

EFECTOS ADVERSOS A LA SALUD DEBIDO A LA EXPOSICIÓN A VIBRACIONES DURANTE EL MANEJO DE VEHÍCULOS DE DOS Y TRES RUEDAS.

ADVERSE HEALTH EFFECTS IN CONSEQUENCE OF THE EXPOSURE TO VIBRATIONS DURING DRIVING OF TWO AND THREE-WHEELS VEHICLES.

Eliana Elizabeth Morillo Taco¹, César Sebastián Silva Proaño²

^{1,2}Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, Becaria Universidades de Excelencia por la Secretaria de Educación Superior, Ciencia Tecnología e Innovación de la República del Ecuador SENESCYT, Universidad de Buenos Aires UBA. Aires

²Escuela Politécnica Nacional, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Universidad Técnica de Hamburgo, Inspector de Calidad Airbus – DB Schenker

e – mail : ¹elianamorillo@gmail.com , ²sebas.silva.p@gmail.com

Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro, VIII Edición 2019, No. 11 (12)

Resumen

El uso de vehículos de 2 ruedas (bicicletas) y de 3 ruedas (denominados también tricicletas) presenta desafortunadamente un riesgo muchas veces desconocido por los usuarios de este tipo de transporte.

Las vibraciones generadas por este tipo de vehículos, en el asiento y en el manubrio acompañadas de un uso frecuente pueden generar afecciones a la salud.

El presente artículo analiza cuantitativamente las vibraciones generadas en este tipo de vehículos por medio de sensores de esfuerzo colocados estratégicamente en el manubrio y asiento. Los valores obtenidos son procesados y comparados de acuerdo a las normas regulatorias de las vibraciones en máquinas de uso humano (ISO, DIN y VDI). Tres tipos diferentes de estos vehículos son puestos a prueba para la obtención de resultados y conclusiones que permitan analizar el verdadero riesgo existente en el uso de estos medios de transporte.

Palabras Clave: Vibración mecánica, aceleración, Vehículos de 2 y 3 ruedas, ISO, DIN, VDI, frecuencia, curvas de ponderación, tiempo de exposición.

Abstract

The use of two-wheels vehicles (bicycles) and three-wheels bicycles (also called tricycles) presents unfortunately a risk, which most of the time it is unknown by the users of these means of transportation.

The generated vibrations by these types of vehicles, on the saddle and the handlebar, in addition to a frequent use can cause inconvenient health conditions.

The present article performs a quantitative analysis of the generated vibrations of these type of vehicles within the use of strain gauges strategically located on the saddle and the handlebar. The obtained values are processed and compared in accordance with the regulations and codes of vibrations in machines used by the human being (ISO, DIN, and VDI). Three different types of these vehicles are put on test in order to obtain accurate results and conclusions, which let analyze the true existing risk involved on these means of transportation.

Keywords: Mechanical vibration, acceleration, 2 and 3 wheels vehicles, ISO, DIN, VDI, frequency, weighing curves, exposure time.

1. INTRODUCCIÓN

El ciclismo es una actividad muy popularizada hoy en día en todas partes del mundo. El uso de la bicicleta se propone como una alternativa al uso del automóvil por su carácter económico, amigable para el medio ambiente y beneficioso para la salud del ser humano.

El uso de la bicicleta ha evolucionado desde su perspectiva meramente deportiva hasta convertirse en un medio de transporte alternativo-saludable. Debido a esto, hoy en día, la bicicleta en sus muchas modificaciones es también usada no solo como un medio para ir al trabajo, o hacer deporte, sino también como un medio de entrega ya sea para restaurantes de comida rápida o para los carteros.

El desarrollo de este proyecto se realizó en Alemania, donde el uso de la bicicleta es mucho más amplio en distintos espectros.

En primer lugar, se puede establecer la siguiente pregunta como punto de partida: ¿Existe alguna normativa que regule el nivel de vibraciones admisible por el ser humano?

Se puede citar en primer lugar la normativa alemana VDI 2057 – Parte 1 correspondiente a la VDI-RICHTILINIEN (VDI = Verein Deutscher Ingenieure) que trata sobre la exposición humana a las vibraciones mecánicas en vibración de cuerpo completo. [1]

En esta normativa se describen las vibraciones de cuerpo completo como estocásticas o con un diferente contenido de frecuencias. Estas vibraciones de cuerpo completo las define la normativa como aquellas que son transmitidas a través de asientos y espaldas de personas en posición de asiento o aquellas que se transmiten a través de los pies de una persona en posición de pie o hacia la cabeza y la espalda en una posición de descanso. [1]

En segundo lugar, se puede citar la normativa DIN-EN-ISO-1032 la cual establece las especificaciones de las vibraciones mecánicas para el análisis y compilación del valor de emisión vibratoria en la puesta en marcha y prueba de maquinaria móvil. [2]

En tercer lugar, se puede citar la norma DIN-EN-ISO-5349 que establece el análisis de las vibraciones mecánicas para su medición y análisis en la exposición vibratoria transmitida hacia la mano.

Esta normativa está dividida en dos postulados importantes la DIN-EN-ISO-5349-1 referente a los requisitos generales [3], y la DIN-EN-ISO-5349-2 referente a la parte 2 la cual detalla una guía práctica para la medición en el ambiente o lugar de trabajo. [4]

En la normativa ecuatoriana INEN en base a lo estipulado en la ISO, se tiene también la normativa NTE INEN ISO 5349 referente a las vibraciones mecánicas, y la medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano. De igual manera se contempla una parte 1 y una parte 2 tal como la normativa homóloga DIN. [5]

Se puede constatar que en cuanto a la normativa ISO se han desarrollado una serie de regulaciones con respecto al tema de vibraciones, pero para el presente artículo las normativas de mayor relevancia son las 2 citadas anteriormente.

En conclusión, se puede generar la siguiente tabla citando las normativas relevantes para el desarrollo del presente artículo:

Tabla 1. Enumeración de las normativas concernientes al tema de vibraciones y sus consecuencias en la salud relevantes para el presente artículo

ID	Normativa
1	VDI 2057
2	ISO 1032
3	ISO 5349-1
4	ISO 5349-2

A continuación, se va a explicar el impacto en la salud del cuerpo humano a consecuencia de la exposición a vibraciones.

Cuando se trata de relacionar el impacto de las vibraciones en la salud humana, existen dos factores de relevancia: la amplitud de la vibración y principalmente el rango de frecuencia en la que se desarrolla esta vibración: [6]

Tabla 2. Problemas causados por la exposición a la vibración

Trastorno	Rango de frecuencia de vibración en Hz
Mareos, náuseas y trastorno de laberinto, disminución de la agudeza visual	0.1 a 0.7 Hz
Frecuencia cardíaca aumentada	Debajo de 20 Hz

Según la ISO 5349-1 cuando el ser humano es expuesto a vibración transmitida a sus manos, se puede desarrollar el fenómeno de Raynaud conocido también como afección de los dedos blancos o en inglés “Vibration Induced White Finger”. [3]



Figura 1. Afección de los dedos blancos causada por la vibración inducida

El fenómeno de Raynaud (ray-NOHZ) ocurre cuando las arterias más pequeñas que suministran la sangre a la piel se contraen, y con ello limitan la circulación de la sangre en las áreas afectadas. Esto se conoce también como espasmo de los vasos sanguíneos. [7]

Para el presente caso de estudio, la afección de los dedos blancos toma lugar cuando se ejerce fuerza con las manos en una barra o manubrio, donde además existe la incidencia de vibraciones. Este es el caso del uso de una bicicleta a través de un terreno irregular.

La norma regulativa ISO 5349-1 indica que el valor representativo-característico de la vibración es la raíz media cuadrada de aceleración, la cual pasa por un filtro de banda ancha y a consecuencia se tiene la raíz media cuadrada de aceleración frecuencialmente ponderada en m/s^2 . [3] [6]

Este filtro de ponderación frecuencial se compone de 2 partes:

- Un filtro limitante de banda que causa la caída a través de la baja y alta frecuencia, y
- Un filtro ponderado que establece la ponderación frecuencial de la señal de aceleración en un rango entre 0.5 a 80 Hz para la vibración en todo el cuerpo y de 8 a 1000 Hz para la vibración causada en la mano y brazo.

Se establece adicionalmente que los rangos vibratorios por debajo de 1 Hz no son relevantes para el estudio de afecciones a la salud. [3]

La evaluación de la frecuencia se da lugar en el dominio de tiempo y frecuencia, y con esto se establece las curvas ponderativas de frecuencia para dato de entrada de aceleración. Se tienen así 3 curvas de frecuencia ponderativas: [2] [3]

- W_k : Curva de frecuencia ponderativa en las direcciones x, y para la vibración de cuerpo completo.

- W_k : Curva de frecuencia ponderativa en la dirección z para la vibración de cuerpo completo.
- W_h : Curva de frecuencia ponderativa para determinar los valores de vibración de la mano y el brazo.

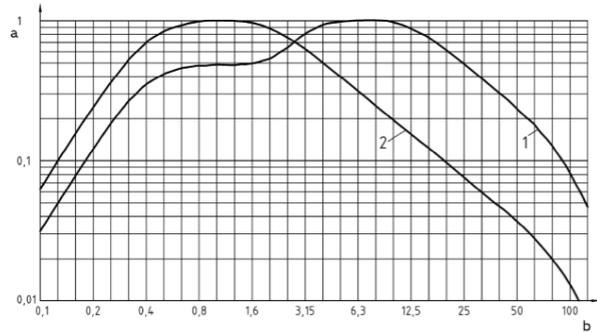


Figura 2. Curvas de ponderación de frecuencia para dato de entrada de aceleración W_d (en las direcciones x, y), y W_k (en la dirección z)

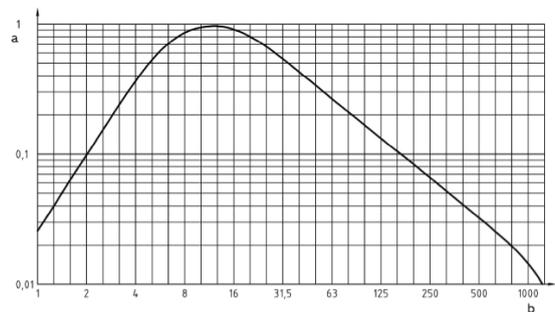


Figura 3. Curva de ponderación de frecuencia W_h para determinar los valores de vibración en la mano-brazo.

Donde en estas curvas:

- a: representa el factor de ponderación denominado en el inglés “weighing factor”
- b: es la frecuencia medida en Hz

Ahora es necesario también establecer la posición de las coordenadas para el análisis de vibración. Esto es detallado en la norma ISO 1032. Aquí se establecen las coordenadas rectangulares a tomar en cuenta para la transmisión de la vibración en el cuerpo humano: [2]

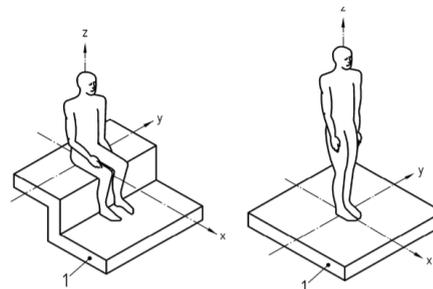


Figura 4. Curva de ponderación de frecuencia W_h para determinar los valores de vibración en la mano-brazo.

Los ejes se especifican de la siguiente manera:

- Eje X: Establecido para la espalda y el pecho
- Eje Y: Para las vibraciones en las direcciones izquierda y derecha
- Eje Z: Se lo establece para las vibraciones de los pies a la cabeza

Consecuentemente, las mediciones de vibración deben ser realizadas en los 3 ejes coordenados especificados anteriormente.

La medición de la vibración para todo el cuerpo se establece entonces: [2]

$$a_w \text{ MAX} = \max \{ a_{wx}, a_{wy}, a_{wz}, 1.4 a_{wx}, 1.4 a_{wy}, 1.4 a_{wz} \}$$

Ec. 1

Para la vibración en la mano y brazo se establece:

$$a_{hv} = \left[a_{hvx}^2 + a_{hvy}^2 + a_{hvw}^2 \right]^{1/2}$$

Ec. 2

Explicando detalladamente cada término:

- Tanto a_{wx}, a_{wy}, a_{wz} , como también $a_{hvx}, a_{hvy}, a_{hvw}$ (que son los valores para la vibración en la mano y brazo) son los valores efectivos de la aceleración frecuencialmente ponderada en las direcciones x, y, z correspondientemente.
- Con respecto a la vibración en la mano y brazo el valor correspondiente a a_{hv} se refiere al valor efectivo de la aceleración ponderada.
- En el caso que pueda ser demostrada la existencia de una dirección predominante de la donde se efectúa la vibración, el código de programación que determina la vibración debe determinar y reconocer esta dirección.
- La pregunta sería ¿cuándo existe una dirección de vibración predominante? Una dirección de vibración predominante es aquella cuyo valor efectivo de la aceleración frecuencialmente ponderada está por encima del 66% del valor de las demás.
- Se debe tomar en cuenta que, para el caso de la vibración de cuerpo completo, las medidas en las direcciones y, y son multiplicadas por un factor de 1.4. [2]

Se define de manera complementaria el valor de exposición diaria a la vibración. [6]

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{T/T_0}$$

Ec. 3

El valor T_0 se refiere a la exposición a 8 horas de vibración y $A(8)$ está medido en m/s^2 .

Adicionalmente la normativa alemana VDI 2057 establece que el rango de exposición a vibración de 0.45 a 0.80 (m/s^2) en un intervalo de exposición de 8 horas es el más crítico. La normativa realiza esta explicación en el siguiente gráfico: [1]

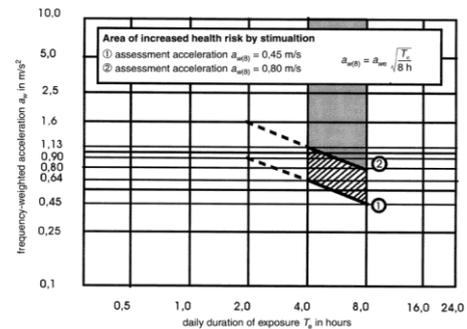


Figura 5. El riesgo a la salud a causa de la exposición a la vibración como una función de la raíz media cuadrada de la aceleración frecuencialmente ponderada y la duración de exposición diaria.

Considerando el valor máximo como referencia se puede calcular consecuentemente el valor máximo de aceleración para distintos períodos de tiempo mediante el uso de la ecuación Ec. 3

Se presenta estos valores de aceleración máxima y mínima para distintos períodos de vibración en la siguiente tabla:

Tabla 3. Problemas causados por la exposición a la vibración

Periodo	a_{cw} min	a_{cw} máx.
horas	m/s^2	m/s^2
8,00	0,450	0,8000
7,00	0,4811	0,8552
6,00	0,5196	0,9238
5,00	0,5692	1,0119
4,00	0,6364	1,1314
3,00	0,7348	1,3064
2,00	0,9000	1,6000
1,00	1,2728	2,2627

Tomamos en cuenta como referencia el valor de aceleración máxima vibratoria para 1 hora de duración, en el cual es de 2,2627 m/s^2 .

2. Materiales y Métodos

Con el fin de poner a prueba la teoría descrita en la parte introductoria se va a realizar una prueba física utilizando 3 tipos distintos de bicicletas: Una bicicleta de velocidad marca Gazelle, una tricicleta tipo Triliner semiautomática con motor y finalmente una tricicleta Jumbo con una canasta de carga Las 3 se muestran a continuación en las siguientes figuras:



Figura 6. Bicicleta de velocidad tipo Gazelle



Figura 7. Tricicleta tipo Triliner



Figura 8. Tricicleta tipo Jumbo

Adicionalmente, los vehículos van a ser puestos a prueba con sus llantas en presión máxima recomendada por el fabricante. Esta información se detalla en la siguiente tabla y adicionalmente se añade el tamaño de las llantas característico de los 3 tipos:

Tabla 4. Presión máxima de las llantas recomendada por el fabricante y tamaño para los 3 tipos de bicicleta

Tipo de Vehículo	Gazelle	Triliner	Jumbo
Tamaño de las ruedas	28 x 1 3/8 2	6B 2-22	20 x 2,00 de frente 26 x 2,00 posterior
Presión	5 bar	2,5 bar	4,5 bar

Con los 3 vehículos detallados, se determina ahora las condiciones del experimento:

- Se va a realizar un recorrido de 10 kilómetros. En total se realizan 6 recorridos, uno por cada vehículo con 2 diferentes usuarios.
- En el caso de las tricicletas se va a incorporar también un peso.
- Se van a instalar sensores tipo galga extensiométrica para medir las vibraciones en 2 puntos estratégicos: el asiento del vehículo y el manubrio.
- Se procede también a instalar un sensor de GPS en las bicicletas.
- El recorrido en cada bicicleta se va a efectuar por 2 usuarios distintos de distinto peso y condición física, pero manteniendo los pesos que se había mencionado en el caso de las tricicletas (los 2 conductores serán mencionados respectivamente como conductor A y conductor B).
- Los datos del sensor serán guardados y almacenados para su trabajo a posteriori.

El posicionamiento de los sensores tanto en el asiento como en el manubrio de los vehículos se lo realiza tomando en consideración la teoría descrita en el capítulo introductorio.

Los sensores tienen un esquema de los ejes de medición impresos en ellos. De esta manera se expone en primer lugar el posicionamiento del sensor en el asiento de los vehículos:



Figura 9. Posicionamiento del sensor de medición de vibraciones en el asiento de los vehículos. Notar el posicionamiento de los ejes.

A continuación, se muestra el posicionamiento del sensor para el manubrio:



Figura 10. Sensor de vibraciones en posición para el manubrio de los vehículos

En la siguiente sección se detallan los resultados de las mediciones y el análisis de los resultados obtenidos.

El procesamiento de los datos adquiridos se realiza por medio del software I-DEAS, el cual es utilizado para la exploración de datos y análisis de imágenes producidas por sensores: [8]

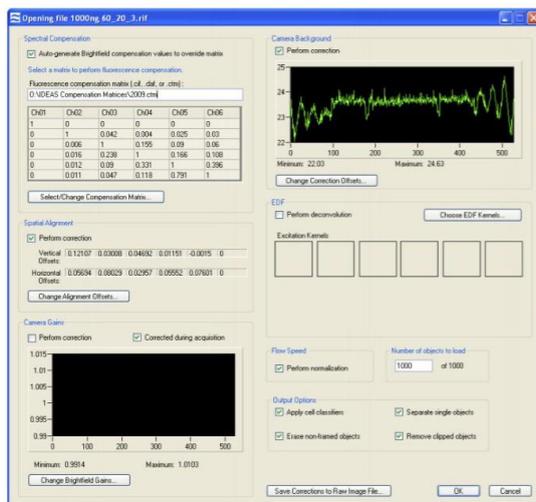


Figura 11. Software I-DEAS para el procesamiento de datos de entrada de un sensor, filtración y estadística

El software I-DEAS se lo va a utilizar también para el procesamiento de los datos y la eliminación de picos no representativos en las curvas obtenidas.

Adicionalmente, el sensor del asiento va a facilitar el valor de esfuerzo y además se va a determinar la velocidad en el trayecto. El valor de esfuerzo es importante debido a que va a permitir determinar si el conductor realizó fuerza en el asiento o en el pedal.

3. Resultados y Discusión

Se presenta primero la curva de fuerza en N y velocidad en km/h para el caso de la bicicleta marca Gazelle y la Tricicleta Jumbo, después de su pre-procesamiento en I-DEAS:

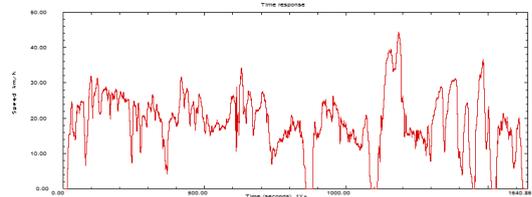


Figura 12. Fuerza y Velocidad en la bicicleta tipo Gazelle con el conductor B

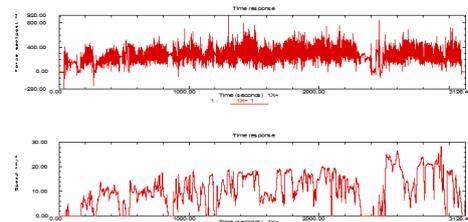


Figura 13. Fuerza y Velocidad en la Tricicleta tipo Jumbo con el conductor A

Ahora se muestran los valores pre-procesados de aceleración tomados para cada uno de los ejes de medición del sensor colocado en el asiento para:

- La Tricicleta Jumbo con el conductor A
- La bicicleta Gazelle con el conductor B

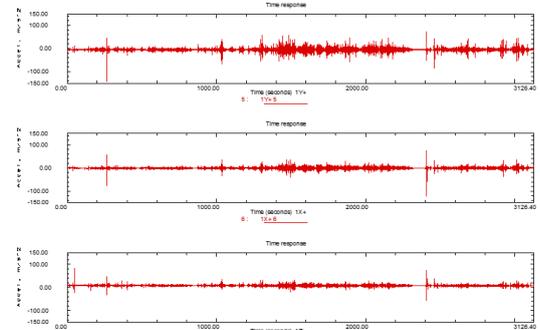


Figura 14. Datos de aceleración en x, y, z para el asiento de la Tricicleta Jumbo con el conductor A

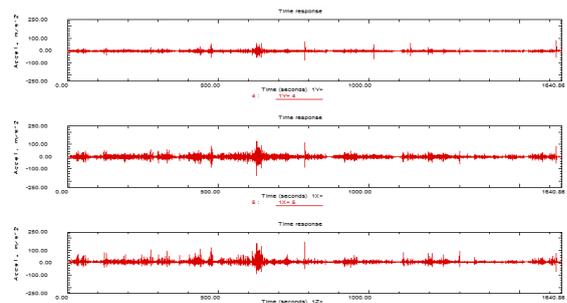


Figura 15. Datos de aceleración en x, y, z para el asiento de la bicicleta Gazelle con el conductor B

A continuación, se muestran los valores de aceleración en el dominio de frecuencia para el caso del sistema mano-brazo. El filtrado de estos valores se lo obtiene mediante el uso del software I-DEAS y las curvas de filtrado mostradas anteriormente:

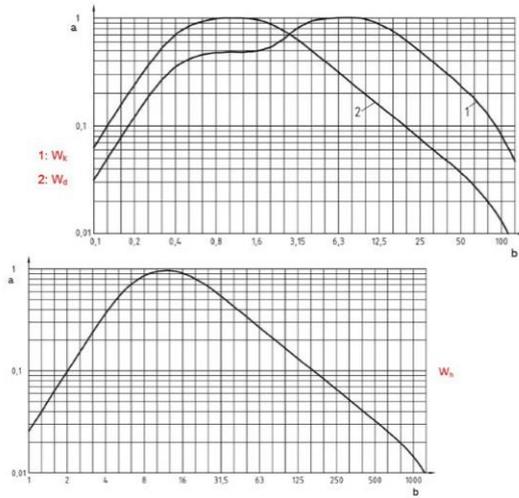


Figura 16. Recordatorio de las curvas de filtrado: Wd para la vibración de cuerpo completo en los ejes x, y; Wk para la dirección z, y Wh para el sistema mano-brazo

Con esto es posible obtener los valores de aceleración a_{hvx} , a_{hvy} , a_{hvx} para la vibración del sistema mano-brazo por medio del sensor instalado en el manubrio. Con fines de ejemplificación se va a tomar en cuenta al conductor A y la Tricicleta tipo Jumbo:

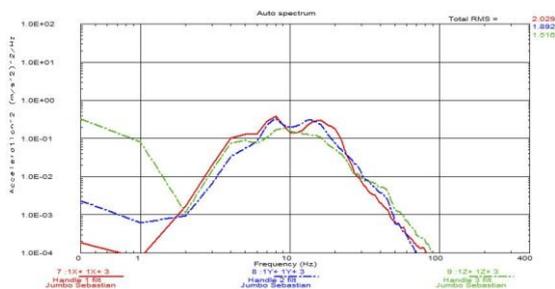


Figura 17. Curva de aceleración ah generalizada para la tricicleta tipo Jumbo con el conductor A

Se utilizan entonces la información recordada en la Figura 16 introduciendo la información de las curvas en el software I-DEAS y como resultado se obtienen las curvas de frecuencia ponderada que se muestran a continuación. La región de frecuencia debajo de 1 Hz puede ser omitida y ser omitida del interés de la investigación:

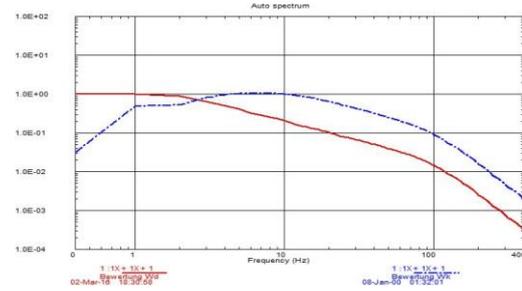


Figura 18. Curvas de frecuencia ponderada Wd y Wk para el sistema vibratorio de cuerpo completo

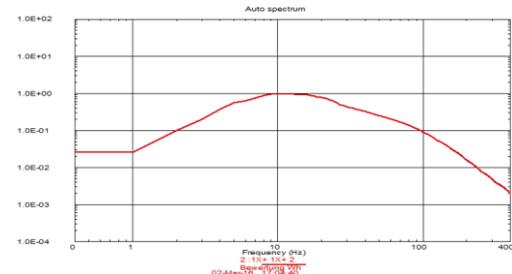


Figura 19. Curva de frecuencia ponderada Wh para el sistema mano-brazo

Una vez obtenidas las curvas de aceleración para los 3 ejes cardinales x, y, z han sido determinadas, es posible obtener la curva característica del valor de aceleración para el sistema mano-brazo mediante el uso de la Ec. 2:

$$a_{hv} = [a_{hvx}^2 + a_{hvy}^2 + a_{hvx}^2]^{1/2}$$

Estos gráficos son representados para los tres tipos de vehículos y los 2 conductores:

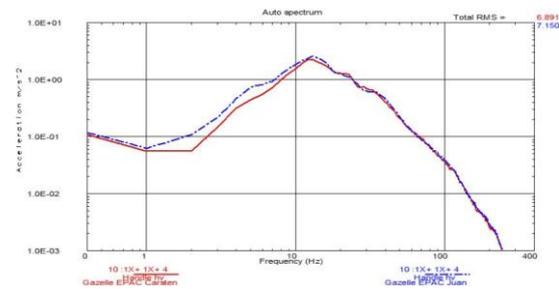


Figura 20. Curva ahv en el manubrio de la bicicleta Gazelle. En azul el conductor A y en rojo el conductor B

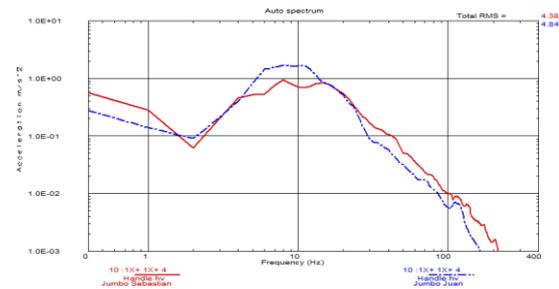


Figura 21. Curva ahv en el manubrio de la tricicleta Jumbo. En azul el conductor B y en rojo el conductor A

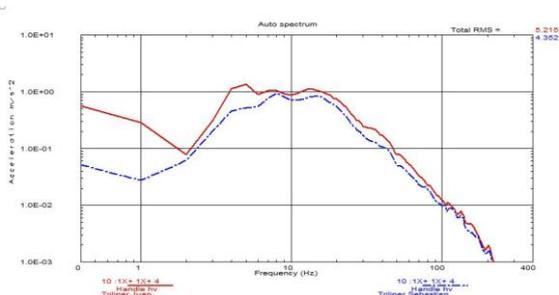


Figura 22. Curva a_{hv} en el manubrio de la tricicleta Triliner. En azul el conductor A y en rojo el conductor B

También se muestra a modo de ejemplificación algunas de las curvas obtenidas de aceleración correspondientes a las medidas del asiento:

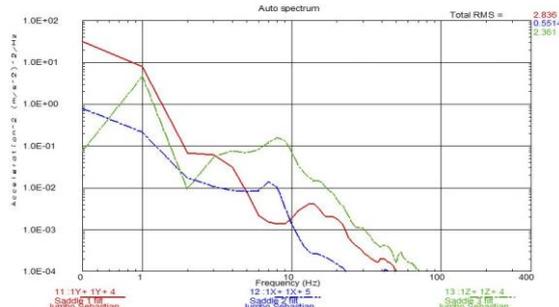


Figura 23. Curva $a_{w max}$ en el asiento de la tricicleta Jumbo para el conductor A. En rojo el eje Y, en azul el eje X y en verde el eje Z

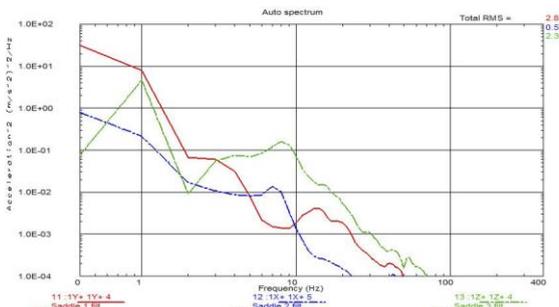


Figura 24. Curva $a_{w max}$ en el asiento de la tricicleta Triliner para el conductor A. En rojo el eje Y, en azul el eje X y en verde el eje Z

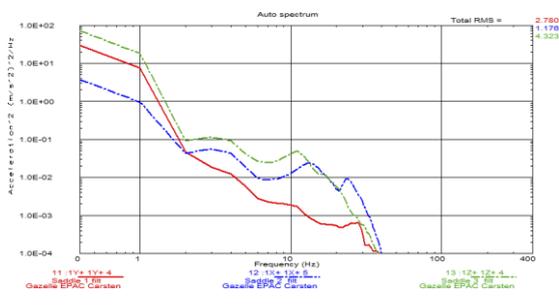


Figura 25. Curva $a_{w max}$ en el asiento de la bicicleta Gazelle para el conductor B. En rojo el eje Y, en azul el eje X y en verde el eje Z

Por medio del programa I-DEAS se puede obtener una tabla de los valores de la raíz media cuadrada de vibración:

Tabla 5. Valores a_{hv} para el manubrio en los 3 tipos de vehículos con los 2 conductores

ID	Conductor	a_{hv} en el manubrio				
		RMS	RMS prom	1h exp	2h exp	4h exp
Gazelle	A	7,1500	7,0205	210,3%	338,8%	520,5%
	B	6,8910				
Jumbo	A	4,3810	4,6140	103,9%	188,4%	307,8%
	B	4,8470				
Triliner	A	4,3520	4,7835	111,4%	199,0%	322,8%
	B	5,2150				

Tabla 6. Valores $a_{w max}$ para el asiento en los 3 tipos de vehículos con los 2 conductores

ID	Eje	Conductor	$a_{w max}$ en el asiento			
			RMS	1h exp	2h exp	4h exp
Gazelle	X	A	1,4480			
			3,2640			
			4,7850			
	X	B	1,1760			
			2,7800			
			4,3230			
	X	Prom	1,3120	-42,0%	-18,0%	16,0%
			3,0220	33,6%	88,9%	167,1%
			4,5540	101,3%	184,6%	302,5%
Jumbo	X	A	0,5514			
			2,8360			
			2,3610			
	X	B	0,9497			
			3,4820			
			2,9220			
	X	Prom	0,7506	-68,8%	-53,1%	-33,7%
			3,1590	39,6%	97,4%	179,2%
			2,6415	16,7%	65,1%	133,5%
Triliner	X	A	0,5514			
			2,8360			
			2,3610			
	X	B	0,8619			
			3,2000			
			2,7670			
	X	Prom	0,7067	-68,8%	-55,8%	-37,5%
			3,0180	33,4%	88,6%	166,8%
			2,5640	13,3%	60,3%	126,6%

Se puede realizar el siguiente análisis de acuerdo a los datos obtenidos:

- La curva $a_{w max}$ correspondiente a los valores de aceleración y vibración de todo el cuerpo

fue mayor en el caso de la bicicleta Gazelle de 2 ruedas. Esto confirma la teoría de que la bicicleta de 2 ruedas tiene una menor estabilidad comparada con una tricicleta y por tanto su uso no es recomendado para un período de larga duración en un uso constante. Sin embargo, es importante considerar también que esta bicicleta fue usada a una mayor velocidad en comparación con las otras 2 tricicletas.

- Se puede observar, comparando la manera de manejar de los dos conductores que en algunas ocasiones un conductor maneja a una velocidad mayor que el segundo. Dicho esto, se puede observar que existe una relación entre la velocidad de conducción y el valor característico de aceleración. Por consiguiente, a mayor velocidad es mayor la vibración generada y transmitida al cuerpo humano, incrementando las consecuencias no deseables en la salud y la probabilidad del síntoma de los dedos blancos.
- Se puede observar para el caso de las 2 tricicletas, la Jumbo y la Triliner que su valor de aceleración a_w max es bajo en comparación a la bicicleta. Consecuentemente, se puede establecer que la existencia de 3 ruedas si bien es cierto proporciona una mayor estabilidad, esta estabilidad es proporcional a una mejor absorción de las vibraciones generadas en el cuerpo.
- El valor de la aceleración vibratoria en el manubrio alcanzó un punto pico en la bicicleta de marca Gazelle. Probablemente, las tricicletas tienen una mayor estabilidad comparadas con las bicicletas. Finalmente, se puede señalar que la tricicleta Triliner presentó el mejor valor de estabilidad en la aceleración vibratoria del manubrio con un valor cercano a 1 m/s^2 .
- En el caso de la vibración de cuerpo completo, el valor más alto de aceleración vibratoria se obtuvo en la dirección del eje z. Considerando como se explicó en la introducción teórica que tanto el eje "x" como el "y" son afectados con un factor de amplificación de 1.4, aun así, la vibración en el eje "z" es la más relevante. Recordando las gráficas de posicionamiento de los ejes con respecto a la posición del cuerpo humano, el eje "z" es paralelo al cuerpo humano y por consiguiente se lo puede considerar como una vibración crítica que puede afectar a partes importantes del cuerpo

humano, principalmente la espalda.

4. Conclusiones

De acuerdo a los resultados mostrados las tricicletas, en este caso las 2 analizadas: la Triliner y la Jumbo presentan una mayor prestación y seguridad en el caso que este tipo de vehículos sean usados a nivel industrial o empresarial como por ejemplo para servicios de entrega o correo. Su uso asegura la disminución del impacto de las vibraciones en el cuerpo humano.

Este estudio lleva a la conclusión-recomendación que los vehículos que se vayan a usar en aplicaciones cotidianas, industriales o empresariales deben tener un estudio previo de vibraciones y su impacto en los usuarios.

De acuerdo a la tabla de valores comparativos mostrada en los resultados, se puede observar que en base al cálculo de exposición a 1, 2 y 8 horas, los valores de vibración exceden los máximos recomendados.

El valor más crítico que se obtuvo corresponde al caso de la bicicleta Gazelle en la medida de vibración en el manubrio. En base a una exposición de 4 horas, su valor de vibración comparado con el máximo recomendado, se excedió en un 520.5%.

En primera instancia según los resultados obtenidos se puede concluir que en el uso vehículos de 2 y 3 ruedas la vibración generada en el manubrio es mayor, y por lo tanto más relevante que la vibración generada en el asiento del conductor.

En segunda instancia, se puede también concluir que el valor de aceleración en el eje x para el asiento de estos vehículos presenta una mayor estabilidad.

La tricicleta tipo Jumbo como resultado de esta investigación presentó la mayor estabilidad y absorción de vibraciones comparada con las otras 2.

El análisis de vibraciones debe ser en primera instancia en el dominio del tiempo, y en segunda instancia su análisis debe ser trasladado al dominio de la frecuencia.

Recapitulando los resultados mostrados anteriormente, se puede concluir que, en el análisis de la vibración de cuerpo completo, el valor de vibración en el eje paralelo a la espalda de cuerpo humano es el

más crítico. Por consiguiente, se concluye y también recomienda que los asientos de los vehículos de 2 y 3 ruedas deben implementar un buen sistema de amortiguamiento que no solo asegura la ergonomía y confort del usuario, sino también previene las afecciones a la salud causadas por la exposición a vibraciones en este tipo de vehículos.

5. Referencias

- [1] VDI - Verein Deutscher Ingenieure, «VDI 2057-1 : 2017 COR 1 2017 : Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen Ganzkörper-Schwingungen,» VDI, 02 03 2016. [En línea]. Available: [https://infostore.saiglobal.com/en-us/Standards/ VDI-2057-1-2017- COR-1-2017-1114587_SAIG_VDI_VDI_2589127/](https://infostore.saiglobal.com/en-us/Standards/VDI-2057-1-2017-COR-1-2017-1114587_SAIG_VDI_VDI_2589127/).
- [2] DIN - Deutsches Institut für Normung, «DIN EN 1032 : Mechanische Schwingungen - Prüfverfahren für bewegliche Maschinen zum Zwecke der Bestimmung des Schwingungsemissionswertes: Deutsche Fassung EN 1032:2003+A1:2008,» DIN, 22 05 2012. [En línea]. Available: https://www.techstreet.com/standards/din-en-1032?product_id=1603146.
- [3] DIN - Deutsches Institut für Normung, «DIN EN ISO 5349-1 : Mechanische Schwingungen, Messung und Bewertung der Erwirkung von Schwingungen auf das Hand-Arm-System des Menschen. Teil 1: Allgemeine Anforderungen,» DIN, 28 06 2014. [En línea]. Available: <https://www.beuth.de/en/standard/din-en-iso-5349-1/41676072>.
- [4] DIN - Deutsches Institut für Normung, «Messung und Bewertung der Einwirkung von Schwingungen auf das Hand-Arm-System des Menschen. Teil 2: Hinweise zur Ankopplung von Beschleunigungsaufnehmern,» DIN, 28 06 2014. [En línea]. Available: <https://www.din.de/en/wdc-beuth:din21:222690172>.
- [5] INEN - Instituto Ecuatoriano de Normalización, «NTEINEN-ISO 5349-1 : Vibraciones mecánicas. Medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano. Parte 1: Requisitos generales (ISO 5349-1:2001, IDT),» INEN - ISO, 01 01 2014. [En línea]. Available: https://181.112.149.204/buzon/normas/nte_inen_iso_5349-1extracto.pdf.
- [6] M. H. Gomes y D. Savionek, «Measurement and evaluation of human exposure to vibration transmitted to hand-arm system during leisure cyclist activity,» ENGENHARIA BIOMÉDICA - Brazilian Journal of Biomedical Engineering, Brasil, 2014.
- [7] Mayo Clinic, «Raynaud's disease,» MAYO CLINIC, 31 10 2017. [En línea]. Available: <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/raynauds-disease/symptoms-causes/syc-20363571>.
- [8] IDEAS, «Image Data Exploration and Analysis Software User's Manual,» Amnis Corporation, 01 07 2010. [En línea]. Available: https://med.virginia.edu/flow-cytometry-facility/wp-content/uploads/sites/170/2015/10/Amnis-ImageStream-IDEAS-4_0-Manual.pdf.

6. Biografías



¹Eliana Morillo. – Magíster en Dirección Industrial (Universidad de Buenos Aires), Becaria Universidades de Excelencia 2014 (Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación de la República del Ecuador), Ingeniera Automotriz (Universidad de Fuerzas Armadas ESPE).



²Sebastián Silva. – Master of Science in Mechatronics (Technische Universität Hamburg – Harburg), Máster en Administración de Empresas (MBA) con mención en Calidad y Productividad (Pontificia Universidad Católica del Ecuador), Ingeniero Mecánico (Escuela Politécnica Nacional). Inspector de calidad de partes de aviones y equipo de soporte en tierra Airbus con la empresa DB Schenker en Hamburgo, Alemania.

Autor para correspondencia:
elianamorillo@gmail.com

REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN

Fecha recepción	16 noviembre 2019
Fecha aceptación	26 diciembre 2019