



Ciencia en su PC

ISSN: 1027-2887

manuela@megacen.ciges.inf.cu

Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago
de Cuba

Cuba

Fajardo-Segarra, Alejandro Francisco; Abdi Farah, Moustapha-Amin; Oliva-Álvarez, Ricardo
EVALUACIÓN DE LAS VIBRACIONES PRODUCIDAS POR EL TRANSPORTE
AUTOMOTOR EN LA PLAZA DE MARTE, SANTIAGO DE CUBA

Ciencia en su PC, vol. 1, núm. 4, 2018, Octubre-, pp. 95-105
Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba
Cuba

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181358509008>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEH
redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

**EVALUACIÓN DE LAS VIBRACIONES PRODUCIDAS POR EL
TRANSPORTE AUTOMOTOR EN LA PLAZA DE MARTE, SANTIAGO DE
CUBA**

**EVALUATION OF THE PRODUCED VIBRATIONS FOR THE SELF-DRIVEN
TRANSPORT IN THE SQUARE DE MARS, SANTIAGO DE CUBA**

Autores:

Alejandro Francisco Fajardo-Segarra, fajardo@uo.edu.cu¹

Moustapha-Amin Abdi Farah, amintojumbo1@gmail.com¹

Ricardo Oliva-Álvarez, oliva@cenais.cu¹

¹Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba.

RESUMEN

En el trabajo se exponen los resultados obtenidos en las mediciones de las vibraciones producidas por el tráfico automotor realizadas en el Centro Histórico de la ciudad de Santiago de Cuba, específicamente en la Plaza de Martes. Para las mediciones se utilizó el acelerógrafo (TitanSMA) para la captación de las vibraciones de vehículos. El acelerógrafo permitió la conversión de la señal obtenida en desplazamiento o aceleraciones. Finalmente, se proponen medidas correctoras que permiten disminuir los niveles de vibración y, por tanto, mejorar la calidad ambiental en la zona objeto de estudio.

Palabras clave: transporte, vibraciones, ciudad.

ABSTRACT

In the work the results are exposed obtained in the mensurations of the vibrations taken place by the self-driven traffic carried out in the Historical Center of the city of Santiago from Cuba, specifically in the Square of Marses. For the mensurations the instrument was used (TitanSMA) for the reception of the vibrations of vehicles. The instrument allowed the conversion of the sign obtained in displacement or accelerations. Finally they intend measured proofreaders that allow to diminish the vibration levels and therefore to improve the environmental quality in the area study object.

Key words: Transport, vibrations and city.

INTRODUCCIÓN

El creciente desarrollo industrial, el acelerado crecimiento de las ciudades y sus poblaciones y la circulación de vehículos automotores en zonas urbanas es hoy, además de un problema, una amenaza al ambiente urbano y causa de preocupación por las graves consecuencias que puede producir sobre la salud y el bienestar de las personas, así como por los daños al patrimonio edificado.

El diagnóstico de los problemas ambientales generados por el uso de los vehículos en las zonas urbanas tiene su origen en la necesidad de preservar la calidad de vida para la población en la sociedad. El transporte automotor genera una serie de problemas sobre el ambiente, tales como: calentamiento global, ruido, vibraciones, ocupación del suelo, intrusión visual, emisión de gases, accidentalidad y congestión, entre otros. Pero de ellos los que más afectan el bienestar y confort, como medida de calidad de vida, son la contaminación por ruidos y vibraciones (Zamora, 2004).

Las vibraciones causadas por el transporte automotor, según estudios realizados, provocan daños en las personas y en las edificaciones, que pueden llegar a ser significativos en dependencia del nivel de amplitud que las caracterice; si estas sobrepasan los niveles permisibles pueden causar efecto de perturbación y efecto de expectación en las personas, produciendo niveles de estrés que deterioran la salud física y mental (Oliva *et. al.*, 2005).

Para las edificaciones, la intensidad del daño depende del estado de tensión estática existente. Si este ya ha sido alterado por alguna causa, entonces las vibraciones aceleran el daño ya producido, que puede llegar desde incrementos de agrietamientos hasta la resonancia de la edificación. No menos importante es el efecto sobre equipos sensibles a los movimientos, como son computadoras, balanzas e instrumentos de medición exactos, que son comunes en algunas edificaciones. Si los niveles de vibraciones producidos por el tránsito son altos en ciudades emplazadas en zonas sísmicas, los efectos que se producen pueden ser más críticos, teniendo en cuenta los daños de sismos no perceptibles y perceptibles (Vacca, *et al.*, 2011).

El ambiente urbano en las ciudades a consecuencia de vehículos que sobrepasan las normas internacionales en cuanto al estado técnico, fundamentado por un gran número de años de explotación y la situación

económica persistente, se combina con el acelerado incremento de la población, que aumenta su densidad en el área urbana. Todo lo planteado condiciona la agresión que constantemente recibe el ambiente urbano y obliga a realizar esfuerzos multisectoriales para la mitigación de los efectos antes señalados a la mayor brevedad posible.

La agresividad que produce la circulación vehicular en la zona urbana es particularmente notable en las áreas más antiguas de las ciudades, donde la estructura urbana se desarrolló de manera espontánea y la trama vial no estuvo pensada para soportar el nivel de tráfico actual, además de las características operacionales y mecánicas de los vehículos modernos, como ocurre en el Centro Histórico de la ciudad de Santiago de Cuba.

La Plaza de Marte, una de las zonas más importantes de Santiago de Cuba, junto a su entorno, se convierte en uno de los ambientes urbanos más importantes de la ciudad, tomando en consideración los tramos más populosos de céntricas arterias de la urbe: Enramadas, Aguilera, Garzón y muy cerca la Avenida de los Libertadores, lo que significa un elevado tránsito de vehículos y afluencia de personas.

La Plaza de Marte forma parte del sistema de plazas que articula el crecimiento y la estructuración de la ciudad desde tiempos de la Colonia. Se reconoce entre sus usos primigenios el emplazamiento de la horca donde se ejecutaban los condenados a muerte, lo cual supone la existencia de un ambiente sombrío con un marcado silencio luctuoso. Sin embargo, en la actualidad la situación en cuanto al ruido y las vibraciones que se generan en el sitio es alarmante.

Además, esta zona ha experimentado en los últimos años un palpitar constructivo agitado, que la ha dotado de significativos atractivos: la Casa del vino, la tienda para la venta de instrumentos musicales Sindo Garay, la Chocolatería Fraternidad, el Club Iris Jazz, entre otros; más reciente es una de las zonas wifi que existen en la urbe.

Sobre los procedimientos y herramientas para enfrentar estudios sobre vibraciones vehiculares se ha encontrado poca información en la literatura internacional y en Cuba. La necesidad de caracterizar y estudiar el referido contaminante, ha sido la motivación fundamental de esta investigación, que

tiene como objetivo realizar una evaluación de dicho contaminante producido por el transporte automotor.

La vibración es un efecto físico que actúa sobre los elementos por transmisión de energía mecánica desde fuentes oscilantes. Se dice que un cuerpo vibra cuando sus partículas oscilan respecto a una posición de equilibrio o referencia. Si el sistema oscila libremente, lo hace con una frecuencia bien definida, llamada natural. Si se le obliga a oscilar a una frecuencia diferente, impuesta desde el exterior, el desplazamiento variará dependiendo de que la frecuencia impuesta externa esté más o menos cerca de la frecuencia natural del sistema. Si se igualan ambas frecuencias, la amplitud crece y se dice que el sistema ha entrado en resonancia.

Vibraciones producidas por el tráfico vehicular

Las vibraciones causadas por el tráfico vehicular pueden generar daños en las edificaciones cercanas y problemas o molestias a las personas. Estos efectos pueden ser importantes en función del nivel de amplitud de las vibraciones, el cual depende, entre otros aspectos, de las características de los suelos. Estas consecuencias inducidas por el tráfico vehicular pesado se pueden enmarcar principalmente en dos aspectos:

- Daños a construcciones o estructuras pequeñas, edificios rígidos y de poca altura, cimentados sobre suelos blandos y cercanos a vías de tráfico pesado.
- Incomodidad a las personas: teniendo en cuenta que el hombre solo tiene la posibilidad de asimilar una parte de las vibraciones en su sentido auditivo, sensorial y visual; destacando que este sentido sensorial está asociado a un evento de peligro.

El concepto de daño es relativo, dado que puede involucrar desde la generación de microfisuras hasta la aparición de grietas que puedan inducir algún tipo de colapso. Adicionalmente la aparición o no de daños, grietas y fisuras está íntimamente relacionada con la calidad de los materiales y de las técnicas constructivas.

METODOLOGÍA

Caracterización de la Plaza de Marte

La Plaza de Marte se ubica en uno de los puntos más populosos y altos de la ciudad de Santiago de Cuba, con unos cinco mil metros cuadrados. En sus extremos norte y sur están ubicadas dos grandes áreas de pérgolas, sobrepasan del piso del parque dos plataformas de granito pulido, formando semicírculos, con accesos a las áreas exteriores. Seis zonas de vegetación a manera de jardines, entre las sendas de entradas y salidas de la plaza, armonizan con las áreas abiertas interiores, en cuyo centro se levanta la solemne columna de la Libertad, con su gorro frigio coronándola, protegida por cuatro cañones de bronce.

En la figura 1 aparece una vista panorámica de la Plaza de Marte, donde puede observarse parte del sistema vial y de las edificaciones del entorno que la enmarcan.



Figura 1. Plaza de Marte

La Plaza está limitada por un conjunto de 34 edificios que funcionan como límite físico y perceptivo y por vías de un solo sentido, que se caracterizan por tener un ancho de 3 a 3,50 m y presentan señalizaciones del tránsito en todas las intersecciones. Las dimensiones de las aceras en general cumplen con lo establecido, con ancho de 1 a 1,50 m, con excepción de la casa pegada a la Casa de Chocolate, que no tiene ancho de acera.

En la figura 2 se muestran algunas de las edificaciones más relevantes del entorno de la Plaza de Marte.



Figura 2. Edificaciones en la zona de estudio. De izquierda a derecha: edificio de apartamentos, centro comercial Libertad, hotel Libertad y edificio de viviendas

Para las mediciones se utilizó el acelerógrafo (TitanSMA) para la captación de las vibraciones de vehículos, como se muestra en la figura 3.



Figura 3. Acelerógrafo (TitanSMA)

Se definió como intervalo de medición el de 5 min desde las 7:50 am hasta las 8:50 am, lo cual coincide con el horario pico previamente determinado. Los instrumentos utilizados fueron programados para dicho intervalo de medición, también se tuvo en cuenta para la definición del intervalo la simplicidad de las mediciones de vibraciones a la hora de identificar el tipo de transporte.

Se definieron las tres componentes: Longitudinal (L), Transversal (T) y Vertical (V), que indican las diferentes direcciones para las mediciones de vibraciones; esto permitirá identificar la dirección de la medición.

Se realizó el proceso de las mediciones con el equipamiento antes descrito, para lo cual se instaló el instrumento en un lugar cercano a la fuente de energía, evitando también el paso de las personas en la zona de medición.

Para el procesamiento y análisis de los registros obtenidos se emplearon programas que permiten un rápido análisis y procesamiento, donde se resumen

los valores mínimos y máximos de velocidad expresados en mm/s, obtenidos en el punto. Estos fueron:

ETOP-1. Separa en las tres componentes (L, T y V) los valores de las amplitudes de los registros obtenidos en cada punto.

DEGTRA 2002. Es un programa profesional diseñado por la UNAM, con él se obtienen los espectros de Fourier, de Respuesta, la intensidad de Arias, el cociente de los espectros de Fourier, entre otros parámetros.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos después de haber procesado los registros de la medición durante 5 min en el intervalo de 7:50 a 7:55 am en cada punto se muestran en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1. Valores de las amplitudes de las vibraciones de velocidad. Mínimos y máximos

Edificación	Longitudinal (L) mm/s 10^{-2}		Transversal (T) mm/s 10^{-2}		Vertical (V) mm/s 10^{-2}	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Hotel Libertad	0.06	0.10	0.01	0.04	0.04	0.31

Tabla 2. Valores de los períodos y frecuencias fundamentales de vibración de las edificaciones y del suelo

Edificación	Longitudinal		Transversal		Vertical	
	Frecuencia Hz	Período S	Frecuencia Hz	Período S	Frecuencia Hz	Período S
Hotel Libertad	4.73-5.00	0.20-0.21	4.71-0.51	0.19-0.21	8.00-29.0	0.03-0.12

En este caso se tomó como ejemplo para presentar el registro de las mediciones el punto ubicado frente al Hotel Libertad.

Además, se registraron los tipos de vehículos que circularon en los 5 minutos de mediciones. Como ejemplo se tomó el valor registrado por la circulación de un camión, como se muestra en el Gráfico 1.

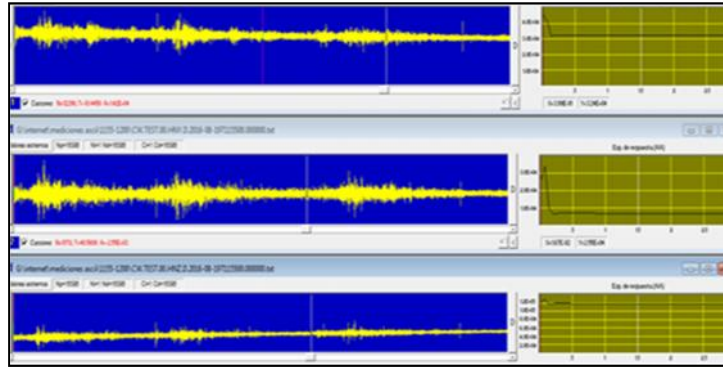


Gráfico 1. Registros de la medición de vibraciones

Valoración de los resultados obtenidos

Los factores fundamentales que influyen en el valor de las amplitudes de las vibraciones generadas por la circulación vehicular son: el peso de los vehículos, la distancia de la vía a la edificación, la altura de ubicación del sensor en la edificación, el tipo de suelo, la presencia de defecto técnico en la vía (baches) y la velocidad del vehículo.

En el caso de estudio se pudieron identificar los intervalos de tiempo (de 5 minutos) con mayores valores de los registros de las vibraciones dentro de la hora pico, pudiéndose demostrar, además, que existía una relación directa con el tipo de vehículo que circulaba. En los gráficos obtenidos se pudieron observar como las vibraciones aumentaban cuando circulaba un vehículo pesado, en particular camiones ómnibus.

El pavimento, en el punto escogido para realizar las mediciones, se encontraba en un estado bueno, por lo que este factor no influyó en los valores de vibraciones obtenidos.

La zona tiene establecido por la Ley 109 como velocidad máxima de circulación 50 km/h; sin embargo, esta nunca superó los 35 km/h, por lo que este factor se desechó como causa de las vibraciones obtenidas.

En Cuba, al no existir documentos normativos que limiten los valores de las vibraciones generadas por la circulación vehicular, se adoptan las normativas europeas, en las que los valores límites permisibles de las vibraciones están en dependencia del tipo de edificación y la frecuencia de las vibraciones, con mayor requerimiento para las edificaciones de alto valor patrimonial, las cuales plantean valores límites de velocidad de las vibraciones del orden de 1-3 mm/s.

Este valor normado no fue superado en ninguno de los sitios estudiados, pero los valores espectrales sí superan este valor.

Medidas para la mitigación de los efectos de las vibraciones

Partiendo de los resultados obtenidos durante las mediciones de las vibraciones, se proponen medidas para la mitigación de los contaminantes por vibraciones para corregir y/o mitigar los efectos de la problemática diagnosticada. Entre las que se encuentran:

- Evitar el parqueo o estacionamiento de vehículos en la zona de estudio, de modo que se garantice una mejor fluidez del tráfico y se eviten conflictos en la vía.
- Eliminar las barreras físicas como la venta de artículos y alimentos en las aceras, lo que impide y dificulta la circulación peatonal, además de generar conflictos.
- Ser más rigurosos con las restricciones de circulación de vehículos con deficiencias técnicas, ya que pueden incrementar las vibraciones.
- Disminuir la circulación de vehículos, en especial los pesados, ómnibus urbanos, vehículos de tracción animal y humana, que generan conflictos en la vía o interrumpen la fluidez del tráfico.
- Evitar en los pavimentos ranuras transversales, escalones, bultos o deformaciones. Con esta medida se garantiza una superficie de rodadura regular, lo cual evitaría el contacto brusco de las ruedas de los vehículos con el pavimento, con la consiguiente disminución del nivel las vibraciones.

A partir de estas medidas se jerarquizarían las propuestas en la elaboración del Plan de Acción y Mecanismos Operacionales indicados en la confección del expediente de mejoramiento, para que los organismos decisores den continuidad a los resultados de esta validación.

CONCLUSIONES

1. Los valores límites de velocidad de las vibraciones no fueron superados en ninguno de los sitios estudiados, pero los valores espectrales sí superan el valor normado.

2. Las observaciones realizadas indican que los factores fundamentales que influyen en el valor de las amplitudes de las vibraciones generadas por la circulación vehicular son: el peso de los vehículos, la distancia de la vía a la edificación, el tipo de suelo, la presencia de defectos técnicos de la vía (baches) y la velocidad del vehículo.
3. A partir de los niveles de vibraciones obtenidos se propusieron medidas para mitigar las contaminaciones por vibraciones, que darán inicio a la realización del Expediente para la mitigación de los contaminantes por ruido y vibraciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Zamora Martínez, M. (2004). *Evaluación preliminar del impacto ambiental provocado por el transporte en el centro histórico urbano de la ciudad de Santiago de Cuba* (Tesis de maestría). Universidad de Oriente. Santiago de Cuba. Cuba.

Oliva, R. et al. (2005). *Estudio de las vibraciones generadas por la circulación vehicular en Santiago de Cuba*. Santiago de Cuba: Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (Cenais).

Vacca, H. et al. (2011). Medición e interpretación de vibraciones producidas por el tráfico en Bogotá D.C. *Revista de Ingeniería de la Construcción*, 26(1).

Guía de Santiago de Cuba. Recuperado de http://www.cubatravel.cu/sites/default/files/documentos/guia_santiago_de_cuba_en_espanol.pdf

Recibido: mayo de 2018

Aprobado: septiembre de 2018