



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA NUEVA CAPA ASFÁLTICA EN LA CIUDAD DE  
CUENCA, EN EL CONFORT DE OCUPANTES DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniero Automotriz

**AUTOR: JONNATHAN GEOVANNY MATUTE ÁLVAREZ**

**TUTOR: ING. NÉSTOR DIEGO RIVERA CAMPOVERDE**

Cuenca - Ecuador

2024

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jonnathan Geovanny Matute Álvarez con documento de identificación N° 0104820279, manifiesto que:

Soy el autor y el responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 8 de enero del 2024

Atentamente,



---

Jonnathan Geovanny Matute Álvarez

0104820279

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Jonnathan Geovanny Matute Álvarez con documento de identificación N° 0104820279, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Análisis de la influencia de la nueva capa asfáltica en la ciudad de Cuenca, en el confort de ocupantes de vehículos automotores”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 8 de enero del 2024

Atentamente,



---

Jonnathan Geovanny Matute Álvarez

0104820279

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Néstor Diego Rivera Campoverde con documento de identificación N° 0103898995, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA NUEVA CAPA ASFÁLTICA EN LA CIUDAD DE CUENCA, EN EL CONFORT DE OCUPANTES DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES, realizado por Jonnathan Geovanny Matute Álvarez con documento de identificación N° 0104820279, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 8 de enero del 2024

Atentamente,



---

Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde

0103898995

## DEDICATORIA

*Jonnathan Geovanny Matute Álvarez*

*A mis padres Fausto Giovanni Matute Vizhñay y Esthela del Rocío Álvarez Carvajal, por la paciencia, fortaleza, y el gran sostén que fueron y son en todo este largo y cansado camino de estudio, por nunca dejarme derrumbar y siempre querer verme conseguir logros en la vida, buscando siempre sacar la mejor versión de mi persona, gracias a Uds. estoy logrando esta añorada meta que ha costado lágrimas y frustraciones, gracias, amados Padres ¡Son únicos!*

*A mi hermana menor, Samantha E. Matute A. la cual me enseñó que no hay obstáculos en la vida para conseguir lo que uno se propone, y el apoyo moral que ha sido en todo este tiempo que me ha costado seguir la universidad, y de igual manera a mis sobrinos y mi cuñado, por sus ánimos y por su gran positivismo.*

*A mis abuelos, quienes estaban siempre pendientes del camino que seguía, por aconsejarme y alentarme a seguir adelante.*

*A mi familia, mis tíos y primos, por ser ejemplo de trabajo y superación, por todo su apoyo incondicional.*

*A mis grandes amigos que han estado en esta travesía, aportando su grano de arena para verme alcanzar este fruto de esfuerzo.*

*A todas las personas que me han acompañado y han estado en esta odisea, las que me animaron y también a las que no, sobre todo a ellas, ¡aquí estoy!*

## AGRADECIMIENTO

*Jonnathan Geovanny Matute Álvarez*

*A Dios, por permitirme la vida y el fruto de poder estudiar, conociendo en este largo camino a personas claves que me ayudaron en esta formación*

*A mis padres Giovanni y Rocío por dar todo de ellos y sus años de vida para ayudarme a lograr esta meta.*

*A mis abuelos: Fausto Matute, Natividad Vizhñay, José Álvarez, Inés Carvajal, por su preocupación en los años de estudio.*

*A Samantha, mi hermana quien me daba los ánimos y motivación para seguir adelante.*

*Al Ingeniero Néstor Rivera, quien se convirtió en un gran amigo, tutor y profesor, gracias por confiar en mi persona, y guiarme en todo el proceso de titulación.*

*A mis grandes amigos que me acompañaron en todos estos años, Bibiana, Christian y Darío, por su acompañamiento, consejos y ánimos.*

*A los Docentes de la Universidad Politécnica Salesiana, con los que he convivido y compartido muchos años de aprendizaje*

*A mis compañeros en las aulas, por los logros conseguidos ciclo tras ciclo,*

*A las personas que me han sido soporte en el camino académico.*

*Gracias a todos.*

## RESUMEN

La investigación realizada en este trabajo de titulación está encaminada en el análisis de la influencia de la nueva capa asfáltica en las vías de la ciudad de Cuenca, para lograr los objetivos se establecieron diversas actividades, las cuales se realizarán en este trabajo de esta manera se expone el siguiente extracto.

En primera instancia está la fase 1 de la investigación, en la cual se revisará bibliografía para establecer, comparar o analizar parámetros que nos permita referenciar nuestro objetivo de estudio.

Al concluir la fase 1, se dará inicio a la fase 2 donde se obtendrá información en distintitos vehículos y distintas vías, por medio del dispositivo de adquisición de datos, para analizarlos en un software de cálculo con la ayuda de la transformada de Fourier para generar un modelo que pueda explicar el porcentaje de la influencia de la nueva capa asfáltica.

Finalmente, en la fase 3 se proceda a validar el modelo trabajado, al comparar distintos resultados, estableciendo un nivel de bienestar y el comportamiento de vibraciones, en los vehículos automotores en las vías pavimentadas de la ciudad de Cuenca.

***Palabras clave:*** Armónicos, vibración, confort, Fourier.

## **ABSTRACT**

The research conducted in this degree work is aimed at analyzing the influence of the new asphalt layer on the roads of the city of Cuenca, to achieve the objectives were established various activities, which will be carried out in this work in this way the following extract is exposed.

In the first instance is phase 1 of the research, in which literature will be reviewed to establish, compare or analyze parameters that allow us to reference our study objective.

At the end of phase 1, we will start phase 2, where we will obtain information in different vehicles and different roads, by means of the data acquisition device, to analyze them in a calculation software with the help of the Fourier transform to generate a model that can explain the percentage of the influence of the new asphalt layer.

Finally, in phase 3 we proceed to validate the worked model by comparing different results, establishing a level of well-being and the behavior of vibrations in motor vehicles on paved roads in the city of Cuenca.

**Key words:** Harmonics, vibration, comfort, Fourier.



## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTO .....	VI
RESUMEN .....	VII
ABSTRACT .....	VIII
ÍNDICE GENERAL .....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XII
1. INTRODUCCIÓN.....	13
2. PROBLEMA .....	16
2.1. Antecedentes .....	16
2.2. Importancia y Alcances.....	17
2.3. Delimitación.....	17
3. OBJETIVOS .....	18
3.1. Objetivo General .....	18
3.2. Objetivos específicos. ....	18
4. ESTADO DEL ARTE .....	19
4.1. Vehículos automotores.....	19
4.2. Chasis.....	19
4.3. Carrocería.....	19
4.4. Sistema de amortiguación.....	19
4.5. Vibraciones .....	20
4.6. Pavimento .....	23
4.7. Asfalto.....	24
4.8. Equipo de adquisición de datos.....	24
4.8.1. Acelerómetro.....	24
4.8.2. Freematics One + .....	25
4.8.3. G.P.S. ....	26
4.9. Datos de análisis del Freematics One + .....	27
4.10. Transformada de Fourier.....	28

5. METODOLOGÍA.....	32
5.1. Recopilación de datos en Ruta.....	32
5.2. Apresto de los dispositivos.....	33
5.3. Ubicación del Freematics One+ en los vehículos.....	33
5.4. Especificación de Vehículos.....	34
5.4.1. Vehículo 1 (Grand Vitara SZ).....	34
5.4.2. Vehículo 2 (VW Combi).....	35
5.5. Recolección de datos.....	37
5.6. Almacenamiento de Datos.....	38
5.7. Métodos existentes para el análisis de confort.....	38
5.7.1. Método Sperling o índice Wz.....	38
5.8. Preparaciones para las mediciones.....	39
5.9. Transformación de Fourier.....	43
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	45
6.1. Método de Fourier.....	45
7. CONCLUSIONES.....	57
8. ANEXOS.....	59
9. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS.....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS.

<b>Figura 1</b> .....	14
<b>Figura 2</b> .....	15
<b>Figura 3</b> .....	17
<b>Figura 4</b> .....	26
<b>Figura 5</b> .....	27
<b>Figura 6</b> .....	29
<b>Figura 7</b> .....	30
<b>Figura 8</b> .....	31
<b>Figura 9</b> .....	34
<b>Figura 10</b> .....	36
<b>Figura 11</b> .....	37
<b>Figura 12</b> .....	38
<b>Figura 13</b> .....	40
<b>Figura 14</b> .....	41
<b>Figura 15</b> .....	42
<b>Figura 16</b> .....	43
<b>Figura 17</b> .....	44
<b>Figura 18</b> .....	46
<b>Figura 19</b> .....	47
<b>Figura 20</b> .....	48
<b>Figura 21</b> .....	50
<b>Figura 22</b> .....	53
<b>Figura 23</b> .....	54
<b>Figura 24</b> .....	59
<b>Figura 25</b> .....	60
<b>Figura 26</b> .....	61
<b>Figura 27</b> .....	62
<b>Figura 28</b> .....	63
<b>Figura 29</b> .....	64
<b>Figura 30</b> .....	65
<b>Figura 31</b> .....	66

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> .....	21
<b>Tabla 2</b> .....	22
<b>Tabla 3</b> .....	28
<b>Tabla 4</b> .....	35
<b>Tabla 5</b> .....	36
<b>Tabla 6</b> .....	51
<b>Tabla 7</b> .....	52
<b>Tabla 8</b> .....	55
<b>Tabla 9</b> .....	56

## 1. INTRODUCCIÓN

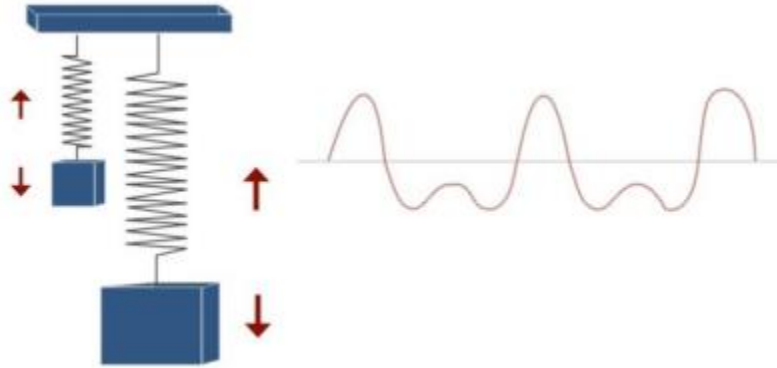
El proyecto propuesto sobre el “Análisis de la influencia de la nueva capa asfáltica en la ciudad de Cuenca, en el confort de ocupantes de vehículos automotores”, proporciona información para la obtención de los niveles de confort, para esto se cuenta, con los pasos a seguir para obtener la información de datos, mediante el proceso de transformada con ayuda de un software matemático.

Las vibraciones que son producidas por el medio de transporte terrestre automotor, son transmitidas al cuerpo humano, lo cual, a más de presentar una molestia o incomodidad a los ocupantes, puede ser un factor de daño físico o psicológico. Las vibraciones causadas por el vehículo pueden ser la causa fundamental de enfermedades físicas (rango de frecuencia, amplitud, duración), o también psicológicas (edad, género, tipo de población).(Nihat Ozkaya, 1994)

Gracias a estudios realizados se ha demostrado que, si se tiene una exposición a largo plazo con una alta frecuencia de baja amplitud el o los ocupantes del vehículo automotor sufrirán problemas de concentración, y se la prolongación es a corto plazo, pero con vibraciones de frecuencia alta de amplitudes altas, se puede producir daños en los órganos internos y los músculos.(Bonin et al., 2007) Debido a esto la vibración debe ser considerada un factor vital que contribuya en el confort de conducción, para evitar daños al cuerpo de los ocupantes de los diferentes transportes terrestres en las vías de la ciudad de Cuenca.

## Figura 1

Sistema de vibración.



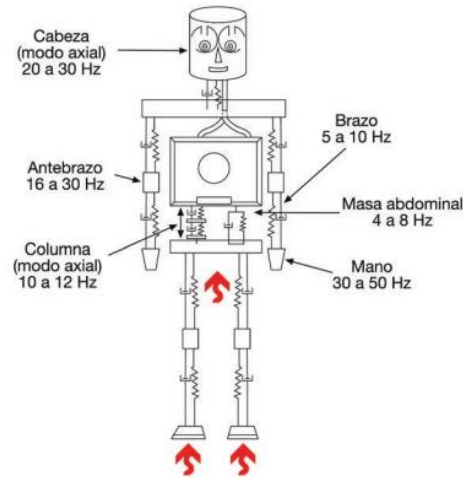
*Fuente:* (IDEARA, 2014)

En la figura 2 tenemos representado el cuerpo humano, con sus elementos elásticos, sus masas, frecuencias y amortiguadores, que puede ver afectado por estas frecuencias de resonancia, ya que el cuerpo humano se comporta como una estructura física. Por un lado, es capaz de amortiguar las vibraciones; pero, por otro, en unas bandas de frecuencia determinadas, puede vibrar aumentando de forma progresiva la amplitud del movimiento. (Álvarez Bayona, 2014.)

Se diseñará un procedimiento adecuado para el análisis de niveles de confort, dando a conocer valores de ciclos de conducción en 3 tipos diferentes de vías pavimentadas de la ciudad de Cuenca. Concluido la toma datos y obtenido los resultados será da paso a un modelo matemático que explique el nivel de confort en cada vía analizada.

## Figura 2

Modelo mecánico del cuerpo humano.



Nota: La respuesta del cuerpo humano, al no ser este simétrico, se verá afectada también por la dirección de entrada de la vibración. *Fuente:* (Álvarez Bayona, 2014)

La figura es el resultado de un estudio de modelo mecánico en un rango de 1 Hz a 50 Hz, mostrando al cuerpo humano fenómenos de resonancia en distintas frecuencias.

## **2. PROBLEMA**

Debido a operaciones de mantenimiento a inicios del año 2023 se ha implementado una nueva capa asfáltica en varias avenidas de la ciudad de Cuenca, desde lo que se evidencian vibraciones y sonidos fuera de lo común en los vehículos, causando molestias al conductor y preocupación por el estado de su medio de transporte, debido a esto las vibraciones generadas por las vías pueden afectar la experiencia de conducción y la salud tanto física como psicológica de los ocupantes (*Bayona, 2014*) además de que estas vibraciones alteran el nivel de confort de los ocupantes de los diferentes medios de transporte terrestre en la ciudad.

### **2.1. Antecedentes**

Al momento no existe un estudio formal que explique la causa que ocasiona estas vibraciones, así que antes de dar con una solución definitiva, se debe encontrar la fuente del problema que ocasiona estos inconvenientes al momento de transitar por estas vías.

La finalidad que tiene este proyecto es examinar el nivel de confort en las vías asfaltadas de la ciudad de Cuenca para la comodidad de los ocupantes de los diferentes vehículos al momento de conducir por ellas con el objetivo de contribuir a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 3) de “Salud y Bienestar”, buscando garantizar una vida sana y promover el bienestar en todas las edades.

En relación con el objetivo 12 del Plan de Creación de Oportunidades del Ecuador (secretaría nacional de Planificación, 2021), el proyecto está asociado a una de las metas fijadas para el año 2025 (12.2.2), que pretende reducir la huella ecológica mediante nuevos patrones de movilidad.



Con esta investigación ayudará a que la Universidad Politécnica Salesiana puede obtener datos relevantes y precisos, ayudando a investigaciones futuras, contribuyendo a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 11) “Ciudades y comunidades sostenibles”, ya que se enmarca en la implementación de estrategias innovadoras destinadas al desarrollo de una movilidad sostenible.

## 2.2. Importancia y Alcances

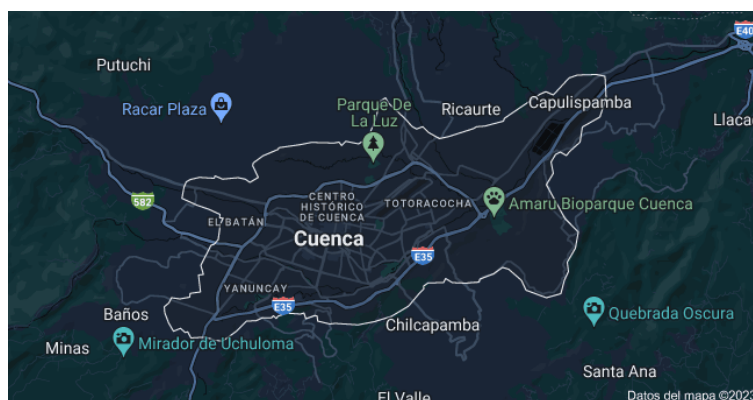
El beneficio a la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, con el aporte al conocimiento acerca del estudio de confort en las distintas vías de la ciudad de Cuenca, para tener un lineamiento de la manera de comodidad al momento de conducir un vehículo automotor.

## 2.3. Delimitación

El siguiente proyecto, se realizará dentro de la provincia del Azuay, en la ciudad de Cuenca, ubicado en sur del Ecuador, la cual se encuentra con una altitud de 2500 m.s.n.m y una extensión de 70.59 km<sup>2</sup> y cuenta con 801609 habitantes aproximadamente.

### Figura 3

Ciudad de Cuenca



Fuente: Google Maps, (s.f.)

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo General**

Analizar la influencia de la nueva capa asfáltica en la ciudad de Cuenca, en el confort de ocupantes de vehículos automotores.

#### **3.2. Objetivos específicos.**

- Analizar el estado el arte, al establecer parámetros de referencia, delimitando el objetivo de estudio.
- Adquirir información de varios ciclos de conducción pre establecidos por medio del dispositivo de adquisición de datos, analizar los datos obtenidos mediante el software de cálculo para estimar el confort al transitar por las avenidas que disponen de la nueva capa asfáltica de la ciudad de Cuenca para generar un modelo que explique su nivel de confort.
- Validar el modelo obtenido.

## **4. ESTADO DEL ARTE**

### **4.1. Vehículos automotores**

En la ciudad de Cuenca existen cerca de 145.000 vehículos automotores circulan por las diferentes calles de la urbe, los cuales son el principal medio de transporte de la población, con lo que, al transitar diariamente por las vías, se generan incomodidades en los usuarios.

### **4.2. Chasis**

Es el sistema que proporciona al vehículo aspectos mecánicos, como seguridad, rigidez y sobre todo energía para el movimiento del mismo, y es quien soporta todas los esfuerzo y cargas del automotor, es la estructura principal de un automóvil, puede tener diferentes características dependiendo del modelo y otras formas.(Alonso Pérez, 2008)

### **4.3. Carrocería**

Es la parte que conforma la estructura del vehículo y es esencial para su funcionamiento, el cual se apoya en el chasis o bastidor, está conformada por planchas de metal unidas unas con otras, es quien presta la protección aerodinámica y seguridad hacia los pasajeros, y contribuye a la estética de un automóvil, y debe estar sometida a rigurosas pruebas con estándares para su circulación en las ciudades.

### **4.4. Sistema de amortiguación.**

Este sistema es el cual soporta el peso del vehículo, mantiene siempre el contacto de las ruedas con el pavimento, evitando su exceso de vibración y absorbe las irregularidades de la carretera manteniendo el confort y seguridad de los ocupantes de los vehículos, este sistema es quien garantiza una conducción cómoda y segura.

#### **4.5. Vibraciones**

Las vibraciones son movimientos repetitivos que suceden cerca de un sistema en equilibrio, esta vibración es generada cuando el sistema es movido desde su posición de equilibrio, y este quiere volver a su posición original debido a las fuerzas a la cual está sometida (fuerzas elásticas y gravitacionales), representando un movimiento de oscilación. El sistema estará nuevamente en equilibrio cuando las fuerzas que actúen sobre su alrededor sean igual a cero. Las vibraciones se las puede caracterizar, por, amplitud, frecuencia y período(Auquilla Hector & Beltrán Cesar, 2016)

Amplitud. – es la distancia máxima o desplazamiento de un cuerpo desde su posición de equilibrio durante una oscilación, para poder computar la intensidad o fuerza de vibración, para aceleración su medida es  $m/s^2$ , para velocidad  $m/s$  y para el desplazamiento en  $m$ .

Frecuencia. – son las veces que realiza un ciclo de oscilación completa por segundo y su medición es en Hertzios (Hz), la frecuencia nos da el índice de veces que el cuerpo u objeto vibra por segundo.

En la tabla 1 se muestra como es el comportamiento del cuerpo humano dependiendo de la cantidad de Hercios, y los efectos que tiene en cada parte del cuerpo.

**Tabla 1**

Efectos de las vibraciones en el Cuerpo Humano

VIBRACIÓN	CARACTERÍSTICAS
< 3 HZ	El cuerpo se mueve como una unidad.
De 4 Hz a 12 Hz	Caderas, hombros, algunos sectores abdominales, comienza a resonar, producen vibración como consecuencia a la vibración.
De 20 Hz a 30 Hz	Cráneo resuena, la visión se ve deteriorada.
De 60 Hz a 90 Hz	Los lóbulos oculares comienzan a resonar producto de las vibraciones

*Fuente:* (IDEARA, 2014)

Período. – es el intervalo de tiempo para que el sistema realice un ciclo completo de movimiento, es decir un período más corto indica una vibración más rápida, un período más largo dará un indicador de vibración más lenta.

Las vibraciones en exceso provocan trastornos que afectan directamente al confort de los ocupantes, ocasionando problemas en los brazos, o directamente al cuerpo entero, estos pueden ser vasculares, neurológicos, osteoarticulares, musculares, respiratorios, sensoriales, entre otros, estos pueden llegar a afectar el sistema nervioso ya que si se sobrepasa los 20 Hz se producen alteraciones, provocando una mala circulación de la sangre en brazos, piernas o el suministro adecuado hacia el cerebro, provocando en algunos casos vértigo incitando a una acelerada pérdida

de audición, en cuanto al problema respiratorio se da por las vibraciones causadas por el asfalto y el vehículo, afectando el diafragma del pecho.(Juan Seva, 2014.)

Lo más riesgoso que pueden llegar a provocar las vibraciones son efectos negativos sobre los órganos reproductores masculinos y femeninos, en los hombres induciendo prostatitis y en las mujeres alterando su ciclo menstrual y por ende problemas con el embarazo.

Uno de los efectos que más notable es en los usuarios de vehículos automotores son los cambios de humor, causa de malestar o fastidio y cansancio. Por ende, a mayor tiempo de exposición que se encuentre los usuarios, mayor será el malestar y el nivel de probabilidad que pueda contraer algunas de las afecciones o trastornos ya mencionados.

**Tabla 2**

Sensación de los pasajeros

<b>INTENSIDAD VIBRACIÓN</b>	<b>Sensación</b>
< 0.315 m/s <sup>2</sup>	No molesta
De 0.315 m/s <sup>2</sup> a 0.63 m/s <sup>2</sup>	Un poco molesta
De 0.5 m/s <sup>2</sup> a 1 m/s <sup>2</sup>	Algo molesta
De 0.8 m/s <sup>2</sup> a 1.6 m/s <sup>2</sup>	Molesta mucho
De 1.25 m/s <sup>2</sup> a 2.5 m/s <sup>2</sup>	Extremadamente molesta
> 2 m/s <sup>2</sup>	Demasiado Malo

*Fuente:* (Álvarez Bayona, 2014.)

En resumen, las vibraciones son movimientos armónicos de pequeña amplitud, con lo cual se puede estimar diferentes tipos de fallas, resonancias, alteraciones en equipos, maquinarias, u otras alternativas

#### **4.6. Pavimento**

El pavimento está formado por un grupo de capas superpuestas horizontalmente, diseñado y construido con materiales idóneos para garantizar una funcionalidad adecuada, que deben soportar cargas repetitivas de vehículos y de tránsito que varía diariamente.

El pavimento debe ser resistente a las cargas mencionadas y a los agentes ambientales de temperatura o humedad, la textura superficial debe estar apta para sobrellevar las velocidades diarias en las que circulan los vehículos y resistir el desgaste provocado por los neumáticos, debe tener un excelente drenaje, no debe emitir ruidos que causen molestias a los ocupantes de los automotores, y el color que lleve debe evitar el reflejo que sean causa de deslumbramientos.(Montejo Fonseca, 1998)

Según el Ministerio de Transporte y Obras Públicas las vías en la ciudad deben llevar pavimento rígido(Ministerio de transporte y obras públicas del Ecuador, 2012), las cuales cuentan con una losa de concreto hidráulico ya que, debido a su coeficiente de elasticidad, los esfuerzos tienen una amplia área para su distribución, debido a estas características, el comportamiento de este pavimento es sumamente satisfactorio(Pinto Wilmer Freddy et al., 2015)

## **4.7. Asfalto**

Denominado también alquitrán, es un material usado para la construcción de carreteras, calles u otras superficies que lleven pavimento por su facilidad de adhesión con derivados del petróleo, debe ser flexible, adaptándose a las cargas provocados por los vehículos sin llegar a romperse; ser impermeable, evitando filtración de agua.

Se pueden modificar los asfaltos por medio de una técnica la cual consiste en la adición de polímeros a un asfalto convencional, para cambiar sus condiciones físico - químicas, mejorando su comportamiento visco – elástico. (Palma Carolina et al., 2015)

El asfalto es la capa superior de un pavimento, la cual proporciona la superficie de rodamiento para los vehículos, elaborada con productos pétreos, estos materiales deben garantizar adherencia y dureza con el pavimento y asfalto. (Padilla, 2002)

La calidad de la capa asfáltica, está sujeto a elementos como la mezcla de asfalto ya utilizado, la compactación correcta de sus componentes. Un asfalto de calidad muy buena (Alta), tiende a ser más resistente al desgaste y por ende a ser más duradero.

Estos componentes pueden llegar a ser la causa de que el vehículo automotor sea sumamente afectado y derive en complicaciones en el confort con los ocupantes del vehículo.

## **4.8. Equipo de adquisición de datos**

### **4.8.1. Acelerómetro.**

Dispositivo más usado y de dimensiones pequeñas que ayuda a la medición de vibración rotacional, generando señales de voltaje proporcional a la vibración y relativa a una “g” (unidad de medición gravitacional) como la frecuencia dando una señal de salida basado en velocidad y comunidad de medida en  $m/s^2$ , el dispositivo está conectada al dispositivo de recolección de



información como Freematics One+. En la actualidad estas mediciones se realizan digitalmente para su posterior análisis.

Como dato adicional, el primer registro de incorporación de un acelerómetro fue en el año de 1923, lo cual esta tecnología ha ido evolucionando, suministrando comprobaciones más precisas y rápidas sobre vibraciones.

Resumiendo, el acelerómetro es un dispositivo electrónico que avisa a un dispositivo acoplado, el cómo, cuándo y de qué manera se está moviéndose.

#### **4.8.2. Freematics One +**

El dispositivo Freematics One+ es de mucha ayuda para la recopilación de datos, ya que los almacena internamente en una memoria micro SD para luego ser analizada en un software matemático, se utiliza el dispositivo el cual consta de una plataforma Arduino y al ser conectado al vehículo adquirirá datos.

Puede ser parametrizable para que se adecúe a diversas aplicaciones de estudio, por medio de un software específico.

En algunos casos, el Freematics One + puede ofrecer un monitoreo del vehículo en tiempo real, como ejemplo el comportamiento del motor, su temperatura, velocidad a la que se encuentra, r.p.m., entre otras funcionalidades más.

## Figura 4

Freematics One+



Nota: Dispositivo donde se guardará toda información que se recopile. *Fuente: Autor.*

### 4.8.3. G.P.S.

El Sistema de Posicionamiento Global (G.P.S., de sus siglas en inglés) cuenta con una antena incorporada que trabaja vinculado con la plataforma Arduino para proveer coordenadas exactas, la cual transmite fecha, altitud, longitud, velocidad y latitud longitudinal. Este dispositivo va acoplado al Freematics One + mediante 4 pines que por medio del cable conector proporciona datos de precisión elevada, mediante una triangulación donde se utiliza el tiempo para medir distancias entre receptor y el satélite si fuese el caso. Con tres distancias que se conozcan, el receptor calcula su posición.

## Figura 5

GPS



Nota: el GPS es quien proporciona los datos de geolocalización. *Fuente: Autor.*

Es importante tener estos dispositivos, cables, conectores entre otros, en óptimas condiciones, para garantizar medidas eficientes e identificaciones de vibración correctas para comprobaciones correctas.

### **4.9. Datos de análisis del Freematics One +.**

Los datos que se recopilarán serán los siguientes:

Aceleración en tres ejes, estos datos serán tomados por el acelerómetro que viene integrado en dispositivo Freematics One +, el cual nos permitirá conocer los movimientos durante el trayecto de los vehículos a los cuales se les aplicará la prueba de confort, estos datos serán las vibraciones que se guardarán como datos en el memoria micro SD.

Posicionamiento, mediante el GPS se obtienen datos de altitud, longitud, velocidad y latitud longitudinal, con los que se permitirá conocer el trayecto que tendrán los vehículos por las

diferentes vías de la ciudad de Cuenca, obteniendo también su velocidad para tener un rango de estudio y establecer comparativas.

**Tabla 3**

Magnitudes utilizadas

<b>Magnitud</b>	<b>Unidades</b>
Longitud	Grados sexagesimales
Latitud	Grados sexagesimales
Velocidad	Km/h
Aceleración	m/s <sup>2</sup>
Posición	Grados
Altitud	m.s.n.m.

*Fuente: Autor*

#### **4.10. Transformada de Fourier.**

Es un instrumento matemático que ayudará a procesar y analizar las señales y ondas de frecuencia, mediante lo cual con la transformada de Fourier se podrá pasar de una señal en dominio de tiempo y representar en el dominio de frecuencia, (Bermeo Karina, 2017), se describe como la amplitud de la señal que varía o cambio a lo largo del tiempo, para facilitar la comprensión de señales no periódicas y las características de los espectros de vibraciones comprendiendo su origen y su comportamiento.

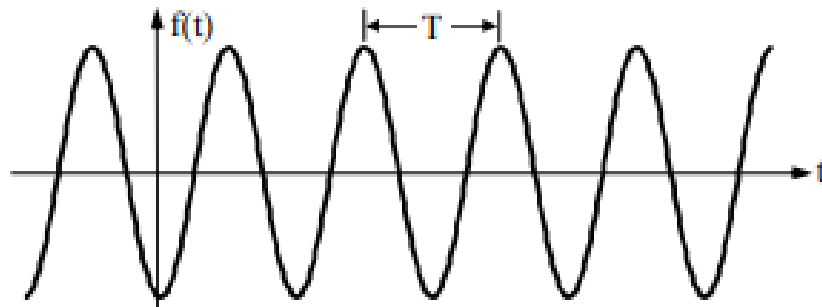
Esta transformada nos facilita un espectro de frecuencia, que muestra las frecuencias presentes en la señal analizada, y la energía requerida en cada una de ellas, suele ser usada muy

comúnmente en para procesar señales de audio, compresión de imágenes, comunicaciones digitales, sistemas dinámicos, entre otros.

La transformada de Fourier debe contar con una simetría, linealidad, desplazamiento temporal y frecuencial, de manera que el espectro de magnitud se conserve. Con esta teoría, una función periódica  $f(t)$  sinusoidal se puede alterar en una más sencilla, siendo la frecuencia un múltiplo de la función periódica, con este análisis convertimos el número infinito de componentes a otro número finito que nos permite leer adecuadamente el comportamiento que genera el asfalto en cuanto al confort, es decir, las vibraciones generadas al transitar por este medio.

### Figura 6

Ejemplo de período

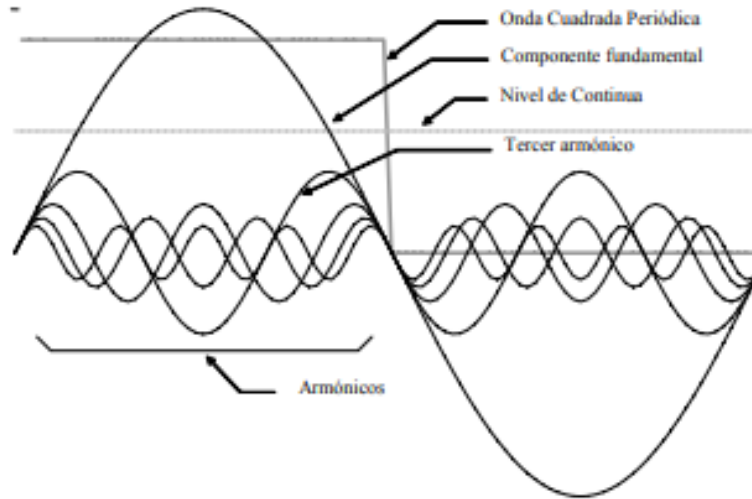


*Fuente:* (Carrillo González, 2003)

Usando este método, reducimos el error de cálculo y es la mejor opción de aproximación al análisis del estudio realizado, al tener más elementos el error disminuye, con Fourier se deben especificar dos elementos claves que son la amplitud y fase o frecuencia.(LAFA, 2015)

**Figura 7**

Principio de Fourier

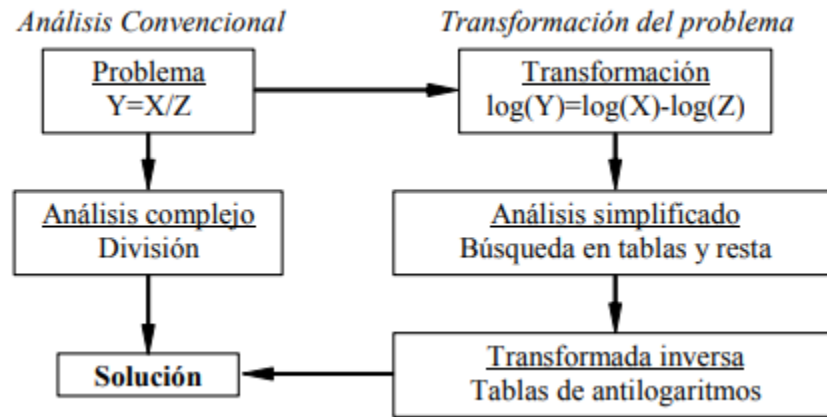


*Fuente:*(Carrillo González, 2003)

En la figura 8 se puede observar como la transformada de Fourier facilita el proceso de análisis mediante algoritmos, reduciendo la complejidad de ecuaciones, para obtener la información frecuencial de una determinada función.

**Figura 8**

Empleo de la transformada de Fourier para simplificar un problema



*Fuente:* (Carrillo González, 2003)

Abreviando, La Transformada de Fourier, es de asistencia para analizar y comprender características de una señal en dominio de frecuencia, permitiendo un diseño y optimización de un sistema en varias aplicaciones.

## 5. METODOLOGÍA

Este análisis permitirá entender cómo la nueva capa asfáltica influye en la experiencia de conducción y de confort de los ocupantes de vehículos en la ciudad de Cuenca

### 5.1. Recopilación de datos en Ruta.

Es apartado es fundamental pues aquí es donde se puede comprender y mejor algunas composturas con respecto a la movilidad, tomar decisiones basados en las recopilaciones de información, y más.

La recopilación de datos en ruta se da al recoger información mientras se conduce o viaja en un trayecto.

Para la toma de datos se establecen rutas diferentes, con pavimento nuevo y con un pavimento antiguo para tener una comparativa en la influencia de la capa asfáltica.

Así mismo, se ocupan diferentes vehículos automotores para el análisis de este proyecto. Los vehículos son de características y años diferentes y cada uno tiene un comportamiento distinto en la capa asfáltica.

Las mediciones se realizan en una superficie de manera que las vibraciones afecten el confort del cuerpo humano, definiendo el terreno (asfalto), el tiempo de conducción y revisando cada vehículo.



## **5.2. Apresto de los dispositivos.**

Para la recolección de información y datos como ya se mencionó en el apartado 4.5.1. se utiliza el dispositivo Freematics One+, el cual debe ser conectado a la alimentación de los vehículos para su alimentación.

Por seguridad del Freematics One+, este se encuentra encapsulado en una caja de acrílico con un interruptor en la parte superior para encender o apagar el dispositivo para cuando se desee o no adquirir datos.

## **5.3. Ubicación del Freematics One+ en los vehículos.**

Una vez establecida las rutas a seguir, se tiene que poner los equipos de medición en su lugar para establecer las mediciones, verificar que los aparatos se encuentren en buen estado y estén cedidos cada vez que se realice la conducción para la toma de datos.

El colector de datos que en este caso será el Freematics One+, deberá estar fijo en un solo lugar, el cual estará en la parte frontal del tablero para evitar errores de información y encendido, esto a que vamos a analizar en el confort del vehículo hacia sus ocupantes.

El dispositivo estará ubicado en la parte frontal de los vehículos, específicamente en el tablero, este debe estar fijo para evitar que su desplazamiento o toma errónea de valores, la antena GPS estará colocada en lo alto de la ventana del conductor, sin, obviamente, obstaculizar la visión del mismo, para garantizar una señal de geolocalización más exacta y sin interrupciones.

## 5.4. Especificación de Vehículos

Para el estudio de esta investigación se usaron 2 tipos diferentes de vehículos con las siguientes especificaciones:

### 5.4.1. Vehículo 1 (Grand Vitara SZ)

El Grand Vitara SZ está en la categoría de SUV deportivo de la marca Suzuki, tiene una caja de 5 velocidades, posee vidrios eléctricos, bolsas de aire, control de estabilidad, cuenta con mandos al volante para mayor comodidad del conductor.

#### Figura 9

Chevrolet modelo Grand Vitara SZ (Suzuki)



*Fuente: Autor*

Este vehículo presenta mejoras en la ergonomía y comodidad de sus asientos, volante ajustable, inclusive el asiento posterior tiene la disposición para que dos adultos vayan con mayor bienestar.

En la tabla 4, se pondrán evidenciar algunas de las características de que tiene el vehículo, para identificar sus condiciones con respecto a un segundo vehículo el cual también entrará en este estudio.

**Tabla 4**

Características Grand Vitara SZ

<b>AÑO</b>	2010
<b>PESO</b>	1608 Kg
<b>PASAJEROS</b>	5
<b>SUSPENSIÓN</b>	McPherson
<b>RIN</b>	225/70 R16
<b>PRESIÓN DE INFLADO</b>	5.4 Bar
<b>MOTOR</b>	2000

*Fuente: Autor.*

#### **5.4.2. Vehículo 2 (VW Combi)**

La Combi es un vehículo icónico del transporte, fabricado por Volkswagen, es un automóvil de trabajo que puede transportar una carga útil de 690 Kg, tiene una caja de cambios de 4 velocidades, el motor es enfriado por aire y denominado Boxer, y al igual que la batería y tanque de combustible se encuentra en la parte posterior del vehículo.

Es un vehículo que no cuenta con todas las comodidades que actualmente presentan los vehículos nuevos, pues está diseñado para abaratar costos dejando de lado el bienestar de los pasajeros y enfocado más al ámbito de trabajo y carga.

## Figura 10

Volkswagen modelo Combi 1994



*Fuente: Autor.*

## Tabla 5

Características VW Combi

<b>AÑO</b>	1994
<b>PESO</b>	1195 Kg
<b>PASAJEROS</b>	8
<b>SUSPENSIÓN</b>	BARRA DE TORSIÓN
<b>RIN</b>	185/70 R14
<b>PRESIÓN DE INFLADO</b>	2.4 Bar
<b>MOTOR</b>	1600CC (1584CC)

La combi es acreditada por su ligereza y capacidad de acomodarse a diversas exigencias, ya sea como vehículo familiar o para transporte de carga

### 5.5. Recolección de datos.

Luego de estar ya instalado el dispositivo de recolección de datos en su respectivo sitio como está especificado en el apartado 5.2. se da inicio a la adquisición de información, con los vehículos encendidos e igualmente el interruptor del Freematics One+.

La recopilación de información se inicia con la puesta a marcha de los vehículos, siguiendo las rutas establecidas para este análisis.

#### Figura 11

Freematics One+ y GPS conectados



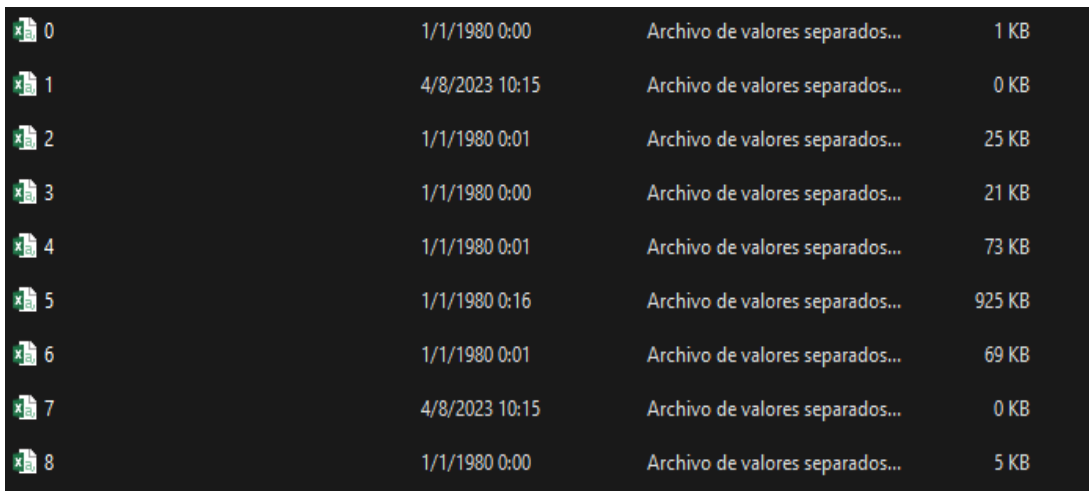
*Fuente: Autor.*

## 5.6. Almacenamiento de Datos.

Así pues, posterior a la recopilación de datos, se extrae la tarjeta microSD del dispositivo Freematics One+ y se le conecta en la computadora para poder procesar la información con la ayuda del programa informático de MATLAB®, la información está basada en diferentes vehículos y distintas vías para tener una agrandado más de información.

### Figura 12

Datos en formato CSV Tomados por el Freematics One+



0	1/1/1980 0:00	Archivo de valores separados...	1 KB
1	4/8/2023 10:15	Archivo de valores separados...	0 KB
2	1/1/1980 0:01	Archivo de valores separados...	25 KB
3	1/1/1980 0:00	Archivo de valores separados...	21 KB
4	1/1/1980 0:01	Archivo de valores separados...	73 KB
5	1/1/1980 0:16	Archivo de valores separados...	925 KB
6	1/1/1980 0:01	Archivo de valores separados...	69 KB
7	4/8/2023 10:15	Archivo de valores separados...	0 KB
8	1/1/1980 0:00	Archivo de valores separados...	5 KB

Nota: estos datos serán trabajos en MATLAB®. *Fuente: Autor.*

## 5.7. Métodos existentes para el análisis de confort.

### 5.7.1. Método Sperling o índice Wz

Introducido en Alemania en mitad del siglo XX por Sperling en ayuda de Helber, el cual es una forma para la medición la calidad de viajes en vehículos ferroviarios de pasajeros, contando una estructura de prueba para vibraciones,(Novillo Pamela, 2021) para conseguir índices de calidad, mediante el procedimiento Wz (Werbungzah), a partir de la siguiente expresión:

$$W_z = \int_{f_1}^{f_2} [G(f)^2 B(f)^2 df]^{1/6.67}$$

En este caso,  $f_1$  y  $f_2$  límites de rango en cuanto a frecuencia pueden ser 0.5 y 30 respectivamente.  $G(f)$  es una función densidad espectral

### **5.8. Preparaciones para las mediciones.**

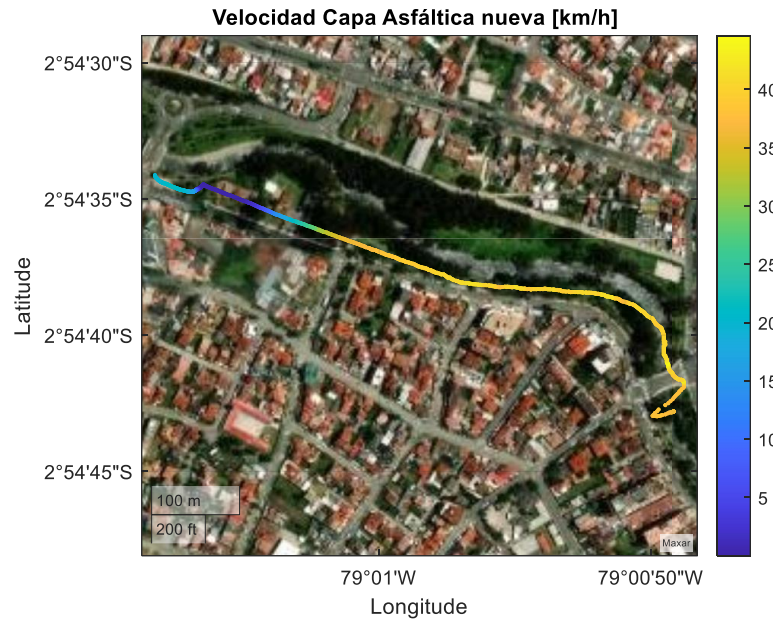
Cuando el vehículo se ponga en marcha, el Freematics One+ comenzará su trabajo de recopilación de información durante toda la ruta establecida previamente, hasta llegar al punto final donde se deberá desactivar el dispositivo para acabar con la prueba.

A continuación, se detalla los recorridos establecidos para la adquisición de datos en los vehículos y en las vías con asfalto.

Para cada imagen de los recorridos se ocuparon los datos muestreados por el Freematics One+ y trabajados en Matlab®, por colores se observará la diferencia de velocidad en la que se encuentren los vehículos y la escala estará de igual manera especificada.

### Figura 13

Primer recorrido, Av. Primero de Mayo



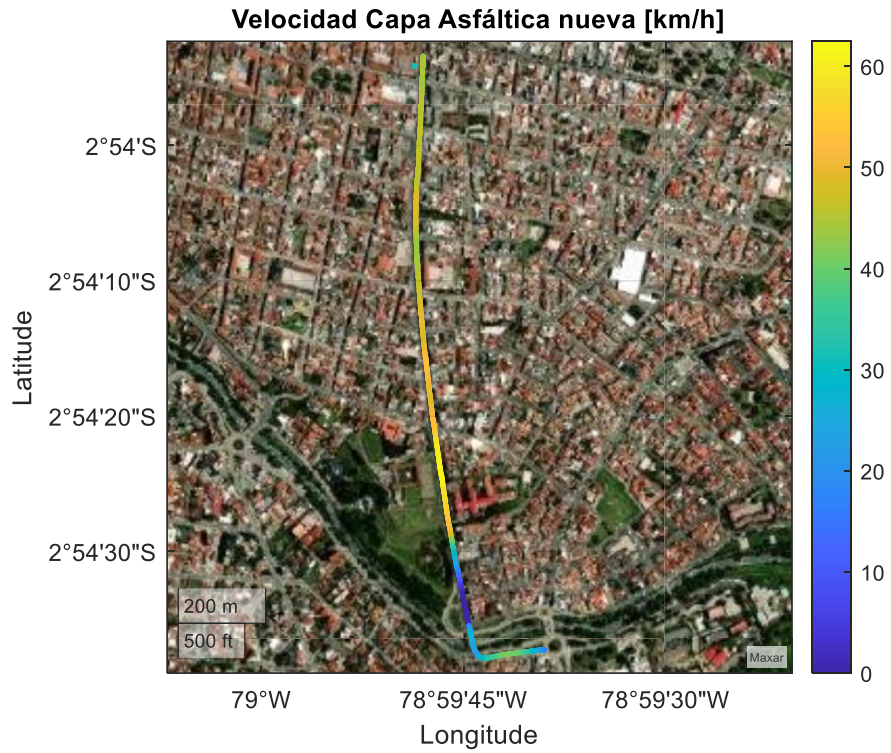
Nota: Recorrido desde sector 3 puentes hasta Av. 12 de octubre. *Fuente: Autor*

Por cada vía en la que se realizaron las pruebas se transitó dos veces, cada vez en un vehículo diferente para obtener el comportamiento de cada uno, y establecer parámetros que se puedan utilizar para el posterior análisis.



**Figura 14**

Segundo recorrido, Av. Huayana Cápac



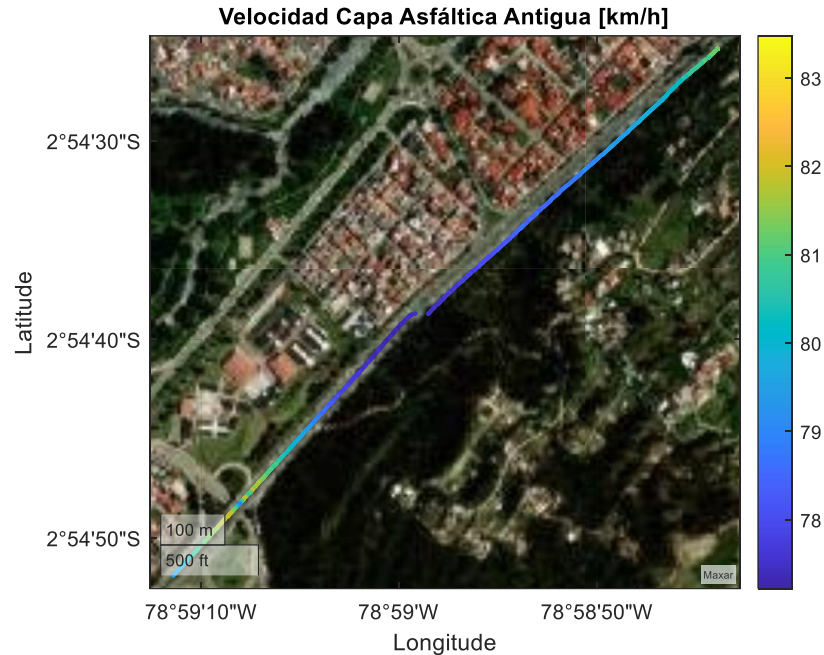
Nota: Recorrido desde el sector “Chola Cuencana” hasta la iglesia del Vergel. *Fuente:*

*Autor.*

Para la toma de datos, se estableció la misma ruta, procurando que ambas estén en las mismas características en cuanto a tiempo, hora y nivel de tránsito para tener circunstancias similares en cuanto a velocidad y comodidad.

## Figura 15

Tercer recorrido, Autopista.



Nota: Recorrido desde el redondel del hospital del IESS hasta el sector colegio Garaicoa.

*Fuente: Autor.*

Como se ve en las figuras las velocidades varían dependiendo el sector de la prueba, varían entre los 50 km/h o los 80 km/m, la velocidad disminuye a medida que se incrementa el tráfico o son zonas de velocidades limitadas. Las pruebas son realizadas en vehículos de distintas características y diferentes años, para captar el nivel de discrepancia del confort que se tiene en cada uno de ellos recorriendo las distintas vías.

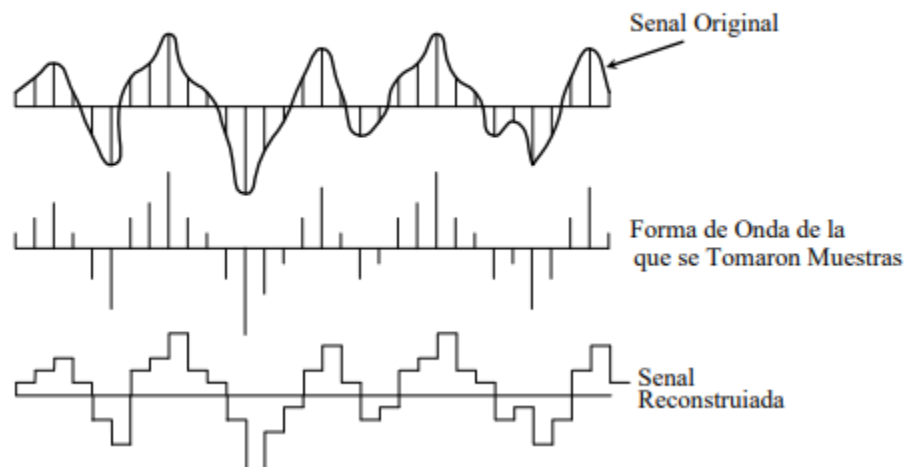
La norma UNE-ISO 2631-1:2008 (Juan Seva, 2014) , indica el tiempo que los usuarios de los vehículos están expuestos a las vibraciones, las cuales pueden ser constantes o variables dependiendo de la intensidad a la que estén comprometidos.

## 5.9. Transformación de Fourier.

Con el apoyo de la transformada de Fourier, se puede convertir la señal del dominio del tiempo a una señal en el dominio de la frecuencia, al emplear la transformada rápida de Fourier en cada uno de los datos obtenidos con el Freematics, mediante el software MATLAB®, el cual además de entregar el espectro que corresponde adjudicará las características de las señales ya convertidas.

**Figura 16**

Ejemplo de la Transformada de Fourier



*Fuente:* (White, 1990)

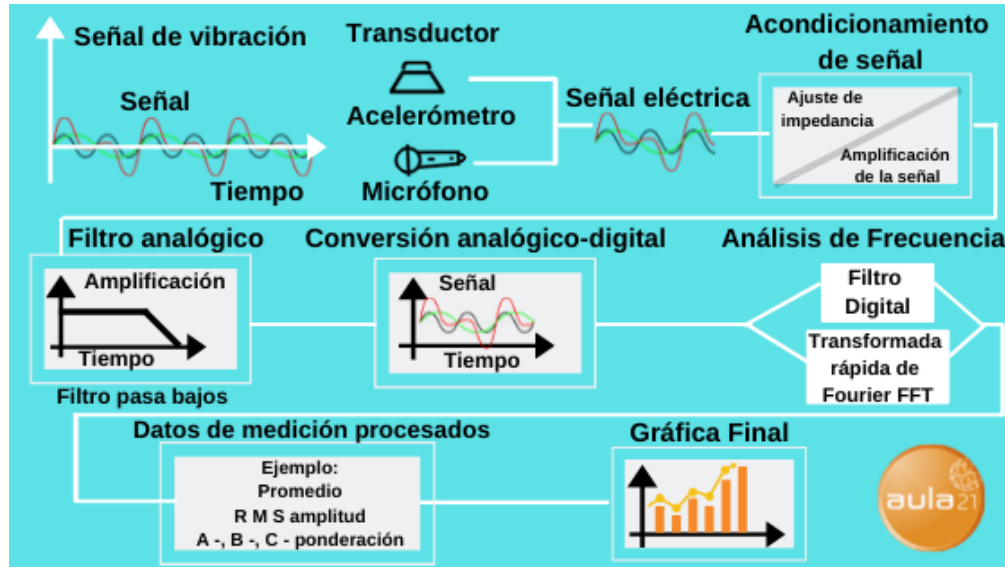
Como está explicado brevemente, la transformada de Fourier da detalles de las frecuencias de la señal, con esto se obtienen los espectros en tiempo real y se representa mediante:

$$S(\omega, \tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)g * (t - \tau) \exp(-j\omega t) dt$$

La transformada rápida de Fourier (FFT), es un algoritmo que disminuye el tiempo para el cálculo, pasa de  $n^2$  a  $N \log_2(n)$ , siendo la potencia números de potencia de 2 es decir  $2^n$  puntos.

**Figura 17**

Ejemplo de recolección de información y su proceso.



*Fuente: (Aula, 2023)*

## **6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

Los ocupantes dentro de un vehículo automotor, están en constante contacto en áreas que generan vibraciones, estas son transmitidas al interior por el chasis, neumáticos, asientos, pisos, volante, alterando en algunos puntos el confort de los usuarios, existen varios estudios sobre el tema de vibraciones y confort en el cuerpo humano, basados en el sistema resorte masas, así como el método Sperling el cual es una variante para estimar la calidad de viaje en vehículos con el fin de calcular los índices de calidad de conducción.

### **6.1. Método de Fourier.**

Se analizan los resultados obtenidos mediante pruebas en las vías, realizando el método de Fourier (amplitud - tiempo), como las funciones periódicas que se van repitiendo en los intervalos.

Con la ayuda del algoritmo inteligente, se optimiza el tiempo de computo que el programa tarda en generar el trabajo y con eso minimiza aún más los errores que se generen al redondear los cálculos.

## Figura 18

### Ejemplo de algoritmo de la transformada rápida de Fourier

```
// Esta función realiza la inversión en la posición de los bits.
// NU = Número de bits, J= Número a tratar.
long BitRev(long J, long NU)
{
    long i,j1,j2,k;

    j1=J;
    k=0;
    for(i=1;i<=NU;i++)
    {
        j2=j1/2;
        k=k*2+(j1-2*j2);
        j1=j2;
    }

    return(k);
}

// Los valores de la FFT los devuelve en el propio vector de entrada.
// El número de muestras es N=2^UN.
void FFT(complex *X, long N, long NU)
{
    long N2,MU1,I,L,K,PAUX;
    double P,Arg;
    complex CArg,T;

    N2=N/2;
    MU1=MU1-1;
    K=0;

    // Cálculo de los vectores de cada iteración.
    for(L=1;L<=NU;L++)
    {
        do
        {
            for(I=1;I<=N2;I++)
            {
                PAUX =(long) floor((K*1.0)/pow(2.0,MU1));
                P=BitRev(PAUX,MU1);
                Arg=(2.0*M_PI*P)/(N*1.0);
                CArg = complex(cos(Arg),-sin(Arg));
                T = X[K+N2]*CArg;
                X[K+N2] = X[K]-T;
                X[K] = X[K]+T;
                K=K+1;
            }
            K=K+N2;
        } while(K<N-1);
        K=0;
        MU1=MU1-1;
        N2=N2/2;
    }

    // Reordenación del resultado final.
    for(K=0;K<N;K++)
    {
        if(!BitRev(K,MU1))>=N)
            printf("Error en la función BITREV");
    }
}
```

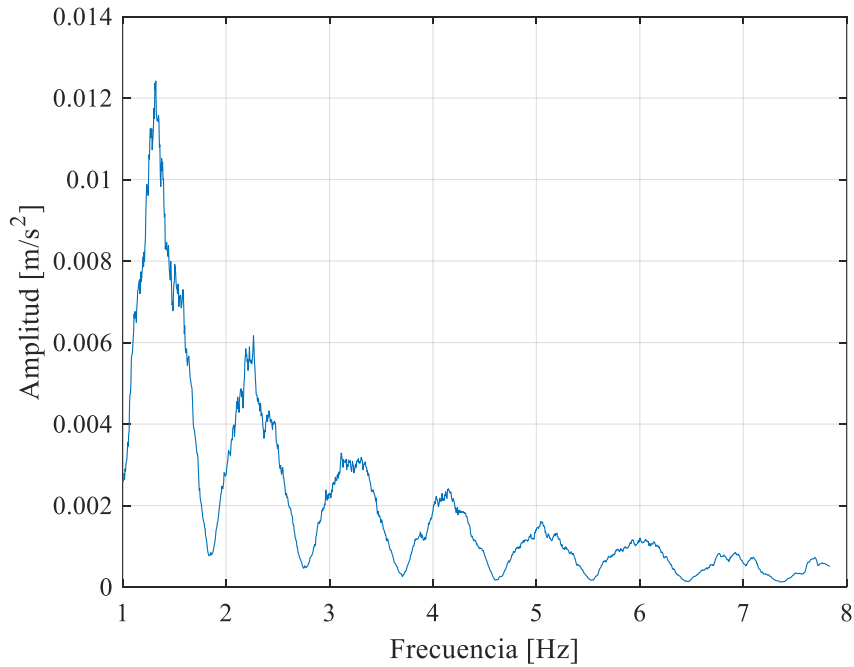
*Fuente:* (Carrillo González, 2003)

Tal como se refirió anteriormente, con la ayuda del software Matlab®, se obtienen las gráficas de confort que se mostrarán a continuación, para comparar el comportamiento en las distintas vías evaluadas en esta presente investigación, en color azul se muestra el nivel de influencia de la capa en un asfalto antiguo, y en color rojo las pruebas en un asfalto nuevo, observando los índices de comodidad.

Mediante los armónicos se destaca un proceso de reciprocidad con los picos síncronos de la frecuencia de vibración, los picos están especificados en 1x,2x,3x,4x,5x,6x,7x,8x, que proporcionan información directa de como están sucediendo las vibraciones.

**Figura 19**

Vibraciones asfalto antiguo



Nota: Comportamiento del nivel de vibraciones en una vía con asfalto antiguo. *Fuente:*

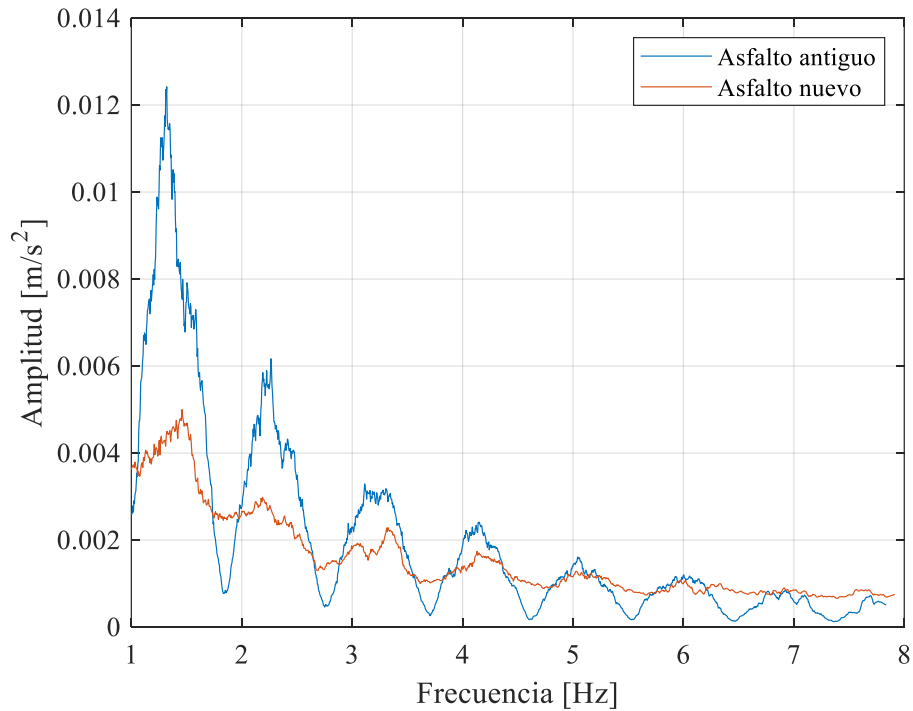
*Autor.*

Se observa los espectros que modela el nivel de influencia que genera cada pico en virtud del valor de frecuencia, al rodar por una vía con asfalto antiguo.

El rango que interesa en el estudio de frecuencia en el cuerpo humano va de 0.5 Hz a 100 Hz, esto varía en otros medios de transporte como la marítima que va arriba de 1 Hz, si las vibraciones están por debajo de 1Hz es dónde empieza varios síntomas como el inicio del mareo.

**Figura 20**

Comparativa entre asfalto nuevo y antiguo



Nota: Variación de vibraciones y comparativa ente un asfalto nuevo y otro antiguo. *Fuente:*

*Autor.*

Como se aprecia en la Figura 21 de manera superpuesta está el nivel de confort para los ocupantes de los vehículos, que se encuentra determinado en un rango que va desde 1 Hz hasta los 8 Hz y varía dependiendo la velocidad en la que se encuentren, como primera instancia se nota una clara diferencia entre una capa asfáltica nueva de la capa asfáltica antigua.

A una velocidad baja la nueva capa asfáltica resulta ser la mejor opción de confort en los vehículos y sus ocupantes, las vibraciones que presentan este asfalto son mucho menor por lo que ayuda a tener un estado de salud bueno, siendo más influyentes en vías donde el tráfico es elevado y la velocidad de circulación es baja.



Pero esto va variando a medida que la velocidad va aumentando, pues con esto se observa como las vibraciones se van equiparando, este comportamiento es muy similar en las diferentes avenidas en las que se realizaron las pruebas y con los distintos vehículos en los que se realizó la prueba.

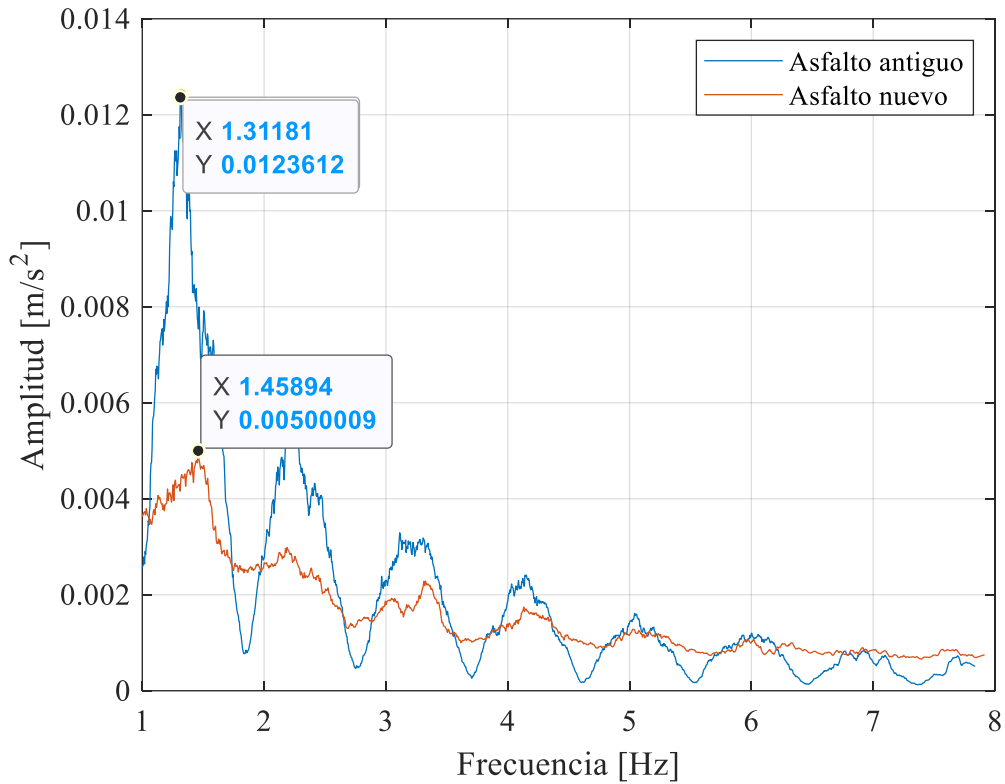
Otro aspecto que forma parte importante es la influencia del tipo de capa asfáltica que tenga la vía donde se está realizando el recorrido para la prueba, el grosor del mismo y la norma a la que se encuentre ligada.

Con la figura 21 se muestra la diferencia de amplitud que es bastante variada determinando que el asfalto antiguo tiene  $0.0123612 \text{ [m/s}^2\text{]}$  lo que nos indica que las vibraciones en este asfalto son mayores y el confort es bajo, pero esto cambia significativamente en el asfalto nuevo que llega a  $0.005 \text{ [m/s}^2\text{]}$

Con lo expuesto diferenciamos como un armónico llega a tener una amplitud sumamente amplia dentro de un tipo de asfalto (antiguo), en tanto, observamos otro comportamiento de un armónico (asfalto nuevo) que está por debajo de la mitad de la amplitud del primero, oscilando con esto el nivel de comodidad independientemente del tipo de vehículo en el que nos encontremos.

**Figura 21**

Diferencia de amplitud entre asfalto nuevo y antiguo



*Fuente: Autor.*

Lo que demuestra la tabla 6, refiere que en velocidad baja la capa asfáltica nueva se comporta de una manera adecuada en cuanto a las vibraciones, pero a medida que va aumentando el comportamiento, va siendo el mismo comparado con el asfalto antiguo, hasta llegar a un punto donde las vibraciones llegan a ser relativamente igual y no existe una conducta diferente.

**Tabla 6**

Diferencia de Sub armónicos en amplitud y frecuencia primer recorrido.

<b>SUBARMÓNICOS</b>	<b>AMPLITUD [m/s<sup>2</sup>] SEÑAL 1</b>	<b>FRECUENCIA [Hz] SEÑAL 1</b>	<b>AMPLITUD [m/s<sup>2</sup>] SEÑAL 2</b>	<b>FRECUENCIA [Hz] SEÑAL 2</b>
1x	0.012612	1.31181	0.00500009	1.45894
2x	0.00592489	2.26944	0.00298389	2.18841
3x	0.00322955	3.11774	0.00218946	3.31812
4x	0.00233733	4.15845	0.00163708	4.1186
5x	0.0015818	5.05048	0.00122037	5.01591
6x	0.0010574	5.97777	0.0010574	5.97777
7x	0.000846433	6.93318	0.000846433	6.93318
8x	0.000736144	7.72075	0.000736144	7.72075

*Fuente: Autor.*

La tabla 7, muestra la diferencia de amplitud entre cada armónico en la influencia del asfalto nuevo y antiguo en el primer recorrido, obteniendo un valor dispersante en cada pico de la muestra obtenida.

**Tabla 7**

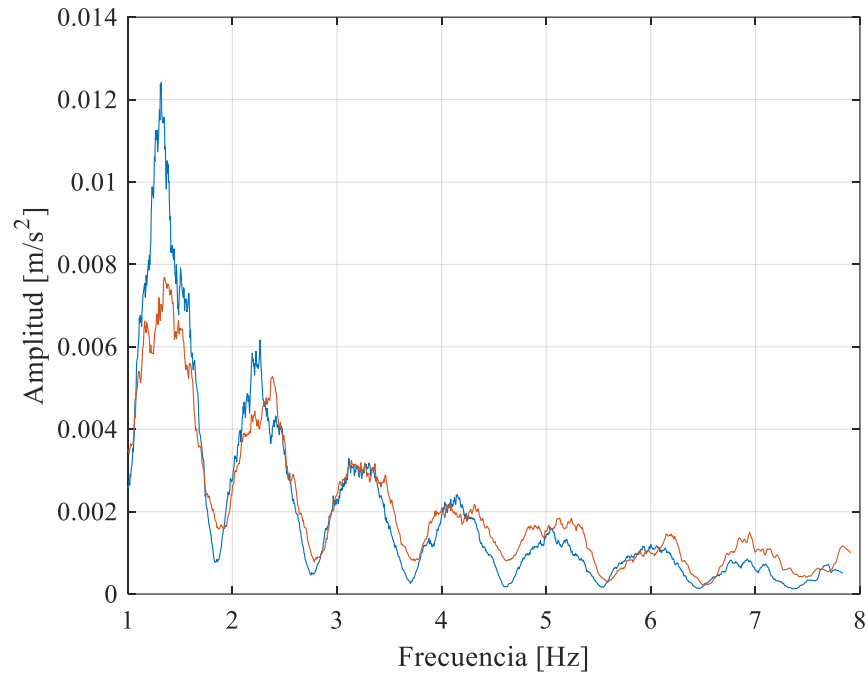
Diferencia amplitud asfalto antiguo y nuevo recorrido 1

<b>SUBARMÓNICOS</b>	<b>AMPLITUD [m/s<sup>2</sup>] SEÑAL 1</b>	<b>AMPLITUD [m/s<sup>2</sup>] SEÑAL 2</b>	<b>DIFERENCIA</b>	<b>PORCENTAJE</b>
1x	0.012612	0.00500009	0,00761191	152%
2x	0.00592489	0.00298389	0,002941	99%
3x	0.00322955	0.00218946	0,00104009	48%
4x	0.00233733	0.00163708	0,00070025	43%
5x	0.0015818	0.00122037	0,00036143	30%
6x	0.0010574	0.0010574	-	0%
7x	0.000846433	0.000846433	-	0%
8x	0.000736144	0.000736144	-	0%

En la Figura 22 se observa el comportamiento en una ruta diferente con otro vehículo, la conducta es muy similar a la apreciada en la Figura 20.

**Figura 22**

Comparativa de vibraciones en asfalto nuevo y antiguo.



Nota: prueba en diferentes vías y vehículo. *Fuente: Autor.*

Si se presta atención en esta prueba la cual nos muestra que llegando a la frecuencia aproximada de 3 Hz el confort para los ocupantes del vehículo es casi el mismo en un asfalto antiguo y uno nuevo, pero esto después de aumentar la velocidad.

Estos resultados pueden variar ligeramente, dependiendo del tipo de conducción o de los ocupantes que vayan dentro del vehículo, aunque sea casi nula la diferencia, el comportamiento del confort será el mismo, todo conforme a la velocidad en la que se encuentren circulando.

Con los dos tipos diferentes de vehículos, el comportamiento es el mismo, siendo claramente mejor el confort al circular por una vía con pavimento nuevo, teniendo una amplitud levemente diferente.

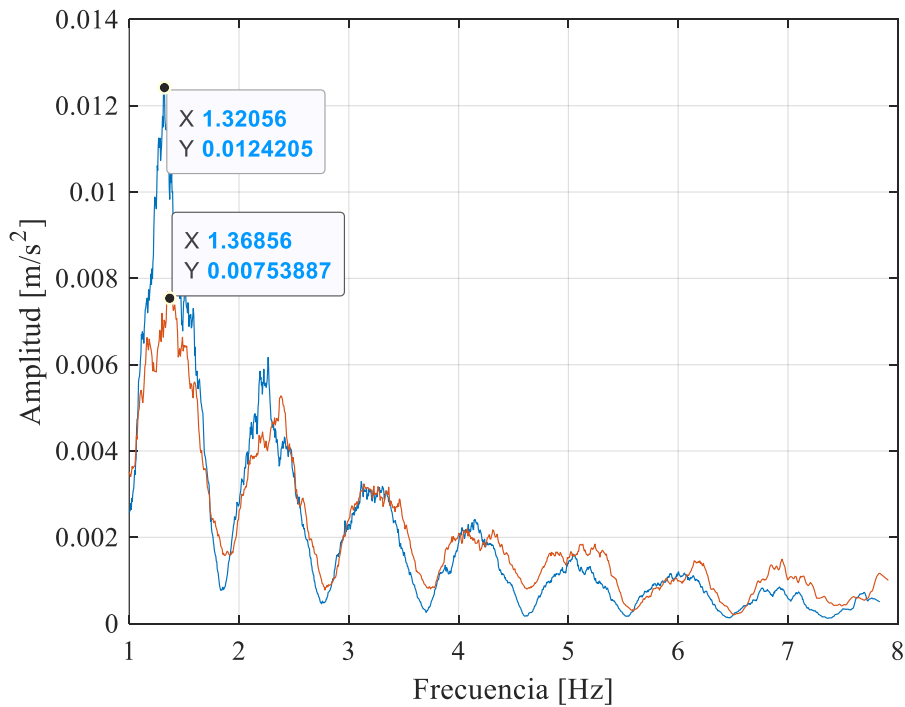
Como se examina en la figura 23 el punto máximo de confort en una vía diferente es de 0.0124205 [m/s<sup>2</sup>] en asfalto antiguo y disminuye a 0.00753887 [m/s<sup>2</sup>] en asfalto nuevo.

De la misma manera que en la primera prueba, se constata claramente la distorsión de amplitud entre los armónicos en el recorrido sobre una vía con nueva y antigua capa asfáltica, entendiendo con esto la jerarquía relativa de cada armónico, aclarando así, los espectros de frecuencia que se tiene en cada prueba.

A continuación, se observa la capacidad de cada armónico de amplitud y su variación de frecuencia.

### Figura 23

Comparación amplitud segundo recorrido



Fuente: Autor

Con la tabla 8, observamos que la conducta en cuanto a vibraciones es similar a la estudiada en la primera ruta, teniendo mucha influencia la nueva capa asfáltica comparado con la antigua, pero a medida que se acelera y la velocidad varía, comienzan a comportarse de manera similar en ambos tipos de asfalto, de la misma forma llegan a un punto donde las vibraciones obtienen una equivalencia similar entre las vías.

**Tabla 8**

Diferencias sub armónicos en amplitud y frecuencia, segundo recorrido

<b>SUBARMÓNICOS</b>	<b>AMPLITUD [m/s<sup>2</sup>] SEÑAL 1</b>	<b>FRECUENCIA [Hz] SEÑAL 1</b>	<b>AMPLITUD [m/s<sup>2</sup>] SEÑAL 2</b>	<b>FRECUENCIA [Hz] SEÑAL 2</b>
1x	0.0124205	1.32056	0.00753887	1.36856
2x	0.00616725	2.26507	0.00519359	2.37498
3x	0.00323951	3.13736	0.00323951	3.13736
4x	0.0023409	4.12347	0.00202857	4.29935
5x	0.00153755	6.02942	0.00153755	6.02942
6x	0.000966699	6.02942	0.000966699	6.02942
7x	0.00149437	6.9461	0.000627845	6.86079
8x	0.003905	7.84986	0.003905	7.84986

*Fuente: Autor.*

En la tabla 9, se muestra la variación de amplitud de cada armónico presente en la prueba durante el segundo recorrido, como resultado se consigue un valor para cada pico presente en la muestra.

**Tabla 9**

Diferencia amplitud en asfalto antiguo y nuevo segundo recorrido.

<b>SUBARMÓNICOS</b>	<b>AMPLITUD [m/s<sup>2</sup>] SEÑAL 1</b>	<b>AMPLITUD [m/s<sup>2</sup>] SEÑAL 2</b>	<b>DIFERENCIA</b>	<b>PORCENTAJE</b>
1x	0.0124205	0.00753887	0,00488163	65%
2x	0.00616725	0.00519359	0,00097366	19%
3x	0.00323951	0.00323951	-	0%
4x	0.0023409	0.00202857	0,00031233	15%
5x	0.00153755	0.00153755	-	0%
6x	0.000966699	0.000966699	-	0%
7x	0.00149437	0.000627845	0,000866525	138%
8x	0.003905	0.003905	-	0%

*Fuente: Autor.*



## 7. CONCLUSIONES.

Para la determinación de la influencia de la nueva capa asfáltica en la ciudad de Cuenca y su confort en los ocupantes de vehículos automotores que transitan por las distintas vías de la ciudad, se obtuvo en la primera ruta un 152% de diferencia en el primer armónico, determinando que la nueva capa asfáltica resulta ser la mejor opción al momento de ocasionar menos vibraciones, pero esto a baja velocidad, puesto que, a medida que la velocidad aumenta el porcentaje de vibraciones tiende a ser la misma hasta alcanzar un punto donde el comportamiento de vibraciones es el mismo y el porcentaje de diferencia es 0.

Queda expresado la diferencia de porcentajes entre cada armónico asimilado, y la diferencia entre ellas disminuye a medida que la velocidad aumenta. La diferencia del armónico 1x es 152%, disminuyendo de a poco, en el segundo armónico es de 99%, en el armónico 5x el contraste llega a ser 30%, pero ya en los armónicos 6x, 7x y 8x la diferencia es 0%.

Con respecto al segundo recorrido, se tiene una diferencia del 65% y de la misma forma disminuye a medida del aumento de la velocidad, pero presenta una particularidad, ya que en este recorrido las vibraciones presentaban una oscilación, pues en algunos armónicos el porcentaje de diferencia es 0, como en el armónico 1x, el cual presenta una contraste del 65%, disminuyendo en el armónico 2x a 19%, llegando al armónico 3x a tener una diferencia del 0%, pero al llegar al 4x nuevamente se incrementa un 15%, reiteradamente en los armónicos 5x y 6x la diferencia es de 0%, pero el punto crítico llega en el armónico 7x donde la discrepancia es del 138%, esto es debido a las irregularidades que tiene la vía, la velocidad de prueba, y el tipo de vehículo en el que se encuentra.

Se pudo evidenciar que las vías con una nueva capa asfáltica ayudan o tienen mejor influencia a mejorar el confort en los vehículos, pero esto si estamos a una velocidad máxima de 40 a 50 km/h, puesto que a medida que la velocidad aumenta, el confort de los ocupantes se ve afectado, disminuyendo significativamente, llegando a ser similares tanto la antigua capa asfáltica como la nueva, generando el mismo espectro de frecuencia e igualando sus armónicos.

Aparte de todo este estudio se puede considerar algunos factores como la edad, el sexo, constitución física, peso, talla, forma física, enfermedades que mantenga los ocupantes de los vehículos automotores y algunos otros aspectos del ambiente como temperatura o humedad, pero que no reformaría significativamente el resultado del presente estudio, a más de la frecuencia o intensidad en la que se encuentren sometidos diariamente.

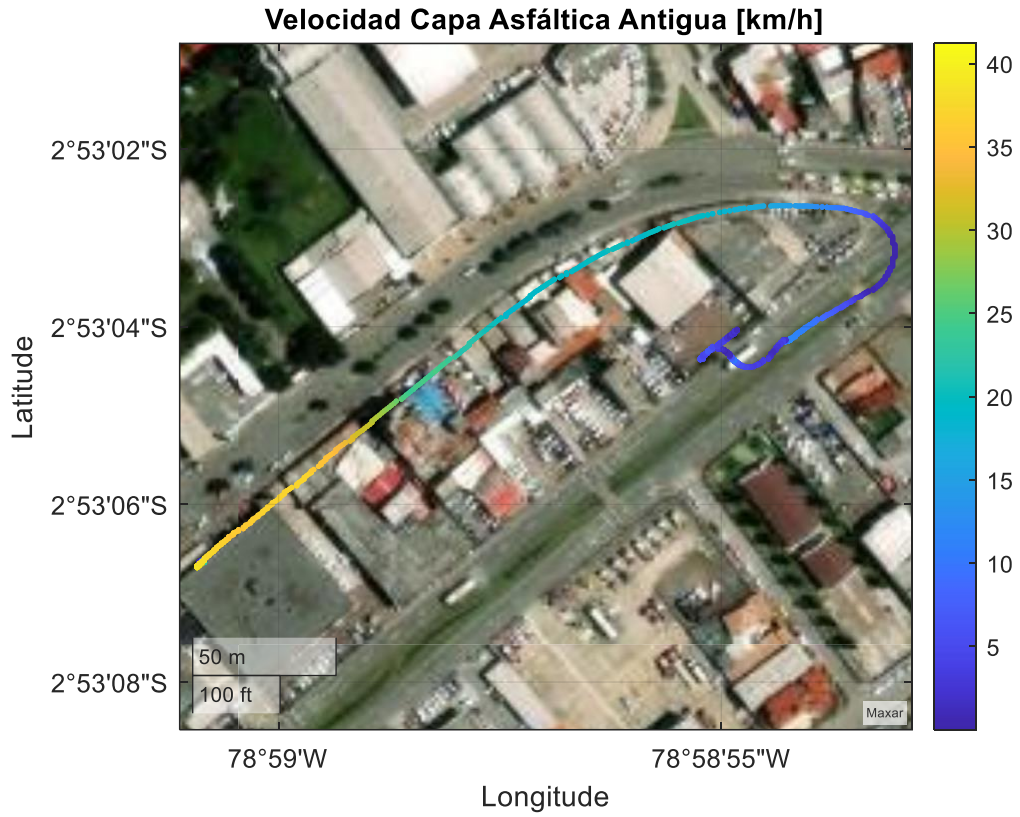
El automóvil en sí también puede afectar al confort, si este contiene demasiadas vibraciones en su motor, sistema de tracción defectuoso, presión de inflado en los neumáticos o fallas de las uniones de estos, esto se basa para entender como influye la capa asfáltica para la adherencia de los neumáticos dando estabilidad a los vehículos.

Queda claro que de igual manera a frecuencias excesivamente bajas puede ocasionar malestares en los ocupantes tales como molestias musculares y óseos, de la misma manera en el extremo opuesto las frecuencias excesivamente altas, direcciona a problemas vasculares y daños el sistema nervioso con lo que lleva a la disminución de la productividad.

## 8. ANEXOS

**Figura 24**

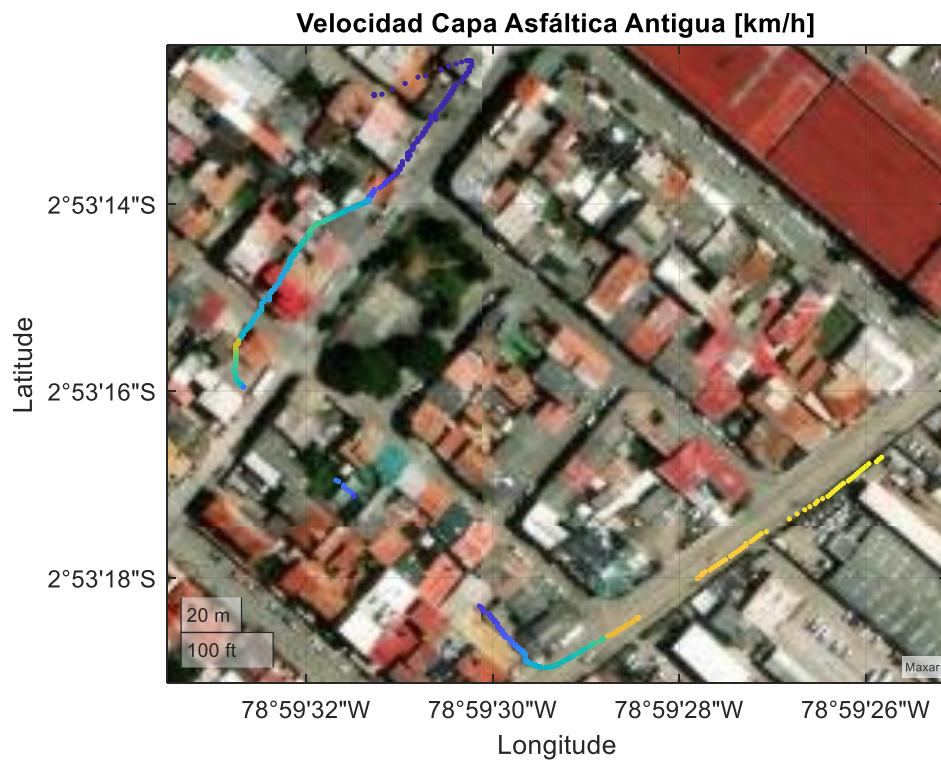
Ruta Gil Ramírez Dávalos.



*Fuente: Autor*

**Figura 25**

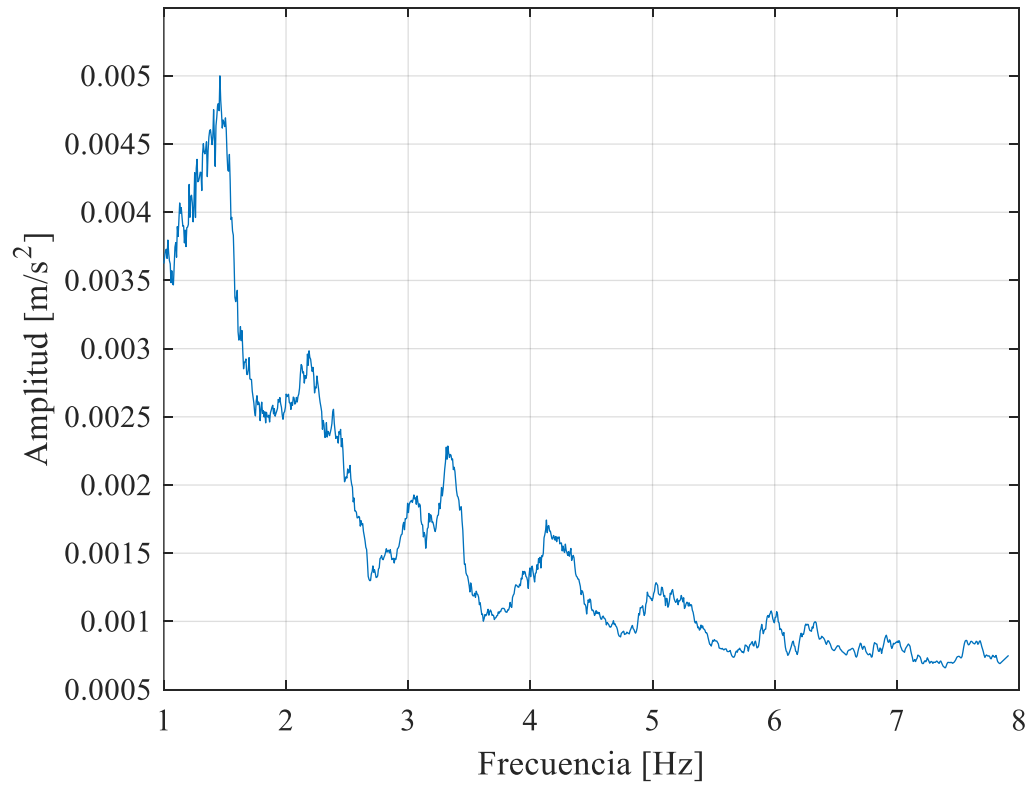
Rutas de prueba



*Fuente: Autor.*

**Figura 26**

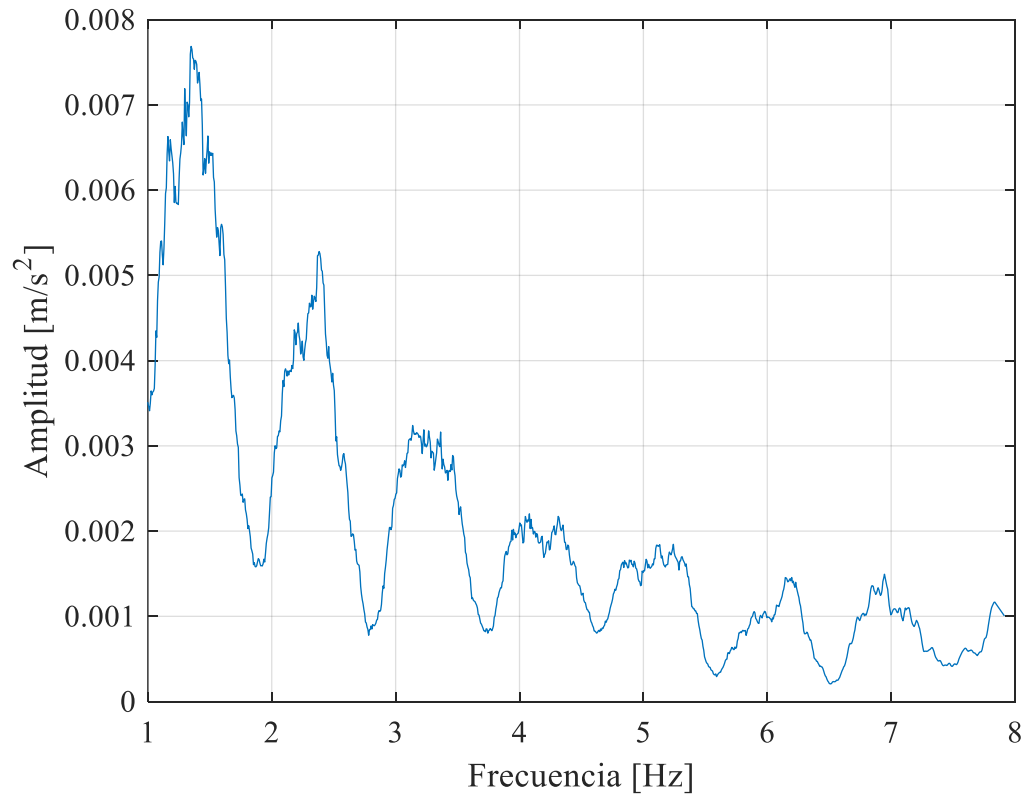
Espectros vibración



*Fuente: Autor.*

**Figura 27**

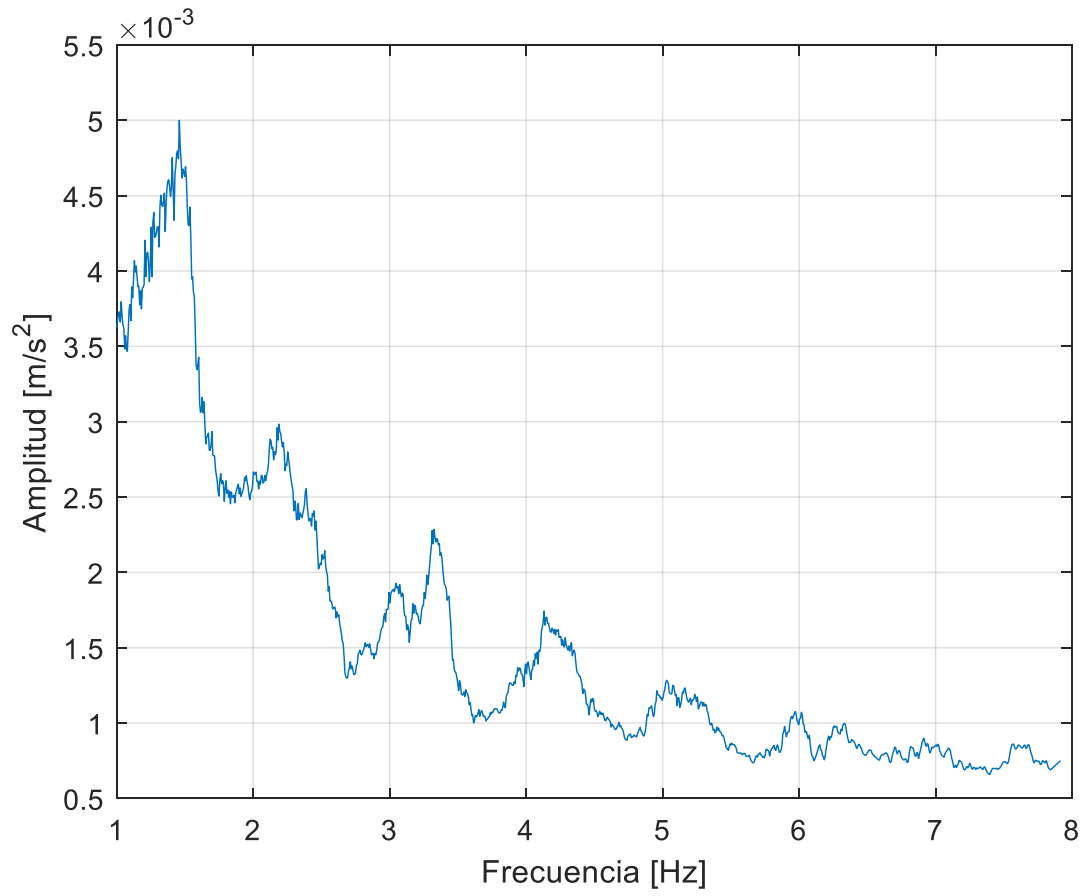
Diferencia espectro vibración



*Fuente: Autor.*

**Figura 28**

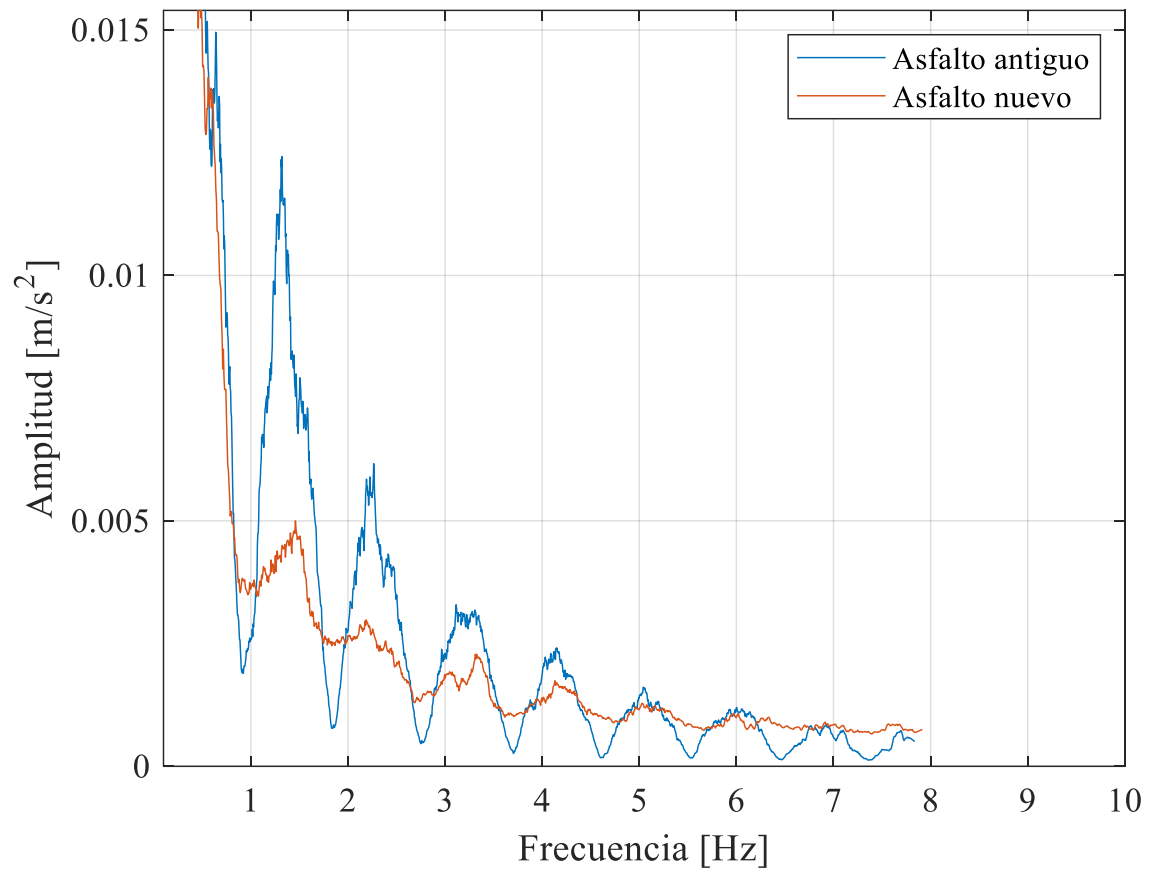
Variación rango de amplitud



*Fuente: Autor.*

**Figura 29**

Comparativa de asfalto amplificada

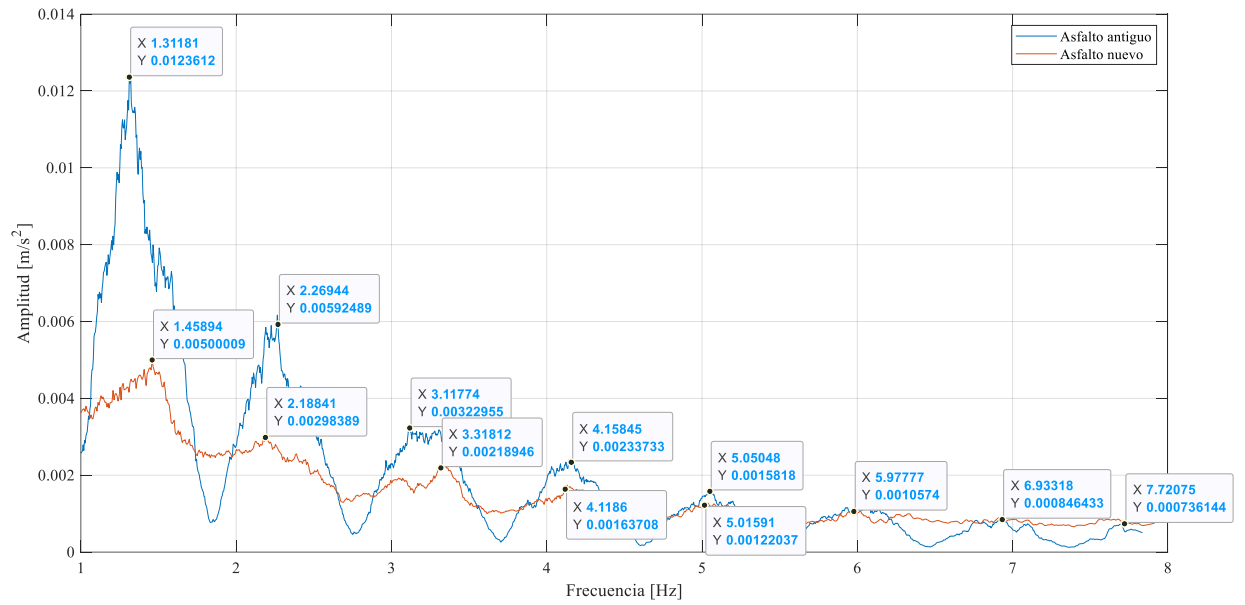


*Fuente: Autor.*



**Figura 30**

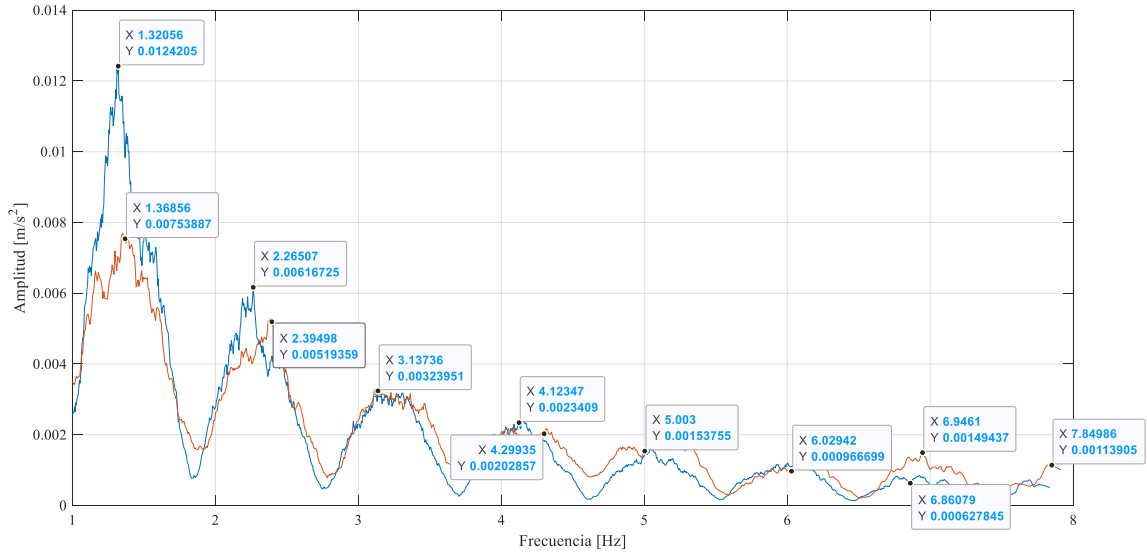
Diferencias de sub armónicos en cada punto



*Fuente: Autor.*

**Figura 31**

Diferencia de los sub armónicos en cada pico, segundo recorrido.



*Fuente: Autor*

## 9. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS.

- Aquilla Hector, & Beltrán Cesar. (2016). *Detección de fallas a través de análisis de vibraciones mediante la transformada de Wavelets de un motor de combustión interna Sonata 2.0 a gasolina.*
- Alonso Pérez, J. M. (2008). *Técnicas del automóvil : chasis.* Paraninfo.
- Álvarez Bayona, T. (2014). *Aspectos ergonómicos de las vibraciones.* <http://publicacionesoficiales.boe.es><http://www.insht.es/catalogopublicaciones/>
- Bermeo Karina. (2017). *Detección de fallas de un motor de combustión interna Hyundai EF 2.0 a través del análisis de vibraciones en tiempos cortos.*
- Bonin, G., Cantisani, G., & Loprencipe, G. (2007). *Railway traffic vibrations: generation and propagation-use of computational models.* <https://www.researchgate.net/publication/233814574>
- Carrillo González, C. J. (2003). *Fundamentos del Análisis de Fourier.*
- Google (s.f.)
- IDEARA, S. (2014). *Vibraciones mecánicas. Factores relacionados con la fuente y medidas de control.*
- Juan Seva, B. (2014). *Vibraciones cuerpo entero.*
- LAFa. (2015). *Transformada de Fourier. De las series de Fourier a la Transformada de Fourier: primeras consideraciones.*
- Ministerio de transporte y obras públicas del Ecuador. (2012). *Manual de construcción de pavimentos rígidos.*
- Montejo Fonseca, Alfonso. (1998). *Ingeniería de pavimentos para carreteras.* Universidad Católica de Colombia.
- Nihat Ozkaya, B. W. and D. G. (1994). Whole-body vibration exposure: A comprehensive field study. *American Industrial Hygiene Association Journal* 55.12, 1164–1171.
- Novillo Pamela. (2021). *Análisis de confort de un travía utilizando la norma UNE EN 12299:2010 y el método de Sperling.*
- Padilla, A. (2002). *Mezclas Asfálticas.* 108–109.
- Palma Carolina, Carlos José, Cisneros Ortiz, Ávalos Felipe, & Facio Adalí Castañeda. (2015). *Modificación de asfalto con elastómeros para su uso en pavimentos.*

Pinto Wilmer Freddy, Juan, S., & Torres Guamán, D. (2015). *Estudio de los efectos de los diferentes tipos de calzada en la suspensión delantera de un vehículo chevrolet steem mediante el análisis de vibraciones.*

White, P. G. (1990). *Introducción al Análisis de Vibraciones.* [www.AzimaDLI.com](http://www.AzimaDLI.com)