

ANÁLISIS DE LOS EFECTOS A EXPOSICIÓN DE VIBRACIONES MECÁNICAS EN EL SISTEMA NERVIOSO Y SALUD DE UN CONDUCTOR DE BUS DE TRANSPORTE DE PASAJEROS EN ECUADOR: EVALUACIÓN DE UN CASO

ANALYSIS OF THE EFFECTS OF EXPOSURE OF MECHANICAL VIBRATIONS IN THE NERVOUS SYSTEM AND HEALTH OF A PASSENGER TRANSPORTATION BUS DRIVER IN ECUADOR: EVALUATION OF A CASE

Elvis Patricio Gualotuña Quishpe¹

Luis Xavier Orbea Hinojosa²

José Adrián Rodríguez Rodríguez³

Fecha de recepción: 28 /11/2019

Fecha de aprobación: 10 /12/2019

DOI: <https://doi.org/10.26495/ricti.1906.28801>



Resumen

Los conductores de buses de transporte de pasajeros interprovinciales, interparroquial y urbanos, se encuentran expuestos a vibraciones mecánicas durante más de 8 horas laborales, estudios experimentales realizados por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) [8] describen los efectos que generan las vibraciones sobre el cuerpo humano, estas, van desde sensaciones de incomodidad o molestias, hasta efectos en tejidos blandos y en el sistema circulatorio, siguiendo el método de evaluación establecido en la norma NTE INEN ISO 2631-1 y en el Real Decreto RD 1311/2005, donde se dispone límites de exposición diaria a vibraciones mecánicas en los puestos de trabajo en un periodo de 8 horas, A (8), se realiza el estudio y evaluación de las Vibraciones De Cuerpo Entero (WVB) que recibe el conductor de un bus de transporte interparroquial, la ruta que circula diariamente presenta cinco tipos de calzada que generan diferente nivel de vibraciones cabe mencionar que la generación de vibraciones en el interior del vehículo aparece por fuentes internas y externas. Relacionando el tiempo de exposición diaria a la que se encuentra expuesto el conductor del bus con la magnitud de las vibraciones se puede determinar que los efectos sobre la salud a corto y a largo plazo son bajos.

Palabras claves: Vibraciones Mecánicas; Seguridad E Higiene Industrial; Vibraciones De Cuerpo Entero; Magnitud De La Vibración, aceleración rms, velocidad, desplazamiento.

Abstract

The drivers bus urban, are exposed to mechanical vibrations for more than 8 working hours. the experimental studies carried out by the National Institute of Occupational Safety and Health, describe the effects of Vibrations on the human body, ranging from feelings of discomfort or discomfort, to effects on soft tissues and in the circulatory system, following the evaluation method established in the norm NTE INEN ISO 2631-1 and in Royal Decree RD 1311 / 2005, where daily exposure limits to mechanical vibrations are available at the work stations in a period of 8 hours,(A 8), the study and evaluation of Whole Body Vibrations (WVB), is performed and received by the driver of transport bus, the route that circulates daily presents five types of roadway that generate different level of vibrations. The generation of vibrations inside the vehicle appears by internal and external sources. By relating the daily exposure time to which the bus driver is exposed with the magnitude of the vibrations it can be determined that short- and long-term health effects are low.

Keywords: Mechanical Vibrations; Safety and industrial hygiene; Whole Body Vibrations; Magnitude of Vibration; acceleration; speed, displacement.

Introducción

Los conductores de buses de transporte público (Chu, Fielding, & Lamar, 1992), están expuestos a vibraciones mecánicas de forma periódica o aleatoria, la conducción de vehículos es una actividad que puede ocasionar riesgos en la salud y el confort debido a la exposición del cuerpo humano a vibraciones mecánicas generadas por el contacto entre el neumático del vehículo con las irregularidades de la calzada (Luque & Daniel Álvarez, 2004), los órganos internos del motor, el sistema de escape de gases quemados y los elementos que constituyen el sistema de transmisión caja de cambios árbol de transmisión entre otros (Font Mezquita & Ruiz, 1997). El cuerpo humano tiene la capacidad de percibir estímulos externos e internos a través de los sentidos (Liang, Beerse, Ke, & Wu, 2017). Las vibraciones mecánicas son transmitidas a la parte del cuerpo en contacto con la superficie vibrante y estas pueden ser perjudiciales dependiendo de variables como la frecuencia, dirección, intensidad y duración de la vibración, a su vez de las características de cada persona, la edad, el género, historia clínica, costumbres, estado físico y la parte del cuerpo que siente las vibraciones (por ejemplo, las manos, pies, y espalda reaccionan de forma diferente) (Izquierdo, Álvarez, & López, 2001). La exposición a vibraciones mecánicas en el cuerpo humano genera dificultad para realizar un análisis objetivo e interpretar, medir o conocer la sensación de confort, debido a la diferencia en el grado de sensibilidad que tiene cada persona, existen estudios donde se representa un modelo mecánico del cuerpo humano basado en parámetros lineales compuestos por un sistema de “masa-resorte-amortiguador” (Kuchnicki, 2009).

En la fundamentación teórica, La vibración u oscilación se considera a cualquier movimiento que se repite después de un intervalo de tiempo. Por lo habitual un sistema vibratorio incluye un medio para almacenar energía potencial (resorte o elasticidad), un medio para conservar energía cinética (masa o inercia) y un medio por el cual la energía se pierde gradualmente (amortiguador) (White, 2010). El modelo mecánico del cuerpo humano, presenta su propia banda de frecuencia natural de resonancia y rango de la frecuencia natural propia de una persona al caminar, esta se encuentra comprendida entre 1 a 2 Hz (1 a 2 oscilaciones por segundo), es decir de 60 a 120 oscilaciones por minuto, por encima de estos valores se excita el sistema nervioso y por debajo se puede producir mareo (Font Mezquita & Ruiz, 1997).

Las frecuencias resonantes varían de una persona a otra ya que el cuerpo humano no es simétrico y en función de la postura en la que se encuentra. La resonancia es un fenómeno que se produce cuando un cuerpo que vibra se le aplica una fuerza periódica cuyo periodo de vibración coincide con el del cuerpo humano, de esta forma se aumenta la amplitud de la vibración. A la frecuencia en la que ocurre este fenómeno se lo denomina frecuencia de resonancia (INSHT, 2012).

En la figura 1, se presenta un modelo mecánico del cuerpo humano con los resultados de un estudio realizado por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo con sus siglas en inglés (INSHT) (Ruiz, 2011), (Mayorga, Orbea, Gualotuña, Toapaxi, & Rodriguez, 2017), dentro del rango de 1 a 50 Hz, donde el cuerpo humano como conjunto, presenta el fenómeno de resonancia para distintas frecuencias, según la dirección dominante de la vibración referida a un sistema de coordenadas normalizado.

El Real Decreto RD 1311/2005, clasifica las vibraciones que afectan al cuerpo humano de acuerdo a la parte expuesta en: Vibraciones de cuerpo entero (de pie, sentado, recostado), percibidas principalmente en vehículos de transporte, analizadas en la Norma NTE INEN ISO 2631-1; TNE INEN ISO 2631-2 (ecuatoriana & 2631-1., 2014) y define vibración transmitida al cuerpo entero como: “la vibración mecánica que, cuando se transmite a todo el cuerpo, conlleva riesgos para la salud y seguridad de los trabajadores, en particular, lumbalgias y lesiones de la columna”. Vibraciones de mano brazo o extremidades superiores, expuestas por herramientas eléctricas y manubrios, analizadas en la NTE INEN-ISO 5349-1.

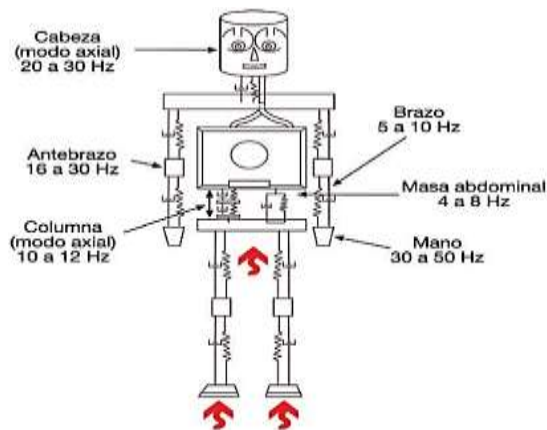


Figura 1. Modelo mecánico del cuerpo humano

Fuente. Instituto Nacional de seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2014

La disminución del confort debido a las vibraciones mecánicas se denominará en adelante Incomodidad Cinética Vibratoria (ICV). El control de las vibraciones en los vehículos, de manera que la ICV exceda determinados valores, empieza principalmente por los neumáticos. El sistema de suspensión, y el material utilizado en los asientos del conductor y los pasajeros [5-6].

Los límites de ICV son difíciles de establecer por depender, del nivel de sensibilidad de cada persona, la respuesta de los sujetos expuestos a vibraciones, en términos cualitativos (incómodo, muy incómodo, etc.), con diferentes parámetros de la vibración: frecuencia, valores máximos de desplazamiento, velocidad, aceleración, cuya influencia de la ICV toma diferente criterio, en cada uno de los tres intervalos de frecuencias siguientes: 20 a 60 Hz; 6 a 20 Hz y 1 a 6 Hz.

La Federación Española Empresarial de Transportes de Viajeros y la editorial ASINTRA; expone los principales efectos expuestos a vibraciones en cuerpo entero, para una persona que se encuentra sentada en su lugar de trabajo como es el caso de los conductores. Las afectaciones en la columna vertebral con Discopatías dorsolumbares, lumbalgias, ciática, alteraciones digestivas, alteraciones vasculares periféricas (hemorroides, varices), en mujeres alteraciones en la esfera reproductiva (abortos espontáneos, desordenes menstruales), trastornos musculo esqueléticos, respiratorios, cardiovasculares, sensoriales, alteraciones en el sistema nervioso y el sistema circulatorio (Alvarez & Ovejero, 2005).

Tomando como referencia estudios realizados por el INSHT, y la norma NTE INEN-ISO 2631-1, como se expresa en la figura 2, la medición de las vibraciones se realizó en el asiento del conductor del bus Volkswagen 9150 OD 4.3 IP 4X2.



Figura 2. Bus de transporte de pasajeros Volkswagen

Fuente. Autor.

Metodología

El método utilizado para la adquisición de información y reconocimiento de la ruta es: por observación y percepción, viajando en la unidad de transporte por varias ocasiones, donde se determina datos cualitativos y cuantitativos que permiten reconocer la carretera según; las irregularidades, tipo de calzada, geografía de la ruta (pendiente), tiempo y distancia recorrida entre otros.

La recopilación de datos se realiza en la ruta que circula la unidad de transporte de pasajeros, inicia y termina en la parada de Cumbayá y el recorrido presenta varios tipos de calzada. En la figura 3, se representa un croquis de la ruta que recorre esta unidad de transporte de pasajeros con una distancia aproximada de 8,8 km, la misma se cubre en 29 minutos con un promedio de velocidad entre los 30 y 60 km/h. Los colores indican la congestión del tránsito en el sector siendo el color rojo el de mayor índole respecto al flujo vehicular, se podría también añadir que es una ruta de mucha pendiente y con una mayor distancia recorrida con una calzada de tipo adoquinada.

El tiempo que se recorre esta ruta es muy idóneo para la obtención de las mediadas de vibraciones mecánicas, permitiéndonos adquirir mayor cantidad de datos para un mejor análisis, realizando 5 repeticiones para ser ponderados permitiendo obtener valores más precisos para un mejor análisis de resultados.

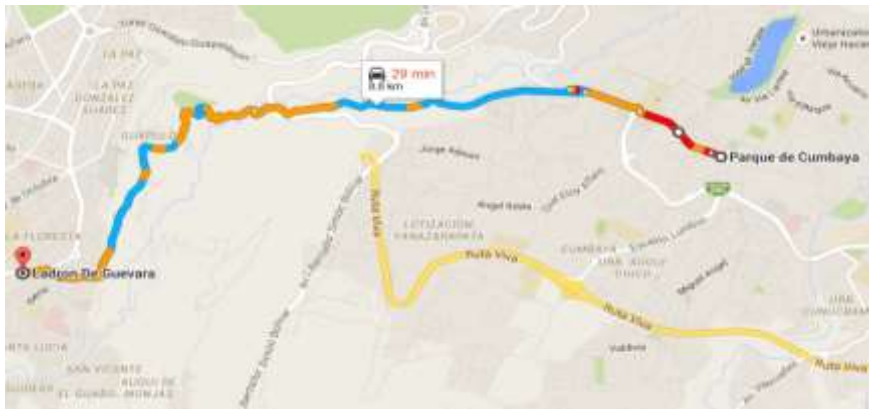


Figura 3. Croquis ruta Floresta- Cumbayá
Fuente. Autor

En la figura 4 se puede apreciar un sistema de coordenadas basicentricos del cuerpo humano definidas por la norma NTE INEN-ISO 2631-1, como guía para realizar mediciones desde los puntos donde se considera que las vibraciones entran al cuerpo humano con parámetros en la posición:

- Sentado
- De pie
- Acostado (tumbado)

Normalmente los mayores niveles de vibración se generan a lo largo del eje (Z) seguidos por la vibración del eje (Y), puede haber circunstancias en las cuales las vibraciones en el eje (y), sean eventualmente mayores, esto se debe a ciertas condiciones de conducción o resonancia en ciertos puntos, normalmente las señales que se presentan en el eje (y) son de bajo nivel de vibraciones y no se considera su medición (Arias-Castro & Martínez-Oropesa, 2016).

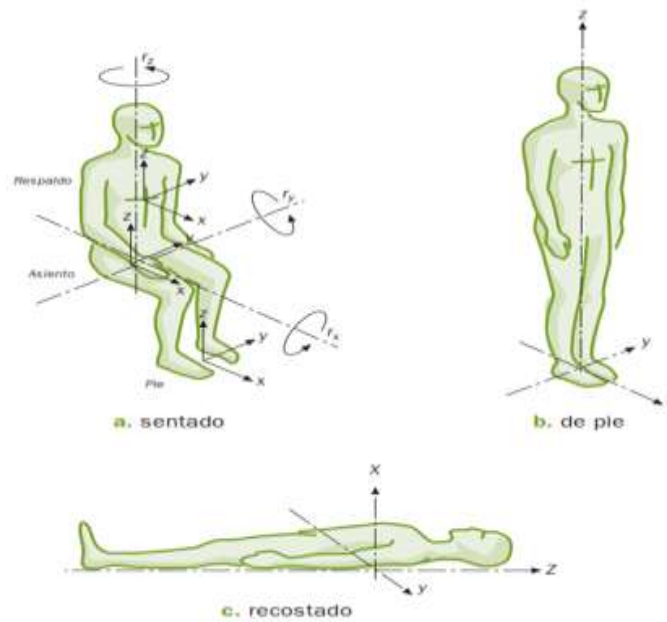


Figura 4. Ejes Basicéntricos del cuerpo humano.
Fuente. Arias-Castro & Martínez-Oropesa, 2016

El conductor del auto bus debido a su trabajo se encuentra la mayor cantidad de tiempo expuesto a las vibraciones generadas por este medio, siendo la más propensa a desarrollar afecciones en la salud, y percepción del confort. Para medir las vibraciones que percibe el conductor por la superficie de apoyo del asiento se utiliza tres acelerómetros ubicados en los ejes basicéntricos (x , y , z) de forma ortogonal y lo más cerca posible a los puntos de contacto por donde ingresan las vibraciones.

En la figura 5, se observa la base diseñada para el montaje de los acelerómetros y se ubica entre la superficie de apoyo del asiento bajo la tuberosidad isquial, del conductor en el instante que inicie la conducción evitando molestias al conducir y cumpliendo con las disposiciones de la norma NTE INEN ISO 2631-1.

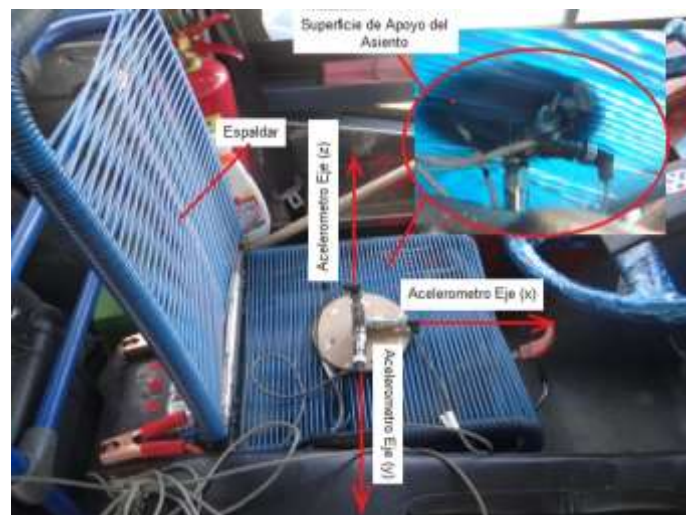


Figura 5. Acelerómetros en el apoyo del asiento del conductor
Fuente. Autor

Las mediciones de vibraciones que percibe el conductor por el respaldo del asiento la base que contiene los acelerómetros se ubica en el área principal de apoyo del cuerpo (Budynas & Nisbett, 2012),

considerando los movimientos que realiza el conductor longitudinal, lateral y giratorio. La figura 6, se ubica el acelerómetro cuando el conductor esta sentado.

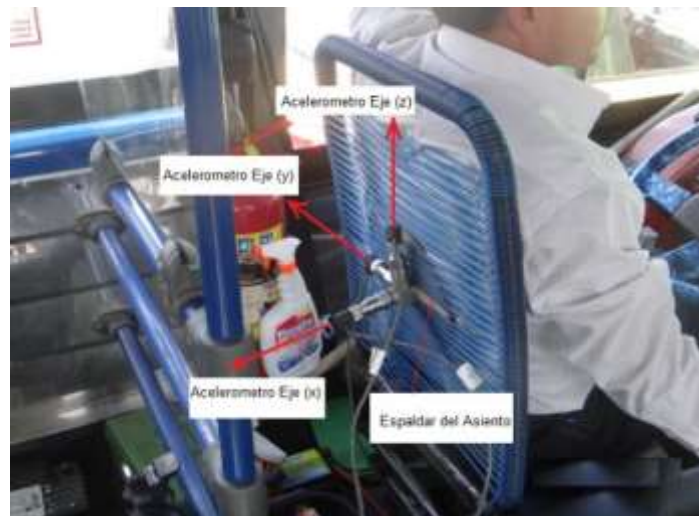


Figura 6. Ubicación de los acelerómetros en el respaldo del asiento
Fuente. Autor

Para llevar a cabo el protocolo de medición de vibraciones de cuerpo entero en personas sentadas, actualmente existe varios instrumentos de medida de mayor tecnología, que realizan internamente el análisis de las señales de manera más completa, precisa y confiable. Nosotros utilizamos los siguientes elementos, descritos a continuación [13]:

- Analizador de señal de vibraciones mecánicas ADQ.
- Acelerómetros axiales Wilcoxon Research
- Software de análisis de vibraciones MAINtraq.
- Computadora portátil Netbook
- Inversor de corriente de 12v DC/120 v AC
- Batería de 12 v DC

Para la evaluación de los datos obtenidos en la medición de vibraciones [17] mecánicas en el bus de transporte de pasajeros se utiliza el método de evaluación básica descrita en la norma técnica ecuatoriana NTE INEN-ISO 2631-1 [15], donde se dispone obtener el valor total de la aceleración ponderada en frecuencia a_v . Este valor puede ser calculado mediante la aplicación de la ecuación 1.

$$a_v = (K_x^2 a_{wx}^2 + K_y^2 a_{wy}^2 + K_z^2 a_{wz}^2)^{\frac{1}{2}}$$

Donde,

a_v Aceleración total ponderada

a_{wx} a_{wy} a_{wz} Son las aceleraciones r.m.s. ponderadas con respecto a los ejes ortogonales o basicéntricos x, y, z, respectivamente.

K_x K_y K_z Factores de multiplicación

El factor de multiplicación k, para los ejes x, y, z, se indica en la tabla 1.

Tabla 1.
Factor K de ponderación en frecuencia

Ejes ortogonales	Ponderación en frecuencia	Factor de multiplicación K
X	W_d	1,4
Y	W_d	1,4
z	W_k	1

Fuente. (NTE INEN- ISO 2631-1, 2014)

Para conocer si la magnitud de la aceleración total ponderada en frecuencia presenta reacciones que afecten el confort, bienestar y la salud de las personas expuestas es necesario realizar una comparación con los valores expuestos en la tabla 2, donde se exponen valores de referencia en los que el cuerpo humano percibe sensaciones de malestar a diferentes aceleraciones.

Tabla 2.
Criterios para la evolución de la exposición de las vibraciones sobre el confort, percepción y mareo producido por el movimiento.

EVALUACIÓN DEL CONFORT (0,5Hz a 80 Hz)	
Intensidad de la vibración	Sensación del pasajero
Menos de 0,315 m/s ²	No molesta
De 0,315 m/s ² a 0,63 m/s ²	Un poco molesto
De 0,5 m/s ² a 1 m/s ²	Algo molesto
De 0,8 m/s ² a 1,6 m/s ²	Molesto
De 1,25 m/s ² a 2,5 m/s ²	Muy molesto
Mayor a 2 m/s ²	Extremadamente molesto
PERCEPCIÓN (0,5Hz a 80 Hz)	
0,015 m/s ^{2*} (0,01-0,02)m/s ²	Una persona sana ya percibe sensaciones
MAREO PRODUCIDO POR EL MOVIMIENTO (0,1 Hz a 0,5 Hz)	
0,5 m/s ²	Mareos

Fuente. (NTE INEN- ISO 2631-1, 2014)

Resultados y discusión

En nuestro estudio se utiliza la representación gráfica de la variable de aceleración eficaz expresada en m/s² como se puede apreciar en la figura 7, donde a modo de ejemplo se selecciona la variable de aceleración en el eje (z), y se observa de color azul la variación que tiene la aceleración en función del tiempo.

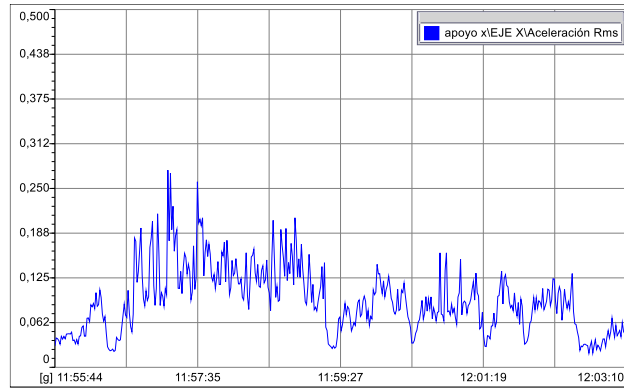


Figura 7. Variación de la aceleración en el eje (z) representada en el dominio del tiempo
Fuente. Autor.

En la figura 8, se representa la variación de la aceleración en función de la frecuencia, para el análisis se utiliza solo los valores que se encuentren en un rango de frecuencia media entre 0,5 Hz hasta 80 Hz, considerado para la salud, confort y el mal del movimiento.

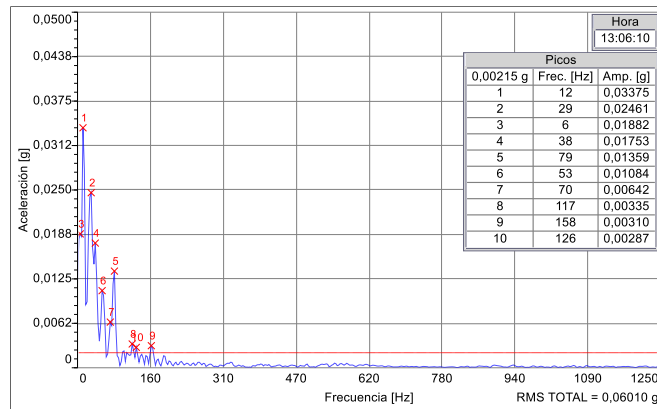


Figura 8. Representación en el dominio de la frecuencia de la aceleración.
Fuente. Autor

El periodo de medición se realiza durante 24 minutos, se analizar las variables de aceleración en cada una de las distintas calzadas, dividiendo el tiempo de ensayo total en periodos de 180 segundos para un mejor análisis de resultados.

En la figura 9, se puede apreciar los tipos de calzada principales existentes en la trayectoria que recorre la unidad de transporte de pasajeros y su representación gráfica correspondiente de la aceleración vs tiempo.

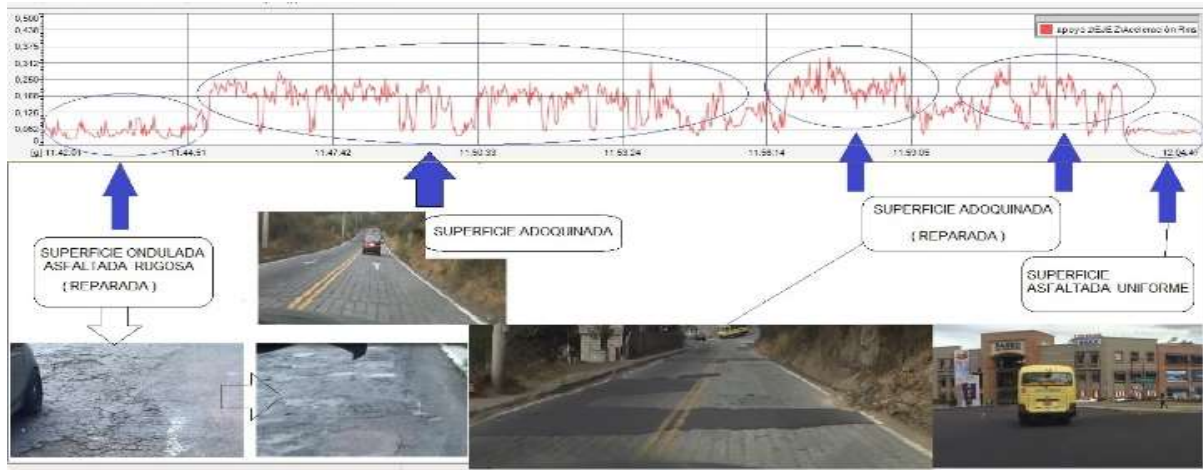


Figura 9. Tipos de calzadas principales y su gráfica aceleración VS tiempo
Fuente. Autores

Desarrollo práctico de la evaluación en el asiento del conductor eje (z)

A continuación, se desarrolla la evaluación de los datos adquiridos en la medición durante un periodo de 180 segundos en una superficie de carretera ondulada asfaltada rugosa. Estos valores son medidos en los ejes (x, y, z), el análisis se realiza en el eje (z) tomando el mayor pico de la aceleración, los valores de las vibraciones son extraídos de la figura 10, pertenecientes a cada eje. Para realizar el cálculo de la aceleración total ponderada en frecuencia aplicando la ecuación 2 y los valores del factor k obtenidos de la tabla 1.

Obtenido el valor total de la aceleración ponderada se compara con los criterios establecidos en la tabla 3.

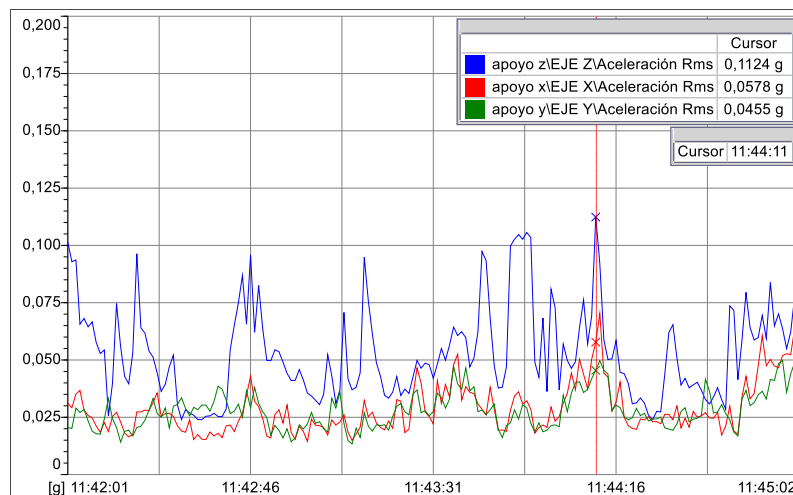


Figura 10. Gráfica aceleración vs tiempo en un periodo de 180 segundos
Fuente. Autor.

$$a_v = (K_x^2 a_{wx}^2 + K_y^2 a_{wy}^2 + K_z^2 a_{wz}^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$a_v = \left(1.4^2 * \left(0,0578 * 9.81 \frac{m}{s^2} \right)^2 + 1.4^2 * \left(0,0455 * 9.81 \frac{m}{s^2} \right)^2 + 1^2 * \left(0,0578 * 9.81 \frac{m}{s^2} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$a_v = 1,49 \frac{m}{s^2}$$

El valor obtenido se encuentra en el intervalo de 0,8 m/s² a 1,6 m/s² concluyendo que el conductor percibe una sensación de molestia.

Tabla 3.

Evaluación de la incomodidad cinética vibratoria en diferentes tipos de superficie

Tipo de calzada	Aceleración total	Incomodidad cinética vibratoria
Ondulada con superficie asfaltada rugosa	1,49	Molesta
Asfaltada reparada con superficie rugosa	2,97	Extremadamente Molesta
Carretera ondulada adoquinada	2,82	Extremadamente Molesta
Carretera ondulada adoquinada	3,16	Molesta
Carretera ondulada adoquinada	3,50	Extremadamente Molesta
Adoquinada reparada con rompe velocidades	4,21	Extremadamente Molesta
Adoquinada reparada con rompe velocidades	3,18	Extremadamente Molesta
Carretera ondulada adoquinada	1,80	Muy Molesta
Asfaltada con superficie uniforme	1,49	Molesta
Asfaltada con superficie uniforme	1,18	Molesta

Fuente. Autor

Para un mejor análisis de resultados los datos obtenidos en la tabla 3 se representa en la figura 11 y 12 donde, se gráfica la aceleración total ponderada respecto al tipo de calzada y la incomodidad cinética vibratoria (ICV) Vs el tipo de calzada.

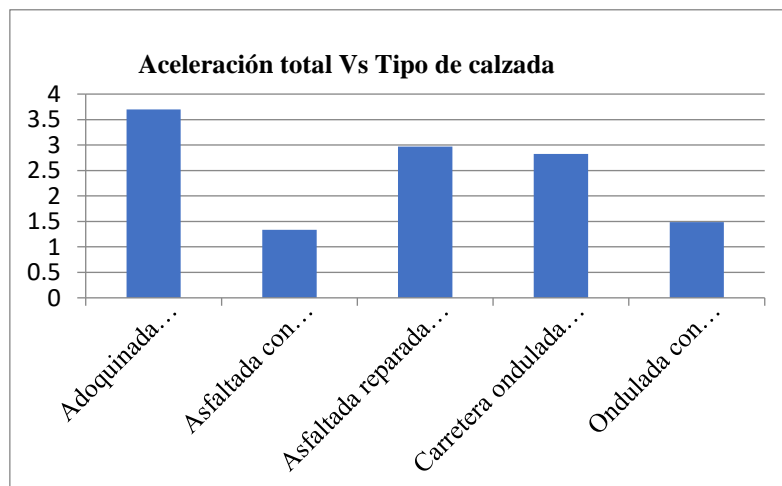


Figura 11. Gráfica de valores promedio aceleración total VS tipo de calzada

Fuente. Autor

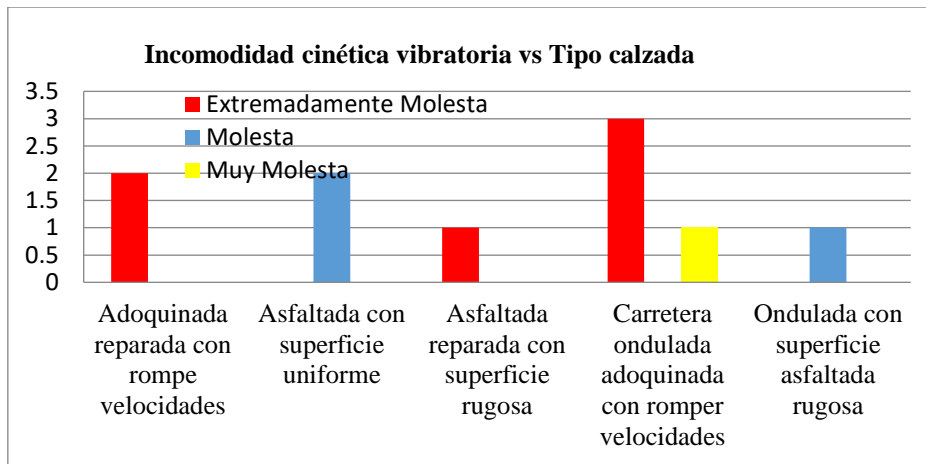


Figura 12. Gráfica aceleración total (r.m.s) VS incomodidad cinética vibratoria en apoyo del asiento
Fuente. Autor

Mediante la observación de la figura 12, se puede emitir un criterio que determina el nivel de vibraciones de mayor aceleración orientado en la superficie que presenta la calzada adoquinada reparada disminuyendo secuencialmente en la superficie adoquinada y la asfaltada reparada, continuando su descenso se llega a los niveles de la superficie asfaltada rugosa y teniendo menor nivel de vibración la superficie asfaltada uniforme, dando como referencia que la unidad de transporte de pasajeros en su recorrido Cumbayá la Floresta, presenta magnitudes de aceleraciones con niveles de vibraciones que afectan al conductor y pasajeros en un rango que va desde los 1.4 m/s² hasta los 4,21 m/s².

De la misma manera al observar la gráfica 13, se puede determinar que las superficies constituidas por adoquinado, asfaltado reparado y adoquinado reparado presenta sensaciones extremadamente molestas designadas en color rojo.

El tipo de carretera adoquinada ondulada puede presentar niveles de aceleración que emitan sensaciones muy molestas y extremadamente molestas descritas en color rojo y amarillo. Por último, los niveles de aceleraciones que presenta la calzada asfaltada uniforme y rugosa presentan sensaciones de molestia de forma moderada para el conductor y los pasajeros representadas de color azul. El valor utilizado para el análisis es la mayor magnitud de la aceleración eficaz instantánea, determinada en un intervalo de tiempo de 180 segundos, este valor no permanece constante varía en función del tiempo, ara nuestro análisis se asume que este valor podría permanecer constante durante el tiempo de medición justificando esta hipótesis con los factores relevantes expuestos a continuación.

Los niveles de vibración dependen directamente del estado de funcionamiento del sistema de suspensión, averías en cualquiera de estos elementos aumentan el nivel de vibraciones. La presión de inflado inadecuado de los neumáticos es un factor esencial en la aparición de vibraciones, esta simple inspección en los neumáticos podría aumentar o disminuir el nivel de vibraciones que se puedan percibir por el conductor y los pasajeros. Considerando que es un vehículo de transporte de pasajeros de servicio público la carga es una variable difícil de controlar por lo general estos autobuses superan el nivel de carga permisibles aumentando el nivel de vibraciones que pueden percibir el conductor y los pasajeros.

En el anexo del RD 1311/2005 sobre las vibraciones transmitidas al cuerpo entero la evaluación a los riegos de las vibraciones se basa en el cálculo de la exposición diaria A (8) expresada como la aceleración continua equivalente para un periodo de 8 horas.

Para realizar el cálculo de A (8) se utiliza las siguientes ecuaciones:

$$A_x(8) = 1.4 * a_{wx} * \sqrt{\frac{T_{expuesto}}{T_0}}$$

$$A_y(8) = 1.4 * a_{wy} * \sqrt{\frac{T_{expuesto}}{T_0}}$$

$$A_z(8) = 1 * a_{wz} * \sqrt{\frac{T_{expuesto}}{T_0}}$$

Dónde:

a_{wx} ; a_{wy} ; a_{wz} es el valor de la aceleración eficaz ponderada en los ejes (x, y, z)

$T_0 = 8$ Considerando las 8 horas de trabajo como base de referencia

$T_{expuesto}$ Tiempo que el trabajador se encuentra expuesto a vibraciones en el día

Una vez calculado los valores de A (8) en el eje (x, y, z), se debe elegir el más alto de los obtenidos en cada eje, este valor se debe compararlo con los valores límite de exposición y los valores que dan lugar a una acción, según el punto 2 del apartado 3 del RD 1311/2005 donde se establece los siguientes valores para las vibraciones transmitidas al cuerpo entero. El valor límite de la magnitud de aceleración en la exposición diaria normalizado para un periodo de referencia de ocho horas se fija en 1,15 (m/s²). El valor de la exposición diaria normalizado para un periodo de referencia de ocho horas que da lugar a la acción se fija en 0,5 (m/s²). Al obtener los resultados del valor medido A (8), se presentan tres situaciones donde el conductor, el dueño de la unidad de transporte de pasajeros e incluso la compañía deberá tomar acciones para disminuir los niveles de vibraciones generadas en el autobús.

Caso 1.- Cuando la magnitud de la aceleración de la exposición diaria es inferior al valor de la exposición que da lugar a una acción 0,5 m/s² se considera aceptable.

Caso 2.- Cuando la magnitud de la aceleración de la exposición diaria es mayor que el valor que da lugar a una acción 0,5 (m/s²) y menor que el valor límite 1,15 (m/s²) se considera situación de riesgo. Al obtener este valor es necesario planificar un programa de mantenimientos predictivos y preventivos para identificar las causas que originan el exceso de vibraciones y disminuir al nivel inferior al de acción.

Caso 3.- Cuando la magnitud de la aceleración de la exposición diaria es mayor que el valor límite 1,15 (m/s²) se considera intolerable, si los valores superan el valor límite es necesario considerar un programa de mantenimiento correctivo para identificar las causas que originan el aumento del nivel de las vibraciones.

En la tabla 4, se detallan los valores calculados al evaluar la exposición a vibraciones en el conductor de un bus de transporte de pasajeros durante un día de trabajo donde se observa que el mayor valor se encuentra con una magnitud de aceleración igual 1,15 m/s²*.

Tabla 4.
Valores de evaluación a exposición diaria A (8) en un bus de transporte de pasajeros

Promedio de aceleraciones totales para un tiempo de 25 min		
Eje x	Eje y	Eje z
1,15	0,83	1,62
Período de exposición (horas)		4 horas
ACELERACIÓN CONTINUA PARA UN PERÍODO EN 8 HORAS		
Eje x	Eje y	Eje z
1,13	0,82	1,15

Fuente. Autor.

El valor obtenido se encuentra en el límite de la situación de riesgo formando parte de percepciones intolerables de vibración, la acción recomendada es realizar un mantenimiento preventivo y correctivo con la finalidad de disminuir los niveles de exposición diaria en los conductores de la unidad de transporte utilizada para nuestro estudio.

Evaluación de la incomodidad cinética vibratoria en el respaldo del asiento.

Continuando con el análisis se evalúa los datos obtenidos en la medición del respaldo del asiento, para ello se utiliza los métodos y procedimientos descritos con anterioridad, considerando los factores de ponderación k en el eje $(x) = 0,8$, eje $(y) = 0,5$, eje $(z) = 0,4$. Estos valores serán utilizados en la ecuación 12. Una vez obtenido los valores de la aceleración eficaz en cada eje y el valor de la aceleración total ponderada, se procede al análisis de la incomodidad cinética vibratoria.

El mayor valor promedio de la aceleración eficaz pertenece a la calzada asfaltada rugosa reparada, superando el valor de 2 m/s^2 y el menor valor promedio corresponde a la superficie asfaltada uniforme con un valor de aceleración igual a $1,09 \text{ m/s}^2$. Las posibles reacciones del conductor donde los valores de aceleración generadas por la superficie adoquinada reparada, asfaltada rugosa reparada, presentan una sensación muy molesta ante el nivel de aceleraciones generado por este tipo de carretera. El valor de la aceleración evaluada en la exposición diaria $A(8)$, es de $0,75 \text{ m/s}^2$ en el eje Z , considerando un tiempo de exposición de cuatro horas, donde se recomienda realizar planificaciones de mantenimiento predictivo y preventivo.

Análisis De Las Vibraciones En El Bus De Transporte De Pasajeros

En la figura 13, se detalla el nivel promedio de vibraciones que se obtuvo colocando los sensores en la suspensión, el motor, el chasis y el asiento de los pasajeros, la magnitud de medida es la aceleración eficaz rms (m/s^2). Considerando los valores obtenidos en el asiento de los pasajeros y la suspensión se obtiene una eficiencia del sistema de suspensión de un 95.38%.

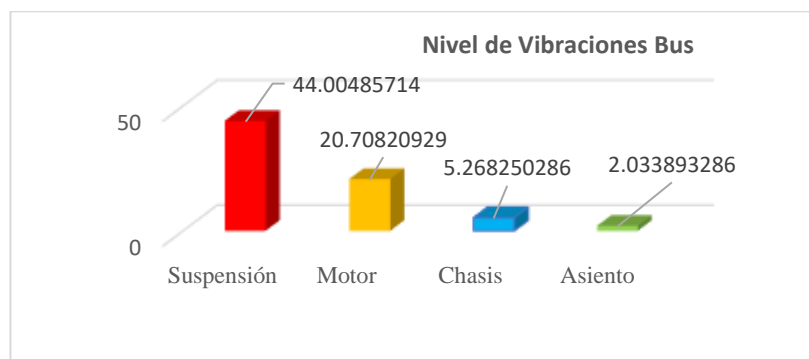


Figura 13. Niveles de vibraciones de un bus de transporte de pasajeros
Fuente. Autor

Conclusiones

El nivel de vibraciones que percibe el conductor a la exposición diaria $A(8)$ tanto en la evaluación del apoyo del asiento como en el respaldo del mismo superan el valor que da lugar a una acción, este límite cuando la aceleración es igual a $0,5 \text{ m/s}^2$. Los resultados ante la evaluación de la exposición de vibraciones en todo el cuerpo en el bus de transporte de pasajeros seleccionado durante un recorrido de 25 minutos por diferentes tipos de superficie proporcionan niveles de sensaciones extremadamente molestas causadas especialmente cuando el autobús circula por superficies de asfalto y adoquinada reparada.

Con los niveles de vibraciones que percibe el conductor se presentan sensaciones de incomodidad cinética vibratoria que por instantes superan los niveles permitidos, esto se debe a las aceleraciones bruscas de las señales de vibración, que se generan cuando se pasan baches o rompen velocidades ocasionando trastornos musculoesqueléticos, trastornos sensoriales y del sistema nervioso, percibidos de forma instantánea con efectos a corto plazo.

En los efectos que pueden causar en las personas expuestas, existen varios factores que influyen, entre ellas encontramos, su condición física, estado de ánimo, edad, dirección de las vibraciones etc.

Las frecuencias a las que se encuentran las vibraciones encontradas en la medición en el asiento del conductor son niveles en los que varias partes del cuerpo podrían entrar en resonancia causando sensaciones de malestar e incomodidad cinética vibratoria especialmente cuando el conductor se encuentra expuesto en largos periodos de tiempo, aumentando el riesgo de efectos sobre el sistema musculoesquelético, especialmente en la columna vertebral en un rango de frecuencias que supera el rango de 10 Hz a 15 Hz con intensidades de aceleración de $0,9 \text{ m/s}^2$ en sentido vertical.

Referencias

- Alonso J, M. (1998). *Techniques of automotive, Electrical equipment*. Seventh Edition.
- Alvarez, A. G., & Ovejero, R. G. (2005). Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (ruido). *Euro Equipos & obras* 87, 20.25.
- Arias-Castro, G. d., & Martínez-Oropesa, C. (2016). Evaluación de la exposición al riesgo por vibraciones en el segmento mano brazo en compañías del sector metalmeccánico. *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 62(245), 327-336.
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Mexico D.F.: McGraw Hill.
- Chu, X., Fielding, G. J., & Lamar, B. W. (1992). Measuring transit performance using data envelopment analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 26(3), 223-230.
- ecuatoriana, N. T., & 2631-1., N. I. (2014). *Vibración Mecánica y Choque. Exposición de los seres humanos a la vibración en todo el cuerpo*. Quito: INEN.
- Font Mezquita, J., & Ruiz, J. D. (1997). *TRATADO SOBRE AUTOMOVILES–Tomo IV: La Dinámica del Automóvil*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Obtenido de ¿Cómo funciona el Ford EEC-IV funciona el sistema?: <http://www.automotriz.mobi/coches/Reparaciones/diagnosing-car-problems/66876.html>
- INSHT, I. N. (2012). *Encuesta sobre Condiciones de Trabajo y Salud en Iberoamérica*.
- Izquierdo, F. A. (2001). *Theory of vehicles*.
- Izquierdo, F. A., Álvarez, C. V., & López, V. D. (2001). *Teoría de los vehículos automóviles*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.
- Kuchnicki, S. (2009). *Simple Vibration Problems with MATLAB (and Some Help from MAPLE)*.

- Liang, H., Beerse, M., Ke, X., & Wu, J. (Agosto de 2017). Effect of whole-body vibration on center-of-mass movement during standing in children and young adults. *Gait & Posture*, 54, 148-153. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.03.005>
- Luque, P., & Daniel Álvarez, C. V. (2004). *Ingeniería del automóvil: sistemas y comportamiento dinámico*. Madrid: Thomson. Obtenido de https://www.e-auto.com.mx/manual_detalle.php?manual_id=218
- Mayorga, D. J., Orbea, H. L., Gualotuña, Q. E., Toapaxi, C. J., & Rodriguez, R. J. (2017). Diseño de un Protocolo de Pruebas del Sistema Airbag mediante la Interpretación de Oscilogramas de Operación. *INNOVA Research Journal*, 2(9), 135-146. Obtenido de <http://revistas.uide.edu.ec/index.php/innova/article/view/482>
- NTE INEN- ISO 2631-1. (2014). VIBRACION MECÁNICA Y CHOQUES.
- Ruiz, L. R. (2011). *Manipulación Manual De Cargas Guía Técnica Del INSHT.* Madrid(On line). Obtenido de <http://www.insht.es/MusculoEsqueleticos/Contenidos/Formacion%20divulgacion/material%20didactico/GuiatecnicaMMC.pdf>
- White, G. (2010). Introducción al análisis de vibraciones. *Woburn, MA, Estados Unidos: Ázima 551*, 1990-2010.