



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

**ANÁLISIS DE LOS NIVELES DE CONFORT DE LOS PASAJEROS EN EL
TRANSPORTE PÚBLICO DE LA CIUDAD DE CUENCA-ECUADOR**

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

AUTOR: JUAN JOSÉ MATUTE GOMESCOELLO

TUTOR: ING. NÉSTOR DIEGO RIVERA CAMPOVERDE, MSc.

Cuenca - Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Juan José Matute Gomescoello con documento de identificación N° 0302605472, manifiesto que:

Soy el autor y 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, 21 de febrero del 2024

Atentamente,



Juan José Matute Gomescoello

0302605472

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

Yo, Juan José Matute Gomescoello, con documento de identificación N° 0302605472, manifiesto mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto técnico: “Análisis de los niveles de confort de los pasajeros en el transporte público de la ciudad de Cuenca-Ecuador”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico 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 hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 21 de febrero del 2024

Atentamente,



Juan José Matute Gomescoello

0302605472

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 LOS NIVELES DE CONFORT DE LOS PASAJEROS EN EL TRANSPORTE PÚBLICO DE LA CIUDAD DE CUENCA-ECUADOR, realizado por Juan José Matute Gomescoello con documento de identificación N° 0302605472, 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, 21 de febrero del 2024

Atentamente,



Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde, MSc.

0103898995

DEDICATORIA

Dedico este trabajo investigativo a mis padres Carlos y Danina, por todo el apoyo durante esta etapa de mi vida y por cada consejo que me ha servido para llegar a estas instancias. A mis hermanos Cali e Ismael que son una parte muy importante en mi vida y parte fundamental en todo este trayecto

Juan José Matute Gomescoello

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a todas las personas que hicieron que sea posible esto, a mis padres y a mis hermanos que son el apoyo incondicional en toda esta trayectoria.

A mis amigos Franklin, Santiago Q, Santiago O, Manuel y Marcos, que fueron una parte muy importante en esta etapa. Gracias por estar siempre en los buenos y malos momentos de la vida fueron una parte muy importante en esta etapa de mi vida.

También quiero agradecer al ingeniero Néstor Rivera que ha sido el principal mentor para este proyecto de titulación, gracias por el apoyo y por sus conocimientos para que esto sea posible

Juan José Matute Gomecoello

RESUMEN

El presente proyecto proporciona conocimientos sobre la estimación del confort en los buses mediante el procesamiento de señales captadas por el Data Logger OBD–GPS Freematics ONE+ empleando la normativa EN-ISO 2631–1 titulado como: *Evaluación de la exposición humana a las vibraciones de cuerpo entero*. En primer lugar, se recopiló las señales de Aceleración en las direcciones X, Y & Z, cómo las principales variables de interés para establecer una base de datos de las diferentes rutas de estudio, además las señales de longitud, latitud, altitud y velocidad como señales utilizadas para la georreferenciación de cada ruta.

Durante el tratamiento de señales se procedió a la implementación de las funciones de transferencia en Matlab® propuesta en el anexo de la normativa EN-ISO 2631–1, las mismas que realizarán el filtrado de las señales adquiridas por el acelerómetro ICM—20948 incorporado en el dispositivo Freematics ONE+.

Los resultados de los niveles de confort durante la ruta se presentan de forma gráfica, mostrando por un lado las coordenadas de la ruta y una escala de color que identifique los niveles de confort de los pasajeros que utilicen las distintas líneas de buses propuestas en el presente estudio.

Keywords: *Niveles de confort, Latitud, Longitud, Velocidad, ISO 2631-1, Datalogger.*

ABSTRACT

The present project provides insights into the estimation of comfort in buses by processing signals captured by the OBD-GPS Data Logger Freematics ONE+ using the EN-ISO 2631-1 standard titled as: Assessment of human exposure to whole-body vibration. First, the Acceleration signals were collected in the X, Y & Z directions, as the main variables of interest to establish a database of the different study routes, in addition to the signals of longitude, latitude, altitude and speed as signals used for the georeferencing of each route.

During the signal processing, we proceeded to implement the transfer functions in Matlab® proposed in the annex of the EN-ISO 2631-1 standard, which will perform the filtering of the signals acquired by the ICM-20948 accelerometer incorporated in the Freematics ONE+ device.

The results of the comfort levels during the route are presented graphically, showing on one side the coordinates of the route and a color scale that identifies the comfort levels of the passengers using the different bus lines proposed in this study.

Keywords: *Comfort Levels, Latitude, Longitude, Velocity, ISO 2631-1, Datalogger.*

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. PROBLEMA.....	3
2.1. Antecedentes.....	3
2.2. Importancia y alcance.....	3
2.3. Delimitación.....	4
3. OBJETIVOS.....	4
3.1. Objetivo general.....	4
3.2. Objetivos específicos.....	4
4. CAPITULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y ESTADO DEL ARTE.....	5
4.1. La vibración.....	5
4.1.1. Tipos de vibración.....	5
4.1.2. Características de la vibración.....	6
4.1.3. Vibración en el cuerpo humano.....	8
4.2. Sistema de georreferencia.....	10
4.2.1. Precisión de los receptores GPS.....	10

4.2.2.	Tipos de receptores GPS.....	12
4.3.	Dispositivo Freematics ONE+	12
4.4.	Norma ISO 2631 – Evaluación de la exposición humana a las vibraciones de cuerpo entero. 15	
4.4.1.	Ponderación en frecuencia.....	16
4.4.2.	Reacciones del bienestar a entornos de vibración.	17
4.4.3.	Evaluación de la vibración en el cuerpo humano	18
5.	CAPITULO II: MARCO METODOLÓGICO.....	20
5.1.	Instrumentación para la adquisición de datos.	20
5.2.	Sensor de medición inercial ICM-20948	21
5.3.	Receptor GPS.....	22
5.4.	Selección de rutas	25
5.5.	Recopilación de datos	25
5.6.	Análisis del confort.....	28
5.6.1.	Investigaciones previas.....	28
5.7.	Análisis del confort en buses urbanos en la ciudad de Cuenca.....	28
6.	CAPITULO III: RESULTADOS	34
6.1.	Línea 27 Ruta Sinincay – Baños –Sinincay	34
6.2.	Línea 16 Ruta San Pedro – Hospital del Río – San Pedro	5
6.3.	Línea 28 Ruta Feria Libre – Llaqueo – Feria Libre	10

6.4.	Línea 100 Ruta Ricaurte – Baños – Ricaurte.....	15
6.5.	Línea 13 Ruta IESS – Mutualista Azuay II – IESS	20
7.	CONCLUSIONES.....	25
8.	RECOMENDACIONES	26
9.	TRABAJOS FUTUROS.....	26
10.	BIBLIOGRAFÍA	27
11.	Anexos.....	35
11.1.	Definición matemática de las ponderaciones en frecuencia.....	35
11.1.1.	Parámetros de las funciones de transferencia	35
11.1.2.	Funciones de transferencia.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Clasificación general de los tipos de vibración.....	6
Figura 2.	Posición exacta del receptor.....	10
Figura 3.	El cuarto satélite sincroniza el desfase de los relojes.....	11
Figura 4:	Tipos de GPS disponibles en el mercado.....	12
Figura 5:	Dispositivo Freematics ONE+, MicroSD y el módulo de geolocalización (GPS) modelo M8030	13
Figura 6:	Las curvas de ponderación en frecuencia de las principales ponderaciones.....	16

Figura 7a) Esquema de conexión del dispositivo FreemematicsOne+ con su fuente de alimentación e interruptor y GPS. Figura 7b) Disposición del DataLogger OBD-GPS en la caja de acrílico con una ventosa en su base para su sujeción fija.	21
Figura 8. Receptor GPS.	23
Figura 9: Conector molex del receptor GPS.	24
Figura 10: Esquema del vehículo utilizado para la adquisición de datos de aceleración y geolocalización con su respectiva instrumentación.	26
Figura 11: PID's obtenidos por el dispositivo Freemematics ONE+ en formato .CSV con los datos respectivos a utilizar para calcular el nivel de confort en los buses.	27
Figura 12: Aceleraciones ponderadas en frecuencia. Fuente: Autor	30
Figura 13. Aceleraciones ponderadas en el eje X.	31
Figura 14: Aceleraciones ponderadas en el eje Y.	32
Figura 15: Aceleraciones ponderadas en el eje Z.	33
Figura 16. Niveles de confort en la ruta Sinincay – Baños.	3
Figura 17. Niveles de confort en la ruta Baños – Sinincay.	4
Figura 18. Niveles de confort en la ruta San Pedro – Hospital del Río.	8
Figura 19. Niveles de confort en la ruta Hospital del Río – San Pedro.	9
Figura 20. Niveles de confort en la ruta Feria Libre – Llacao.	13
Figura 21. Niveles de confort en la ruta Llacao –Feria Libre.	14
Figura 22. Niveles de confort en la ruta Ricaurte –Baños.	18
Figura 23. Niveles de confort en la ruta Baños – Ricaurte.	19
Figura 24. Niveles de confort en la ruta IESS – Mutualista Azuay II.	23
Figura 25. Niveles de confort en la ruta Mutualista Azuay II – IESS.	24

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros característicos de la vibración	7
Tabla 2: El cuerpo humano experimenta síntomas y efectos de la vibración a diferentes frecuencias.....	9
Tabla 3: Interfaz física del dispositivo OBD–GPS.....	14
Tabla 4: Características del hardware en el dispositivo Freematics ONE+	14
Tabla 5: Instrucciones sobre cómo usar las curvas de ponderación en frecuencia para las ponderaciones principales	17
Tabla 6: Reacciones de bienestar a entornos de vibración.	18
Tabla 7: Rangos programables para el giroscopio y acelerómetro integrado en el sensor ICM-20948.....	22
Tabla 8. Características del receptor GPS.	23
Tabla 9. Conexión del receptor GPS al módulo Freematics ONE+.....	24
Tabla 10: Rutas establecidas para el estudio	25
Tabla 11: Parámetros de identificación de los PID's	27
Tabla 12: Niveles de confort en la ruta Sinincay – Baños – Sinincay.....	1
Tabla 13. Niveles de confort en la ruta Sinincay – Baños.....	1
Tabla 14. Niveles de confort en la ruta Baños – Sinincay.....	2
Tabla 15: Niveles de confort en la ruta San Pedro – Hospital del Río – San Pedro.....	6
Tabla 16. Niveles de confort en la ruta San Pedro – Hospital del Río.....	6
Tabla 17. Niveles de confort en la ruta Hospital del Río – San Pedro	7
Tabla 18: Niveles de confort en la ruta Feria Libre – Llaqueo –Feria Libre.....	11

Tabla 19. Niveles de confort en la ruta Feria Libre – Llacao.....	12
Tabla 20. Niveles de confort en la ruta Llacao – Feria Libre.....	12
Tabla 21: Niveles de confort en la ruta Ricaurte – Baños – Ricaurte	16
Tabla 22. Niveles de confort en la ruta Ricaurte – Baños	17
Tabla 23. Niveles de confort en la ruta Baños – Ricaurte	17
Tabla 24: Niveles de confort en la ruta IESS – Mutualista Azuay II – IESS.....	21
Tabla 25. Niveles de confort en la ruta IESS – Mutualista Azuay II.....	22
Tabla 26. Niveles de confort en la ruta Mutualista Azuay II – IESS	22
Tabla 27: Parámetros de las funciones de transferencia de las ponderaciones en frecuencia principales	35

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Aceleración media cuadrática eficaz ponderada en frecuencia.....	19
Ecuación 2: Método del valor promedio actual.....	19
Ecuación 3: Valor total de la aceleración ponderada en frecuencia.....	20
Ecuación 4: Filtro pasa alto	36
Ecuación 5: Filtro pasa bajo	36
Ecuación 6: Transición de aceleración a velocidad.....	36
Ecuación 7: Subida de escala.....	37
Ecuación 8: Función de ponderación total	37

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de más de 50 años de investigación en la industria automotriz, se han propuesto numerosos métodos para estimar los niveles de confort en las carreteras, impulsados por el aumento en la velocidad de cálculo de los controladores y la implementación de sensores avanzados. Estos avances han llevado a mejoras significativas en la resolución del procesamiento de señales y en los métodos utilizados para evaluar el confort en la conducción.

Evaluar los niveles de comodidad representa un desafío considerable, dado el extenso alcance de las redes viales y su naturaleza dinámica. Esta dinámica se origina tanto en la construcción de nuevas carreteras como en las modificaciones realizadas durante el mantenimiento de las existentes, con el objetivo de prevenir vulnerabilidades a accidentes y mejorar el flujo de tráfico, entre otros. Es común que estas actividades de mantenimiento generen alteraciones en las características geométricas de las carreteras. (Mahanpoor, Monajjem, & Balali, 2019), afectando así la medición de los niveles de confort en los autobuses por el aumento de este parque automotor en particular. (Kuys, Melles, Al Mahmud, Thompson-Whiteside, & Kuys, 2022).

El presente estudio analiza los niveles de confort en las líneas de buses propuestas en investigaciones previas utilizando el sensor ICM-20948 y el GPS modelo M8030 incorporado en el dispositivo Data Logger Freematics ONE+. El confort de viaje, en particular, incluye diferentes aspectos como: aire acondicionado a bordo, temperatura interior del vehículo, comodidad del asiento, exposición al ruido y las vibraciones, Por otro lado (Demoraes, 2006) señala que en promedio un usuario recorre en bus aproximadamente 10,6 km. por viaje en la ciudad de Quito, mientras que en la ciudad de Cuenca según la: (Ilustre

Municipalidad de Cuenca, 2015) el ratio de ocupación¹ de acuerdo a las líneas propuestas para el presente estudio son: Línea 28: 4,0; Línea 27: 5,2; Línea 13: 3,3 ; Línea 16: 4,7; Línea 100: 5,9.

En la sección 2 se aborda el problema estudiado, su importancia, alcance y la delimitación. En la sección 3 se abordan los objetivos a lograr durante el presente estudio.

En la sección 4 se analiza la vibración, su clasificación y las fuentes de origen de la misma, por otro lado, también se menciona el sistema de referencia utilizado por los dispositivos GPS, la precisión y los tipos de receptores GPS disponibles en el mercado; por otro lado, se trata el dispositivo OBD–GPS Freematics ONE+. Finalmente se analiza la norma ISO–2631 empleada para el análisis de los niveles de confort, la implementación de las principales ecuaciones para ponderar las aceleraciones en frecuencia y su posterior comparación con respecto a los niveles de percepción de bienestar expuestos en dicha norma.

En la sección 5 se detalla las características del vehículo empleado para la recolección de datos discretos² y la respectiva selección de las rutas de recorrido, se amplía la información con respecto a receptor GPS modelo M8030, y también al sensor de medición inercial ICM–20948 y finalmente se amplía la información con respecto a las investigaciones previas acerca de la aplicación de la normativa UNE-ISO 2631–1 en la medición de confort en buses.

En la sección 6 se presentan los resultados del cálculo de los niveles de confort en diferentes recorridos.

¹ Ratio de ocupación: Es el número de viajeros transportados por kilómetro recorrido por cada una de las unidades que dan servicio de transporte público. (Ilustre Municipalidad de Cuenca, 2015)

² Datos discretos. – Son valores instantáneos o muestras igualmente espaciadas en el tiempo y se representa gráficamente por una sucesión de puntos. (Ruiz Costa-jussà & Duxans Barrobés) & (Matinez Sober, Serrano López, & Gómez Sanchis, 2010)

Finalmente, en la sección 7 y 8 se presentan las conclusiones del presente estudio y las recomendaciones respectivamente.

2. PROBLEMA

2.1. Antecedentes.

El aumento del número de habitantes en las grandes ciudades ha generado retos en el espacio urbano, especialmente en el transporte público. Para resolver este problema, es necesario desarrollar el transporte colectivo y mejorar la seguridad y la comodidad de los usuarios, lo que puede atraer a más personas. La ergonomía de los asientos es importante para disminuir la fatiga y la incomodidad durante largos periodos de tiempo sentados. Además, la comodidad a bordo es un concepto más amplio que incluye asientos blandos y limpios, temperatura agradable, suavidad del viaje, entre otros factores. La satisfacción de los usuarios del transporte público se puede medir a través de indicadores como la comodidad, seguridad y tiempo de viaje, entre otros. Es importante analizar la satisfacción con el rendimiento del transporte público para conocer los puntos fuertes y débiles de los servicios y mejorar el rendimiento del tránsito orientado a la satisfacción de los usuarios.

2.2. Importancia y alcance

La investigación propuesta se enfoca en analizar los niveles de confort en las cinco líneas (100, 7, 27, 12, 5) de autobuses de mayor demanda en la ciudad de Cuenca, Ecuador, con el fin de mejorar la calidad del transporte público y aumentar la satisfacción de los usuarios. La falta de cumplimiento de normativas y dispositivos de seguridad y comodidad son factores que generan desconfianza en los usuarios. Es importante analizar el confort a bordo a partir de las aceleraciones registradas para establecer programas de concientización y mejorar la satisfacción con el transporte público.

el desarrollo de un algoritmo³ como resultado se evaluará la Niveles de confort longitudinal máxima y mínima de la calzada utilizando las variables obtenidas por el data Logger de acuerdo con la altimetría y velocidad del recorrido, para que la aproximación de los parámetros de dinámica longitudinal y la predicción de prestaciones del vehículo sean más eficientes.

2.3. Delimitación

2.3.1. Delimitación geográfica

El proyecto se llevará a cabo en la provincia del Azuay, Ciudad de Cuenca.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general.

Analizar los niveles de confort de las cinco líneas (27, 16, 28, 100, 13) de mayor demanda de pasajeros de transporte público de la ciudad de Cuenca Ecuador.

3.2. Objetivos específicos.

- Revisar literatura sobre indicadores de confort en el transporte público enfocándose en aceleración y velocidad para mejorar la experiencia de los usuarios.
- Medir niveles de confort de las cinco líneas (27, 16, 28, 100, 13) de transporte público de mayor demanda mediante aceleración y velocidad, considerando horarios y puntos críticos para mejorar la calidad del servicio.
- Proponer recomendaciones basadas en el análisis de aceleración y velocidad para mejorar la experiencia de los pasajeros en las cinco líneas (27, 16, 28, 100, 13) de transporte público de mayor demanda en Cuenca, Ecuador.

³ Algoritmo. – Conjunto ordenado y finito de operaciones que permiten hallar la solución de un problema. (Real Academia Española, 2021)

4. CAPITULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y ESTADO DEL ARTE

4.1. La vibración

La vibración es el movimiento de una estructura de masa en torno a su estado de equilibrio sin alterar completa o parcialmente su posición original. (Rao, 2012)

Si un objeto vibrante entra en contacto con una parte de otro cuerpo, transmitirá una parte de la energía generada por el evento físico. Esta energía será absorbida por el cuerpo y podría generar una variedad de respuestas (no necesariamente dañinas) que dependen de las características de la vibración, como su frecuencia, amplitud, dirección y tiempo de exposición (Inman, 2014).

4.1.1. Tipos de vibración

El fenómeno de la vibración es posible para todas las estructuras mecánicas, incluido el cuerpo humano, porque cualquier estructura con masa y elasticidad puede vibrar (Benaroya, Nagurka, & Han, 2017). Hay dos categorías de vibración en el modelado de sistemas (Rao, 2012) & (Piersol & Thomas L, 2010).

- a) Vibración autónoma.** – Las fuerzas internas hacen que el sistema vibre.
- b) Vibración forzada.** – Ocurre cuando un sistema vibra debido a fuerzas externas.

Los tipos de vibración se resumen en la Figura 1

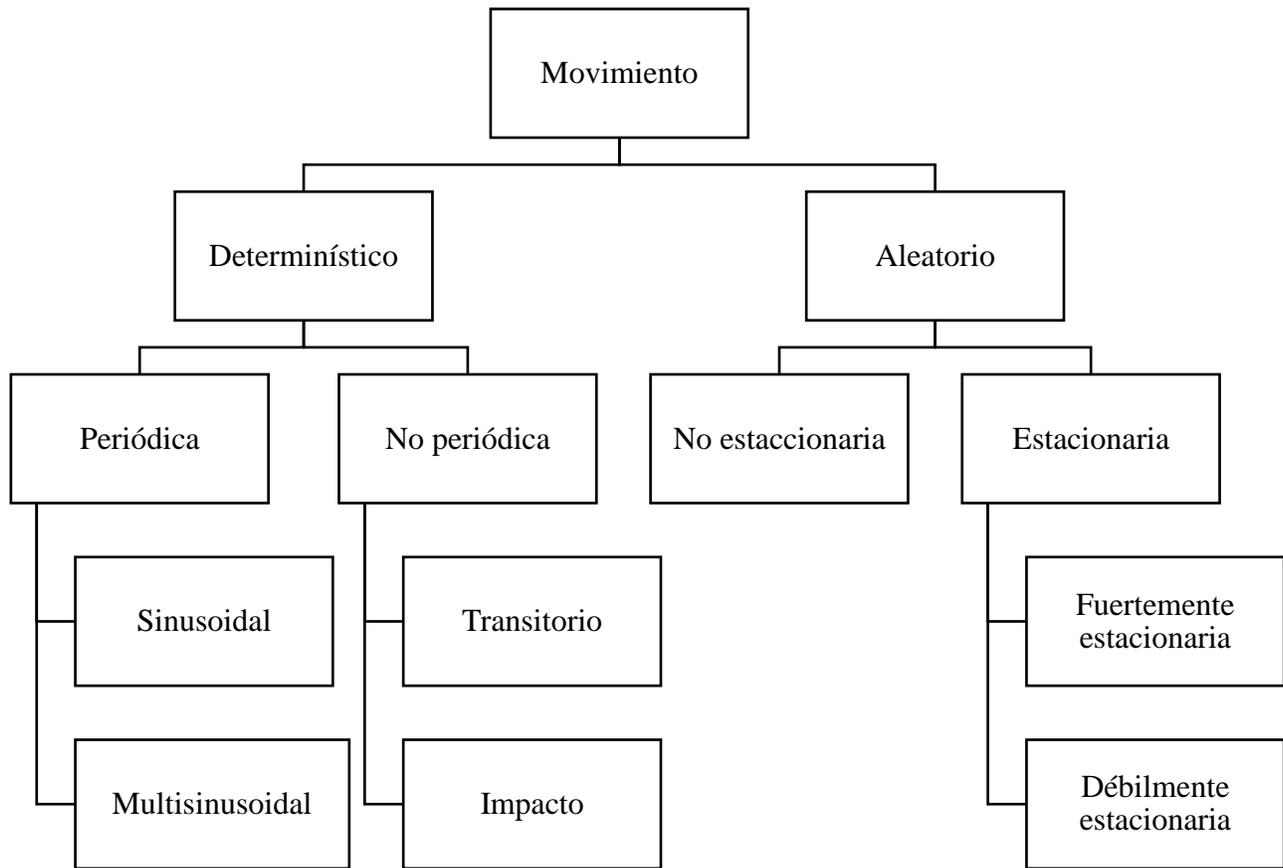


Figura 1: Clasificación general de los tipos de vibración

Fuente: (Magid, Coermann, & Ziegenruecker, 1960), (Benaroya, Nagurka, & Han, 2017) & (Leonardo González, 2020) Adaptado por: Autor

4.1.2. Características de la vibración

Los parámetros característicos de la vibración se resumen en la Tabla 1:

Tabla 1: Parámetros característicos de la vibración

Parámetro	Representación	Evaluación	Unidad de medida
Frecuencia	Representa la periodicidad con la que se producen y transmiten las vibraciones al cuerpo humano y los efectos que tienen en él.	Mediante espectrogramas	Hertz (Hz)
Transmisibilidad	Representa la parte de la fuerza de vibración que se transmite de un lugar a otro.	$m_0 = \frac{m_2}{m_1}$ Donde: m_0 : Coeficiente de transmisibilidad propio de cada medio de transmisión. m_2 : Masa generadora de la vibración. m_1 : Masa receptora de la vibración.	—
Tiempo de exposición	Representa el tiempo total que el cuerpo ha estado expuesto a la vibración.	Si la vibración tiene características invariables se evalúa el valor RMS. (Chaffin, B, Andersson, & Martin, 2006) Si la vibración tiene características variables se evalúa el valor RMS y conjuntamente el valor VDV (Valor dosis de vibración)	s
Magnitud	Representa la señal de aceleración promedio del agente vibratorio en un segundo.	Valor medio cuadrático o <i>valor medio eficaz</i> (RMS) (Rao, 2012) Utilizando la escala logarítmica de acuerdo con la Ecuación. $a = 20 \log_{10} \left[\frac{a_1}{a_0} \right]$ Donde: a : Índice de aceleración. a_0 : Nivel de referencia de: $10^{-6} m/s^2$ a_1 : Aceleración medida.	$\frac{m}{s^2}$ Decibeles (Db)

Fuente: Autor

4.1.3. Vibración en el cuerpo humano

Las investigaciones sobre la exposición a vibraciones en el cuerpo se dividen en dos categorías: exposiciones a vibraciones en el cuerpo entero y exposiciones a vibraciones en las extremidades superiores. Ambas son diferentes y producen respuestas diferentes, tanto positivas (incremento de fuerza, capacidad de salto y potencia; mejora de circulación sanguínea; aumento de testosterona, mejor consumo de oxígeno) como negativas (Alteraciones musculoesqueléticas; Alteraciones de la columna vertebral; alteraciones respiratorias; Alteraciones oftalmológicas, alteraciones del sistema nervioso central y la esfera psíquica, y otras alteraciones resumidas en la Tabla 2 dónde se muestra los síntomas más comunes que el cuerpo humano experimenta como resultado de la exposición a la vibración. Estos efectos se describen para un rango de frecuencias vibratorias presentes en uno o más de los ejes de medición (x, y, z). (UNE-ISO 2631-1, 2008), (Dong, Welcome, & McDowell, 2012).

Cuando alguien entra en contacto con un punto de una superficie vibratoria, se expone a la vibración del cuerpo entero. (Liu & Griffin, 2018). En cualquier momento sin percatarse de ello, por ejemplo, al viajar en cualquier medio de transporte, utilizar máquina-herramientas. Etc.

Tabla 2: El cuerpo humano experimenta síntomas y efectos de la vibración a diferentes frecuencias.

Síntoma/Efecto	Frecuencia [Hz]	Aceleración $\left[\frac{m}{s^2}\right]$
Sueño	1 – 2	0.35
Resonancia en el sistema torácico abdominal	5 – 10 (vibraciones verticales)	1.3
Resonancia en el sistema cabeza-cuello abdominal	20 – 30 (vibraciones verticales)	1.54
Resonancia en el globo ocular	60 – 90 (vibraciones verticales)	3.2
Sensación general de molestia	4 – 9	1.72
Dolores de cabeza	13 – 20	2
Dolor en maxilar inferior	6 – 8	3.8
Influencia en el habla	13 – 20	4.5
Nudo en la garganta	12 – 16	3
Dolores en el pecho	5 – 7	1.8
Dolores abdominales	4 – 10	2.5
Necesidad de orinar	10 – 18	3.2
Tono muscular elevado	13 – 20	1.3
Dificultad para respirar	1 – 4	4.5
Contracción muscular	7 – 9	2.8
Fenómeno de Raynaud (dedo blanco)	30 – 300	2.48

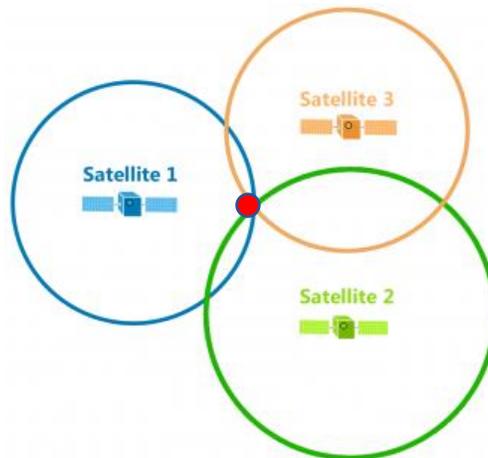
Fuente: (Dupuis & Zerlett, 1986), (Griffin M. J., 1990), (Griffin M. J., 2012), (Arora, Graham, & Grenier, 2015) & (Leonardo González, 2020)

4.2. Sistema de georreferencia.

GPS (Global Positioning System) o Sistema de Posicionamiento Global, este sistema forma parte de GNSS⁴ que es un sistema satelital capaz de ubicar cualquier objeto, persona o vehículo de la siguiente manera: En todo momento; en cualquier parte del planeta sin importar las condiciones climáticas.

4.2.1. Precisión de los receptores GPS

Cualquier receptor GNSS⁵ necesita de al menos 3 satélites (Figura 2), y capturar estas señales para calcular su posición y corregir el error máximo producido por: ruido, desajuste, dilución geométrica, disponibilidad selectiva y retraso atmosférico. (Enríquez Follaran & Ormaza López, 2017)



*Figura 2. Posición exacta del receptor
Fuente: (GISGeography, 2018)*

⁴ GNSS (Global Navigation Satellite System). – Sistema Global de Navegación por Satélite, es la unión de varios sistemas de satélites, que reciben la señal de los satélites: GPS, GLONASS, GALILEO (Europa), BEIDOU (China), QZSS (Japón) y el indio IRNSS. También dispone de sistemas terrestres para aumentar la precisión. (Antón Zubiaga, 2021)

⁵ Receptor GNSS. – Es un dispositivo capaz de transformar las señales emitidas por cualquier Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) en señales entendibles para el usuario. (Garrido Villén, 2016)

El receptor genera réplicas del código de la señal de radio (RF)⁶ en un orden de 1GHz y comparando estas se puede determinar la distancia a los satélites. Al combinarse las distancias de cuatro satélites con sus posiciones orbitales, quedan determinadas las coordenadas geocéntricas en forma tridimensional (latitud, longitud y altura ortométrica), con una exactitud de aproximadamente 8m para datos de posicionamiento y de 0.1 m/s para datos de velocidad. (Leica Geosystems, 2021)

El cuarto satélite permite eliminar uno de los puntos y ajustar el reloj, que permite la intersección de 4 esferas para definir la posición exacta con un error mínimo posible mostrado en la Figura 3.

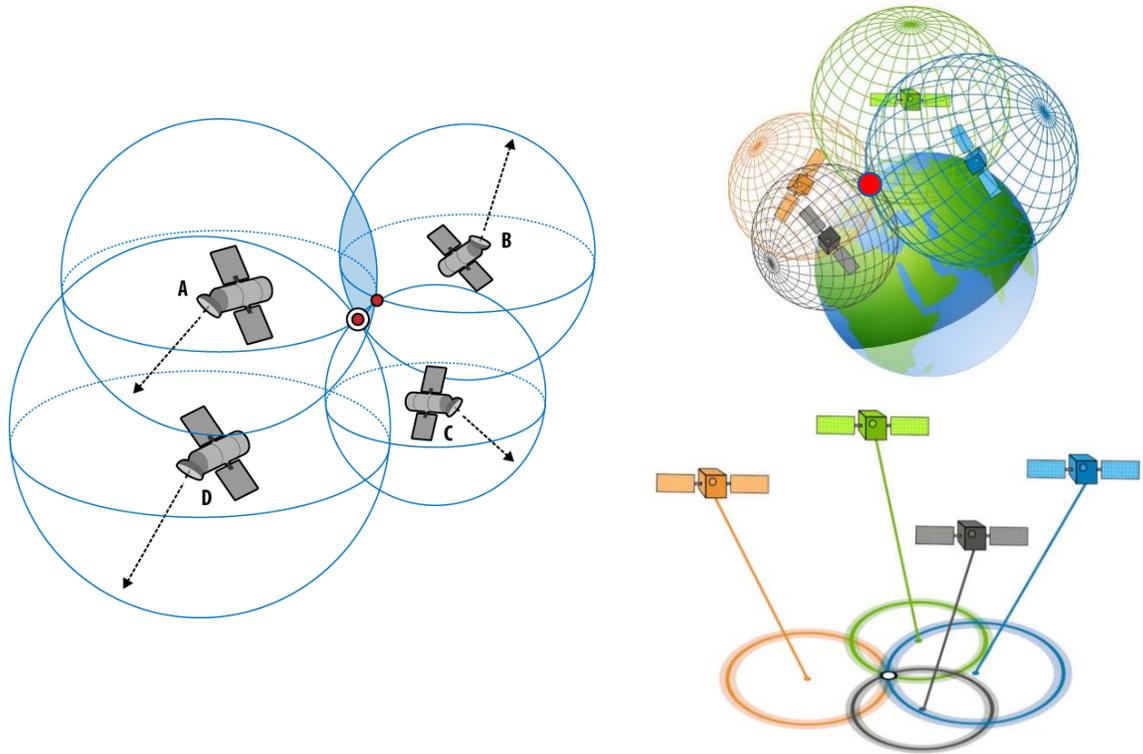


Figura 3. El cuarto satélite sincroniza el desfase de los relojes.
Fuente: (Holdener III, 2011) & (Valente, 2019)

⁶ RF (Radiofrecuencia). – Frecuencias del espectro electromagnético que se utilizan en las radiocomunicaciones (Pérez Porto & Merino, 2015)

4.2.2. Tipos de receptores GPS

Varios receptores GPS están disponibles. Las necesidades han cambiado de dispositivos grandes a receptores cada vez más pequeños, más potentes y con un amplio rango de funciones gracias a los avances en circuitos integrados y métodos de producción. (Enríquez Follaran & Ormaza López, 2017)

Estos receptores tienen la capacidad de detectar, recibir, decodificar y procesar las señales que reciben de los satélites, lo que les permite localizar cualquier objeto en cualquier lugar del mundo. Figura 4

Los radioreceptores se dividen en dos categorías: *la primera* es fija y se puede montar en cualquier tipo de vehículo, mientras que *la segunda* es portátil y se puede llevar a cualquier lugar.



Figura 4: Tipos de GPS disponibles en el mercado.
Fuente: (Meléndez, Montes, Pereira, & Salcedo, 2013)

4.3. Dispositivo Freematics ONE+

El dispositivo Freematics ONE+, creado por la empresa australiana Freematics, se basa en la plataforma de prototipado compatible con Arduino, que es un software de código abierto. El

dispositivo está equipado con el firmware (bocetos Arduino) y las bibliotecas Arduino SDK. (Gárate Montalvo, 2018)

El hardware se presenta como un dongle⁷ OBD que cuenta con un conector DCL macho para conectarse al DCL hembra de los vehículos que utilizan el protocolo de comunicación OBD–II estandarizado. El dispositivo, incorpora una memoria MicroSD para grabar los datos de la ECU en tiempo real y ofrece la opción de transmitir estos datos en tiempo real a través de una red Wi-Fi, BLE o celular. (Huang & Huang, 2021). Además, integra sensores de movimiento, como acelerómetro y giroscopio, y se conecta a un receptor GNSS para funcionar como rastreador. En la Figura 5 se ilustra los principales componentes del hardware del dispositivo:



Figura 5: Dispositivo Freematics ONE+, MicroSD y el módulo de geolocalización (GPS) modelo M8030

Fuente: (Minga González, Algoritmo para la estimación de pendientes de la calzada mediante adquisición de datos por GPS, 2022)

⁷ Dongle. – Adaptador de un dispositivo que se conecta a otro dispositivo para aportarle una función adicional (Cambridge University Press, 2021)

En la Tabla 3 exhibe la interfaz física del dispositivo:

Tabla 3: Interfaz física del dispositivo OBD–GPS

Nombre	Tipo
Dongle OBD	DCL macho
Ranura para tarjeta	microSD
Zócalo	xBee ⁸
Puerto	microUSB
Entrada y Salida	Molex

Fuente: (Huang & Huang, 2021)

Mientras que en la Tabla 4 se expone las características del dispositivo:

Tabla 4: Características del hardware en el dispositivo Freematics ONE+

Nombre	Elemento	Nombre	Elemento
Controlador Principal	Espressif ESP32 (4MB programable)	Suplemento	Co – procesador STM–32 M8030 10Hz ⁹
Transceptor	HT40	GPS (GNSS)	(Receptor Externo)
Sensor de movimiento	ICM 20948 (9–DOF) ¹⁰	Rastreador de desplazamiento	Sensor MPU–9250
Asiento xBee	módulos celulares 3G / 4G	Comunicación inalámbrica	SIM 800L o SIM 5360 para red celular
Zumbador integrado	Impulsado por PWM o DAC	Potencia Nominal	80 Mhz: 20 mA (Wi–Fi inactivo) 80 Mhz: 50 mA (Wi–Fi activo) 80 Mhz: 180 mA (3G Activo)
Red inalámbrica	Bluetooth (modo dual y BLE), Wifi (802.11 b/g/n integrado)	Frecuencia de muestreo ¹¹	50 – 60Hz ¹²

Fuente: (Huang & Huang, 2021)

⁸ XBee. – Radio de comunicación inalámbrica entre dispositivos. (Xbee.cl, 2019)

⁹ 10Hz. – Velocidad de actualización del GPS en un periodo de 0.1s

¹⁰ 9–DOF. – Sensor de movimiento con 9 grados de libertad

¹¹ Frecuencia de muestreo. – Esta es la velocidad a la que el Data Logger recopila datos. La velocidad generalmente se expresa como el número de evidencias por segundo. (Quintero M, Oñate López, & Arias de la Voz, 2014)

¹² 50 – 60Hz. – Velocidad de actualización de toma de datos en un periodo de 0.02s y 0.01s

4.4. Norma ISO 2631 – Evaluación de la exposición humana a las vibraciones de cuerpo entero.

La norma ISO 2631 es la norma más utilizada para evaluar estudios de vibración y se ha adoptado en todo el mundo para unificar las normas existentes en cada país para realizar evaluaciones de vibraciones en el cuerpo humano. La norma técnica ecuatoriana NTE INEN-ISO 2631-1 se basa en esta norma.

El objetivo principal de la norma ISO 2631 es definir métodos para medir las vibraciones de cuerpo completo en relación con: *la salud y la comodidad de las personas* en un rango de: 0.5Hz – 80Hz, *la probabilidad de percibir vibraciones* y *la frecuencia de mareos por movimiento* de: 0.1Hz – 0,5Hz. (UNE-ISO 2631-1, 2008).

El análisis de confort en el bus utilizando la norma ISO 2631 sigue el siguiente proceso:

1. Adquisición de señales de aceleración tridimensionales en el bus de forma continua y directa a la superficie vibratoria
2. Análisis de las señales de aceleración en cada eje (bandas de 1/3 de octava), en un rango más sensible para el pasajero 0.5Hz – 80Hz.
3. Ponderar en frecuencia de la señal en bandas de 1/3 de octavas. Utilizar filtros respectivos W_k para el eje Z y W_d para los ejes X e Y
4. Calcular el índice de confort y posteriormente comparar con los límites sugeridos por la norma.

4.4.1. Ponderación en frecuencia.

El método estadístico de ponderación en frecuencia asigna un valor mayor (peso) a las frecuencias a las que el cuerpo humano es más sensible en cada uno de los tres ejes de medición, y una ponderación menor a las frecuencias a las que el cuerpo humano es menos sensible.

De acuerdo con la norma ISO 2631, la ponderación en frecuencia proporciona una excelente correlación para el análisis y evaluación de la vibración medida en cada eje y el valor subjetivo de la sensibilidad del cuerpo humano respecto del valor medido por la vibración. Tal como se puede observar en la Figura 6.

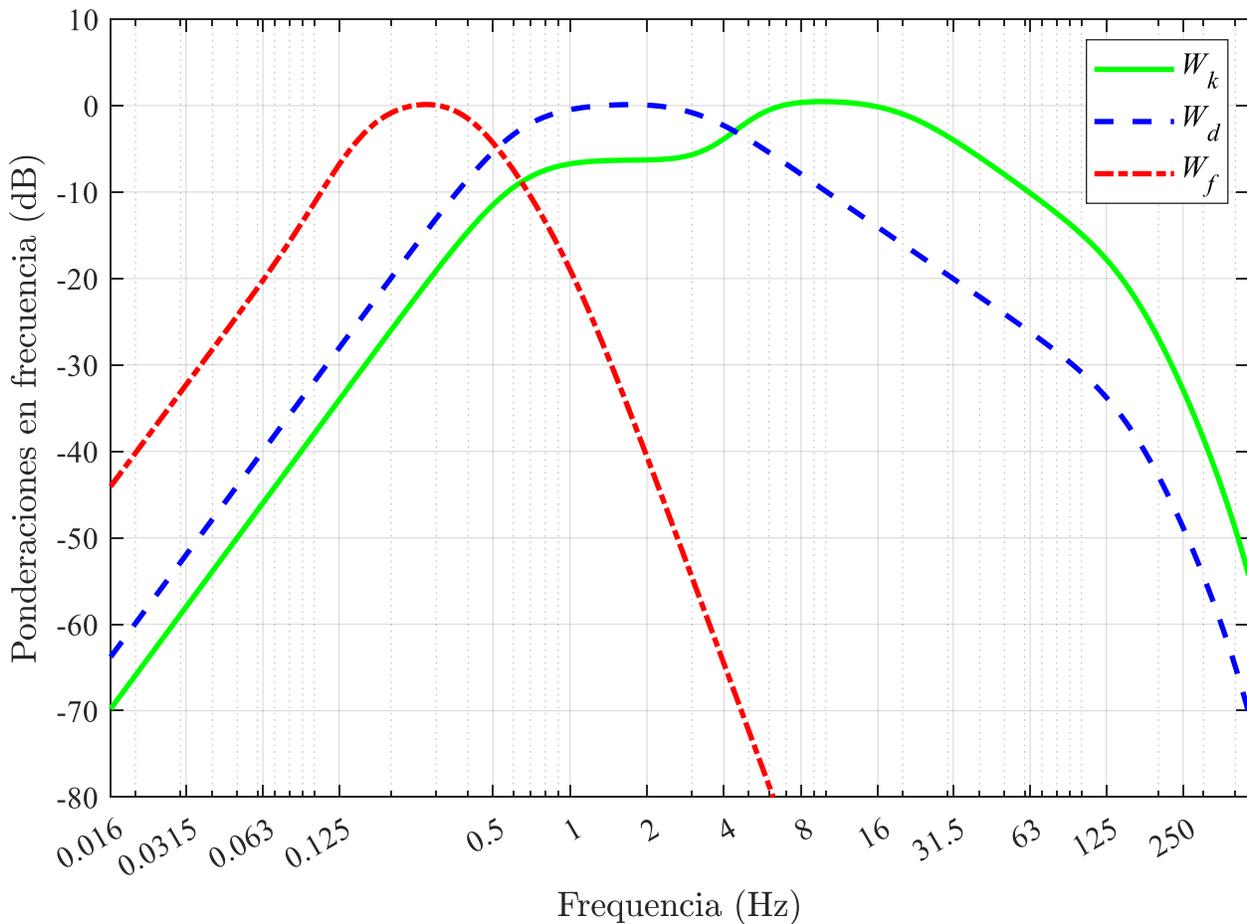


Figura 6: Las curvas de ponderación en frecuencia de las principales ponderaciones

Fuente: (UNE-ISO 2631-1, 2008) Adaptado por: Autor

Por otro lado, la Tabla 5 muestra el perfil que se aplica a cada eje de medición de vibración. También, (Font Mezquita & Dols Ruiz, 2006) menciona que normalmente, los niveles más altos de vibración se producen a lo largo del eje (Z), seguido por la vibración del eje (Y). En ocasiones, las vibraciones del eje (Y) pueden ser mayores debido a condiciones de conducción o resonancia. Sin embargo, en general, las señales del eje (Y) son de bajo nivel de vibración y no se toman en cuenta sus niveles de vibración.

Tabla 5: Instrucciones sobre cómo usar las curvas de ponderación en frecuencia para las ponderaciones principales

Ponderación en frecuencia	Salud	Confort/Percepción	Mal del movimiento
W_k	<i>Eje Z</i> (Factor = 1.4)	<i>Eje X; Eje Y</i> (Factor = 1)	—
W_d	<i>Eje X; Eje Y</i> (Factor = 1.4)	<i>Eje X; Eje Y</i> (Factor = 1)	—
W_f	—	—	<i>Eje Z</i> (Factor = 1)

Fuente: (Leonardo González, 2020) & (UNE-ISO 2631-1, 2008)

4.4.2. Reacciones del bienestar a entornos de vibración.

Según la norma ISO 2631 se han establecido 6 niveles de confort aproximados, la percepción de la vibración y el mareo producido por el movimiento tal como se muestra en la Tabla 6

Tabla 6: Reacciones de bienestar a entornos de vibración.

Evaluación del confort	
0.5 – 80Hz	
Intensidad de la vibración	Sensación del pasajero
$a_w \left[\frac{m}{s^2} \right]$	
≤ 0.315	No molesta
$0.315 \leq a_w < 0.63$	Un poco molesta
$0.5 \leq a_w < 1$	Algo molesta
$0.8 \leq a_w < 1.6$	Molesta
$1.25 \leq a_w < 2,5$	Muy molesta
$a_w \geq 2$	Extremadamente molesta
Percepción	
0.5 – 80Hz	
0.015 0.01 – 0.02	Una persona sana percibe las sensaciones
Mareo producido por el movimiento	
0.1 – 0.5Hz	
0.5	Mareos

Fuente: (UNE-ISO 2631-1, 2008)

4.4.3. Evaluación de la vibración en el cuerpo humano

La norma ISO-2631 define métodos que permiten cuantificar la intensidad de las vibraciones y a partir de ello adoptar las medidas necesarias para disminuir la exposición a las mismas. Las técnicas que se exponen en la norma ISO 2631 debe incluir siempre mediciones del valor eficaz de la aceleración ponderada (r.m.s.) son las siguientes:

4.4.3.1. Técnica de evaluación RMS

La técnica consiste en obtener la medición de la a_w (aceleración media cuadrática eficaz ponderada en frecuencia) para el fenómeno de interés para evaluar el eje de medición deseado tal como se muestra en la Ecuación 1.

$$\alpha_w = \left[\frac{1}{T} \int_0^T (a_w)^2 \cdot t \cdot dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Ecuación 1: Aceleración media cuadrática eficaz ponderada en frecuencia

Donde:

α_w = Aceleración eficaz media cuadrática [m/s^2]

$a_w \cdot t$ = Aceleración instantánea ponderada en frecuencia [m/s^2]

T = Tiempo de duración de la medición [s]

La técnica RMS se correlaciona con la gráfica de las curvas de ponderación en frecuencia mostrada en la Figura 6, y los perfiles de ponderación para cada una de las direcciones mostradas en la Tabla 5, para bandas de un tercio de octava con magnitudes de vibración de 0.1 a 10 m/s^2 .

El confort es importante para esta investigación porque esta primera técnica permite el análisis de las señales de vibración para cualquier perfil de ponderación.

4.4.3.2. Técnica de la dosis de vibración

El método de valor de dosis de vibración (VDV) a la cuarta potencia es más sensible a los picos que el método de evaluación básico. (Guevara & Sanchez-Guardamino). También se le conoce como: *Running RMS* (método del valor promedio actual), se evalúa con la Ecuación 2

$$VDV = \left[\frac{1}{T} \int_0^T (a_w)^4 \cdot t \cdot dt \right]^{\frac{1}{4}} \quad (2)$$

Ecuación 2: Método del valor promedio actual

Donde:

VDV = Valor de dosis de vibración [$m/s^{1.75}$]

$a_w \cdot t$ = Aceleración instantánea ponderada en frecuencia [m/s^2]

T = Tiempo de duración de la medición [s]

4.4.3.3. Valor de vibración total de aceleración RMS ponderada.

Según la norma ISO 2631 dispone obtener el valor total de la aceleración ponderada en frecuencia a_v para el análisis del bienestar tal como se muestra en la Ecuación 3

$$a_v = \left[(k_x)^2 \cdot (a_{wx})^2 + (k_y)^2 \cdot (a_{wy})^2 + (k_z)^2 \cdot (a_{wz})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Ecuación 3: Valor total de la aceleración ponderada en frecuencia

Donde:

a_{wx}, a_{wy}, a_{wz} = Aceleraciones r.m.s. ponderadas con respecto a los ejes ortogonales x, y, z $\left[\frac{m}{s^2} \right]$

k_x, k_y, k_z = factores de multiplicación. [-]

El factor de multiplicación k , para los ejes ortogonales se expresan en la Tabla 5

5. CAPITULO II: MARCO METODOLÓGICO

5.1. Instrumentación para la adquisición de datos.

Los terminales del conector macho del Freematics ONE+, que utiliza su función de geolocalización (GPS) para monitorear el bus, se muestran en la Figura 7 a). Para alimentar a los Freematics ONE+, se utilizó una batería LiPo (litio y polímero) de 7.4V. Los terminales 4 y 5 se conectaron al negativo de la batería y el terminal 16 al positivo de la batería. (Llivicura Quezada & Peñaloza Piña, 2021)

La Figura 10 muestra el esquema de la instalación del dispositivo Freematics One+ en un bus durante su recorrido convencional. Para que las señales no se vean afectadas por factores externos se coloca la caja del dispositivo en una superficie fija o en el piso tomando como referencia los ejes coordenados para la adquisición de datos tal como se muestra en la Figura 7b)

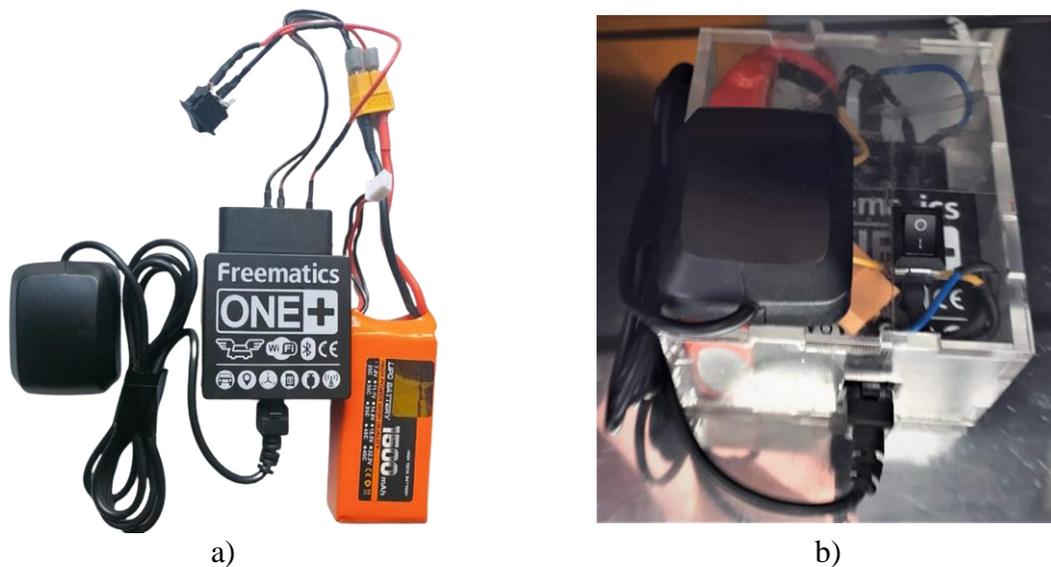


Figura 7a) Esquema de conexión del dispositivo FreematicsOne+ con su fuente de alimentación e interruptor y GPS. Figura 7b) Disposición del DataLogger OBD-GPS en la caja de acrílico con una ventosa en su base para su sujeción fija.

5.2. Sensor de medición inercial ICM-20948

Cada uno de los tres ejes del sensor de medición inercial con 9 grados de libertad (9-DOF) incorpora un acelerómetro, un giroscopio y un magnetómetro. Las aplicaciones de este sensor incluyen drones, teléfonos inteligentes, tabletas y sensores portátiles. (TDK, 2021)

En la tabla se resume los rangos programables para el giroscopio y el acelerómetro.

Tabla 7: Rangos programables para el giroscopio y acelerómetro integrado en el sensor ICM-20948

Giroscopio		Acelerómetro	
Rango [dps ¹³]	Sensibilidad [$\frac{LSB}{dps}$]	Rango [G]	Sensibilidad [$\frac{LSB^{14}}{dps}$]
±250	131	±2	16,384
±500	65.5	±4	8,192
±1000	32.8	±8	4,096
±2000	16.4	±16	2,048

Fuente: (TDK, 2021)

5.3. Receptor GPS

El receptor GPS empleado es un módulo UBX-M8030-KA (Figura 8) desarrollado para aplicaciones automotrices de gran precisión, debido a que posee una recepción simultánea de hasta 3 GNSS (BeiDou, Galileo, GLONASS, GPS / QZSS) a través de su antena cerámica en la carcasa. (Huang, S, 2021). Este módulo GPS UBX-M8030-KA posee las características mostradas en la

Tabla 8:

¹³ DPS .— Degrees per second (Grados por segundo) (TDK, 2021)

¹⁴ LSB. — Least significant bit (Bit menos significativo) (TDK, 2021)

Tabla 8. Características del receptor GPS.

Características del Módulo U-Blox M8030	
Tipo de receptor	Recepción de 72 canales Recepción simultanea de BeiDou, Galileo, GLONASS, GPS / QZSS
Tiempo de arranque	Arranque en frío: 26s Arranque asistido: 2s Arranque en caliente: 1s
Sensibilidad	Seguimiento y navegación: 167dBm Readquisición: 160 dBm Arranque en frío: 148 dBm Arranque en caliente: 157 dBm
Tasa de actualización	GNSS único hasta 18 Hz 2 GNSS concurrente hasta 10 Hz
Posición horizontal Precisión	2m CEP (Error circular probable)
Data-Logger	Para datos de posición, velocidad, tiempo y odómetro
Características eléctricas	
Voltaje de suministro	1,4 V a 3,6 V
Voltaje de E/S digital	1.65 V a 3.6 V
Consumo de energía	21 mA @ 3.0 Vcc
2 GNSS simultáneos	5.3 mA @ 3.0 V (PSM, 1 Hz)
Temperatura de operación	-40 °C to +105 °C (UBX-M8030-KA)
Velocidad de transmisión en serie	115200bps

Fuente: (U-blox, 2019) & (Minga González, 2022)



Figura 8. Receptor GPS.

Fuente: (Shenzhen Hurry up Technology Co, 2021)

Los pines del receptor que se muestran en la Figura 9, corresponden a 5V que recibe de la placa Arduino para alimentarlo, el GND es la conexión tierra necesaria para cerrar el circuito y el pin TxD es la salida de datos al receptor. La placa transmite datos al receptor a través de la comunicación a través del pin RxD, que es la entrada de datos desde la placa al receptor y sirve para informar al receptor sobre su inicialización y las tareas a realizar tal como se resume en la Tabla 9.

Tabla 9. Conexión del receptor GPS al módulo Freematics ONE+.

N° Pin	Pin	Color	Definición
1	<i>GND</i>	Negro (Grueso)	Tierra
2	<i>RxD</i>	Negro	Recepción de datos
3	<i>5V Vcc</i>	Rojo	Alimentación
4	<i>TxD</i>	Blanco	Transmisión de datos

Fuente: (Huang, S, 2021) & (Minga González, 2022)

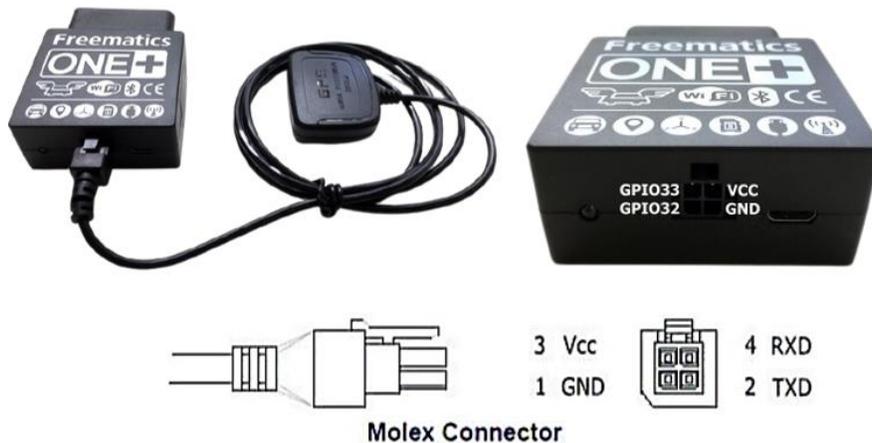


Figura 9: Conector molex del receptor GPS.

Fuente: (Huang, S, 2021) & (Minga González, 2022)

5.4. Selección de rutas

Para efectos del estudio se utilizó las rutas determinadas en la Tabla 10 propuesto por: (Llivicura Quezada & Peñaloza Piña, 2021); (Rivera, Molina, Novillo, Llivicura, & Peñaloza, 2022) & (Minga González, 2022)

Tabla 10: Rutas establecidas para el estudio

LÍNEA	DENOMINACIÓN
Línea 27	Baños – Sinincay – Baños
Línea 16	Hospital del Río – Mutualista Azuay – Hospital del Río
Línea 28	Feria Libre – Llacao – Feria Libre
Línea 100	Ricaurte – Baños – Ricaurte
Línea 13	IESS – Mutualista Azuay II – IESS

Fuente: (Llivicura Quezada & Peñaloza Piña, 2021)

5.5. Recopilación de datos

Los datos se registran en un formato de texto CSV¹⁵ simple. Antes de su identificador PID, cada línea muestra el tiempo transcurrido, el tipo de datos muestreados y su valor correspondiente:

[Tiempo transcurrido], [Tipo de datos], [Valor de datos 1], [Valor de datos 2], [Valor de datos n]
<PID 1>, <valor 1>, <PID 2>, <valor 2>, <PID 3>, <valor 3 parte 1>; <datos 3 parte 1>; <valor 3 parte 3>, ...

Los datos obtenidos los ejemplifica (Huang, Stanley, 2021) de la siguiente forma:

0, 68338;10D, 79;30, 1010;105, 199;10C, 4375;104, 56;111, 62;20, 0, -1, 95;10, 6454200; A, -32.727482; B, 150.150301; C, 159; D, 0; F, 5;24,1250
--

¹⁵ Formato CSV (Comma Separated Values) (Valores Separados por Comas). – Este es un archivo de texto de formato específico que le permite almacenar datos en un formato de tabla estructurado vertical sin conllevar costo computacional. (López, 2020)

La información de ubicación en tiempo real contiene la fecha de conducción, el tiempo de conducción, la longitud, la latitud y altitud elipsoidal que luego se corregirá para obtener altitudes ortométricas, longitud y latitud en grados decimales, obtenidos del receptor GPS. (Chen & Wei, 2010) & (Minga González, 2022)

Una vez seleccionados las rutas de buses determinadas en la sección 5.4, el vehículo se instrumenta con el dispositivo GPS-OBD Freematics ONE+ tal como se muestra en la Figura 10. los recorridos propuestos cubren la mayor parte de la ciudad de Cuenca, haciendo énfasis en dirección a las parroquias rurales por el efecto de la altimetría y las pendientes pronunciadas, y zonas donde la infraestructura vial se encuentran en mal estado o con poco mantenimiento las mismas que son de gran interés para el análisis del confort en el transporte público.

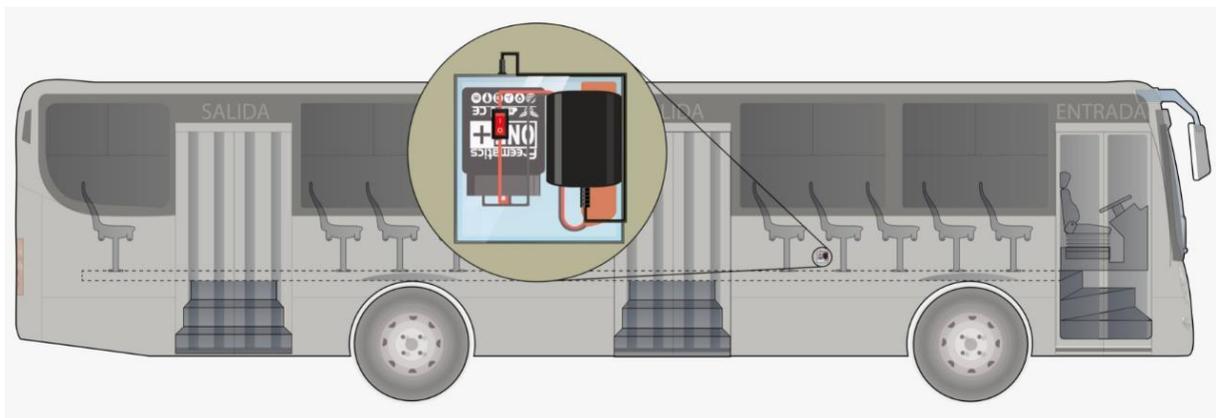


Figura 10: Esquema del vehículo utilizado para la adquisición de datos de aceleración y geolocalización con su respectiva instrumentación.

Fuente: (Cusco Quinde, 2023); (Llivicura Quezada & Peñaloza Piña, 2021) & Autor.

En la Figura 11 podemos observar un fragmento de los datos adquiridos a través del dispositivo Freematics ONE+ en un formato de texto CSV.

	A	B
758	0,35009	
759	11,210621	
760	10,1624019	
761	A,-2.898055	
762	B,-78.971458	
763	C,2562.00	
764	D,9.78	
765	F,5	

Figura 11: PID's obtenidos por el dispositivo Freematics ONE+ en formato .CSV con los datos respectivos a utilizar para calcular el nivel de confort en los buses.

Fuente: Autor

En la Tabla 11 se presenta un fragmento de los datos obtenidos del dispositivo Freematics ONE+ junto con el identificador, valor y la representación de cada muestra de interés para el cálculo del confort en el bus.

Tabla 11: Parámetros de identificación de los PID's

Freematics ONE+	Identificador PID	Valor	Señal representada	Unidad
0,100963	0	100963	Temporizador	[ms]
10D,23	10D	23	Velocidad del vehículo, Velocidad del GPS	$\frac{[km]}{[h]}$
A, -2899156	A	-2899156	Latitud	$[^{\circ} \times 10^5]$
B, -78985029	B	- 78985029	Longitud	$[^{\circ} \times 10^5]$
C, -10184	C	-10184	Altitud	[m]
F,10	F	10	Número de satélites en uso	[-]
10,2023542	10	2023542	Hora del GPS (UTC ¹⁶)	[HHMMSSmm]
11,190621	11	190621	Fecha del GPS (UTC)	[DDMMAA]
20, 5,19,-102	20	5	Aceleración en el eje X	[g]
20, 5,19,-102	20	19	Aceleración en el eje Y	[g]
20, 5,19,-102	20	-102	Aceleración en el eje Z	[g]

Fuente: (Minga González, 2022) & Autor

¹⁶ UTC. – (Coordinated Universal Time) Hora Universal Coordinada; sistema de tiempo atómico uniforme. (Leica Geosystems, 2021) & (UNOV, 2013)

5.6. Análisis del confort

En este apartado se muestra una síntesis de las investigaciones previas acerca de la aplicación de las normas ISO 2631 aplicada en buses con respecto a las metodologías utilizadas durante la medición y evaluación de las vibraciones en usuarios que están a bordo de los medios de transporte urbano en operación.

5.6.1. Investigaciones previas

Estudios previos en esta área utilizando la normativa mencionan que los usuarios y conductores de transporte terrestre están expuestos a vibraciones de cuerpo completo.

Prácticamente todos los autores con estudios sobre el tema, como: (Oborne, 1977), (Paddan & Griffin, 2002), (Dong, Welcome, & McDowell, 2012), (Li, y otros, 2015) & (Bravomalo Bolaños, 2020); citan la norma ISO 2631 para realizar una medición precisa de las vibraciones. Para lograr esto, es necesario evaluar los índices de aceleración en los tres ejes de medición biomecánica del cuerpo humano y utilizar un parámetro de comparación estandarizado que sea específico mencionado por: (Zuo & Nayfeh, 2003)

5.7. Análisis del confort en buses urbanos en la ciudad de Cuenca.

El método de evaluación fundamental utilizando el valor eficaz de la aceleración ponderada se utiliza como referencia para el desarrollo de nuestra investigación.

Empleando la Ecuación 4, Ecuación 5, Ecuación 6, Ecuación 7, y la Ecuación 8 que definen matemáticamente las ponderaciones en frecuencia expresadas en la norma ISO 2631, y se muestran en el anexo de la sección 11.1, los dos primeros actúan como filtros pasa alto y pasa bajo.

El proceso de filtrado tiene como objetivo permitir que ciertos componentes de frecuencia pasen mediante la modificación del espectro de la señal de acuerdo con los parámetros establecidos por el usuario.

En la Figura 12 se muestra las aceleraciones filtradas y ponderadas en frecuencia W_k para el eje Z y W_d para el eje X y Y respectivamente.

También se calcula el valor eficaz de la aceleración ponderada o RMS utilizando la Ecuación 1 expresada en la sección 4.4.3.1 para su posterior comparación con los valores predeterminados mostrados en la Tabla 6 que describe los niveles de vibración que percibe el cuerpo humano en el índice de confort mismo que nos ayudará para su posterior análisis según el número de muestras de cada nivel y el tiempo al que los usuarios están sometidos al nivel de incomodidad durante todo el trayecto de los buses.

Mientras que en la Figura 13, Figura 14 y la Figura 15 podemos visualizar las aceleraciones ponderadas en frecuencia de toda la ruta en función del recorrido, las cuales varían en función de la orografía; las aceleraciones se pueden distinguir en función de la barra de colores, con respecto a los valores que toma durante todo el trayecto para los ejes X, Y y Z respectivamente.

En la zona céntrica de la ciudad de Cuenca las aceleraciones varían entre $\pm 0.5 m/s^2$ empezando a crecer o decrecer en un rango de $\pm 1.5 m/s^2$ en las zonas periféricas la misma que da acceso a los viarios de segundo orden que se conecta con la parroquia Llaoca en la imágenes antes mencionadas y tomadas como referencia.

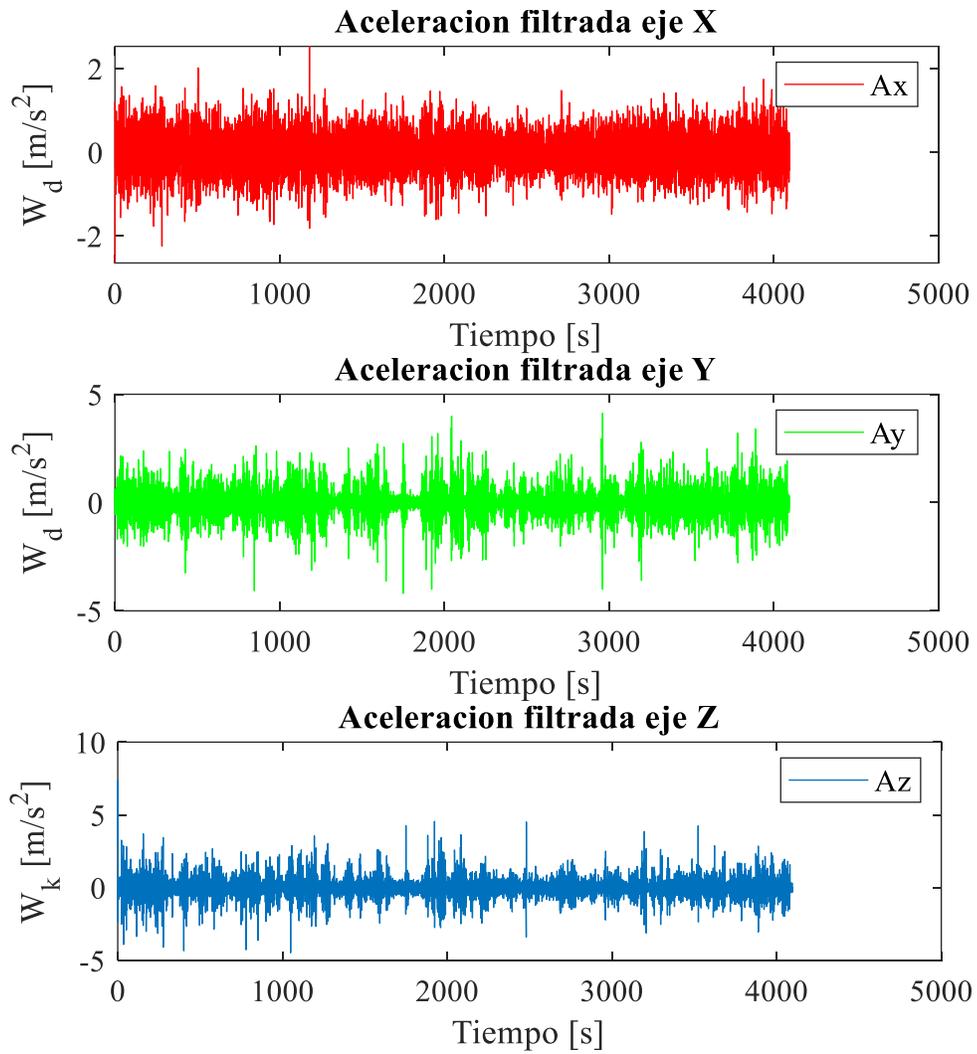


Figura 12: Aceleraciones ponderadas en frecuencia. Fuente: Autor

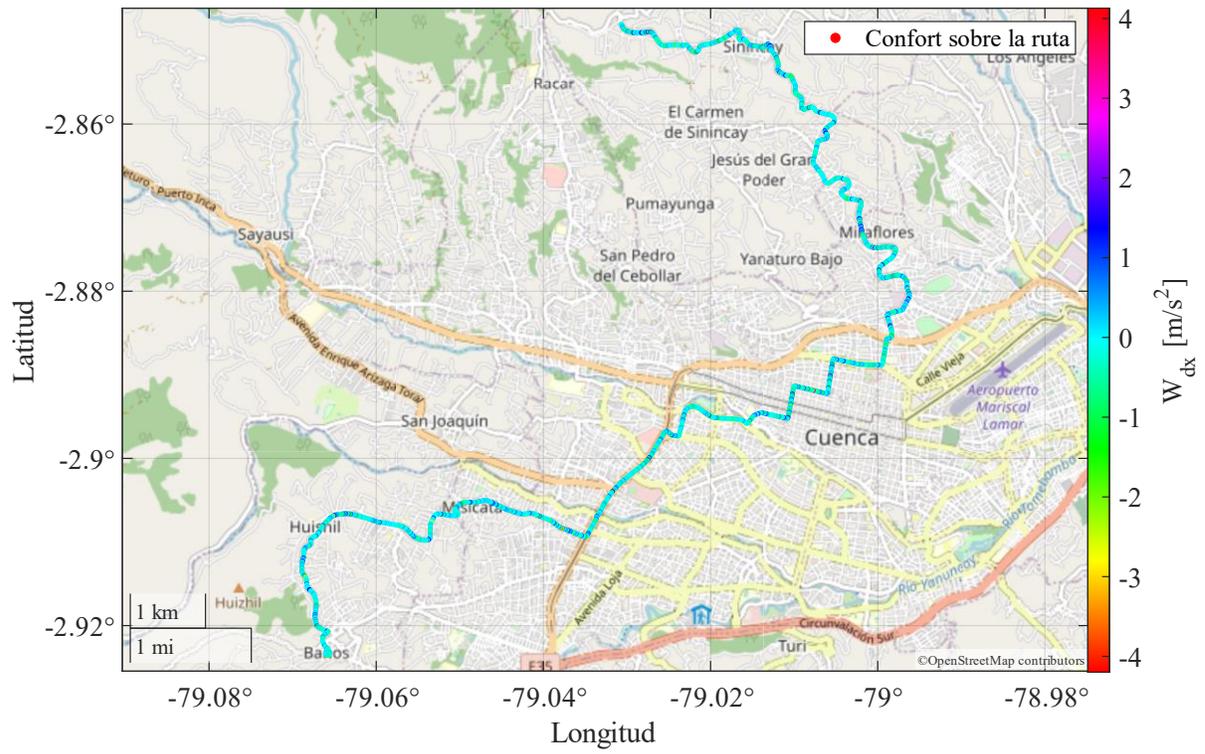


Figura 13. Aceleraciones ponderadas en el eje X
Fuente: Autor

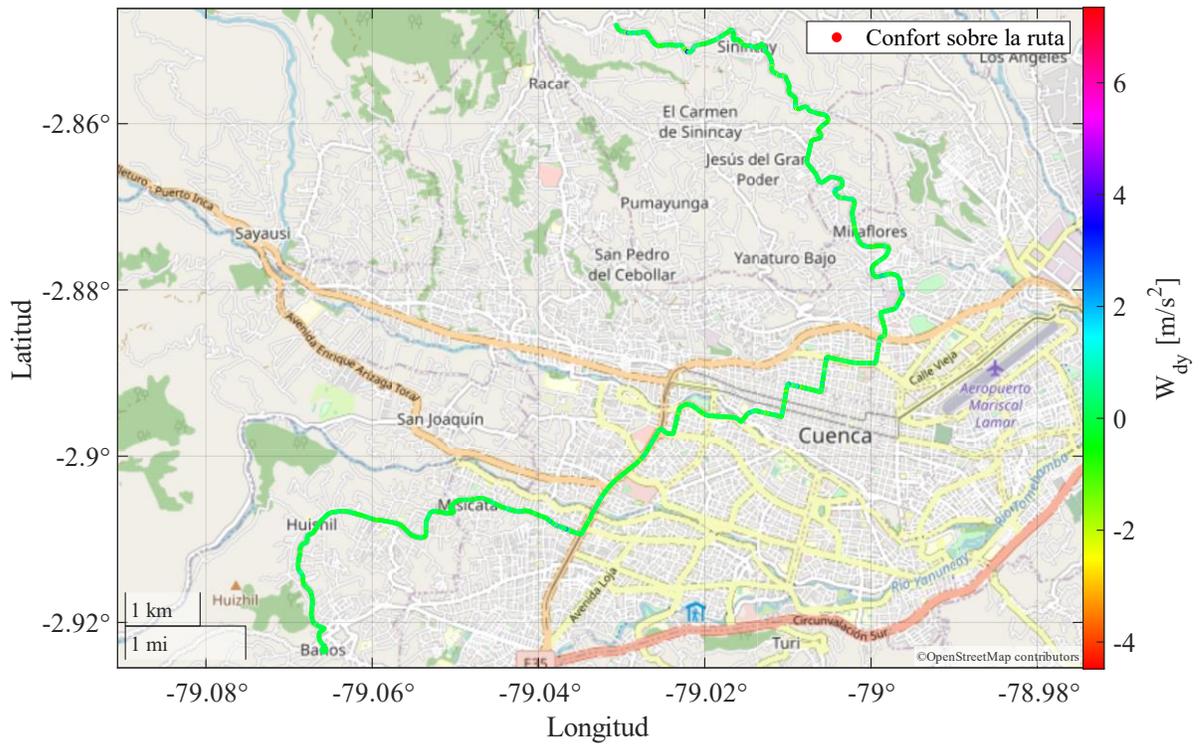


Figura 14: Aceleraciones ponderadas en el eje Y
Fuente: Autor

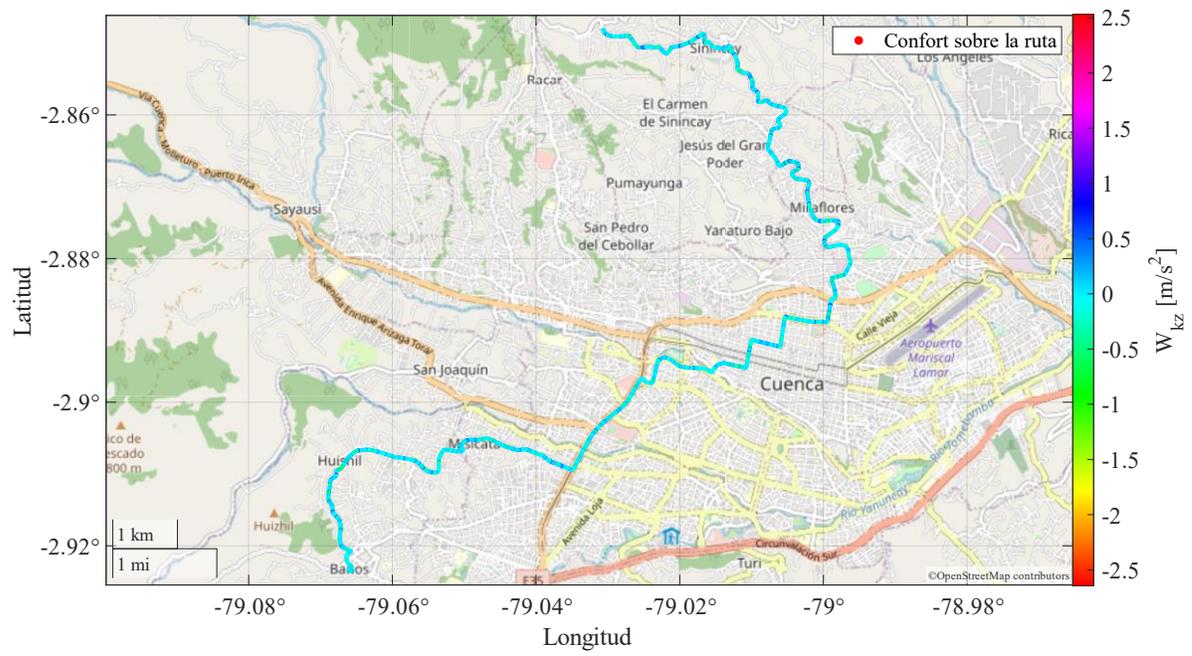


Figura 15: Aceleraciones ponderadas en el eje Z
Fuente: Autor

6. CAPITULO III: RESULTADOS

Los resultados se muestran a continuación, para las diferentes rutas de recorrido propuestas en la sección 5.4.

6.1. Línea 27 Ruta Sinincay – Baños – Sinincay

En la Tabla 12, se muestran los resultados obtenidos en la ruta Sinincay – Baños – Sinincay clasificadas por el número de vueltas recorridas.

En la Tabla 13 se puede visualizar los resultados por cada recorrido en la ruta Sinincay – Baños.

En la Tabla 14 se puede visualizar los resultados por cada medio recorrido en la ruta Baños – Sinincay.

El cálculo se realiza empleando el método propuesto por la normativa ISO–2631, para calcular las aceleraciones ponderadas en los ejes ortogonales de medición, y posteriormente calcular el nivel de confort máximo del trayecto, el nivel de confort mínimo y el nivel de confort promedio.

La percepción del confort según los datos expuestos en las tablas de resultados presentadas indica que en la mayor parte del trayecto no supera valores superiores a $0.315 m/s^2$, ingresando dentro del rango de sensación para los pasajeros mostrado en la Tabla 6, siendo catalogado como *un viaje no molesto*, mientras que en zonas donde las aceleraciones superan los valores superiores a $0,5m/s^2$ & $0,8m/s^2$ son catalogados como percepciones: *algo molesta* y *molesta* respectivamente.

Tabla 12: Niveles de confort en la ruta Sinincay – Baños – Sinincay

Vuelta	Ruta	Confort Eje X			Confort Eje Y			Confort Eje Z		
		Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$
1	Sinincay – Baños	0.564	3.43×10^{-5}	0.038	2.08	4.47×10^{-5}	0.043	0.627	7.04×10^{-5}	0.021
	Baños – Sinincay	0.539	1.02×10^{-4}	0.04	1.234	5×10^{-6}	0.057	0.660	7.29×10^{-6}	0.020
2	Sinincay – Baños	0.520	1.47×10^{-4}	0.055	1.313	1.45×10^{-6}	0.057	0.171	7.27×10^{-6}	0.010
	Baños – Sinincay	0.408	5.06×10^{-5}	0.039	1.992	1.27×10^{-5}	0.044	0.217	4.11×10^{-6}	0.012
3	Sinincay – Baños	0.612	2.01×10^{-4}	0.051	2.016	1.31×10^{-5}	0.054	0.506	2.84×10^{-5}	0.019
	Baños – Sinincay	0.945	2.36×10^{-5}	0.051	1.986	1×10^{-5}	0.042	0.441	1.03×10^{-5}	0.019
4	Sinincay – Baños	0.059	7.35×10^{-5}	0.035	1.724	2.64×10^{-6}	0.054	0.057	4.19×10^{-7}	0.019
	Baños – Sinincay	0.913	3.61×10^{-5}	0.053	1.241	1.22×10^{-4}	0.055	0.198	1.69×10^{-6}	0.011

Fuente: Autor

Tabla 13. Niveles de confort en la ruta Sinincay – Baños

Rec	Ruta	Confort Eje X			Confort Eje Y			Confort Eje Z		

		Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$
1	Sinincay – Baños	0.564	3.43×10^{-5}	0.038	2.08	4.47×10^{-5}	0.043	0.627	7.04×10^{-5}	0.021
2	Sinincay – Baños	0.520	1.47×10^{-4}	0.055	1.313	1.45×10^{-6}	0.057	0.171	7.27×10^{-6}	0.010
3	Sinincay – Baños	0.612	2.01×10^{-4}	0.051	2.016	1.31×10^{-5}	0.054	0.506	2.84×10^{-5}	0.019
4	Sinincay – Baño	0.059	7.35×10^{-5}	0.035	1.724	2.64×10^{-6}	0.054	0.057	4.19×10^{-7}	0.019

Fuente: Autor

Tabla 14. Niveles de confort en la ruta Baños – Sinincay

Recorrido	Ruta	Confort Eje X			Confort Eje Y			Confort Eje Z		
		Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$
1	Baños – Sinincay	0.539	1.02×10^{-4}	0.04	1.234	5×10^{-6}	0.057	0.660	7.29×10^{-6}	0.020
2	Baños – Sinincay	0.408	5.06×10^{-5}	0.039	1.992	1.27×10^{-5}	0.044	0.217	4.11×10^{-6}	0.012
3	Baños – Sinincay	0.945	2.36×10^{-5}	0.051	1.986	1×10^{-5}	0.042	0.441	1.03×10^{-5}	0.019
4	Baños – Sinincay	0.913	3.61×10^{-5}	0.053	1.241	1.22×10^{-4}	0.055	0.198	1.69×10^{-6}	0.011

Fuente: Autor

En la Figura 16 se muestra el nivel de confort en la ruta Sinincay – Baños.

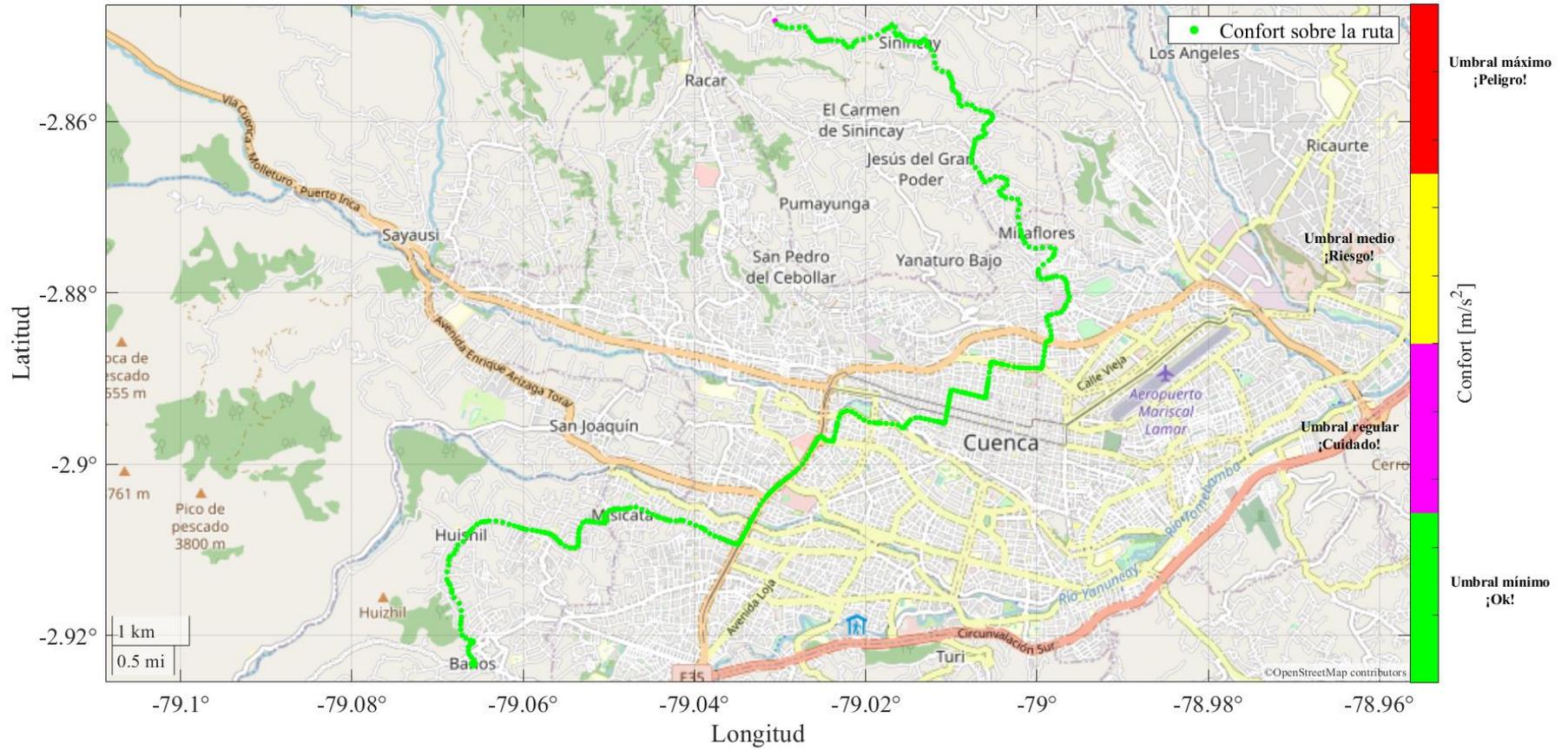


Figura 16. Niveles de confort en la ruta Sinincay – Baños.
Fuente: Autor

En la Figura 17 se muestra el nivel de confort en la ruta Baños – Sinincay.

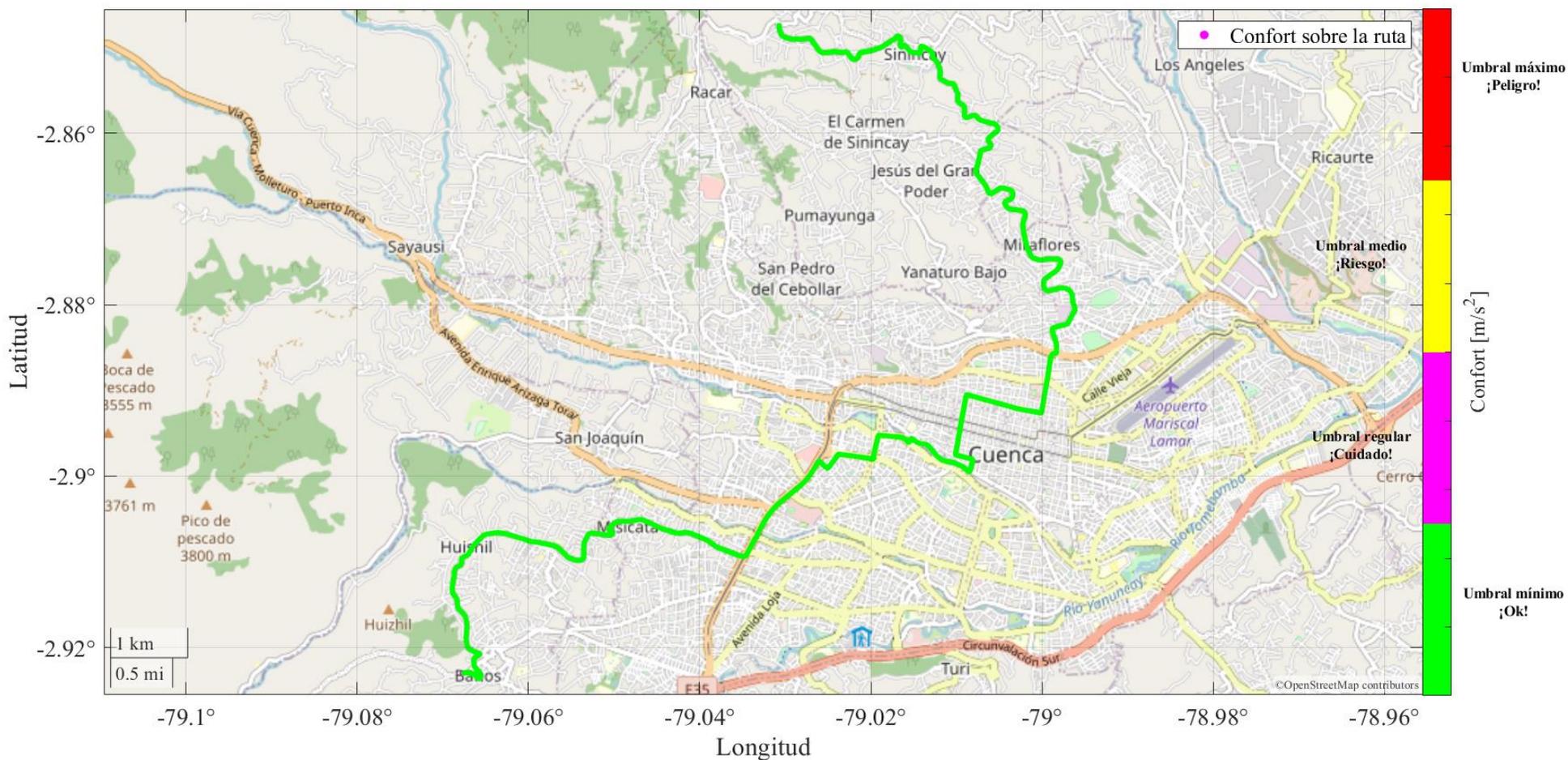


Figura 17. Niveles de confort en la ruta Baños – Sinincay.
Fuente: Autor

6.2. Línea 16 Ruta San Pedro – Hospital del Río – San Pedro

En la Tabla 15, se muestran los resultados obtenidos en la ruta: San Pedro – Hospital del Río – San Pedro clasificadas por el número de vueltas recorridas.

El cálculo se realiza empleando el método propuesto por la normativa ISO–2631, para calcular las aceleraciones ponderadas en los ejes ortogonales de medición, y posteriormente calcular el nivel de confort máximo del trayecto, el nivel de confort mínimo y el nivel de confort promedio.

La percepción del confort según los datos expuestos en las tablas de resultados presentadas indica que en la mayor parte del trayecto no supera valores superiores a $0.315 m/s^2$, ingresando dentro del rango de sensación para los pasajeros mostrado en la Tabla 6, siendo catalogado como *un viaje no molesto*, mientras que en zonas donde las aceleraciones superan los valores superiores a $0,5m/s^2$ & $0,8m/s^2$ son catalogados como percepciones: *algo molesta* y *molesta* respectivamente.

En la Tabla 16 se puede visualizar los resultados por cada recorrido en la ruta: San Pedro – Hospital del Río.

En la Tabla 17 se puede visualizar los resultados por cada recorrido en la ruta: Hospital del Río – San Pedro

Tabla 15: Niveles de confort en la ruta San Pedro – Hospital del Río – San Pedro

Vuelta	Ruta	Confort Eje X			Confort Eje Y			Confort Eje Z		
		Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$
1	San Pedro – Hospital del Río	0.573	8.66×10^{-6}	0.041	1.937	4.02×10^{-5}	0.045	0.430	1.77×10^{-6}	0.022
	Hospital del Río – San Pedro	1.534	3.02×10^{-5}	0.056	1.928	1.56×10^{-5}	0.045	0.660	7.29×10^{-6}	0.020
2	San Pedro – Hospital del Río	0.473	1.02×10^{-5}	0.044	1.904	3.72×10^{-6}	0.045	0.227	4.77×10^{-11}	0.011
	Hospital del Río – San Pedro	0.623	7.79×10^{-5}	0.061	1.496	1.04×10^{-4}	0.061	0.262	9.74×10^{-6}	0.012
3	San Pedro – Hospital del Río	0.386	5.12×10^{-5}	0.039	1.777	4.31×10^{-5}	0.057	0.433	5.50×10^{-6}	0.021
	Hospital del Río – San Pedro	0.388	1.52×10^{-6}	0.040	1.083	2.49×10^{-5}	0.058	0.612	8.10×10^{-7}	0.023
4	San Pedro – Hospital del Río	0.651	2.21×10^{-6}	0.050	2.020	4.51×10^{-5}	0.045	0.634	1.32×10^{-5}	0.019
	Hospital del Río – San Pedro	0.431	4.82×10^{-6}	0.041	1.961	7.22×10^{-6}	0.044	0.617	5.97×10^{-6}	0.024

Fuente: Autor

Tabla 16. Niveles de confort en la ruta San Pedro – Hospital del Río

Reco rrido	Ruta	Confort Eje X			Confort Eje Y			Confort Eje Z		

		Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$
1	San Pedro – Hospital del Río	0.573	8.66×10^{-6}	0.041	1.937	4.02×10^{-5}	0.045	0.430	1.77×10^{-6}	0.022
2	San Pedro – Hospital del Río	0.473	1.02×10^{-5}	0.044	1.904	3.72×10^{-6}	0.045	0.227	4.77×10^{-11}	0.011
3	San Pedro – Hospital del Río	0.386	5.12×10^{-5}	0.039	1.777	4.31×10^{-5}	0.057	0.433	5.50×10^{-6}	0.021
4	San Pedro – Hospital del Río	0.651	2.21×10^{-6}	0.050	2.020	4.51×10^{-5}	0.045	0.634	1.32×10^{-5}	0.019

Fuente: Autor

Tabla 17. Niveles de confort en la ruta Hospital del Río – San Pedro

Recorrido	Ruta	Confort Eje X			Confort Eje Y			Confort Eje Z		
		Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$
1	Hospital del Río – San Pedro	1.534	3.02×10^{-5}	0.056	1.928	1.56×10^{-5}	0.045	0.660	7.29×10^{-6}	0.020
2	Hospital del Río – San Pedro	0.623	7.79×10^{-5}	0.061	1.496	1.04×10^{-4}	0.061	0.262	9.74×10^{-6}	0.012
3	Hospital del Río – San Pedro	0.388	1.52×10^{-6}	0.040	1.083	2.49×10^{-5}	0.058	0.612	8.10×10^{-7}	0.023
4	Hospital del Río – San Pedro	0.431	4.82×10^{-6}	0.041	1.961	7.22×10^{-6}	0.044	0.617	5.97×10^{-6}	0.024

Fuente: Autor

En la Figura 18 se muestra el nivel de confort en la ruta San Pedro – Hospital del Río

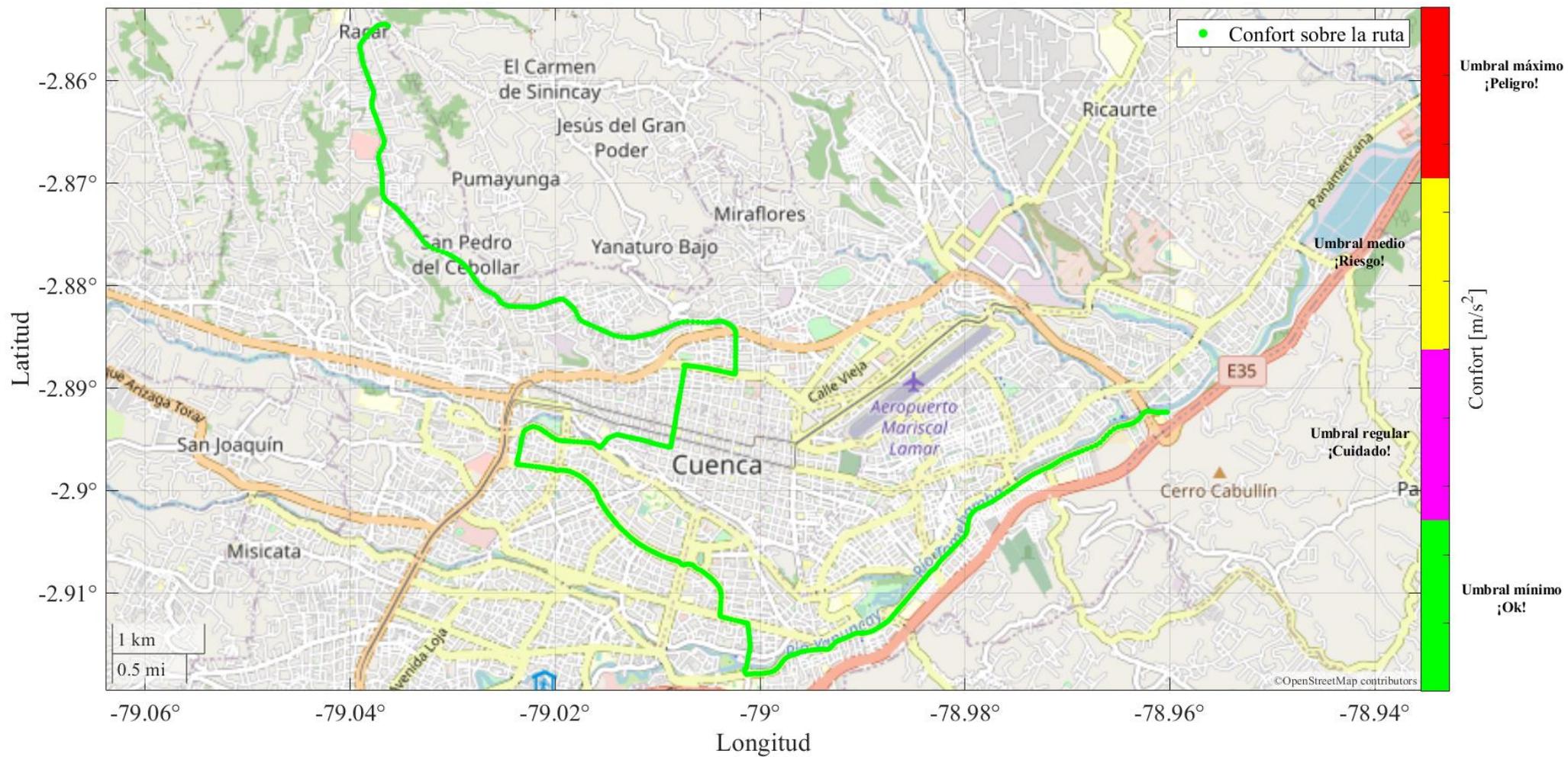


Figura 18. Niveles de confort en la ruta San Pedro – Hospital del Río.
Fuente: Autor

En la Figura 19 se muestra el nivel de confort en la ruta Hospital del Río – San Pedro

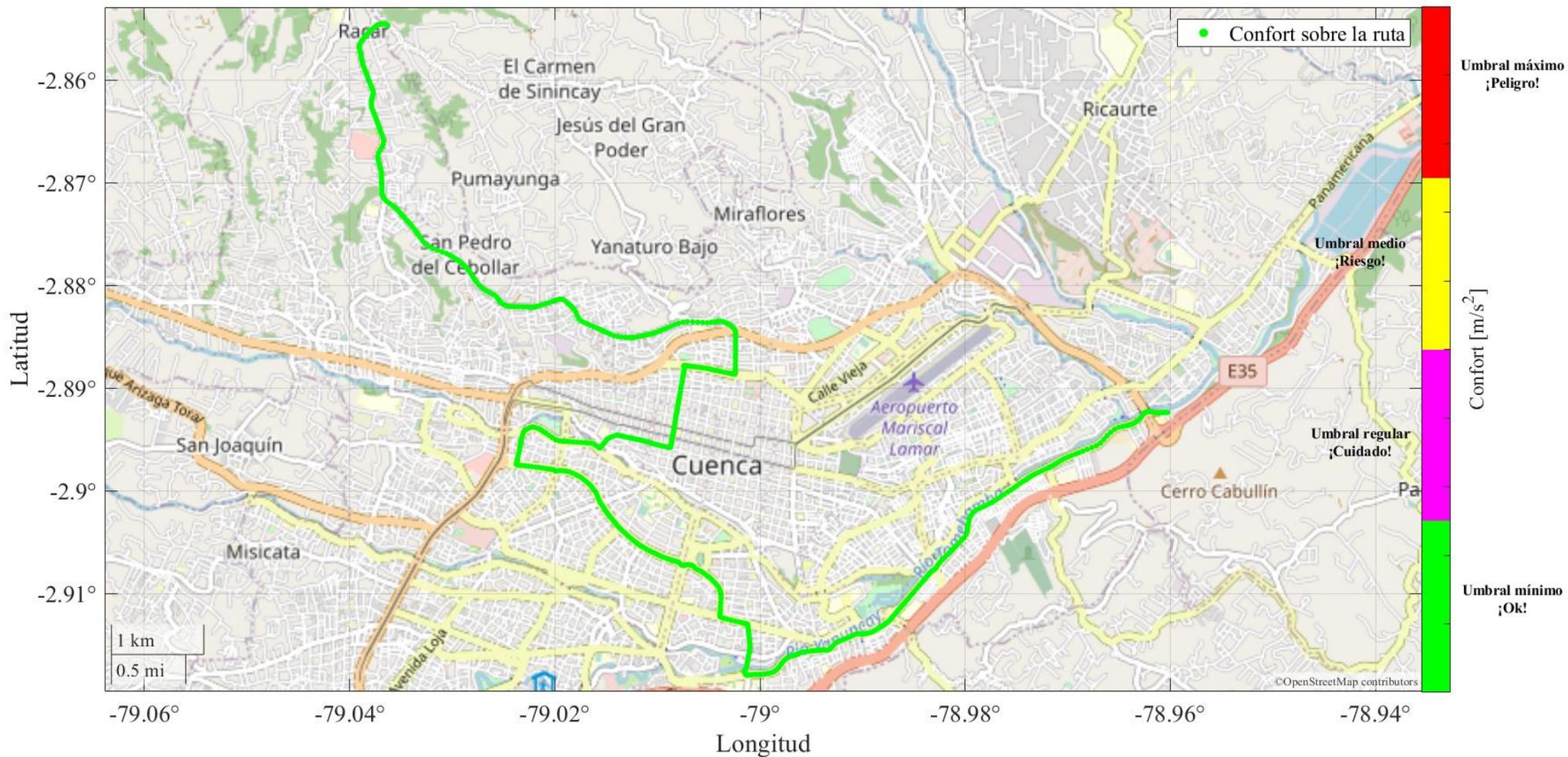


Figura 19. Niveles de confort en la ruta Hospital del Río – San Pedro.
Fuente: Autor

6.3. Línea 28 Ruta Feria Libre – Llaqueo – Feria Libre

En la Tabla 18, se muestran los resultados obtenidos en la ruta: Feria Libre – Llaqueo – Feria Libre clasificadas por el número de vueltas recorridas.

El cálculo se realiza empleando el método propuesto por la normativa ISO-2631, para calcular las aceleraciones ponderadas en los ejes ortogonales de medición, y posteriormente calcular el nivel de confort máximo del trayecto, el nivel de confort mínimo y el nivel de confort promedio.

La percepción del confort según los datos expuestos en las tablas de resultados presentadas indica que en la mayor parte del trayecto no supera valores superiores a $0.315 m/s^2$, ingresando dentro del rango de sensación para los pasajeros mostrado en la Tabla 6, siendo catalogado como *un viaje no molesto*, mientras que en zonas donde las aceleraciones superan los valores superiores a $0,5m/s^2$ & $0,8m/s^2$ son catalogados como percepciones: *algo molesta* y *molesta* respectivamente.

En la Tabla 19 se puede visualizar los resultados por cada recorrido en la ruta: Feria Libre – Llaqueo.

En la Tabla 20 se puede visualizar los resultados por cada recorrido en la ruta: Llaqueo – Feria Libre.

Tabla 18: Niveles de confort en la ruta Feria Libre – Llaqueo – Feria Libre.

Vuelta	Ruta	Confort Eje X			Confort Eje Y			Confort Eje Z		
		Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$
1	Feria Libre – Llaqueo	0.423	1.12×10^{-5}	0.044	1.949	1.02×10^{-4}	0.046	0.186	2.45×10^{-5}	0.012
	Llaqueo – Feria Libre	0.382	9.48×10^{-7}	0.038	1.928	1.56×10^{-5}	0.045	0.660	7.29×10^{-6}	0.020
2	Feria Libre – Llaqueo	0.623	7.95×10^{-7}	0.042	1.413	1.13×10^{-4}	0.095	1.042	4.04×10^{-7}	0.071
	Llaqueo – Feria Libre	0.804	1.73×10^{-6}	0.014	1.761	4.21×10^{-6}	0.033	0.896	1.23×10^{-5}	0.013
3	Feria Libre – Llaqueo	0.354	3.45×10^{-9}	0.041	1.377	1.1×10^{-4}	0.010	0.600	6.20×10^{-4}	0.094
	Llaqueo – Feria Libre	0.567	1.17×10^{-6}	0.015	2.33	1.03×10^{-4}	0.040	0.906	1.65×10^{-5}	0.014
4	Feria Libre – Llaqueo	0.810	4.92×10^{-5}	0.043	1.966	3.79×10^{-5}	0.041	0.330	3.74×10^{-6}	0.011
	Llaqueo – Feria Libre	0.205	2.36×10^{-6}	3.87×10^{-3}	1.559	1.42×10^{-5}	0.011	0.663	3.84×10^{-5}	0.024

Fuente: Autor

Tabla 19. Niveles de confort en la ruta Feria Libre – Llacao

Recorrido	Ruta	Confort Eje X			Confort Eje Y			Confort Eje Z		
		Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$
1	Feria Libre – Llacao	0.423	1.12×10^{-5}	0.044	1.949	1.02×10^{-4}	0.046	0.186	2.45×10^{-5}	0.012
2	Feria Libre – Llacao	0.623	7.95×10^{-7}	0.042	1.413	1.13×10^{-4}	0.095	1.042	4.04×10^{-7}	0.071
3	Feria Libre – Llacao	0.354	3.45×10^{-9}	0.041	1.377	1.1×10^{-4}	0.010	0.600	6.20×10^{-4}	0.094
4	Feria Libre – Llacao	0.810	4.92×10^{-5}	0.043	1.966	3.79×10^{-5}	0.041	0.330	3.74×10^{-6}	0.011

Fuente: Autor

Tabla 20. Niveles de confort en la ruta Llacao – Feria Libre

Recorrido	Ruta	Confort Eje X			Confort Eje Y			Confort Eje Z		
		Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$
1	Llacao – Feria Libre	0.382	9.48×10^{-7}	0.038	1.928	1.56×10^{-5}	0.045	0.660	7.29×10^{-6}	0.020
2	Llacao – Feria Libre	0.804	1.73×10^{-6}	0.014	1.761	4.21×10^{-6}	0.033	0.896	1.23×10^{-5}	0.013
3	Llacao – Feria Libre	0.567	1.17×10^{-6}	0.015	2.33	1.03×10^{-4}	0.040	0.906	1.65×10^{-5}	0.014
4	Llacao – Feria Libre	0.205	2.36×10^{-6}	3.87×10^{-3}	1.559	1.42×10^{-5}	0.011	0.663	3.84×10^{-5}	0.024

Fuente: Autor

En la Figura 20 se muestra el nivel de confort en la ruta Feria Libre – Llaqueo

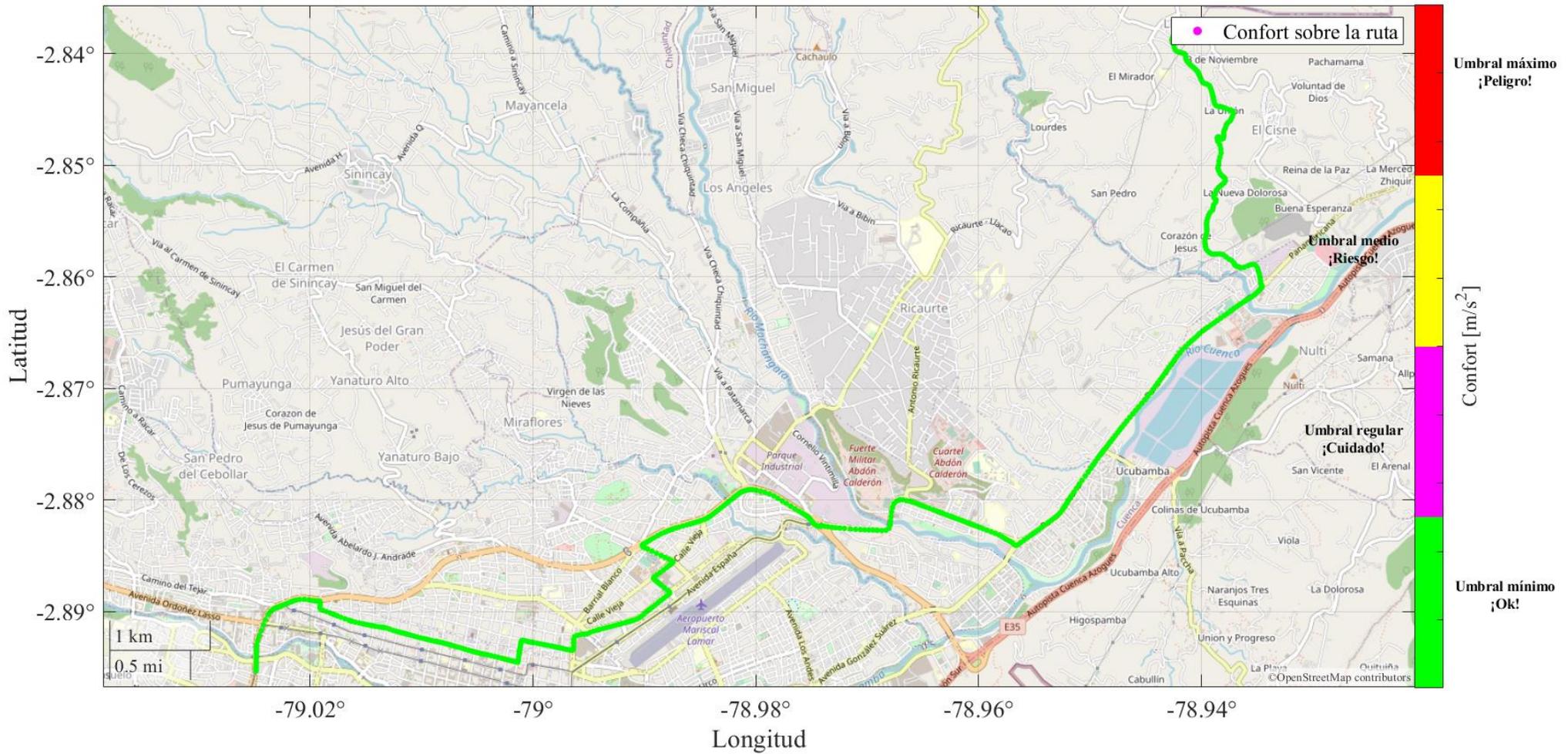


Figura 20. Niveles de confort en la ruta Feria Libre – Llaqueo.
Fuente: Autor

En la Figura 21 se muestra el nivel de confort en la ruta Llaqueo – Feria Libre

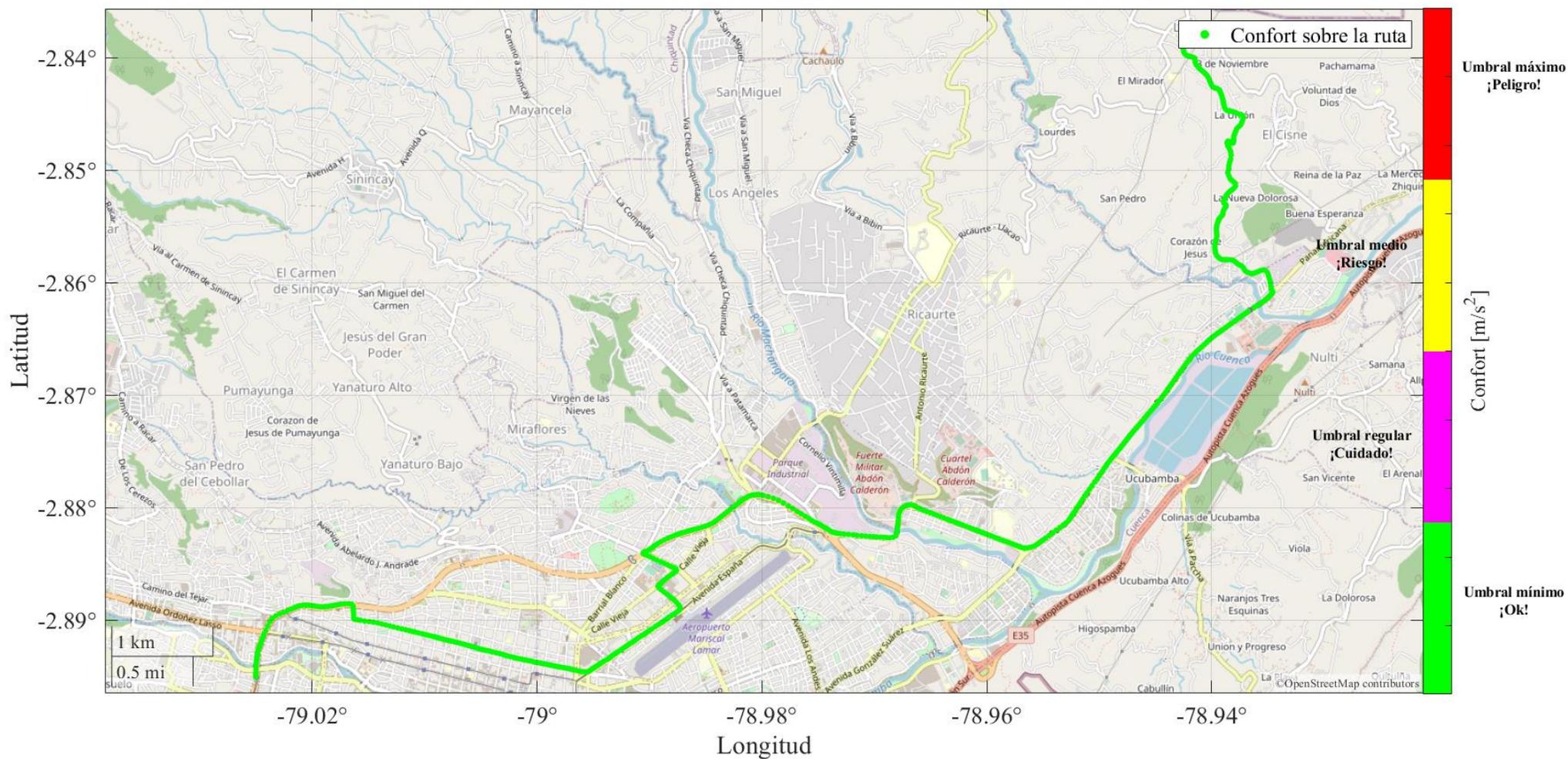


Figura 21. Niveles de confort en la ruta Llaqueo –Feria Libre.
Fuente: Autor

6.4. Línea 100 Ruta Ricaurte – Baños – Ricaurte

En la Tabla 21, se muestran los resultados obtenidos en la ruta: Ricaurte – Baños – Ricaurte clasificadas por el número de vueltas recorridas.

El cálculo se realiza empleando el método propuesto por la normativa ISO-2631, para calcular las aceleraciones ponderadas en los ejes ortogonales de medición, y posteriormente calcular el nivel de confort máximo del trayecto, el nivel de confort mínimo y el nivel de confort promedio.

La percepción del confort según los datos expuestos en las tablas de resultados presentadas indica que en la mayor parte del trayecto no supera valores superiores a $0.315 m/s^2$, ingresando dentro del rango de sensación para los pasajeros mostrado en la Tabla 6, siendo catalogado como un viaje *no molesto*, mientras que en zonas donde las aceleraciones superan los valores superiores a $0,5m/s^2$ & $0,8m/s^2$ son catalogados como percepciones: *algo molesta* y *molesta* respectivamente.

En la Tabla 22 se puede visualizar los resultados por cada recorrido en la ruta: Ricaurte – Baños.

En la Tabla 23 se puede visualizar los resultados por cada recorrido en la ruta: Baños – Ricaurte

Tabla 21: Niveles de confort en la ruta Ricaurte – Baños – Ricaurte

Vuelta	Ruta	Confort Eje X			Confort Eje Y			Confort Eje Z		
		Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$
1	Ricaurte – Baños	1.169	7.39×10^{-5}	0.064	1.417	6×10^{-5}	0.067	0.750	3.56×10^{-5}	0.025
	Baños – Ricaurte	0.644	2.90×10^{-5}	0.037	1.625	4.45×10^{-5}	0.064	0.151	3.18×10^{-13}	0.011
2	Ricaurte – Baños	1.160	4.69×10^{-6}	0.052	1.985	1.29×10^{-5}	0.046	0.345	8.91×10^{-6}	0.011
	Baños – Ricaurte	0.59	9.7×10^{-6}	0.043	1.611	1.1×10^{-4}	0.058	0.238	2.59×10^{-10}	0.011
3	Ricaurte – Baños	1.093	9.48×10^{-5}	0.057	2.182	2.46×10^{-5}	0.046	0.787	1.6×10^{-5}	0.023
	Baños – Ricaurte	0.650	2.89×10^{-6}	0.039	1.887	1.6×10^{-5}	0.041	0.350	2.87×10^{-5}	0.022
4	Ricaurte – Baños	0.810	4.93×10^{-5}	0.043	1.965	3.79×10^{-5}	0.041	0.331	3.74×10^{-6}	0.011
	Baños – Ricaurte	0.508	1.08×10^{-4}	0.042	1.397	3.74×10^{-5}	0.061	0.165	3.81×10^{-6}	0.010

Fuente: Autor

Tabla 22. Niveles de confort en la ruta Ricaurte – Baños

Recorrido	Ruta	Confort Eje X			Confort Eje Y			Confort Eje Z		
		Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$
1	Ricaurte – Baños	1.169	7.39×10^{-5}	0.064	1.417	6×10^{-5}	0.067	0.750	3.56×10^{-5}	0.025
2	Ricaurte – Baños	1.160	4.69×10^{-6}	0.052	1.985	1.29×10^{-5}	0.046	0.345	8.91×10^{-6}	0.011
3	Ricaurte – Baños	1.093	9.48×10^{-5}	0.057	2.182	2.46×10^{-5}	0.046	0.787	1.6×10^{-5}	0.023
4	Ricaurte – Baños	0.810	4.93×10^{-5}	0.043	1.965	3.79×10^{-5}	0.041	0.331	3.74×10^{-6}	0.011

Fuente: Autor

Tabla 23. Niveles de confort en la ruta Baños – Ricaurte

Recorrido	Ruta	Confort Eje X			Confort Eje Y			Confort Eje Z		
		Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$
1	Baños – Ricaurte	0.644	2.90×10^{-5}	0.037	1.625	4.45×10^{-5}	0.064	0.151	3.18×10^{-13}	0.011
2	Baños – Ricaurte	0.59	9.7×10^{-6}	0.043	1.611	1.1×10^{-4}	0.058	0.238	2.59×10^{-10}	0.011
3	Baños – Ricaurte	0.650	2.89×10^{-6}	0.039	1.887	1.6×10^{-5}	0.041	0.350	2.87×10^{-5}	0.022
4	Baños – Ricaurte	0.508	1.08×10^{-4}	0.042	1.397	3.74×10^{-5}	0.061	0.165	3.81×10^{-6}	0.010

Fuente: Autor

En la Figura 22 se muestra el nivel de confort en la ruta Ricaurte – Baños

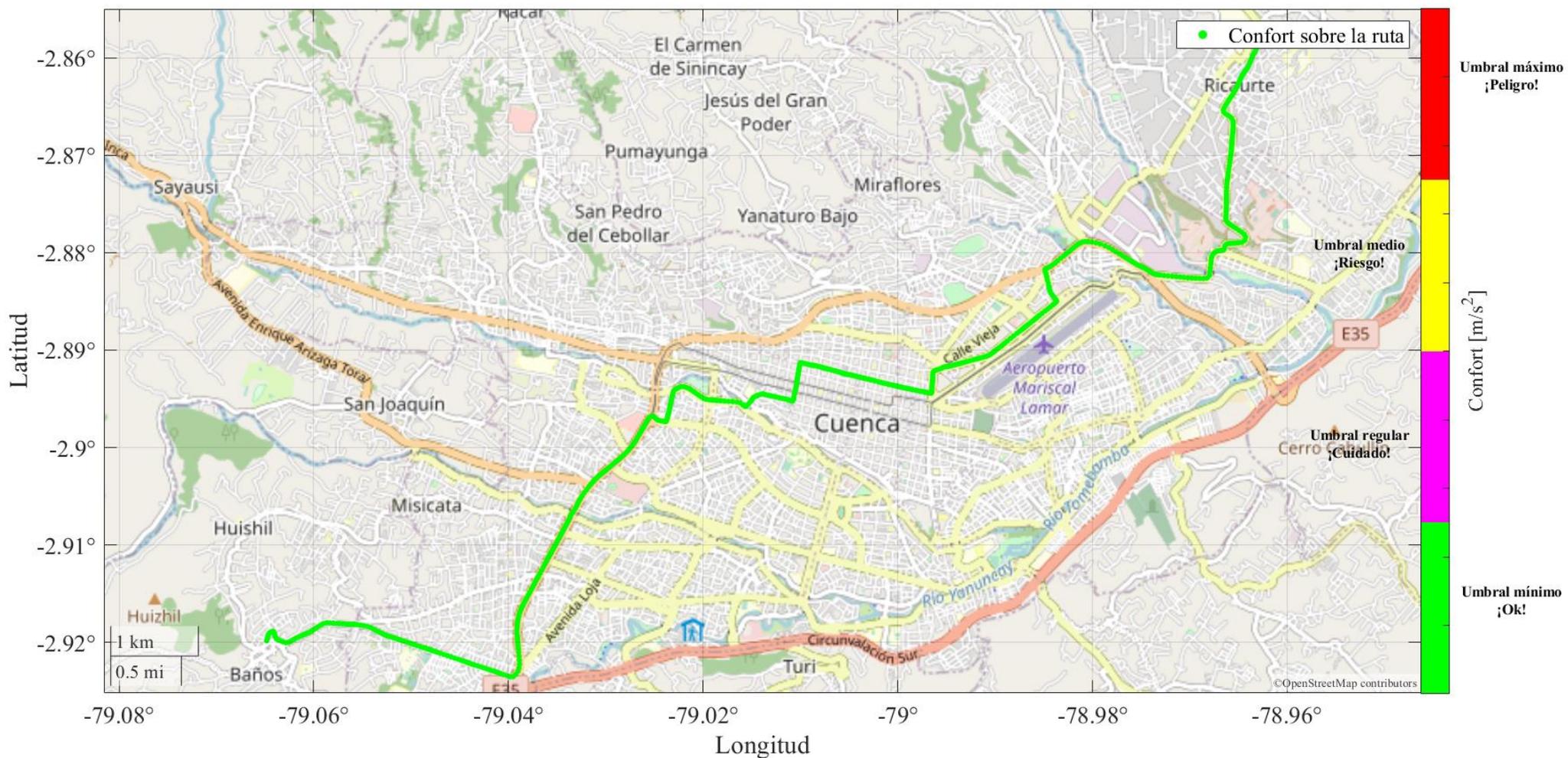


Figura 22. Niveles de confort en la ruta Ricaurte –Baños
Fuente: Autor

En la Figura 23 se muestra el nivel de confort en la ruta Baños – Ricaurte

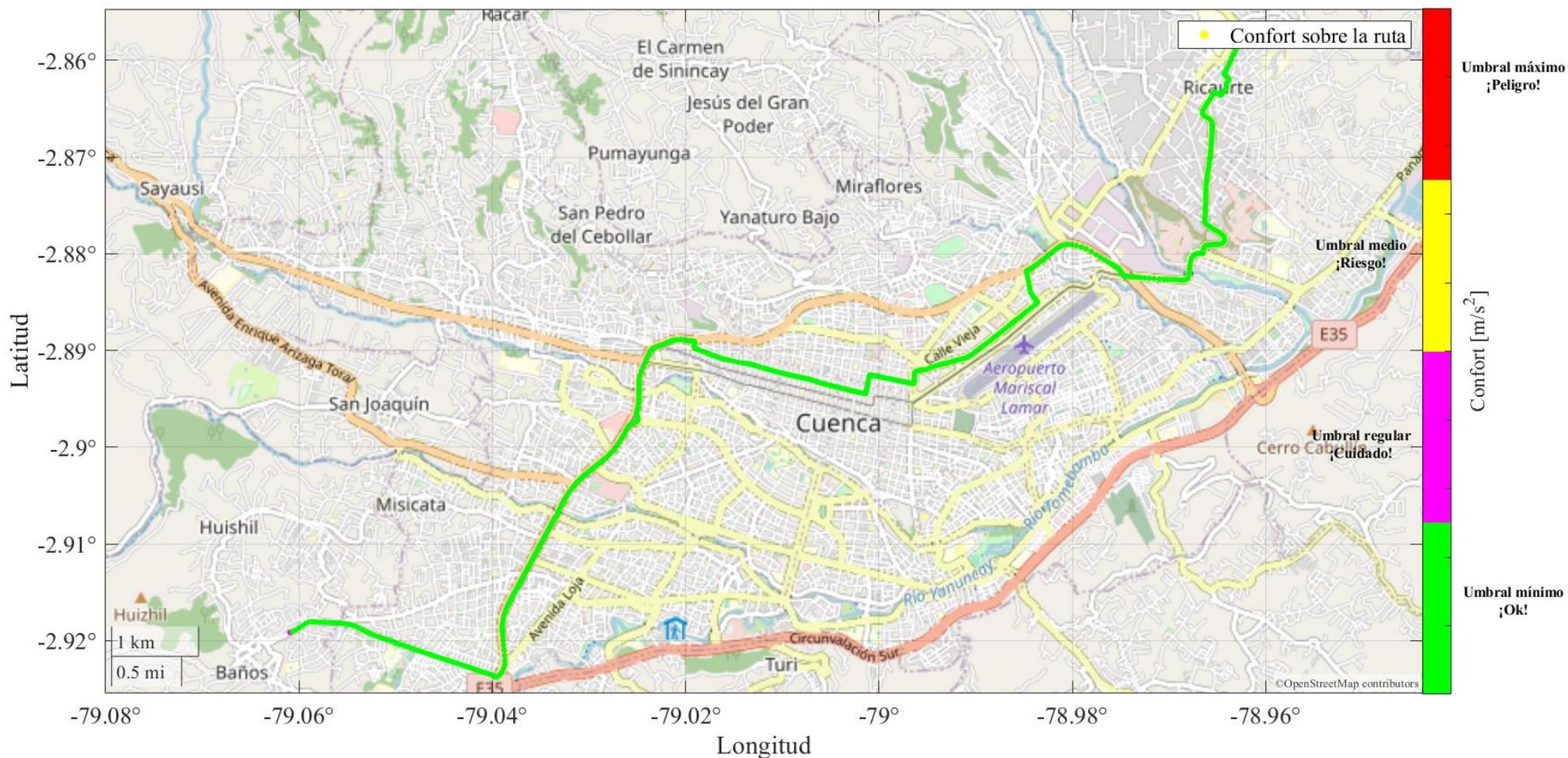


Figura 23. Niveles de confort en la ruta Baños – Ricaurte.
Fuente: Autor

6.5. Línea 13 Ruta IESS – Mutualista Azuay II – IESS

En la Tabla 24, se muestran los resultados obtenidos en la ruta: IESS – Mutualista Azuay II – IESS clasificadas por el número de vueltas recorridas.

El cálculo se realiza empleando el método propuesto por la normativa ISO–2631, para calcular las aceleraciones ponderadas en los ejes ortogonales de medición, y posteriormente calcular el nivel de confort máximo del trayecto, el nivel de confort mínimo y el nivel de confort promedio.

La percepción del confort según los datos expuestos en las tablas de resultados presentadas indica que en la mayor parte del trayecto no supera valores superiores a $0.315 m/s^2$, ingresando dentro del rango de sensación para los pasajeros mostrado en la Tabla 6, siendo catalogado como *un viaje no molesto*, mientras que en zonas donde las aceleraciones superan los valores superiores a $0,5m/s^2$ & $0,8m/s^2$ son catalogados como percepciones: *algo molesta* y *molesta* respectivamente.

En la Tabla 25 se puede visualizar los resultados por cada recorrido en la ruta: Ruta IESS – Mutualista Azuay II.

En la Tabla 26 se puede visualizar los resultados por cada recorrido en la ruta: Mutualista Azuay II – IESS

Tabla 24: Niveles de confort en la ruta IESS – Mutualista Azuay II – IESS

Vuelta	Ruta	Confort Eje X			Confort Eje Y			Confort Eje Z		
		Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$
1	IESS – Mutualista Azuay II	0.469	4.43×10^{-5}	0.045	1.33	1.74×10^{-5}	0.062	0.214	2.01×10^{-6}	0.012
	Mutualista Azuay II – IESS	0.071	7.46×10^{-5}	0.059	1.426	3.19×10^{-4}	0.059	0.387	1.33×10^{-4}	0.024
3	IESS – Mutualista Azuay II	0.434	1.53×10^{-5}	0.040	1.523	3.87×10^{-5}	0.053	0.335	2.58×10^{-5}	0.020
	Mutualista Azuay II – IESS	1.226	1.48×10^{-4}	0.057	1.205	1.98×10^{-4}	0.0458	0.668	4.18×10^{-5}	0.023

Fuente: Autor

Tabla 25. Niveles de confort en la ruta IESS – Mutualista Azuay II

Recorrido	Ruta	Confort Eje X			Confort Eje Y			Confort Eje Z		
		Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$
1	IESS – Mutualista Azuay II	0.469	4.43×10^{-5}	0.045	1.33	1.74×10^{-5}	0.062	0.214	2.01×10^{-6}	0.012
3	IESS – Mutualista Azuay II	0.434	1.53×10^{-5}	0.040	1.523	3.87×10^{-5}	0.053	0.335	2.58×10^{-5}	0.020

Fuente: Autor

Tabla 26. Niveles de confort en la ruta Mutualista Azuay II – IESS

Recorrido	Ruta	Confort Eje X			Confort Eje Y			Confort Eje Z		
		Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Máxima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Mínima $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Promedio $\left[\frac{m}{s^2}\right]$
1	Mutualista Azuay II – IESS	0.071	7.46×10^{-5}	0.059	1.426	3.19×10^{-4}	0.059	0.387	1.33×10^{-4}	0.024
3	Mutualista Azuay II – IESS	1.226	1.48×10^{-4}	0.057	1.205	1.98×10^{-4}	0.0458	0.668	4.18×10^{-5}	0.023

Fuente: Autor

En la Figura 24 se muestra el nivel de confort en la ruta IESS – Mutualista Azuay II

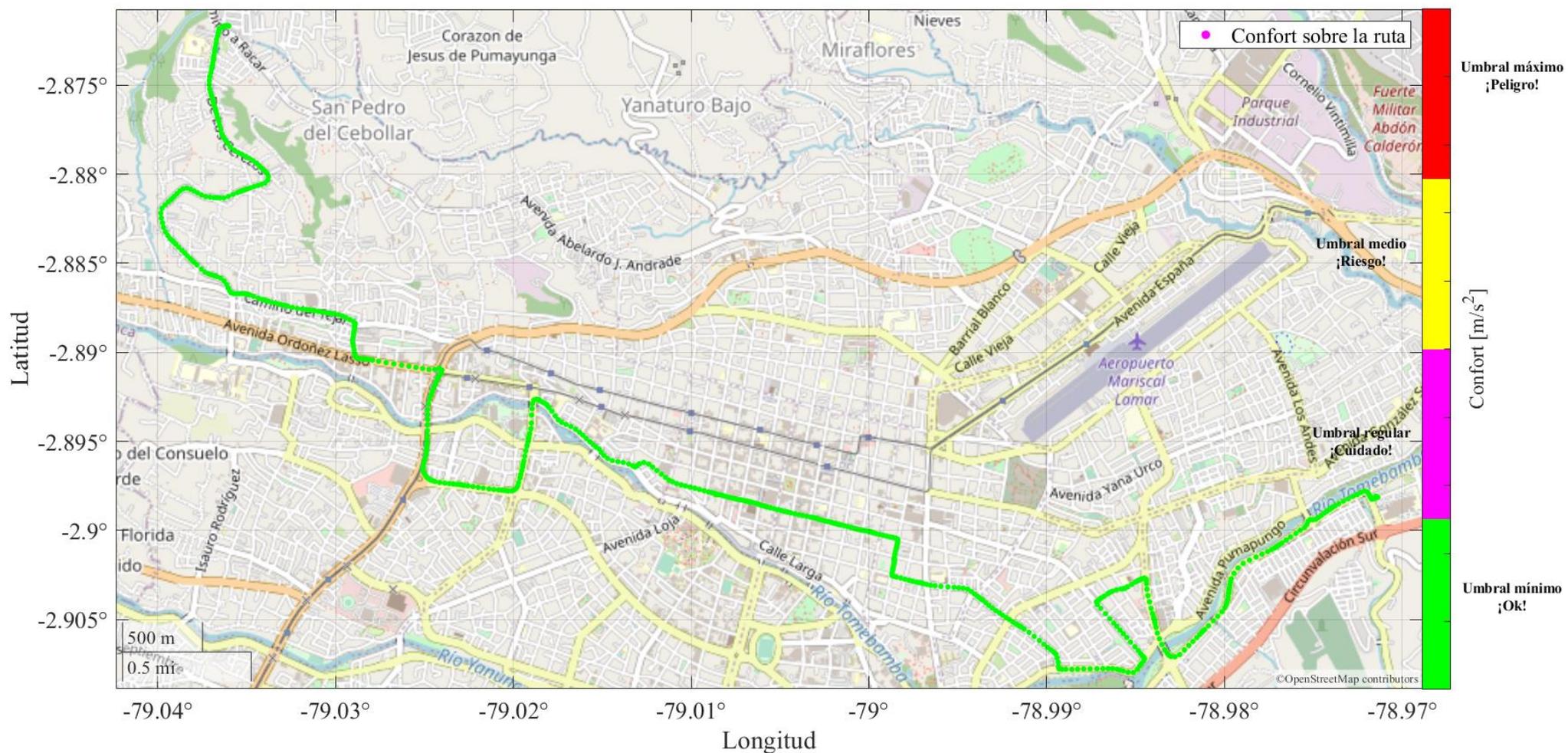


Figura 24. Niveles de confort en la ruta IESS – Mutualista Azuay II.
Fuente: Autor

En la Figura 25 se muestra el nivel de confort en la ruta Mutualista Azuay II – IESS

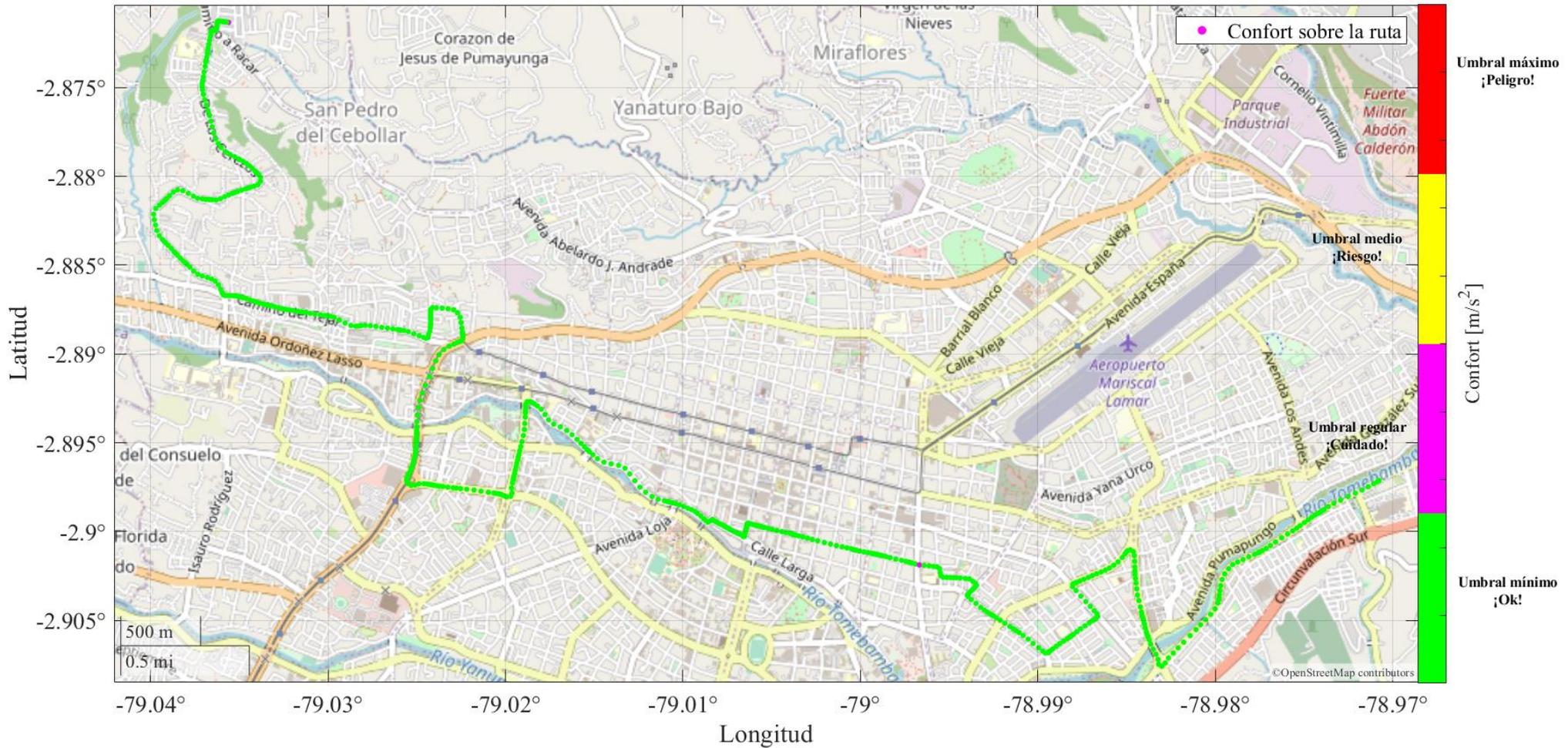


Figura 25. Niveles de confort en la ruta Mutualista Azuay II – IESS.
Fuente: Autor

7. CONCLUSIONES

El análisis del confort propuesto en la norma ISO–2631 en conjunción con el análisis detallado, en el apartado 6 para cada línea indica que en zonas específicas del centro histórico existen zonas que superan el nivel de confort aceptable para el ser humano, tal como lo detalla la norma, percibiéndose dentro de un rango que superan los valores superiores a $0,5m/s^2$ & $0,8m/s^2$ y se catalogan como percepciones: *algo molesta* y *molesta* respectivamente

Para llevar a cabo este estudio, se creó una base de datos seleccionando las rutas con la mayor cantidad de pasajeros en el transporte urbano de la ciudad de Cuenca. Se registraron 40 viajes, cubriendo una distancia total de 751,97 km y con una duración de conducción y recopilación de datos de 42 horas.

Los niveles de vibración obtenidos a través de las mediciones en las unidades de transporte seleccionadas no son suficientes para generalizar los efectos que podrían provocar en las personas expuestas. Existen diversos factores que influyen en esta consideración, como la condición física, el estado de ánimo, la edad, la dirección de las vibraciones, entre otros.

Los resultados de la estimación se examinaron en diversas situaciones de conducción. En términos generales, utilizando la normativa ISO-2631, se demostró de manera concluyente que es posible estimar de manera confiable los distintos niveles de confort mediante el uso de una IMU de bajo costo en combinación con los filtros presentados. Además, durante una prueba de manejo a largo plazo, las estimaciones mostraron ser reproducibles y no presentaron desviaciones significativas.

8. RECOMENDACIONES

Para que la cantidad de satélites visibles sea mayor para el dispositivo GPS, se debe procurar adquirir los datos en días totalmente despejados, aumentando así la fidelidad de las medidas. El dispositivo GPS modelo M8030 cumple con la adquisición de los satélites mínimos requeridos en días con malas condiciones atmosféricas.

La precisión de la estimación de los Niveles de confort cambia con la velocidad horizontal y lateral del vehículo, por lo tanto, se recomienda que durante la adquisición de datos se emplee el ciclo de conducción urbano especialmente durante el recorrido por un viario rápido, o autopistas además el dispositivo de adquisición de datos debe estar sujetado firmemente en el piso o en el lugar de la medición realizada.

9. TRABAJOS FUTUROS.

Basándonos en las conclusiones presentadas, algunos trabajos futuros podrían incluir:

Estudio más amplio sobre percepciones y factores de influencia: Se podría llevar a cabo una investigación más extensa para comprender en detalle cómo diferentes factores, como la condición física, el estado de ánimo y la edad, influyen en la percepción del confort en situaciones de transporte urbano. Esto podría proporcionar información valiosa para diseñar estrategias específicas de mejora.

Ampliación de la base de datos y variación de rutas: Aumentar el tamaño de la base de datos y considerar una mayor variación en las rutas seleccionadas podría ofrecer una visión más completa de los niveles de vibración en diversas condiciones. Esto permitiría generalizar de manera más precisa los resultados a un contexto más amplio.

Integración de factores adicionales en el análisis: Considerar factores adicionales, como las condiciones climáticas o el tipo de pavimento, en el análisis de confort podría proporcionar una comprensión más completa de los elementos que contribuyen a la experiencia de viaje y permitir mejoras más específicas.

10. BIBLIOGRAFÍA

Antón Zubiaga, I. (8 de Enero de 2021). *PRECISIÓN GPS+GLONASS o GNSS en un GPS*

Garmin. Obtenido de Clubdelgps.com: <https://n9.cl/precisiongnss>

Arora, N., Graham, R. B., & Grenier, S. G. (2015). Effect of whole body vibration on the postural control of the spine in sitting. *Human Movement Science, 40*, 77-88.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.humov.2014.11.014>

Benaroya, H., Nagurka, M., & Han, S. (2017). *Mechanical Vibration: Analysis, Uncertainties, and Control* (Fourth ed.). Boca Raton, Florida: CRC Press.

doi:<https://doi.org/10.1201/9781420080575>

Bonnedahl, T. (2010). *Road slope estimation using a longitudinal accelerometer and Kalman filtering*. Department of Automatic Control. Lund, Suecia: Lund University. Retrieved from Lub.lu.se: <https://n9.cl/bonnedahl>

Bravomalo Bolaños, S. S. (2020). *Control del riesgo de vibraciones mecánicas en conductores de buses urbanos de la cooperativa 28 de Septiembre del cantón Ibarra basado en la NTE INEN ISO-2631*. Universidad Técnica del Norte. Ibarra: UTN. Obtenido de

<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10777>

Cambridge University Press. (2021). *dongle*. Retrieved from Cambridge.org: <https://n9.cl/dongle>

- Chaffin, B. D., Andersson, G. B., & Martin, B. J. (2006). *Occupational Biomechanics* (4th ed.). Wiley-Interscience. Retrieved from <https://n9.cl/chaffin>
- Chen, S. H., & Wei, Y.-R. (2010, December 13-15). A Study on Speech Control Interface for Vehicle On-Board Diagnostic System. *Proceedings - 4th International Conference on Genetic and Evolutionary Computing, ICGEC*, 614-617. doi:10.1109/ICGEC.2010.157
- Cusco Quinde, D. I. (2023). *Diagramas y figuras*. Studio Cusco, Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Demoraes, F. (2006). Movilidad, elementos esenciales y riesgos en el distrito metropolitano de Quito. En *Estructura, organización y funcionamiento del sistema de transporte*. Quito: Institut français d'études andines. doi:10.4000/books.ifea.5116
- Dong, R. G., Welcome, D. E., & McDowell, T. W. (2012). Some important oversights in the assessment of whole-body vibration exposure based on ISO-2631-1. *Applied Ergonomics*, 43(1), 268-269. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2011.05.005>
- Dupuis, H., & Zerlett, G. (1986). The effects of whole-body vibration. In H. Dupuis, & G. Zerlett, *Chronic Effects of Whole-Body Vibration* (pp. 87-120). Springer Berlin, Heidelberg. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/978-3-642-71245-6>
- Enríquez Follaran, J. S., & Ormaza López, F. D. (2017). *Implementación de un módulo de control y almacenamiento de datos ON-BOARD para taxis*. Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas. Ibarra: Universidad Técnica del Norte. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/6325>
- Font Mezquita, J., & Dols Ruiz, J. F. (2006). *Tratado Sobre Automoviles: Dinámica del Automovil* (I ed., Vol. IV). Valencia: Universitat Politècnica de València.

- Gárate Montalvo, D. A. (2018). *Desarrollo de un algoritmo para la adquisición y almacenamiento de datos provenientes del sistema de diagnóstico a bordo OBD II*. Universidad Politécnica Salesiana, Ingeniería Mecánica Automotriz. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16587>
- Garrido Villén, N. (29 de Agosto de 2016). Obtenido de Receptores GNSS (GPS): <https://n9.cl/o9uae>
- GISGeography. (2018, December 18). *How GPS receivers work - trilateration vs triangulation - GIS geography*. Retrieved from Gisgeography.com: <https://n9.cl/ux9uj>
- Griffin, M. J. (1990). Whole-body Vibration and Health. En M. J. Griffin, *Handbook of Human Vibration* (págs. 171-220). London: Academic Press.
- Griffin, M. J. (2012). *Handbook of Human Vibration*. London: Academic Press.
- Guevara, B. J., & Sanchez-Guardamino, R. (s.f.). *Vibraciones de cuerpo entero*. Obtenido de insst.es: <https://n9.cl/z6b02>
- Holdener III, A. T. (2011). *HTML5 Geolocation*. (S. S. Laurent, Ed.) Sebastopol, CA 95472: O'Reilly Media. Retrieved from <https://n9.cl/u6lh9>
- Huang, S. (2021). *GPS Receiver for Arduino - UBX-M8030*. Retrieved May 25, 2021, from Freematics.com: <https://n9.cl/bh7es> & <https://n9.cl/arduinoodbtinygps>
- Huang, S. (2017, May 8). *stanleyhuangyc/ArduinoOBD*. Retrieved from github.com: <https://n9.cl/ppj2d>
- Huang, Stanley. (2021). *Freematics Packed Data Format*. Retrieved August 18, 2021, from Freematics.com: <https://n9.cl/ob7e7>

Huang, X. K., & Huang, S. (2021). *Freematics*. Retrieved August 19, 2021, from Freematics ONE
+: <https://freematics.com/products/freematics-one-plus/>

Ilustre Municipalidad de Cuenca. (2015). <https://www.cuenca.gob.ec>. Obtenido de
<https://www.cuenca.gob.ec>:
https://www.cuenca.gob.ec/system/files/Bases_para_nuevo%20modelo_de_transporte_publico_ult.pdf

Inman, D. J. (2014). *Engineering Vibration* (Fourth ed.). Upper Saddle River, New Jersey, United States of América: Pearson Education, Inc. Retrieved from
<https://n9.cl/inmandanielj>

Kuys, J., Melles, G., Al Mahmud, A., Thompson-Whiteside, S., & Kuys, B. (2022). Human Centred Design Considerations for the Development of Sustainable Public Transportation in Malaysia. *Applied Sciences*, 12(23), 12493.
doi:<http://dx.doi.org/10.3390/app122312493>

Leica Geosystems. (2021). *Introducción al Sistema GPS (Sistema de Posicionamiento Global)*. Suiza: Leica Geosystems AG. Obtenido de <http://coello.ujaen.es>: <https://n9.cl/vetgl>

Leonardo González, C. R. (2020). *Medición y análisis de la vibración en usuarios de transporte público de la ciudad de Toluca para verificar el cumplimiento con la norma ISO2631*. Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ingeniería. Toluca, Estado de México: Universidad Autónoma del Estado de México. Obtenido de
<http://hdl.handle.net/20.500.11799/110655>

Li, W., Zhang, M., Lv, G., Han, Q., Gao, Y., Wang, Y., . . . Li, Z. (2015). Biomechanical response of the musculoskeletal system to whole body vibration using a seated driver

model. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 45, 91-97.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.ergon.2014.12.006>.

Liu, C., & Griffin, M. J. (2018). Measuring vibration-induced variations in pressures between the human body and a seat. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 67, 274-282.

Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2018.05.006>

Llivicura Quezada, B. D., & Peñaloza Piña, A. L. (2021). *Análisis de la demanda energética para el recorrido de las líneas de buses con mayor afluencia de pasajeros de la ciudad de*

Cuenca. Universidad Politécnica Salesiana, Ingeniería Mecánica Automotriz. Cuenca:

Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de

<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21192>

López, P. (29 de Junio de 2020). *¿Qué es un archivo CSV y para qué sirve?* Obtenido de

www.geeknetic.es: <https://n9.cl/extensioncsv>

Magid, E. B., Coermann, R. R., & Ziegenruecker, G. H. (1960). Human tolerance to whole body sinusoidal vibration. Short-time, one-minute and three-minute studies. *Wright Air Development Center, Air Research and Development Command*,(31), 59-391, 1–13.

Mahanpoor, M., Monajjem, S., & Balali, V. (2019, March 19). Sustainable Highway

Maintenance: Optimization of Existing Highway Vertical Alignment Considering

Pavement Condition. *Sustainability*, 11(6). doi:<https://doi.org/10.3390/su11061659>

Matinez Sober, M., Serrano López, A. J., & Gómez Sanchis, J. (2010). *INTRODUCCIÓN. AL*

PROCESADO DIGITAL DE SEÑALES: Señales y sistemas en tiempo discreto. Obtenido

de [Ocw.uv.es](http://ocw.uv.es): <https://n9.cl/59m27>

Meléndez, K., Montes, D., Pereira, J., & Salcedo, Y. (21 de Mayo de 2013). *Historia del gps*.

Obtenido de Slideshare.net: <https://n9.cl/historiagps>

Minga González, M. A. (2022). *Autor*. (M. A. Minga González, Ed.) Cuenca, Azuay, Ecuador:

Universidad Politécnica Salesiana.

Minga González, M. A. (2022). *Algoritmo para la estimación de pendientes de la calzada*

mediante adquisición de datos por GPS. Universidad Politécnica Salesiana, Ingeniería

Mecánica Automotriz. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de

<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21929>

Morales Espinoza, J. E., & Rodríguez Fernández, G. M. (2020). *Estimación de las emisiones de*

NOx durante el arranque sobre pendientes mediante el estudio de señales PID'S en un

Chevrolet Aveo Family 1.5L para la determinación de su influencia en las emisiones

contaminantes en la ciudad de Cuenca. Universidad Politécnica Salesiana, Ingeniería

Mecánica Automotriz. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de

<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19618>

Osborne, D. (1977). Vibration and passenger comfort. *Applied Ergonomics*, VIII(2), 97-101.

doi:[https://doi.org/10.1016/0003-6870\(77\)90060-6](https://doi.org/10.1016/0003-6870(77)90060-6).

Oppenheim, A. V., & Schaffer, R. W. (2011). *Tratamiento de señales en tiempo discreto* (Tercera

ed.). (J. Portillo, Trad.) Madrid, España: Prentice Hall. Obtenido de Cartagena99.com:

<https://n9.cl/pv9z6>

Paddan, G. S., & Griffin, M. J. (2002). Evaluation of whole-body vibration in vehicles. *Journal*

of Sound and Vibration, 253(1), 195-213. doi:<https://doi.org/10.1006/jsvi.2001.4256>

- Pérez Porto, J., & Merino, M. (2015). *Definición de radiofrecuencia*. Obtenido de Definicion.de:
<https://definicion.de/radiofrecuencia/>
- Piersol, A. G., & Thomas L, P. (2010). *Harris' Shock and Vibration Handbook* (6th ed.). New York: McGraw-Hill. Retrieved from <https://n9.cl/piersolag> & <https://n9.cl/piersolag5ed>
- Proakis, J. G., & Manolakis, D. G. (2007). *Tratamiento digital de señales*. (Vuelapluma, Trad.) Madrid: Pearson Educación.
- Quintero M, C. G., Oñate López, J. A., & Arias de la Voz, H. J. (2014). Sistemas de adquisición de datos. En *Instrumentación electrónica aplicada* (Primera ed., págs. 30-38). Barranquilla: Editorial Universidad del Norte. doi:<https://doi.org/10.2307/j.ctvvn89d>
- Rao, S. S. (2012). *Vibraciones mecánicas* (Quinta ed.). (R. Navarro Salas, Trad.) México, D. F.: Pearson Educación. Obtenido de <https://n9.cl/raosingiresus>
- Real Academia Española. (2021). «*Diccionario de la lengua española*» - Edición del *Tricentenario*, [Versión 23.4 en línea]. Obtenido de Real Academia Española:
<https://dle.rae.es/algorithmo>
- Rivera, N. D., Molina, P. A., Novillo, G. P., Llivicura, B. D., & Peñaloza, A. L. (2022). Analysis of Energy Demand of Passenger Buses in the City of Cuenca. (A. Rocha, Ed.) *Communication, Smart Technologies and Innovation for Society*, 252, 307-319.
doi:10.1007/978-981-16-4126-8_29
- Ruiz Costa-jussà, M., & Duxans Barrobés, H. (s.f.). *Conceptos de señales y sistemas*. Obtenido de Exabyteinformatica.com: <https://n9.cl/txm4pm>

Shenzhen Hurry up Technology Co. (10 de Junio de 2021). *Molex-Chip de UBX-M8030 portátil para coche, módulo receptor GPS RS232 GNSS*. Obtenido de Alibaba.com:

<https://n9.cl/mmingag>

TDK. (2021). *ICM-20948: World's Lowest Power 9-Axis MEMS MotionTracking™ Device*. San Jose: InvenSense. Obtenido de <https://n9.cl/icm-20948>

The MathWorks, Inc. (2021). *Introducción práctica al filtrado digital - MATLAB & Simulink Example - MathWorks América Latina*. Obtenido de Mathworks.com: <https://n9.cl/2u9q>

The MathWorks, Inc. (2021). *Signal Processing Toolbox User's Guide*. En *Take Derivatives of a Signal* (págs. 23-67). Natick: The MathWorks, Inc. Obtenido de Mathworks.com:

<https://n9.cl/zbd8s>; <https://n9.cl/takederivativesofasignal>

U-blox. (2019). *Product Summary: UBX-M8030*. Retrieved from U-blox.com: <https://n9.cl/u-blox>

UNE-ISO 2631-1. (2008). *UNE-ISO 2631-1: Vibraciones y choques mecánicos. Evaluación de la exposición humana a las vibraciones de cuerpo entero. Parte 1: Requisitos generales*.

Asociación Española de Normalización y Certificación, Prevención y Medios de

Protección Personal y Colectiva en el Trabajo . Madrid: AENOR-INSHT. Obtenido de

<https://n9.cl/uneiso2631-1>

UNOV. (Febrero de 2013). *Sistemas mundiales: Programa de estudios*. Obtenido de

www.unoosa.org: <https://n9.cl/ve4d9>

Valente, C. (24 de Febrero de 2019). *Comment géopositionner des scans 3D?* Obtenido de

Numerisation3d.construction: <https://n9.cl/0kkew>

Xbee.cl. (29 de Noviembre de 2019). *¿Qué es XBee?* Obtenido de Xbee.cl: <https://n9.cl/xbee>

Zuo, L., & Nayfeh, S. A. (2003). Low order continuous-time filters for approximation of the ISO 2631-1 human vibration sensitivity weightings. *Journal of Sound and Vibration*, 256, 459–465. doi:10.1016/S0022-460X(02)01567-5

11. Anexos.

11.1. Definición matemática de las ponderaciones en frecuencia

11.1.1. Parámetros de las funciones de transferencia

Tabla 27: Parámetros de las funciones de transferencia de las ponderaciones en frecuencia principales

Ponderación	Banda limitante		Transición aceleración-velocidad (Transición a-v)			Subida de escala			
	f_1 Hz	f_2 Hz	f_3 Hz	f_4 Hz	Q_4	f_5 Hz	Q_5	f_6 Hz	Q_6
W_k	0.4	100	12.5	12.5	0.63	2.37	0.91	3.35	0.91
W_d	0.4	100	2.0	2.0	0.63	∞	—	∞	—
W_f	0.08	0.63	∞	0.25	0.86	0.0625	0.80	0.1	0.80

11.1.2. Funciones de transferencia

La ponderación en frecuencia global se establece mediante los parámetros de la función de transferencia, que incluyen las frecuencias f_1, \dots, f_6 y los factores de calidad de resonancia Q_4, \dots, Q_6 . Los siguientes factores determinan la función de transferencia.

11.1.2.1. Banda limitante

Filtro de dos polos con características de Butterworth $Q_1 = Q_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}$

Pasa alto

$$|H_h(p)| = \left| \frac{1}{1 + \sqrt{2} \cdot \frac{\omega_1}{p} + \left(\frac{\omega_1}{p}\right)^2} \right| = \sqrt{\frac{f^4}{f^4 + f_1^4}} \quad (4)$$

Ecuación 4: Filtro pasa alto

Donde:

$$\omega_1 = 2\pi f_1$$

f_1 = Frecuencia de corte

Paso bajo

$$|H_l(p)| = \left| \frac{1}{1 + \sqrt{2} \cdot \frac{p}{\omega_2} + \left(\frac{p}{\omega_2}\right)^2} \right| = \sqrt{\frac{f_2^4}{f^4 + f_2^4}} \quad (5)$$

Ecuación 5: Filtro pasa bajo

Donde:

$$\omega_2 = 2\pi f_1$$

f_2 = Frecuencia de corte

11.1.2.2. Transición aceleración-velocidad

Proporcional a la aceleración a bajas frecuencias, proporcional a la velocidad a altas frecuencias

$$|H_t(p)| = \left| \frac{1 + \frac{p}{\omega_3}}{1 + \frac{p}{Q_4 \cdot \omega_4} + \left(\frac{p}{\omega_4}\right)^2} \right| = \sqrt{\frac{f^2 + f_3^2}{f_3^2}} \cdot \sqrt{\frac{f_4^4 \cdot Q_4^2}{f_4 \cdot Q_4^2 + f^2 \cdot f_4^2 (1 - 2 \cdot Q_4^2) + f_4 \cdot Q_4^2}} \quad (6)$$

Ecuación 6: Transición de aceleración a velocidad

Donde:

$$\omega_3 = 2\pi f_3$$

$$\omega_4 = 2\pi f_4$$

11.1.2.3. Subida de escala

Niveles de confort de aproximadamente 6 dB por octava, proporcional a la sacudida

$$|H_s(p)| = \left| \frac{1 + \frac{p}{Q_5 \cdot \omega_5} + \left(\frac{p}{\omega_5}\right)^2}{1 + \frac{p}{Q_6 \cdot \omega_6} + \left(\frac{p}{\omega_6}\right)^2} \cdot \left(\frac{\omega_5}{\omega_6}\right)^2 \right| = \frac{Q_6}{Q_5} \cdot \sqrt{\frac{f_4^4 \cdot Q_5^2 + f^2 \cdot f_5^2 (1 - 2 \cdot Q_5^2) + f_5^4 \cdot Q_5^2}{f_4 \cdot Q_6^2 + f^2 \cdot f_6^2 (1 - 2 \cdot Q_6^2) + f_6^4 \cdot Q_6^2}} \quad (7)$$

Ecuación 7: Subida de escala

Donde:

$$\omega_5 = 2\pi f_5$$

$$\omega_6 = 2\pi f_6$$

$H_h(p) \cdot H_l(p)$ = Representa la función de transferencia de banda limitante

11.1.2.4. Función de ponderación total.

$$H(p) = H_h(p) \cdot H_l(p) \quad (8)$$

Ecuación 8: Función de ponderación total