolección de datos con el analizador de vibraciones obtenidas en la ruta número 3 (empedrado), se puede identificar que en la presente figura el neumático número 1 (color azul en la figura), con una banda de rodadura de patrón asimétrico tiene valores muchos más altos de vibración con respecto a los neumáticos 2, 3, 4, con valores que oscilan entre 20 Hz y 84 Hz aproximadamente a lo largo de la ruta y con un pico máximo de 151 Hz, esto por irregularidades en la superficie de la ruta.

En el neumático 2 (color rojo en la figura), dicho neumático presenta una banda de rodadura con patrón simétrico, y se puede notar al momento de visualizar la figura esta onda es casi imprescindible, por lo que se consideraría un neumático óptimo y específico para utilizar en la superficie de empedrado, con valores que oscilan entre 5 Hz y 40 Hz, con un pico máximo de 54 Hz por irregularidades que se encuentran en la superficie de la ruta.

En el neumático 3 (color celeste en la figura), dicho neumático posee una banda de rodadura con un patrón direccional en "V" y se puede notar que en la figura esta es la onda que está intermedia entre el neumático 1 y 4 con valores que oscilan entre 20 Hz y 78 Hz aproximadamente, teniendo un valor pico máximo de 117 Hz por irregularidades que se encuentran en la superficie de la ruta.

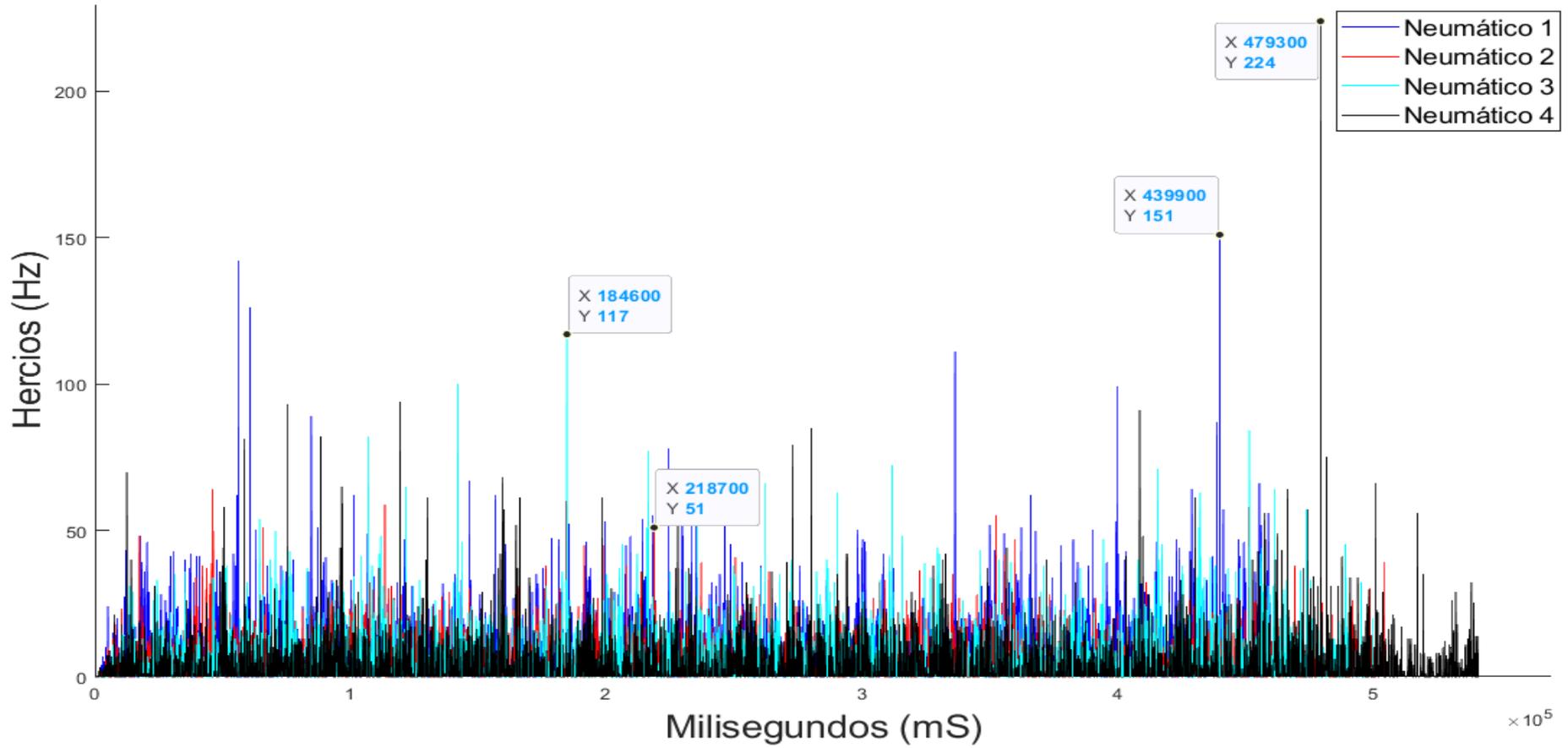
Por otra parte, el neumático 4 (color negro en la figura), dicho neumático posee una banda de rodadura con un patrón asimétrico, se puede notar que existe una onda muy simétrica a lo largo de la ruta, con valores que oscilan entre 5 Hz y 61 Hz aproximadamente, con un pico máximo de 224 Hz por irregularidades en la superficie que se encuentra en esta ruta.

Teniendo como resultado en esta ruta al neumático 2 como el más eficiente con una menor onda que quiere decir menor vibración en la suspensión.

Figura 104

Análisis de vibración en la suspensión de los neumáticos en la ruta de empedrado

Análisis de vibración de suspensión en empedrado



4.1.4. Análisis de vibraciones en la suspensión en suelo natural (ruta 4)

En la figura 105 se puede visualizar la ilustración de las 4 curvas unificadas de la recolección de datos con el analizador de vibraciones obtenidas en la ruta número 4 (suelo natural), se puede identificar que en la presente figura el neumático número 1 (color azul en la figura), con una banda de rodadura de patrón asimétrico tiene valores que oscilan entre 14 Hz y 47 Hz aproximadamente a lo largo de la ruta y con un pico máximo de 102 Hz, esto por irregularidades que se presentan en la superficie de la ruta.

En el neumático 2 (color rojo en la figura), dicho neumático presenta una banda de rodadura con patrón simétrico, y se puede notar al momento de visualizar la figura esta onda es un poco homogénea entre los neumáticos 1 y 4, con valores que oscilan entre 9 Hz y 43 Hz, con un pico máximo de 126 Hz por irregularidades que se presentan en la superficie de la ruta.

En el neumático 3 (color celeste en la figura), dicho neumático posee una banda de rodadura con un patrón direccional en "V" y se puede notar que en la figura esta es la onda es menor que las ondas de los demás neumáticos por lo que se consideraría un neumático óptimo y específico para utilizar en la superficie de empedrado, con valores que oscilan entre 6 Hz y 25 Hz aproximadamente, teniendo un valor pico máximo de 96 Hz por irregularidades que se presentan en la superficie de la ruta.

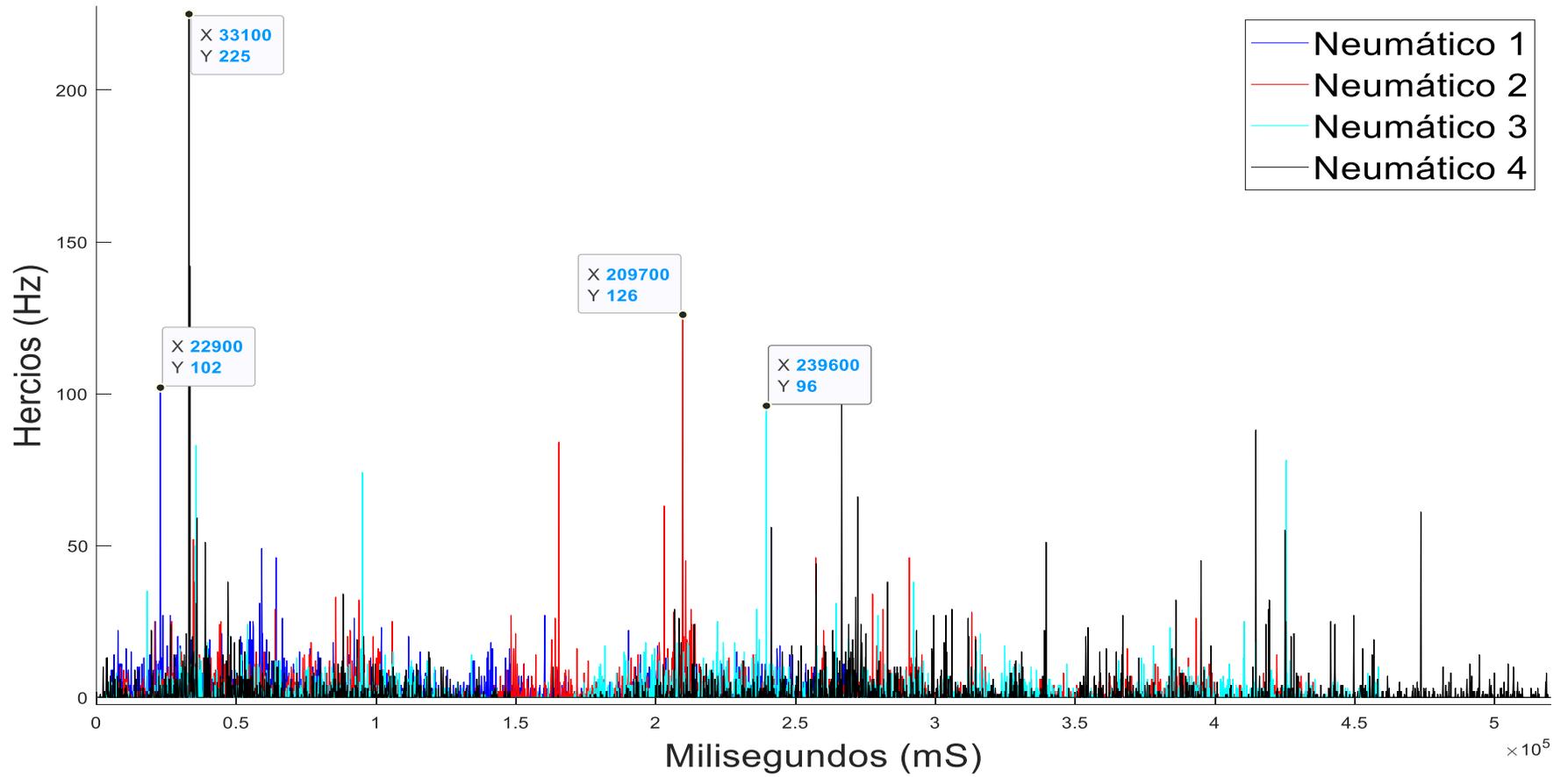
Por otra parte, el neumático 4 (color negro en la figura), dicho neumático posee una banda de rodadura con un patrón asimétrico, se puede notar que existe una onda asimétrica, con valores que oscilan entre 7 Hz y 49 Hz aproximadamente, con un pico máximo de 225 Hz por irregularidades en la superficie que se encuentra en esta ruta.

Teniendo como resultado en esta ruta al neumático 3 como el más eficiente con una menor onda que quiere decir menor vibración en la suspensión.

Figura 105

Análisis de vibración en la suspensión de los neumáticos en la ruta de suelo natural

Análisis de vibración de suspensión en suelo natural



4.1.5. *Análisis de vibraciones en el neumático en asfalto (ruta 1)*

En la figura 106 se puede visualizar la ilustración de las 4 curvas unificadas de la recolección de datos con el analizador de vibraciones obtenidas en la ruta número 1 (asfaltado), se puede identificar que en la presente figura el neumático número 1 (color azul en la figura), con una banda de rodadura de patrón asimétrico tiene valores muchos más altos de vibración con respecto a los neumáticos 2, 3, 4, con valores que oscilan entre 20 Hz y 135 Hz aproximadamente a lo largo de la ruta y con un pico máximo de 245 Hz, esto por irregularidades en la superficie de la ruta.

En el neumático 2 (color rojo en la figura), dicho neumático presenta una banda de rodadura con patrón simétrico, y se puede notar al momento de visualizar la figura esta onda es casi imprescindible, va a la par del neumático 3 y 4, con valores que oscilan entre 5 Hz y 28 Hz, con un pico máximo de 84 Hz.

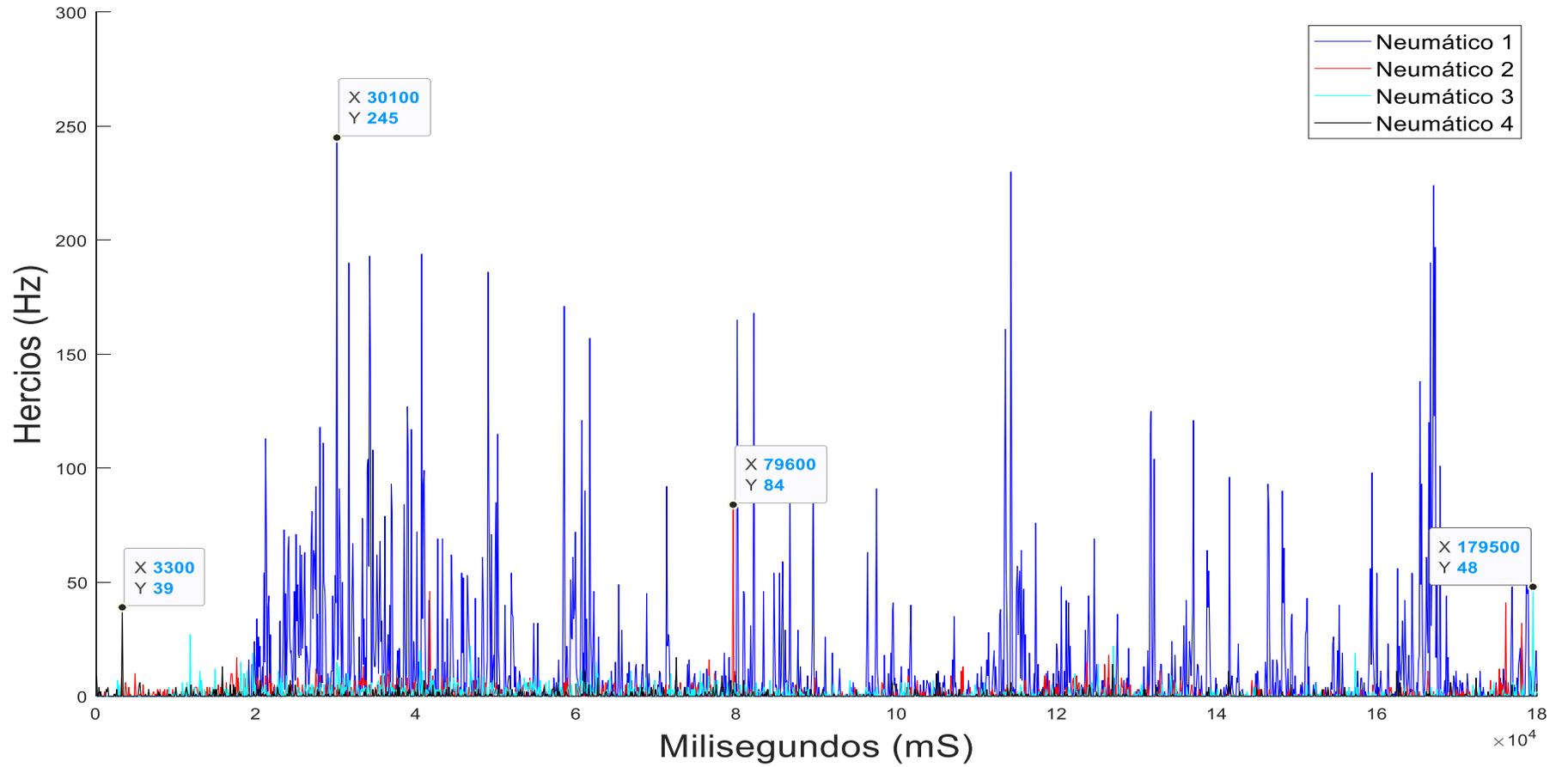
En el neumático 3 (color celeste en la figura), dicho neumático posee una banda de rodadura con un patrón direccional en "V" y se puede notar que en la figura esta es la onda que está intermedia entre el neumático 2 y 4 con valores que oscilan entre 8 Hz y 24 Hz aproximadamente, teniendo un valor pico máximo de 48 Hz por irregularidades en la superficie de la ruta.

Por otra parte, el neumático 4 (color negro en la figura), dicho neumático posee una banda de rodadura con un patrón asimétrico, se puede notar que existe una onda muy simétrica a lo largo de la ruta, con valores que oscilan entre 5 Hz y 16 Hz aproximadamente, con un pico máximo de 39 Hz por irregularidades en la superficie que se encuentra en esta ruta, considerando esta onda una de las mejores al competir con los demás neumáticos, por lo que se puede decir que el neumático 4 es el más eficiente para poder reducir vibraciones en los neumáticos en la ruta de asfalto.

Figura 106

Análisis de vibración de los neumáticos en la ruta de asfalto

Análisis de vibración del neumático en asfaltado



4.1.6. Análisis de vibraciones en el neumático en adoquinado (ruta 2)

En la figura 107 se puede visualizar la ilustración de las 4 curvas unificadas de la recolección de datos con el analizador de vibraciones obtenidas en la ruta número 2 (adoquinado), se puede identificar que en la presente figura el neumático número 1 (color azul en la figura), con una banda de rodadura de patrón asimétrico tiene valores muchos más altos de vibración con respecto a los neumáticos 2, 3, 4, con valores que oscilan entre 23 Hz y 132 Hz aproximadamente a lo largo de la ruta y con un pico máximo de 323 Hz, esto por irregularidades en la superficie de la ruta.

En el neumático 2 (color rojo en la figura), dicho neumático presenta una banda de rodadura con patrón simétrico, y se puede notar al momento de visualizar la figura esta onda se encuentra entre las ondas de los neumáticos 1 y 4, con valores que oscilan entre 10 Hz y 60 Hz a lo largo de la ruta, también presenta un pico máximo de 148 Hz esto es por irregularidades que se presentan en la superficie de la ruta.

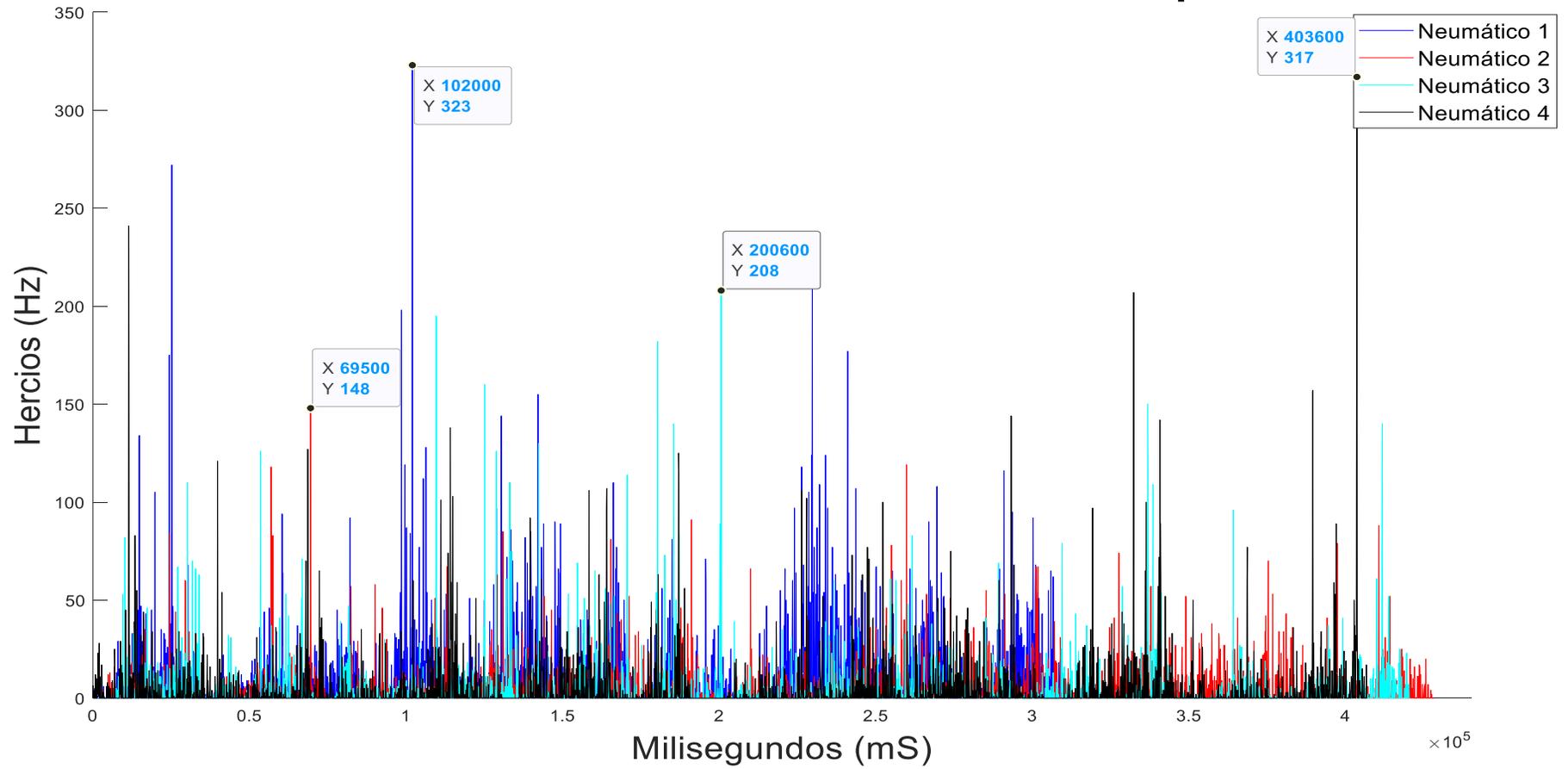
En el neumático 3 (color celeste en la figura), dicho neumático posee una banda de rodadura con un patrón direccional en "V", con valores que oscilan entre 14 Hz y 36 Hz aproximadamente en la mayor parte del tramo, teniendo un valor pico máximo de 48 Hz por irregularidades que se encuentran en la superficie de la ruta, considerando esta onda una de las mejores al competir con los demás neumáticos, por lo que se puede decir que el neumático 3 es el más eficiente para poder reducir vibraciones en los neumáticos en la ruta de adoquinado.

Por otra parte, el neumático 4 (color negro en la figura), dicho neumático posee una banda de rodadura con un patrón asimétrico, se puede notar que existe una onda muy simétrica a lo largo de la ruta, con valores que oscilan entre 12 Hz y 58 Hz aproximadamente, con un pico máximo de 317 Hz por irregularidades que se encuentran en la superficie de la ruta.

Figura 107

Análisis de vibración de los neumáticos en la ruta de adoquinado

Análisis de vibración del neumático en adoquinado



4.1.7. Análisis de vibraciones en el neumático en empedrado (ruta 3)

En la figura 108 se puede visualizar la ilustración de las 4 curvas unificadas de la recolección de datos con el analizador de vibraciones obtenidas en la ruta número 3 (empedrado), se puede identificar que en la presente figura el neumático número 1 (color azul en la figura), con una banda de rodadura de patrón asimétrico tiene valores muchos más altos de vibración con respecto a los neumáticos 2, 3, 4, con valores que oscilan entre 103 Hz y 552 Hz aproximadamente a lo largo de la ruta y con un pico máximo de 828 Hz, esto por irregularidades en la superficie de la ruta.

En el neumático 2 (color rojo en la figura), dicho neumático presenta una banda de rodadura con patrón simétrico, y se puede notar al momento de visualizar la figura esta onda es casi imprescindible al momento de compararlas con las demás, con valores que oscilan entre 80 Hz y 127 Hz a lo largo de la ruta, también presenta un pico máximo de 200 Hz esto es por irregularidades que se presentan en la superficie de la ruta.

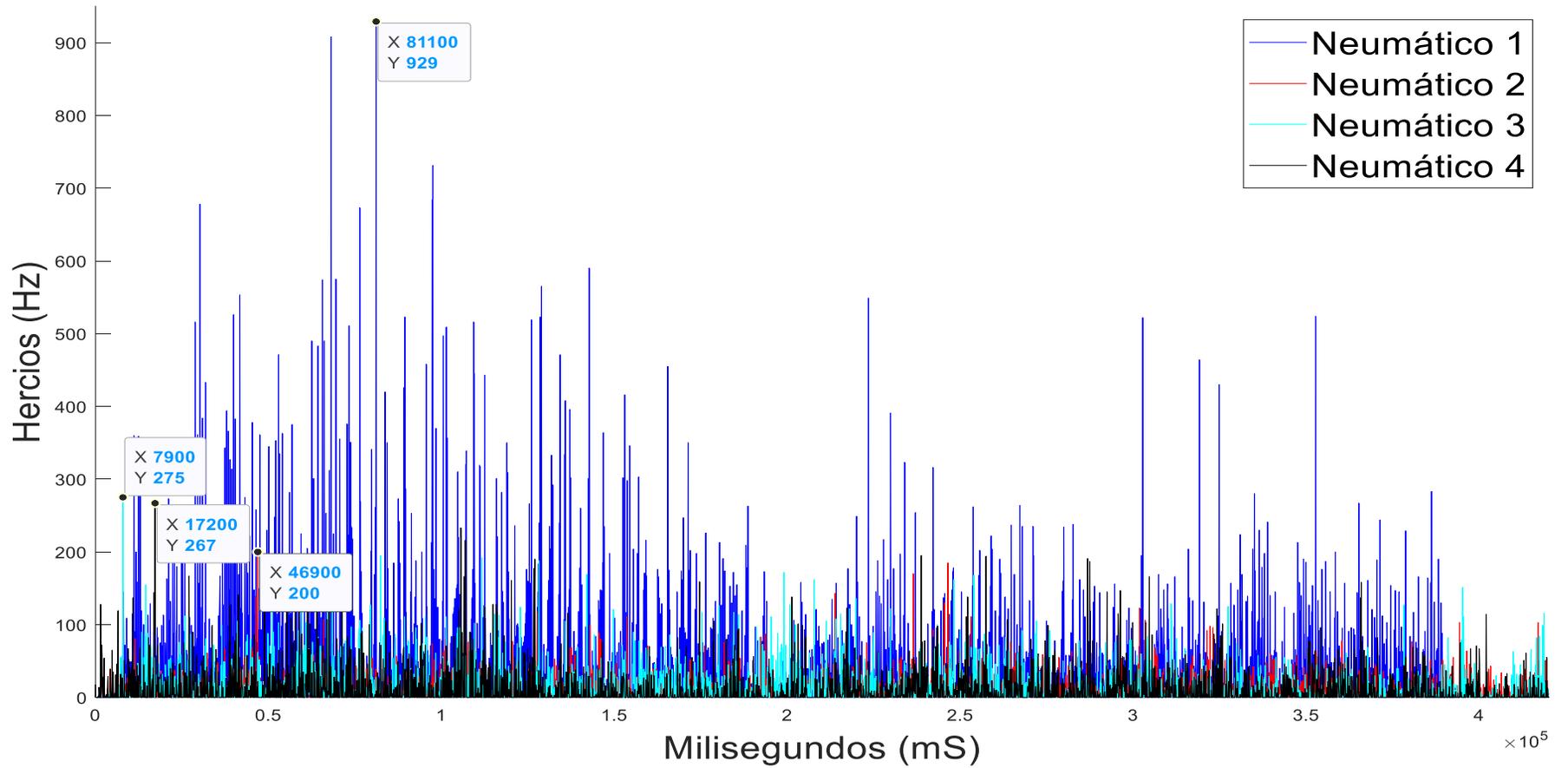
En el neumático 3 (color celeste en la figura), dicho neumático posee una banda de rodadura con un patrón direccional en "V", con valores que oscilan entre 92 Hz y 147 Hz aproximadamente en la mayor parte del tramo, teniendo un valor pico máximo de 275 Hz por irregularidades que se encuentran en la superficie de la ruta.

Por otra parte, el neumático 4 (color negro en la figura), dicho neumático posee una banda de rodadura con un patrón asimétrico, se puede notar que existe una onda muy simétrica a lo largo de la ruta, con valores que oscilan entre 43 Hz y 83 Hz aproximadamente, con un pico máximo de 267 Hz por irregularidades que se encuentran en la superficie de la ruta, considerando esta onda una de las mejores al competir con los demás neumáticos, por lo que se puede decir que el neumático 4 es el más eficiente para poder reducir vibraciones en los neumáticos en la ruta de empedrado.

Figura 108

Análisis de vibración de los neumáticos en la ruta de empedrado

Análisis de vibración del neumático en empedrado



4.1.8. Análisis de vibraciones en el neumático en suelo natural (ruta 4)

En la figura 109 se puede visualizar la ilustración de las 4 curvas unificadas de la recolección de datos con el analizador de vibraciones obtenidas en la ruta número 4 (suelo natural), se puede identificar que en la presente figura el neumático número 1 (color azul en la figura), con una banda de rodadura de patrón asimétrico tiene valores muchos más altos de vibración con respecto a los neumáticos 2, 3, 4, con valores que oscilan entre 93 Hz y 352 Hz aproximadamente a lo largo de la ruta y con un pico máximo de 955 Hz por irregularidades que se encuentran en la superficie de la ruta.

En el neumático 2 (color rojo en la figura), dicho neumático presenta una banda de rodadura con patrón simétrico, y se puede notar al momento de visualizar la figura esta onda es casi imprescindible al momento de compararlas con las demás, con valores que oscilan entre 20 Hz y 93 Hz a lo largo de la ruta, también presenta un pico máximo de 118 Hz esto es por irregularidades que se presentan en la superficie de la ruta.

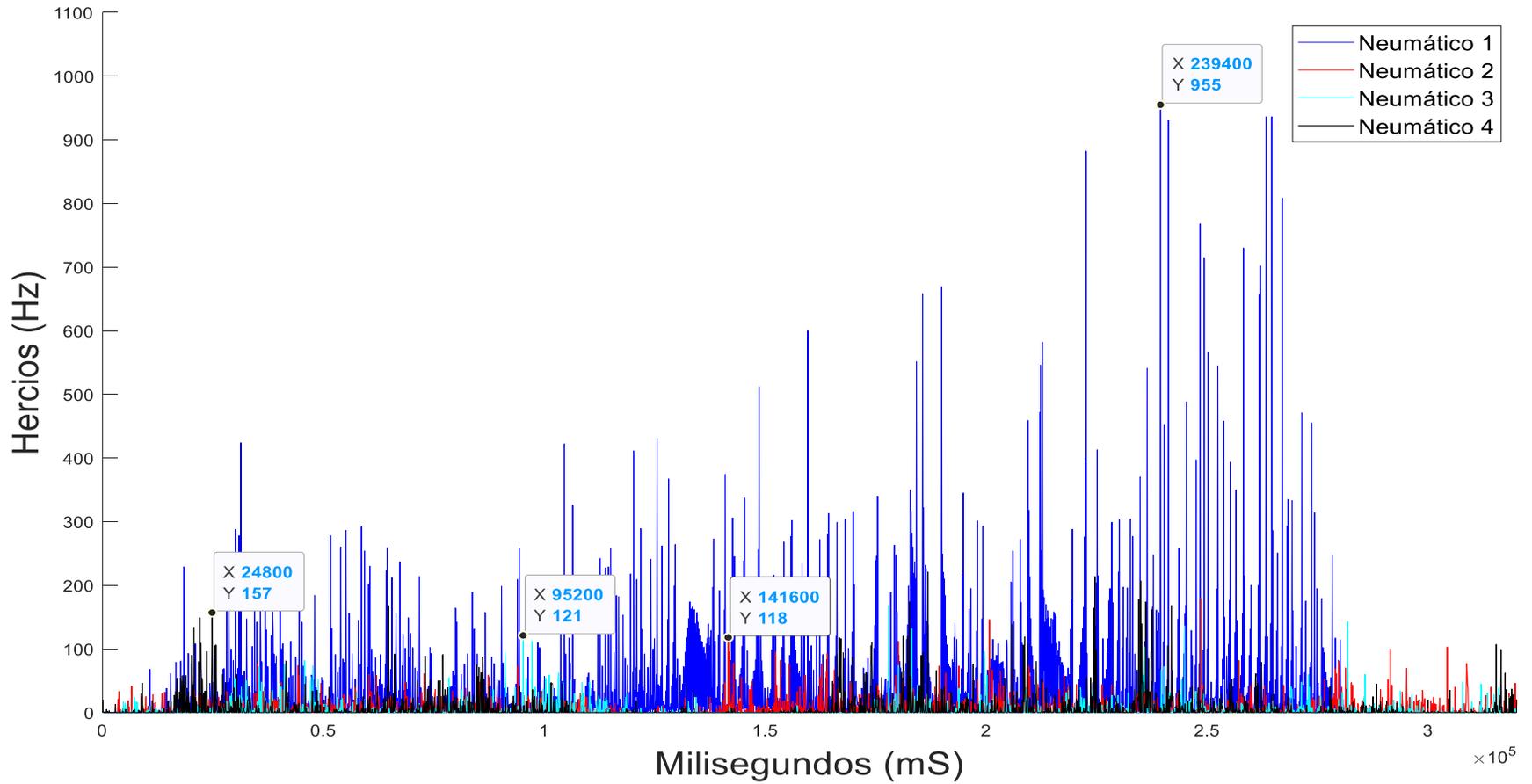
En el neumático 3 (color celeste en la figura), dicho neumático posee una banda de rodadura con un patrón direccional en "V", con valores que oscilan entre 10 Hz y 81 Hz aproximadamente en la mayor parte del tramo, teniendo un valor pico máximo de 121 Hz por irregularidades que se encuentran en la superficie de la ruta, considerando esta onda una de las mejores al competir con los demás neumáticos, por lo que se puede decir que el neumático 3 es el más eficiente para poder reducir vibraciones en los neumáticos en la ruta de suelo natural.

Por otra parte, el neumático 4 (color negro en la figura), dicho neumático posee una banda de rodadura con un patrón asimétrico, se puede notar que existe una onda asimétrica a lo largo de la ruta, con valores que oscilan entre 22 Hz y 102 Hz aproximadamente, con un pico máximo de 157 Hz por irregularidades que se encuentran en la superficie de la ruta

Figura 109

Análisis de vibración de los neumáticos en la ruta de suelo natural

Análisis de vibración del neumático en suelo natural



4.2. Análisis de las pruebas de sonómetro

4.2.1. Análisis de ruido en la suspensión en asfalto (ruta 1)

En la figura 110 se puede visualizar la ilustración de las 4 curvas unificadas de la recolección de datos con el sonómetro obtenidas en la ruta número 1 (asfaltado), se puede identificar que en la presente figura el neumático número 1 (color azul en la figura), con una banda de rodadura de patrón asimétrico tiene valores homogéneos con respecto a los demás a lo largo de la ruta, con valores que oscilan entre 87 dB y 98 dB aproximadamente a lo largo de la ruta y con un pico máximo de 111.6 dB, estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a una velocidad moderada.

En el neumático 2 (color rojo en la figura), dicho neumático presenta una banda de rodadura con patrón simétrico, con valores de ruidos que oscilan entre 86.5 dB y 97 dB a lo largo de la ruta y un pico máximo de 110 dB estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a una velocidad moderada.

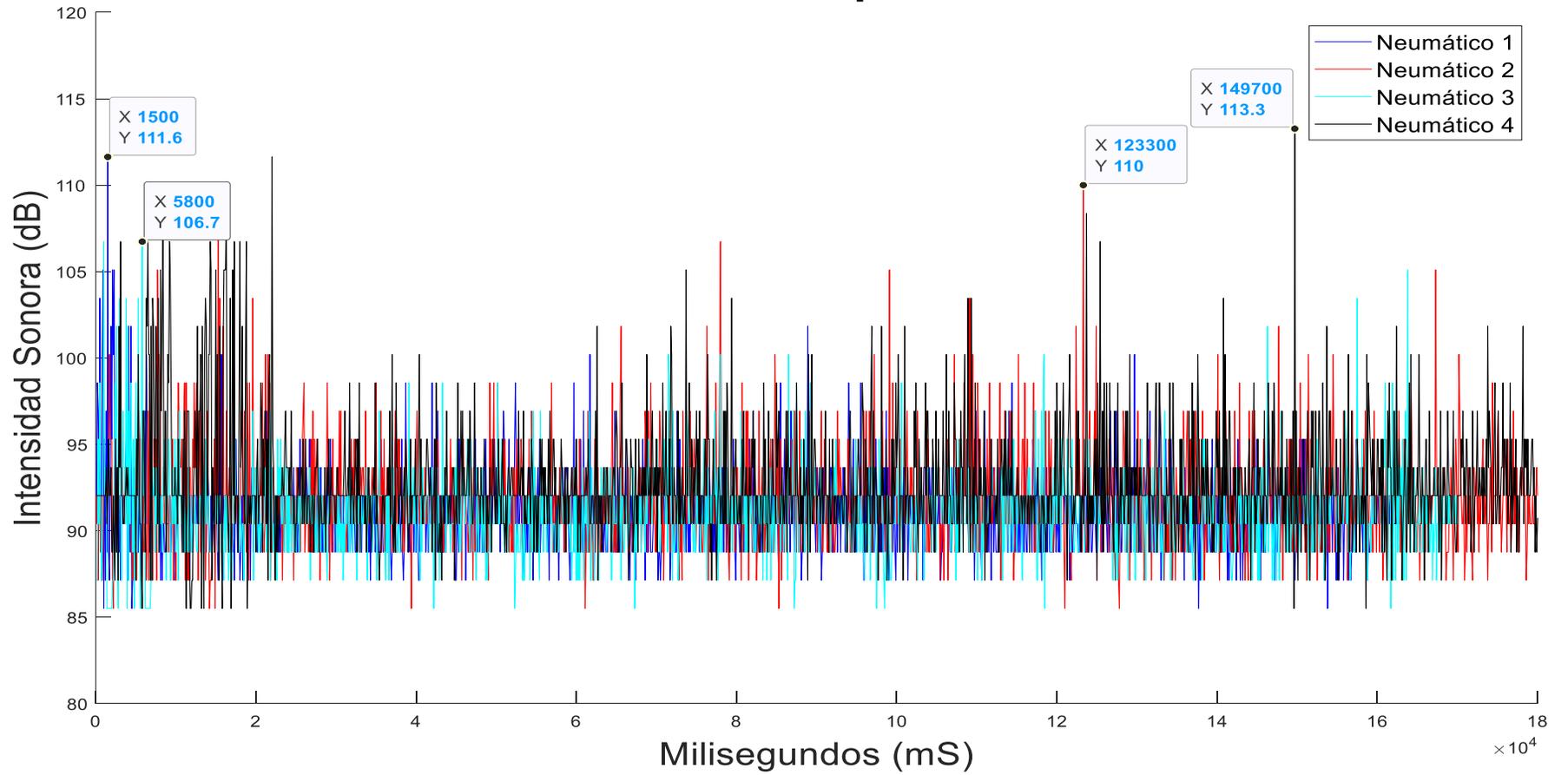
En el neumático 3 (color celeste en la figura), dicho neumático posee una banda de rodadura con un patrón direccional en "V", con valores de ruidos que oscilan entre 87 dB y 96.7 dB a lo largo de la ruta y un pico máximo de 106.7 dB estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a una velocidad moderada, siendo el más eficaz en esta ruta, reduciendo el ruido.

Por otra parte, el neumático 4 (color negro en la figura), dicho neumático posee una banda de rodadura con un patrón asimétrico, con valores de ruidos que oscilan entre 88 dB y 96.9 dB a lo largo de la ruta y un pico máximo de 113.3 dB estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a una velocidad moderada, teniendo en cuenta que todas las pruebas se lo realizaron en una zona urbana teniendo.

Figura 110

Análisis de ruido en la suspensión en asfalto

Análisis de ruido de suspensión en asfaltado



4.2.2. Análisis de ruido en la suspensión en adoquinado (ruta 2)

En la figura 111 se puede visualizar la ilustración de las 4 curvas unificadas de la recolección de datos con el sonómetro obtenidas en la ruta número 2 (adoquinado), se puede identificar que en la presente figura el neumático número 1 (color azul en la figura), con una banda de rodadura de patrón asimétrico, con valores que oscilan entre 87 dB y 99 dB aproximadamente a lo largo de la ruta y con un pico máximo de 113.3 dB, estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a la velocidad requerida en la ruta.

En el neumático 2 (color rojo en la figura), dicho neumático presenta una banda de rodadura con patrón simétrico, con valores de ruidos que oscilan entre 86.9 dB y 98.6 dB a lo largo de la ruta y un pico máximo de 108.4 dB estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a la velocidad moderada requerida en la ruta.

En el neumático 3 (color celeste en la figura), dicho neumático posee una banda de rodadura con un patrón direccional en “V”, con valores de ruidos que oscilan entre 87 dB y 102 dB a lo largo de la ruta y un pico máximo de 126.3 dB estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a la velocidad requerida en la ruta.

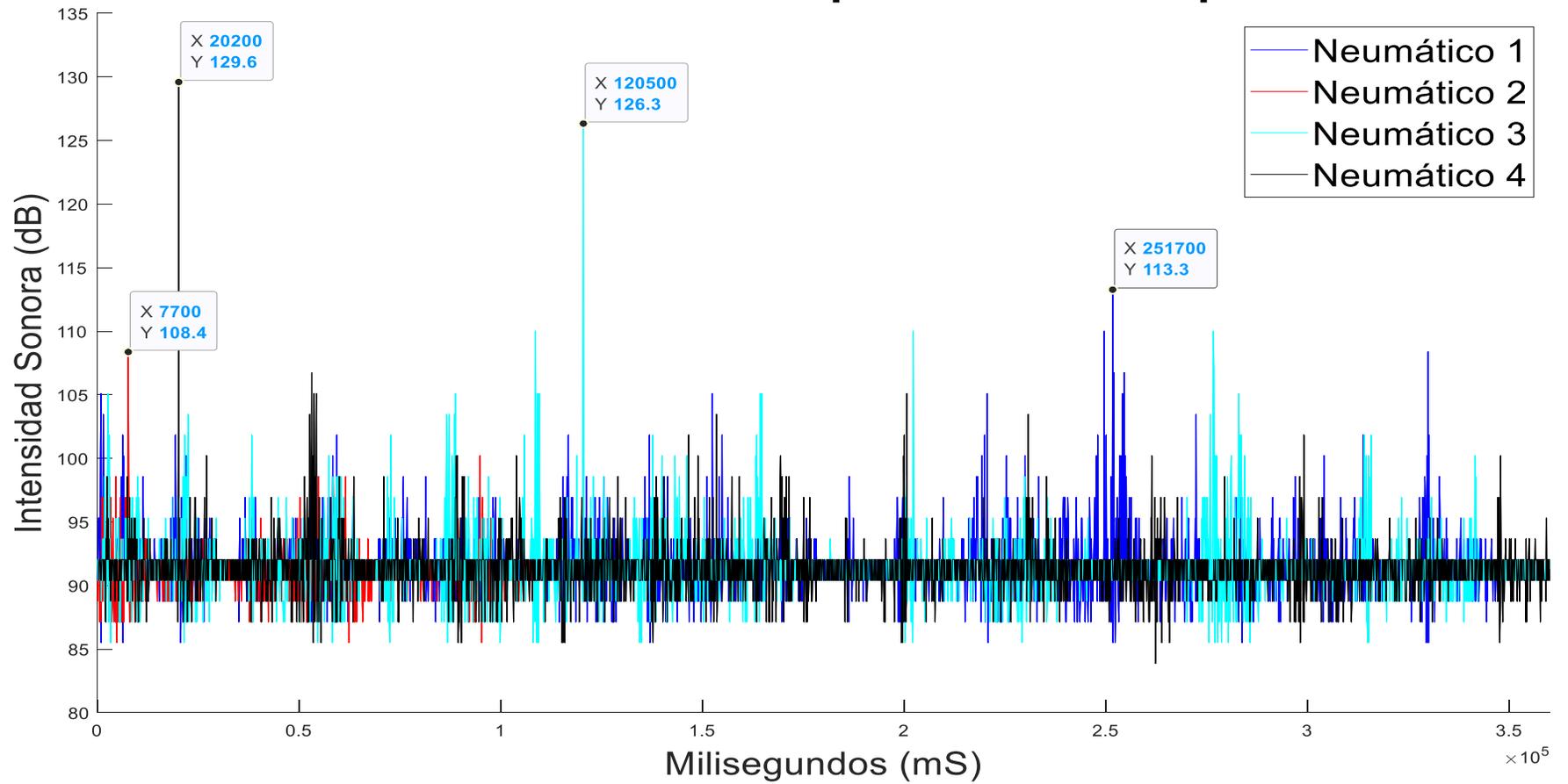
Por otra parte, el neumático 4 (color negro en la figura), dicho neumático posee una banda de rodadura con un patrón asimétrico, con valores de ruidos que oscilan entre 90 dB y 93 dB a lo largo de la ruta y un pico máximo de 129.6 dB estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a la velocidad requerida en la ruta.

Teniendo al neumático 4 como más eficaz en esta ruta, reduciendo el ruido a lo largo de los 3 km que tiene la ruta.

Figura 111

Análisis de ruido en la suspensión en adoquinado

Análisis de ruido de suspensión en adoquinado



4.2.3. Análisis de ruido en la suspensión en empedrado (ruta 3)

En la figura 112 se puede visualizar la ilustración de las 4 curvas unificadas de la recolección de datos con el sonómetro obtenidas en la ruta número 3 (empedrado), se puede identificar que en la presente figura el neumático número 1 (color azul en la figura), con una banda de rodadura de patrón asimétrico, con valores que oscilan entre 89 dB y 119 dB aproximadamente a lo largo de la ruta y con un pico máximo de 137.8 dB, estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a la velocidad requerida en la ruta que se indica en la tabla 4.

En el neumático 2 (color rojo en la figura), dicho neumático presenta una banda de rodadura con patrón simétrico, con valores de ruidos que oscilan entre 88.9 dB y 106.3 dB a lo largo de la ruta y un pico máximo de 111.6 dB estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a la velocidad moderada requerida en la ruta que se indica en la tabla 4.

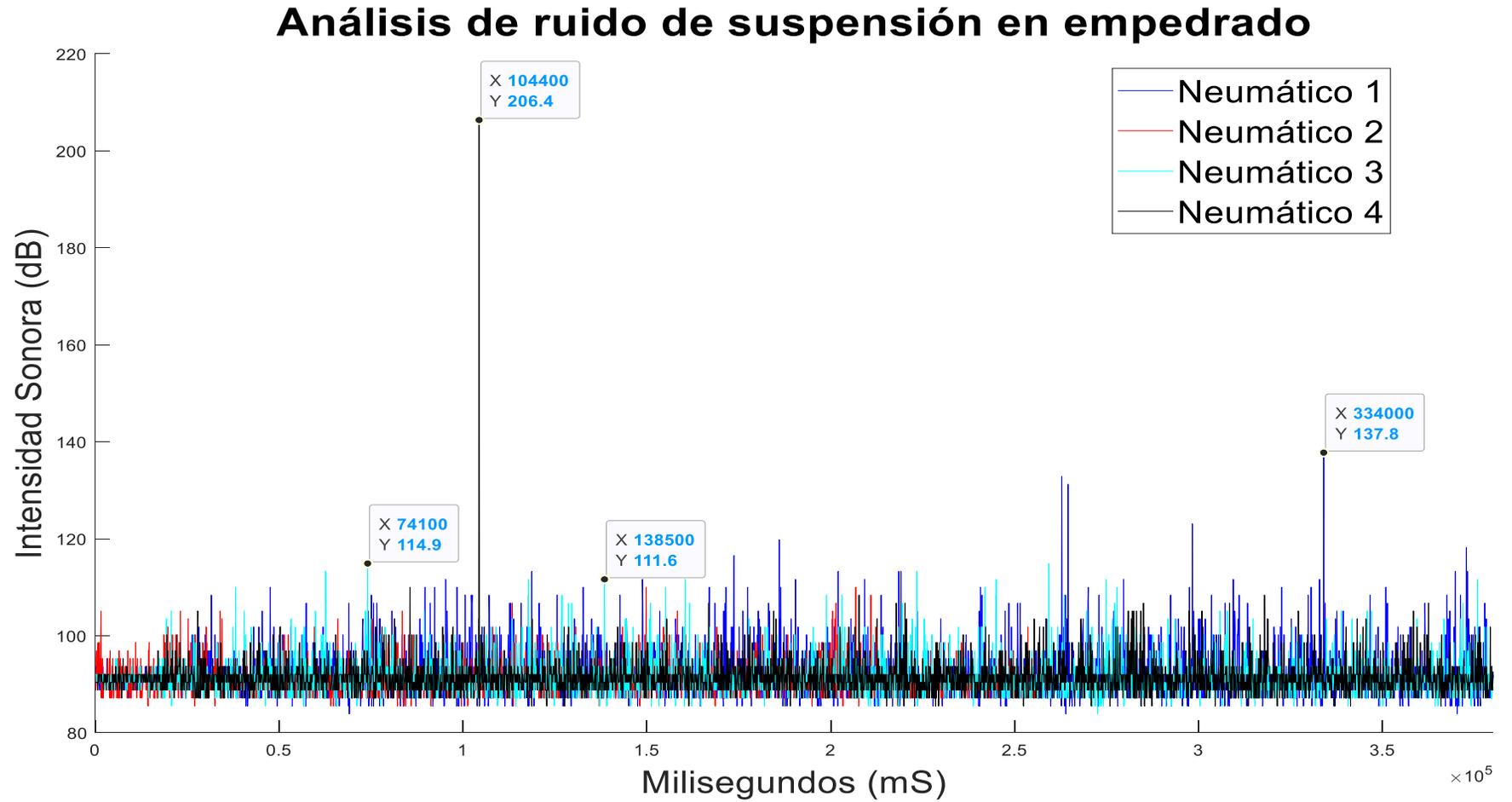
En el neumático 3 (color celeste en la figura), dicho neumático posee una banda de rodadura con un patrón direccional en "V", con valores de ruidos que oscilan entre 89.6 dB y 103 dB a lo largo de la ruta y un pico máximo de 114.9 dB estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a la velocidad requerida en la ruta que se indica en la tabla 4.

Por otra parte, el neumático 4 (color negro en la figura), dicho neumático posee una banda de rodadura con un patrón asimétrico, con valores de ruidos que oscilan entre 90 dB y 101.7 dB a lo largo de la ruta y un pico máximo de 206.4 dB estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a la velocidad requerida en la ruta que se indica en la tabla 4.

Teniendo al neumático 4 como más eficaz en esta ruta, en dicho ensayo influyó mucho el ruido del ambiente como se describe en cada apartado, lo que ayuda al aumento del ruido en los neumáticos empleados.

Figura 112

Análisis de ruido en la suspensión en empedrado



4.2.4. Análisis de ruido en la suspensión en suelo natural (ruta 4)

En la figura 113 se puede visualizar la ilustración de las 4 curvas unificadas de la recolección de datos con el sonómetro obtenidas en la ruta número 4 (suelo natural), se puede identificar que en la presente figura el neumático número 1 (color azul en la figura), con una banda de rodadura de patrón asimétrico, con valores que oscilan entre 89 dB y 119 dB aproximadamente a lo largo de la ruta y con un pico máximo de 137.8 dB, estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a la velocidad requerida en la ruta que se indica en la tabla 4.

En el neumático 2 (color rojo en la figura), dicho neumático presenta una banda de rodadura con patrón simétrico, con valores de ruidos que oscilan entre 88.9 dB y 106.3 dB a lo largo de la ruta y un pico máximo de 111.6 dB estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a la velocidad moderada requerida en la ruta que se indica en la tabla 4.

En el neumático 3 (color celeste en la figura), dicho neumático posee una banda de rodadura con un patrón direccional en "V", con valores de ruidos que oscilan entre 89.6 dB y 103 dB a lo largo de la ruta y un pico máximo de 114.9 dB estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a la velocidad requerida en la ruta que se indica en la tabla 4.

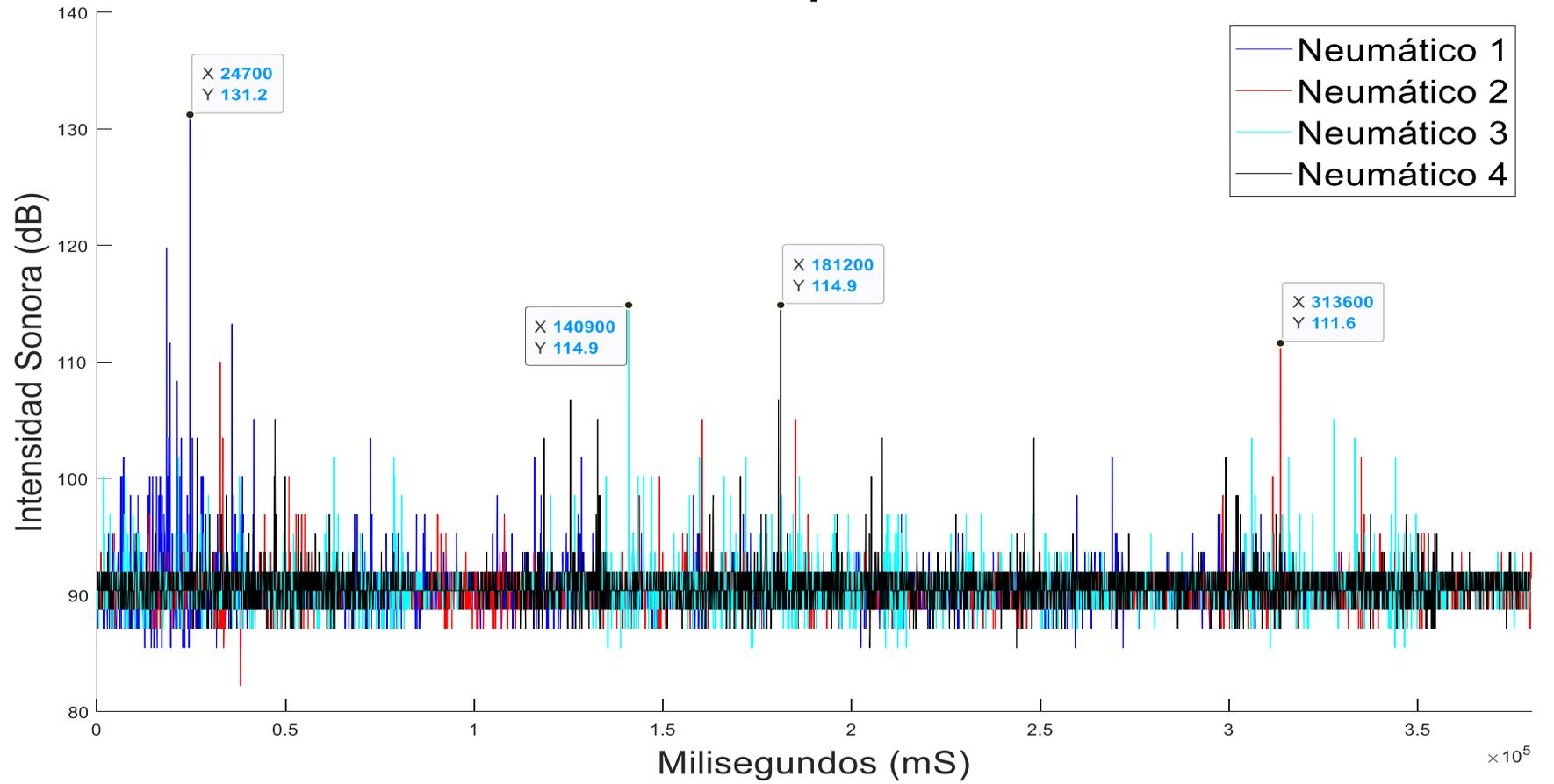
Por otra parte, el neumático 4 (color negro en la figura), dicho neumático posee una banda de rodadura con un patrón asimétrico, con valores de ruidos que oscilan entre 90 dB y 101.7 dB a lo largo de la ruta y un pico máximo de 206.4 dB estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a la velocidad requerida en la ruta que se indica en la tabla 4.

Teniendo al neumático 4 como más eficaz en esta ruta, en dicho ensayo influyó mucho el ruido del ambiente como se describe en cada apartado, lo que ayuda al aumento del ruido en los neumáticos empleados.

Figura 113

Análisis de ruido en la suspensión en suelo natural

Análisis de ruido de suspensión en suelo natural



4.2.5. Análisis de ruido del neumático en asfalto (ruta 1)

En la figura 114 se puede visualizar la ilustración de las 4 curvas unificadas de la recolección de datos con el sonómetro obtenidas en la ruta número 1 (asfaltado), se puede identificar que en la presente figura el neumático número 1 (color azul en la figura), con una banda de rodadura de patrón asimétrico se encuentran valores que oscilan entre 84 dB y 139.7 dB aproximadamente a lo largo de la ruta y con un pico máximo de 206.6 dB, estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a la velocidad requerida en la ruta.

En el neumático 2 (color rojo en la figura), dicho neumático presenta una banda de rodadura con patrón simétrico, con valores de ruidos que oscilan entre 85 dB y 142 dB a lo largo de la ruta y un pico máximo de 222.7 dB estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a la velocidad moderada requerida en la ruta.

En el neumático 3 (color celeste en la figura), dicho neumático posee una banda de rodadura con un patrón direccional en "V", con valores de ruidos que oscilan entre 82 dB y 123 dB a lo largo de la ruta y un pico máximo de 204.7 dB estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a la velocidad requerida en la ruta.

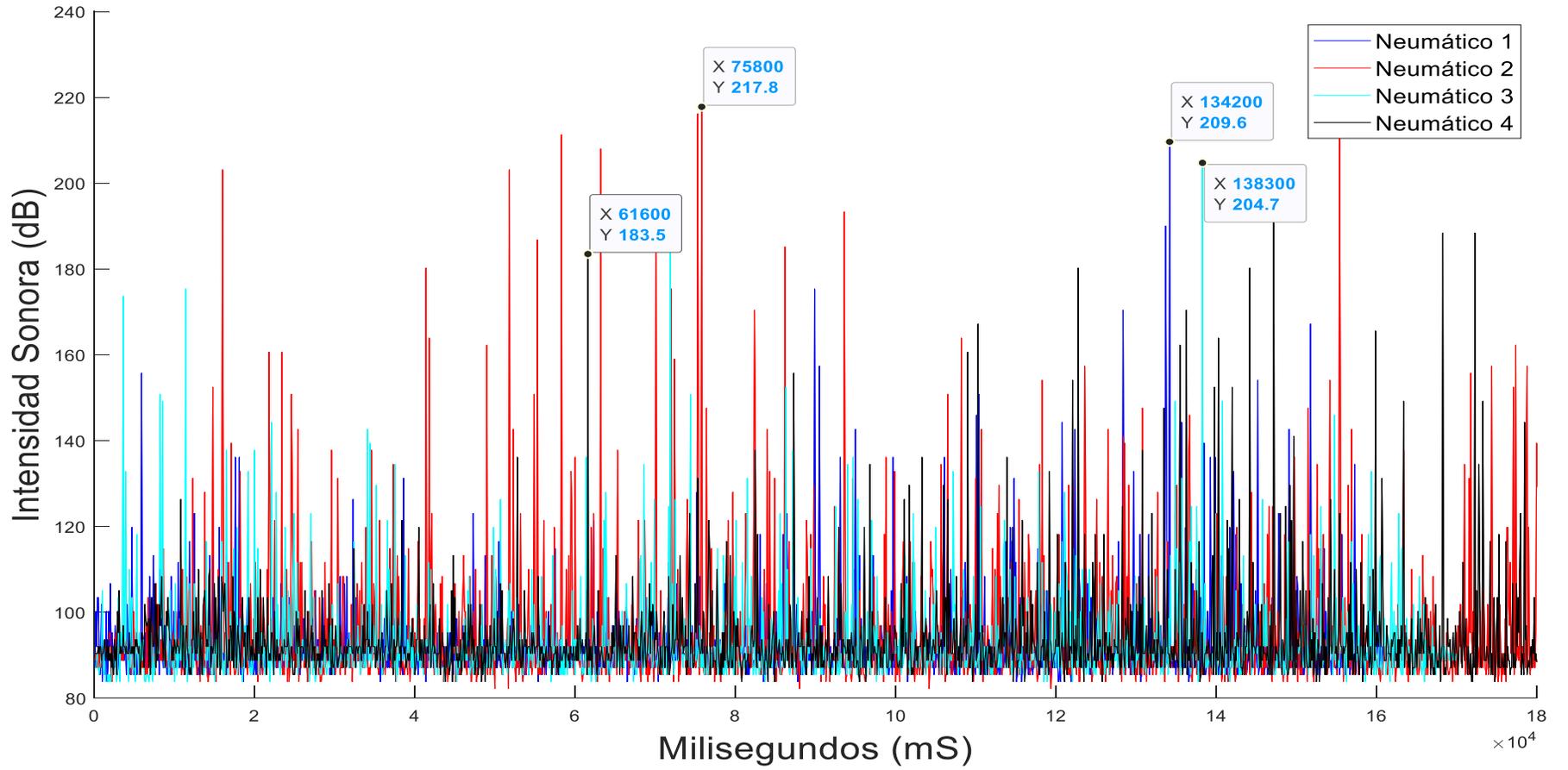
Por otra parte, el neumático 4 (color negro en la figura), dicho neumático posee una banda de rodadura con un patrón asimétrico, con valores de ruidos que oscilan entre 84.6 dB y 108.7 dB a lo largo de la ruta y un pico máximo de 201.5 dB estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a la velocidad requerida en la ruta.

Teniendo al neumático 4 como más eficaz en esta ruta, en dicho ensayo influyó mucho el ruido del ambiente como se describe en cada apartado, lo que ayuda al aumento del ruido en los neumáticos empleados.

Figura 114

Análisis de ruido en los neumáticos en asfalto

Análisis de ruido en el neumático en asfalto



4.2.6. Análisis de ruido del neumático en adoquinado (ruta 2)

En la figura 115 se puede visualizar la ilustración de las 4 curvas unificadas de la recolección de datos con el sonómetro obtenidas en la ruta número 2 (adoquinado), se puede identificar que en la presente figura el neumático número 1 (color azul en la figura), con una banda de rodadura de patrón asimétrico se encuentran valores que oscilan entre 89 dB y 107.6 dB aproximadamente a lo largo de la ruta y con un pico máximo de 172.1 dB, estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a la velocidad requerida en la ruta.

En el neumático 2 (color rojo en la figura), dicho neumático presenta una banda de rodadura con patrón simétrico, con valores de ruidos que oscilan entre 89.4 dB y 112 dB a lo largo de la ruta y un pico máximo de 136.1 dB estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a la velocidad moderada requerida en la ruta.

En el neumático 3 (color celeste en la figura), dicho neumático posee una banda de rodadura con un patrón direccional en "V", con valores de ruidos que oscilan entre 89 dB y 114 dB a lo largo de la ruta y un pico máximo de 128 dB estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a la velocidad requerida en la ruta.

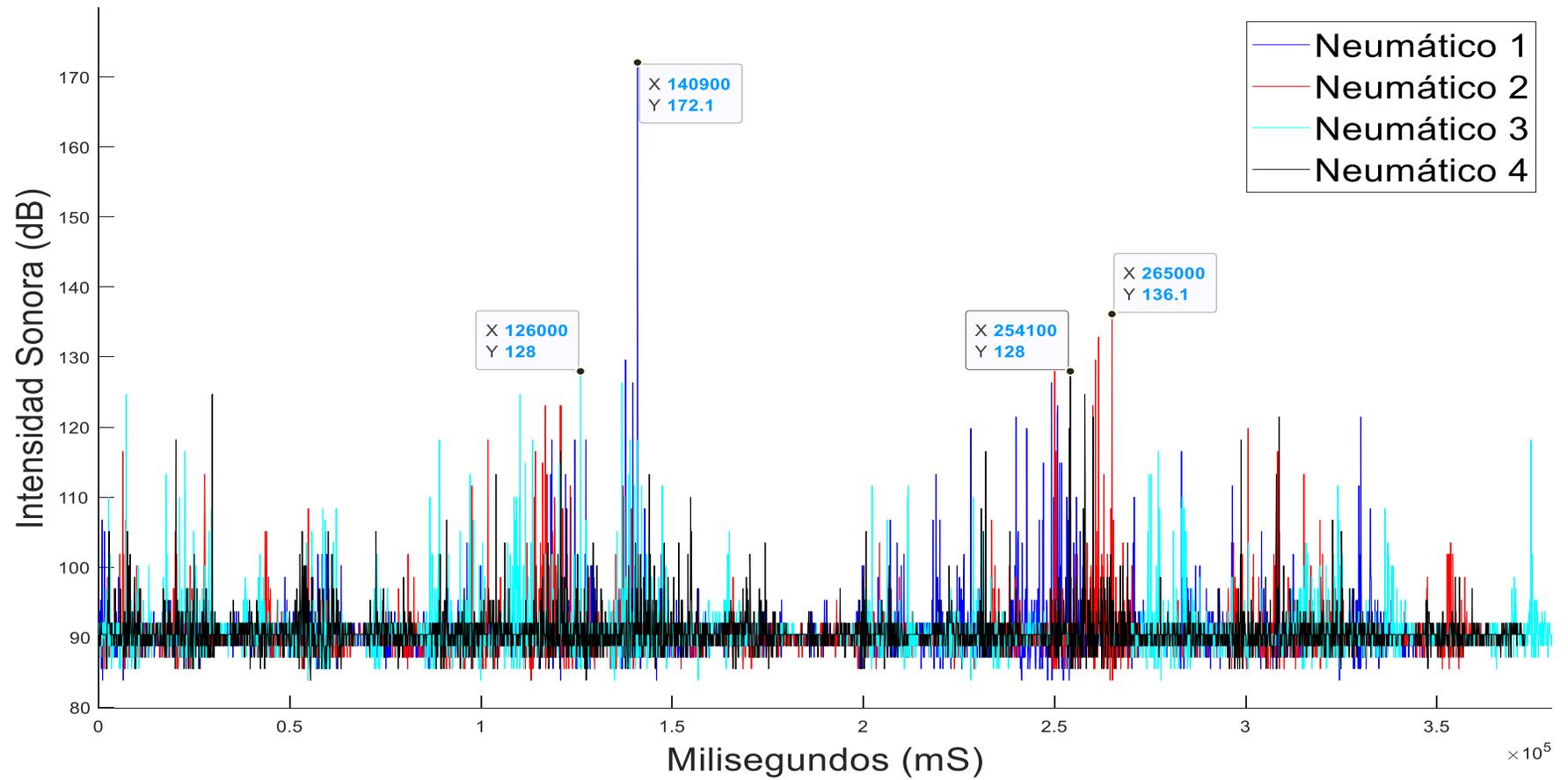
Por otra parte, el neumático 4 (color negro en la figura), dicho neumático posee una banda de rodadura con un patrón asimétrico, con valores de ruidos que oscilan entre 89.8 dB y 93 dB a lo largo de la ruta y un pico máximo de 128 dB estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a la velocidad requerida en la ruta.

Teniendo al neumático 4 como más eficaz en esta ruta, en dicho ensayo influyó mucho el ruido del ambiente como se describe en cada apartado, lo que ayuda al aumento del ruido en los neumáticos empleados.

Figura 115

Análisis de ruido en los neumáticos en adoquinado

Análisis de ruido en el neumático en adoquinado



4.2.7. Análisis de ruido del neumático en empedrado (ruta 3)

En la figura 116 se puede visualizar la ilustración de las 4 curvas unificadas de la recolección de datos con el sonómetro obtenidas en la ruta número 3 (empedrado), se puede identificar que en la presente figura el neumático número 1 (color azul en la figura), con una banda de rodadura de patrón asimétrico se encuentran valores que oscilan entre 87.6 dB y 107.3 dB aproximadamente a lo largo de la ruta y con un pico máximo de 129.6 dB, estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a la velocidad requerida en la ruta.

En el neumático 2 (color rojo en la figura), dicho neumático presenta una banda de rodadura con patrón simétrico, con valores de ruidos que oscilan entre 88.7 dB y 94.7 dB a lo largo de la ruta y un pico máximo de 106.7 dB estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a la velocidad moderada requerida en la ruta.

En el neumático 3 (color celeste en la figura), dicho neumático posee una banda de rodadura con un patrón direccional en "V", con valores de ruidos que oscilan entre 89 dB y 112 dB a lo largo de la ruta y un pico máximo de 111.6 dB estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a la velocidad requerida en la ruta.

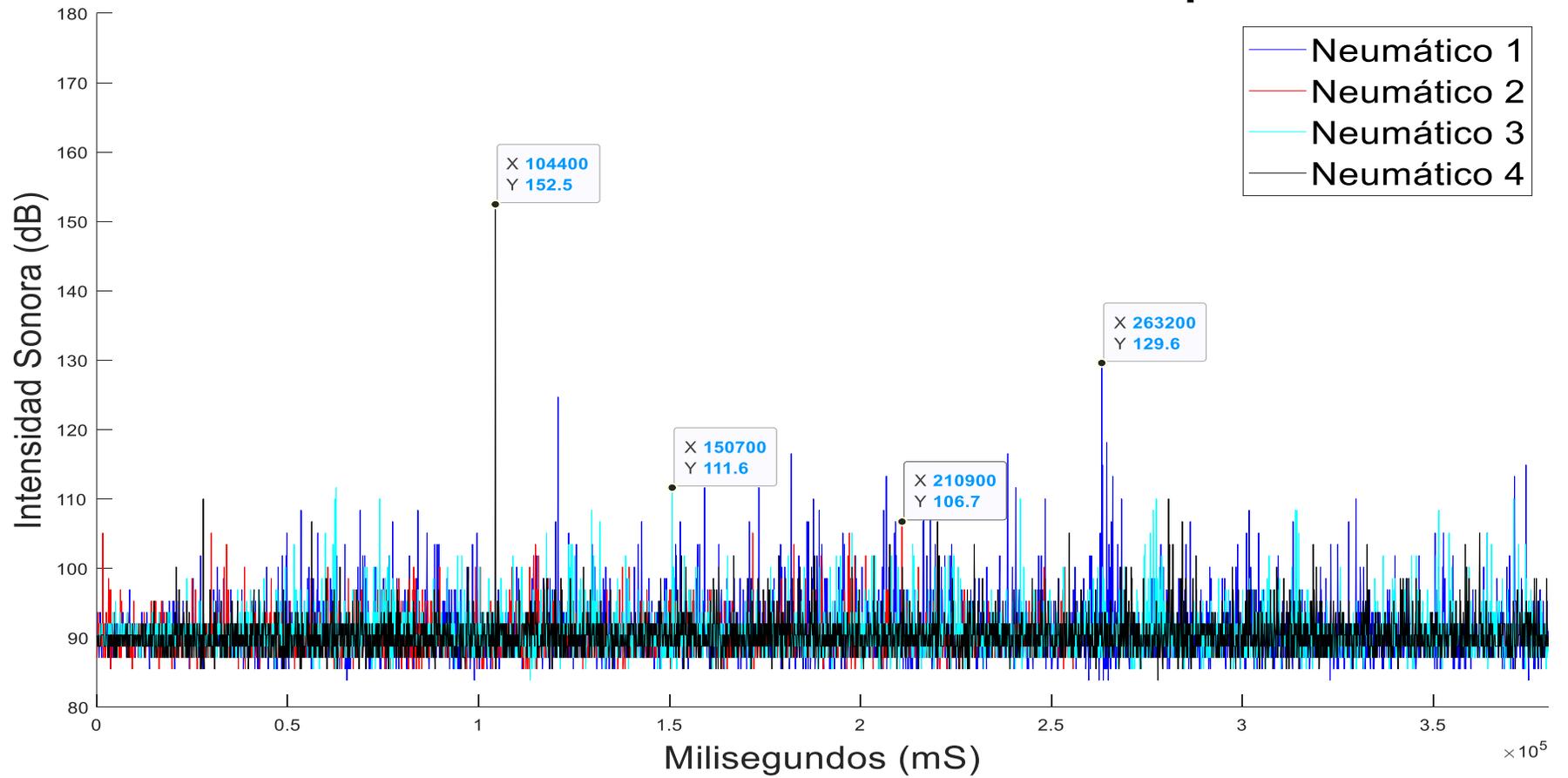
Por otra parte, el neumático 4 (color negro en la figura), dicho neumático posee una banda de rodadura con un patrón asimétrico, con valores de ruidos que oscilan entre 88.9 dB y 92.3 dB a lo largo de la ruta y un pico máximo de 152.5 dB estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a la velocidad requerida en la ruta.

Teniendo al neumático 4 como más eficaz en esta ruta, en dicho ensayo influyó mucho el ruido del ambiente como se describe en cada apartado, lo que ayuda al aumento del ruido en los neumáticos empleados.

Figura 116

Análisis de ruido en los neumáticos en empedrado

Análisis de ruido en el neumático en empedrado



4.2.8. Análisis de ruido del neumático en suelo natural (ruta 4)

En la figura 117 se puede visualizar la ilustración de las 4 curvas unificadas de la recolección de datos con el sonómetro obtenidas en la ruta número 4 (suelo natural), se puede identificar que en la presente figura el neumático número 1 (color azul en la figura), con una banda de rodadura de patrón asimétrico se encuentran valores que oscilan entre 88.6 dB y 100.6 dB aproximadamente a lo largo de la ruta y con un pico máximo de 124.7 dB, estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a la velocidad requerida en la ruta.

En el neumático 2 (color rojo en la figura), dicho neumático presenta una banda de rodadura con patrón simétrico, con valores de ruidos que oscilan entre 89 dB y 95 dB a lo largo de la ruta y un pico máximo de 137.8 dB estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a la velocidad moderada requerida en la ruta.

En el neumático 3 (color celeste en la figura), dicho neumático posee una banda de rodadura con un patrón direccional en "V", con valores de ruidos que oscilan entre 89.1 dB y 105.6 dB a lo largo de la ruta y un pico máximo de 134.5 dB estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a la velocidad requerida en la ruta.

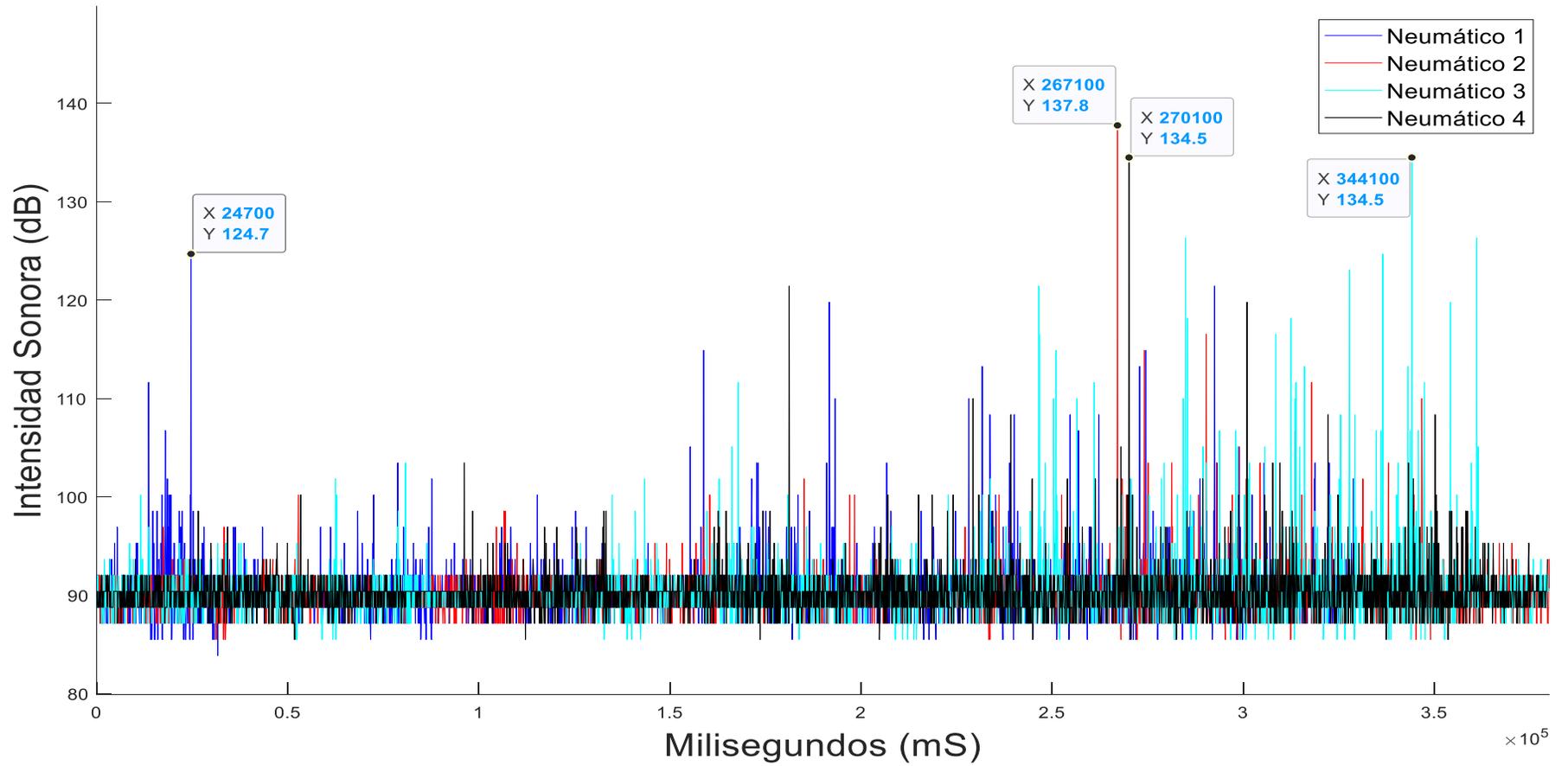
Por otra parte, el neumático 4 (color negro en la figura), dicho neumático posee una banda de rodadura con un patrón asimétrico, con valores de ruidos que oscilan entre 89 dB y 92.6 dB a lo largo de la ruta y un pico máximo de 134.5 dB estos valores se encuentran considerados con los ruidos del ambiente y del aire al momento de ir a la velocidad requerida en la ruta.

Teniendo al neumático 4 como más eficaz en esta ruta, en dicho ensayo influyó mucho el ruido del ambiente como se describe en cada apartado, lo que ayuda al aumento del ruido en los neumáticos empleados.

Figura 117

Análisis de ruido en los neumáticos en suelo natural

Análisis de ruido en el neumático en suelo natural



Capítulo V

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

Con los datos obtenidos con los equipos de medición empleados tales como son el analizador de vibraciones y el sonómetro los cuales ayudaron a conocer los valores tanto de frecuencia (Hz) como se intensidad de sonido (dB) respectivamente, dichos valores se encontraron en la suspensión como en los neumáticos.

El ruido ocasionado en todos los ensayos, estuvieron enlazados con ruidos parásitos de forma aerodinámica por lo que dieron valores altos en algunos casos donde el vehículo iba a una velocidad considerable, ya sea por el ambiente y el aire que choca directamente con el sensor del sonómetro.

Se pudo analizar la influencia que tienen las diferentes bandas de rodadura con el ruido y vibración del neumático y como esta va a influir que la suspensión tenga el ruido y la vibración en las diferentes superficies empleadas para los ensayos.

En los ensayos realizados se mantuvo una correcta clasificación de factores los cuales fueron las tablas de velocidad, los tipos de neumático con su correspondiente caracterización y las distintas rutas fueron claves para el desarrollo de las pruebas de manera más ordenada y oportuna, lo que sirvió para una correcta elaboración de gráficas de los ensayos en la suspensión como en los neumáticos mediante el software de Matlab (versión prueba).

En las diferentes pruebas realizadas con el analizador de vibraciones se pudo evidenciar como varía la frecuencia llegando a un pico máximo de vibración en la suspensión de 273 Hz con el neumático número "4", mientras que en el neumático se alcanzó un pico máximo de vibración de 955 Hz en el neumático "1" esto producido por el desgaste prematuro que mantenía este neumático.

Con respecto a la intensidad sonora obtenida con el sonómetro se pudo evidenciar que se tuvo rangos altos por los sonidos parásitos antes descritos, para el ruido de la suspensión se llegó a un pico máximo de 206.4 dB instantáneos, mientras que para el ruido del neumático se llegó a un pico máximo de 222.7 dB instantáneos de igual manera ocasionados por ruidos parásitos situados en el ambiente de ensayo.

Al identificar los elementos que constituyen la suspensión, la función que desempeña cada uno de estos y como estos influyen a la reducción de vibración en la suspensión, se pudo comprobar que la suspensión influye directamente a la generación de ruido y vibración teniendo en cuenta elementos importantes de la misma como son amortiguadores y bases de amortiguador, los cuales cuando se encuentran deteriorados no realizan su función para la cual fueron diseñados.

Se determinaron las diferentes bandas de rodaduras que se utilizaron para los ensayos, mediante una revisión minuciosa de cada neumático y con ayuda de manuales de fabricantes de estos para obtener datos correctos acerca de los neumáticos empleados.

Se sabe que cada suspensión es muy importante, por lo que cada vehículo ha ido cambiando de sistema de suspensión para el confort de los usuarios, es decir, que el sistema de suspensión ha ido evolucionando juntamente con los vehículos.

5.2. Recomendaciones

Es recomendable tener en estado optimo a la suspensión para así evitar posibles ruidos y vibraciones por los componentes en mal estado, se debe realizar un mantenimiento preventivo al momento de realizar la alineación del vehículo, es decir cada 10.000 km.

Para las futuras investigaciones se recomienda emplear un banco de pruebas de ruido y vibración mismos que garanticen resultados, se recomienda construirse de

manera adiabática para que el ruido y el viento del ambiente no influyan perjudicando los resultados en los ensayos.

De igual manera se recomienda mantener el vehículo alineado para que el neumático tenga un desgaste normal, verificando los ángulos de divergencia como de convergencia (camber y caster).

Se recomienda realizar un balance a los neumáticos con la maquinaria especificada para los mismos, ya que cuando existe un desbalance se van a producir posibles alaveos que influyen directamente en el ruido y la vibración de los neumáticos y por ende una inconformidad con el confort del usuario.

Es sumamente importante revisar la presión de inflado que tienen los neumáticos, ya que cuando se tiene la presión adecuada, el vehículo tendrá más estabilidad y adherencia a la superficie que al estar con poco o mucho aire.

Para un análisis profundo del tema de investigación se recomienda que se efectúen pruebas en condiciones diferentes de la suspensión, es decir, con la suspensión deteriorada y otra cuando la suspensión se encuentre en óptimas condiciones como se lo realizó esto se recomienda para validar como influye la suspensión en el ruido y vibración de los neumáticos.

Se recomienda al momento de realizar tanto la medición del ruido y la vibración en la suspensión incorporar más sensores en todos los elementos de esta, con lo que se podrá identificar cuál elemento es el que provoca un mayor ruido y vibración, consecuentemente cambiarlo o darle un mantenimiento.

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.

Se recomienda reducir escalas al momento de realizar la medición de los factores tanto del ruido como de la vibración, esto se lo realiza con el fin de tener una

mejor visualización en tramos cortos de tiempo y así un mejor análisis de las ondas generadas.

Un consejo muy importante para la medición y tabulación de datos es la adquisición de equipos calibrados con las normas adecuadas, obteniendo certificados para así obtener resultados más confiables y un análisis más seguro.

Se debe tomar muy en cuenta en que vehículo se va a realizar el análisis del ruido y de la vibración ya que los vehículos no vienen todos con las mismas características, cada vehículo viene con un diferente sistema de suspensión lo cual puede influenciar directamente en el ruido y vibración del neumático, con esto reduciendo o ampliando el confort de los usuarios.

Bibliografía

Alonso, J. M. (2001). *Técnicas del automóvil. Chasis* (8va edición). Paraninfo. <https://www.paraninfo.es/catalogo/9788497326612/tecnicas-del-automovil--chasis>.

Recuperado el 28 de diciembre del 2021.

Blancarte, J. (2013, agosto 23). *¿Cuáles son los tipos de suspensión más comunes?* Autocosmos. <https://noticias.autocosmos.com.co/2013/08/23/cuales-son-los-tipos-de-suspension-mas-comunes>. Recuperado el 26 de diciembre del 2021.

CDRwebAdmin. (2017b, julio 19). Tipos de Sistema de Suspensión—Parte I. *Central de Repuestos TR*. <http://centralderepuestostr.com/tipos-sistema-suspension-parte-i/>. Recuperado el 28 de diciembre del 2021.

Donaire, D. L. (2019, junio 4). Conoce la suspensión multibrazo, ¿qué ventajas tiene? *Actualidad Motor*. <https://www.actualidadmotor.com/la-suspension-multibrazo/>

Infante, J. A. (2019). JAI web. Comportamiento dinámico del automóvil, neumáticos, suspensión, chasis. <http://www.euskalnet.net/jinfante/dinamic.html>. Recuperado el 26 de diciembre del 2021.

Martínez Obando, V. M., & Morán Yépez, J. A. (2012). IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN MCPHERSON CON PLAN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO PARA LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2301/1/65T00054.pdf>. Recuperado el 26 de diciembre del 2021.

Meganeboy, D. (2022, enero 17). Aficionados a la Mecánica: Teoría y diagnóstico de sensores. *Aficionados a la Mecánica*. <https://aficionadosalamecanica.blogspot.com/2022/01/teoria-y-diagnostico-de-sensores.html>. Recuperado el 26 de diciembre del 2021.

Motor giga. (2021). *INCIDENCIA (Ángulo de)—Definición—Significado*. <https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/incidencia-angulo-de-definicion-significado/gmx-niv15-con194430.htm>. Recuperado el 20 de diciembre del 2021.

Multiservicio. (2011, marzo 31). Multiservicio Automotriz 3H: Suspensión de paralelogramo deformable. *Multiservicio Automotriz 3H*. <https://multiservicioautomotriz3h.blogspot.com/2011/03/suspension-de-paralelogramo-deformable.html>. Recuperado el 20 de diciembre del 2021.

Platas, M. (2019, octubre 8). *Así funciona la suspensión McPherson*. Autosblogmexico.Com. <https://autosblogmexico.com/respuestas/asi-funciona-la-suspension-mcpherson-ta2732>. Recuperado el 27 de diciembre del 2021

Ponce, E. (2020, agosto 12). *La historia del sistema de suspensión en los automóviles*. Autocosmos. <http://noticias.espanol.autocosmos.com/2020/08/12/la-historia-del-sistema-de-suspension-en-los-automoviles>. Recuperado el 26 de diciembre del 2021.

Puruncaja, G. (2021). Implementación del sistema de suspensión en un prototipo biplaza UTV para la carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Unidad de Gestión de Tecnologías ESPE [UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE]. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/26361/1/M-EPEL-MAT-0139.pdf>. Recuperado el 26 de diciembre del 2021.

Riera, F. (2010). TRUCAJE Y ADAPTACIÓN DE UN SISTEMA DE SUSPENSIÓN Y DIRECCIÓN PARA UN VEHÍCULO TIPO BUGGY DE LA FÓRMULA AUTOMOVILÍSTICA UNIVERSITARIA FAU [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO]. <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/938/1/65T00008.pdf>. Recuperado el 20 de diciembre del 2021.

Stevenson, C. (2018). *Cómo funciona una suspensión de doble horquilla*. Geniolandia. <https://www.geniolandia.com/13121749/como-funciona-una-suspension->

de-doble-horquilla Sunset. (2021). *1era. Tienda Online de Cubiertas en Paraguay*. SUNSET Cubiertas. <https://www.sunset.com.py/>. Recuperado el 28 de diciembre del 2021.

Anexos