

**FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**MAPA DE ZONAS CON MAYOR INFLUENCIA DE
MICROTREMORES EN LA CIUDAD DE HOLGUÍN**

Holguín 2022

MAPA DE ZONAS CON MAYOR INFLUENCIA DE MICROTREMORES EN LA
CIUDAD DE HOLGUÍN



**FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**MAPA DE ZONAS CON MAYOR INFLUENCIA DE
MICROTREMORES EN LA CIUDAD DE HOLGUÍN**

Autor: Norge Rodríguez Pérez

Tutora: MSc. Elizabeth Rivas Freeman. Profesor Auxiliar

Holguín 2022

MAPA DE ZONAS CON MAYOR INFLUENCIA DE MICROTREMORES EN LA
CIUDAD DE HOLGUÍN



PENSAMIENTO

“En el nivel de ruido que nos molesta, influye sobre todo el nivel de conciencia que frente al mismo tiene quien lo genera”

Antonio García, 2013.



DEDICATORIA

A mi madre y a mi padre, las personas más maravillosas del mundo, quienes siempre han estado a mi lado en los momentos más difíciles de mi vida.

A mi novia que es mi compañera en los momentos difíciles y mi sol de cada día.

A mis amistades, quienes siempre me apoyaron y creyeron en mí durante toda mi vida.



AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer ante todo a mi mamá y a mi papá, porque ellos han estado en todo momento de mi vida.

A mi madre quien siempre ha estado a mi lado y me ha brindado su apoyo constante.

A todo el claustro de profesores que me enseñaron e instruyeron durante toda mi carrera.

A mi tutora, por la confianza depositada en mí, por su inagotable paciencia, por las horas robadas, su gran disposición.

A toda mi familia quien siempre me ha brindado su apoyo.

A todos mis compañeros de estudios con los que he compartido estos últimos cinco años.

A todos esos amigos que de una forma u otra me han apoyado en esta etapa de mi vida en especial a Grethel Karina Martínez Ramos, a Adrián de la Luz Álvarez y Rogelio Pablo González Gómez.

A todos ellos.

Muchas gracias.



RESUMEN

Los microtemblores son las vibraciones ambientales del suelo causadas por distintas fuentes, tanto naturales como antropogénicas. Los pequeños temblores que se generan a raíz de estos eventos tienen un efecto dañino en las edificaciones según la periodicidad y magnitud con la que ocurran. Para poder realizar este estudio es necesario realizar mediciones de microtemblores. Holguín siendo una zona de riesgo sísmico de moderado a bajo, no posee un registro sísmico que permita determinar la respuesta del suelo ante vibraciones de alta intensidad. Además, no cuenta con un estudio que permita ubicar las zonas de la ciudad donde hay mayor incidencia de microtemblores y las características de los mismos. El siguiente trabajo muestra una localización de las zonas con mayor incidencia de vibraciones y las fuentes que lo provocan, en el que se determina como mayor fuente emisora de vibraciones el tránsito de vehículos pesados en la ciudad. Con la finalidad de solucionar este problema se propone elaborar un mapa con las zonas donde hay mayor incidencia de microtemblores en la ciudad de Holguín que permita a las autoridades competentes realizar una adecuada gestión de riesgo y ayude a la toma de decisiones. La solución del problema de la investigación y el cumplimiento del objetivo fue posible con la implementación de un sistema de métodos de la investigación científica de naturaleza teórica y empírica, que permitieron constatar las insuficiencias en la gestión del riesgo en la ciudad de Holguín.



ABSTRACT

Microtremors are the environmental vibrations of the soil caused by different sources, both natural and anthropogenic. The small tremors that are generated as a result of these events have a harmful effect on the buildings according to the periodicity and magnitude with which they occur. In order to carry out this study, it is necessary to perform microtremor measurements. Holguín, being a moderate to low seismic risk zone, does not have a seismic record that allows determining the response of the soil to high intensity vibrations. In addition, it does not have a study that allows to locate the areas of the city where there is a greater incidence of microtremors and their characteristics. The following work shows a location of the areas with the highest incidence of vibrations and the sources that cause it, in which the transit of heavy vehicles in the city is determined as the greatest source of vibrations. In order to solve this problem, it is proposed to develop a map with the areas where there is a greater incidence of microtremors in the city of Holguín that allows the competent authorities to carry out adequate risk management and help decision-making. The solution of the research problem and the fulfillment of the objective was possible with the implementation of a system of scientific research methods of a theoretical and empirical nature, which allowed to verify the inadequacies in risk management in the city of Holguín.



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO REFERENTE A LOS MICROTREMORES.....	6
1.1 Bases conceptuales de vibración ambiental	6
1.1.1 Fuentes de las Vibraciones Ambientales	10
1.2 Caracterización de los microtremores existentes	13
1.3 Influencia de los microtremores en el ambiente urbano.	23
CAPITULO 2. UBICACIÓN DE LOS MICROTREMORES EN LA CIUDAD DE HOLGUÍN	31
2.1 Caracterización geográfica y socioeconómica de la ciudad de Holguín	31
2.2 Determinación de los microtremores en la ciudad de Holguín.....	38
2.3 Identificación de las zonas de la ciudad con mayor incidencia de vibraciones	38
2.4 Ubicación de los distintos tipos de microtremores en el mapa de la ciudad de Holguín	45
CONCLUSIONES GENERALES.....	49
RECOMENDACIONES	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51



INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las ciudades y, en consecuencia, el número de habitantes, provoca que haya también un incremento del riesgo por desastres naturales. Estos se ven agravados por otros factores cotidianos, dando lugar a un proceso de "acumulación de riesgos" característico de las zonas urbanas, donde las actividades humanas intensifican el problema. En el caso de un evento sísmico pueden ocurrir pérdidas importantes tanto económicas como de vidas humanas, por lo tanto, es necesario anticipar el daño que el fenómeno puede llegar a causar y desarrollar estrategias que permitan eliminar o al menos reducir el riesgo de desastres (PNUD, 2010).

Además de las afectaciones que se pueden generar por la ocurrencia de un sismo, existen otros fenómenos que generan vibraciones en las estructuras, que en ocasiones suelen ser considerables por las características que estos presenten. Gutenberg (1958), define los microtemores o ruido ambiental como las vibraciones del suelo causadas por distintas fuentes, tanto naturales como antropogénicas, como son: las ondas de la marea, vientos turbulentos y sus efectos en los árboles o edificios, maquinaria industrial, autos, trenes o actividades del ser humano. Los pequeños temblores que se generan a raíz de estos eventos tienen un efecto dañino en las edificaciones según la periodicidad y magnitud con la que ocurran, estos pueden: o bien debilitar la estructura con la cual aumenta la vulnerabilidad, o vinculado con un evento sísmico aumentar su intensidad.

El estudio de microtemor por Nakamura (1989), se utiliza en Japón para determinar las frecuencias predominantes asociadas a estructuras de subsuelo. Una de las ventajas de usar esta fuente de información es la facilidad con la que se hace el registro. El ruido sísmico ambiental tiene la ventaja de tener habitualmente un rango espectral amplio, comparado con una fuente artificial de pequeña intensidad. Otra ventaja es que puede ser medido en cualquier momento y con instrumentación sencilla ya que, se genera de manera continua. Un inconveniente de este tipo de movimiento es que puede no existir similitud entre el espectro registrado para



terremotos y el espectro de microtremor en un mismo punto, lo cual se debe a que las ondas registradas son de diferente tipo y tienen diferentes trayectorias de propagación. Simulaciones numéricas permiten concluir que la composición del ruido sísmico depende de dos factores principales. En primer lugar, la posición de las fuentes, ya sean lejanas o cercanas y superficiales o profundas. En segundo lugar, de la estructura del sitio, del contraste de impedancia entre la capa sedimentaria y el basamento y de sus frecuencias de resonancia.

En la ciudad de Holguín existe un creciente desarrollo socio económico, con presencia de nuevos negocios luego del nuevo modelo económico que presenta el país y nuevos asentamientos poblacionales que se construyen en las periferias de la ciudad. Toda esta nueva actividad conlleva a un incremento en la variedad e incidencia de los microtremores, los cuales pueden generar una afectación a las estructuras ya construidas. Los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgo por sismo (EPVRS) se comienzan a desarrollar en Holguín a partir del año 2010. Los EPVRS se ejecutan en estos momentos solo para las ciudades, ya que son las que sufren el mayor impacto ante la ocurrencia de estos fenómenos por su mayor concentración de población e infraestructura.

En el año 2019 el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAI) realizó un estudio de vulnerabilidad y riesgo en la ciudad de Holguín, donde plantea que el peligro de ocurrencia de un sismo de gran intensidad en el municipio es moderado y la vulnerabilidad es entre alta y moderada, lo que conlleva a determinar que existe un riesgo en el territorio de alto a moderado. En este estudio se obtuvo la estimación de los efectos a esperar en la zona mediante datos de perfil ingeniero-geológico a nivel regional, algoritmos de cálculo. Sin embargo, no contemplan otros factores que pueden aumentar el mismo, que por su importancia se deben tener en cuenta, lo que amerita investigaciones más precisas a nivel local.

Según el CENAI en Holguín, en el municipio son limitados los estudios referentes al fenómeno del ruido ambiental y su incidencia en los microtremores, por lo que es



necesario realizar una caracterización y localización de los posibles puntos críticos en la ciudad de Holguín; para poder tomar mediciones y obtener valores reales del fenómeno, que sirvan de herramienta a las entidades responsables del seguimiento y control de este fenómeno, en aras de realizar una adecuada gestión del riesgo.

Teniendo en cuenta las limitaciones expuestas se formula el siguiente **problema de la investigación**: ¿Cómo caracterizar las zonas de la ciudad de Holguín que presentan mayor incidencia de microtemores?

Siendo el **objeto de la investigación**: la vibración ambiental.

A partir de esta situación se propone como **objetivo general**: Caracterizar las zonas de la ciudad de Holguín que presentan mayor incidencia de microtemores que permita realizar una adecuada gestión del riesgo sísmico.

Inmerso en el **campo de acción**: los microtemores de la ciudad de Holguín.

Para cumplir el objetivo general y solucionar el problema de investigación se propone la siguiente **hipótesis**: si se realiza la caracterización de las zonas de la ciudad de Holguín donde existe mayor incidencia de microtemores, se podrá realizar una adecuada gestión de riesgo asociado a este fenómeno.

Objetivos específicos:

1. Analizar el marco teórico-metodológico vinculado a los microtemores y sus principales fuentes.
2. Caracterizar los microtemores existentes en la ciudad de Holguín y su posible influencia en el entorno.
3. Identificar en el mapa de la ciudad de Holguín las zonas con mayor influencia de microtemores.

Para el desarrollo del proceso investigativo se emplearon los siguientes **métodos de la investigación**:

Métodos Teóricos:

- Análisis y síntesis: mediante este método se realiza un análisis de los microtemores, en el que se determina el posible comportamiento cada uno en



la zona urbana de la ciudad. Luego se sintetiza la información y se definen las posibles zonas que puedan estar afectadas.

- Método inducción-deducción: mediante el análisis de las diversas técnicas de prospección, se puede establecer un eje común en las distintas investigaciones y a través de este razonamiento llegar a una vía de resolución de la problemática.
- Método de abstracción y concreción: mediante este método se analizan los aspectos primarios y secundarios del fenómeno que se estudia, en este caso, los microtemores que influyen en la ciudad de Holguín y se revelan los aspectos que son fundamentales para llevar a cabo el objetivo de la investigación.
- Método hipotético-deductivo: permite elaborar la hipótesis de la investigación y mediante el desarrollo del trabajo, donde se deduce el camino a seguir según los resultados que se alcanzan, se llegan a las conclusiones y a la verificación de las predicciones que se realizan.
- Método histórico-lógico: mediante este método se investiga la trayectoria histórica y el estado actual de los estudios de riesgo sísmico, y se destacan solo los aspectos más importantes de las técnicas inherentes a este tipo de análisis.

Métodos Empíricos:

- Observación científica: se visitó el lugar de estudio y mediante la observación se definieron las características de la calzada, las fachadas, del comportamiento y composición del tráfico, datos imprescindibles para la realización de la investigación.

El aporte de la investigación radica en:

La propuesta del mapa de microtemores en la ciudad de Holguín, el cual es una herramienta fundamental para la realización de una adecuada gestión de riesgo.

La novedad consiste en que:



Se elabora un mapa que contiene las zonas donde hay mayor incidencia de los microtemores y las zonas críticas, que ayude a la toma de decisiones por las autoridades competentes.

La actualidad es revelada por el hecho de que:

La investigación sigue la línea del Departamento de Construcciones que, a su vez, forma parte de la línea de investigación de la Universidad de Holguín “Innovación para el desarrollo sostenible”. Tributa al proyecto de investigación “Gestión del riesgo sísmico en edificaciones y puentes de la Provincia de Holguín” (código: PS211SC001), el cual pertenece al Programa Nacional “Desarrollo de Investigaciones Sismológicas Aplicadas en la República de Cuba (DISA)”. La investigación que se lleva a cabo es fundamental para el progreso, desde el punto de vista científico, de la gestión del riesgo sísmico en la ciudad de Holguín. Además, vincula a la Universidad como centro de altos estudios en el desarrollo de los problemas actuales del país. Por lo tanto, este trabajo está acorde al Modelo de Desarrollo Económico y Social del Partido y la Revolución.

El informe que se presenta tiene la siguiente estructura:

La tesis se estructura en introducción, capítulo 1, capítulo 2, conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

En el capítulo uno se aborda los conceptos fundamentales y la situación del estado del arte de los microtemores, donde se muestran los conceptos, las principales investigaciones al respecto en Cuba y el mundo.

En el capítulo dos realiza una caracterización socio-económica y espacial de la ciudad de Holguín, además de un análisis los microtemores que existen en la ciudad de Holguín y se ubica en el mapa de la ciudad de Holguín las zonas donde hay mayor incidencia de los mismos.



CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO REFERENTE A LOS MICROTREMORES

En el presente capítulo se presentan las bases conceptuales referentes a lo que se denomina vibración o ruido ambiental, además se definen los tipos de microtremores, sus características, y la influencia de los mismos en las personas y las edificaciones.

1.1 Bases conceptuales de vibración ambiental

Se entiende por ruido, cualquier sonido molesto, lo que le asigna a este contaminante un carácter de percepción. Motivo por el cual, para conocer su verdadero impacto en el ambiente y salud, se debe evaluar de manera metódica y según el marco normativo ambiental vigente.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) (2004) plantea que:

El ruido ambiental es un contaminante físico que afecta el aire, ya que, aunque no se acumula, traslada o se mantiene en el tiempo, si no se controla adecuadamente puede generar efectos perjudiciales en la salud y la calidad de vida de las personas. Este genera además de las molestias típicas del ruido, vibraciones que van de molestas a peligrosas. La vibración es un movimiento oscilatorio que fluctúa rápidamente en un medio y hace que las partículas se muevan en un movimiento ondulatorio, en el cual las fuentes que pueden ocasionarlas son variadas.

Sin embargo, para Castro, Pérez y Nader (2016)

“Los microtremores, también llamado ruido ambiental, microtrepidaciones, microtemblores o ruido sísmico de fondo, son vibraciones aleatorias inducidas en las masas del suelo y roca por fuentes naturales o artificiales. Principalmente provocados por la actividad humana”.

Además, plantean que

“Existe un amplio rango de contribuciones al ruido de fondo existente que incluyen la presencia de mareas, presión atmosférica, efectos diurnos principalmente asociados con la variación de la temperatura y la actividad inducida por el hombre. La suma de estos tipos de ruido afecta de manera



importante en la calidad de los registros sísmicos, de allí que cuando se procede a instalar una estación sísmica es importante evitar la influencia de las fuentes de ruido sísmico, las estaciones sísmicas ya establecidas con el tiempo sufren de incremento del ruido debido a las actividades realizadas por el hombre y a las expansiones de las ciudades”. (p.56)

Según Zamora (2004) existen parámetros que influyen en la vibración inducida por tráfico los que se destacan las características de la fuente de vibración, la forma de transmisión, y el receptor.

En el caso de la normatividad DIN 4150, Parte 3 (1999) que establece los valores de vibraciones límite para evitar daño estructural, la mayoría usa la velocidad máxima como parámetro de evaluación, algunas indican el rango de frecuencias en que se debe encontrar la estructura para evitar daño según sus características como lo son: tipo de estructuración, materiales y su uso; el rango de frecuencias de la fuente para indicar los valores límite de vibraciones en las edificaciones. Durante la evaluación estructural de edificaciones existentes, es recomendable determinar las características dinámicas del edificio con objeto de desarrollar modelos consistentes con la respuesta real de la estructura ante acciones de esta naturaleza. El uso de vibraciones ambientales es una técnica económica y confiable en tales casos, brindan información valiosa respecto de las propiedades elásticas de las edificaciones.

Kanai y Tanaka (1961) plantean que es común que las vibraciones ambientales también sean conocidas como microtrepidaciones, microsismos, ruido sísmico de fondo, campo natural, microtemores. También pueden definirse de varias maneras:

- a) Vibraciones en la superficie debidas a la incidencia oblicua de ondas de cuerpo que se propagan en todas direcciones con la misma energía.
- b) Una superposición de ondas superficiales, que constituyen un campo estacionario y homogéneo.



c) Para Cuadra, (2007) la vibración ambiental generada por fuentes naturales y antropogénicas, como el tráfico vehicular o la actividad humana.

Según Kohan y Gea (2014), puede considerarse que existen dos formas en las que el tráfico puede inducir vibraciones en los edificios:

- Vibraciones propagadas por el aire: son producidas por pequeñas fluctuaciones de presión en el aire, que se propagan por este medio en forma de ondas sonoras de baja frecuencia. En función de su contenido de frecuencias estas excitaciones pueden introducir vibraciones en las edificaciones, principalmente en sus componentes no estructurales más livianos, y en algunos casos producir un efecto de acoplamiento entre estas vibraciones y las propiedades acústicas de una habitación que resultan en un incremento en el nivel de sonido percibido por los ocupantes. Este tipo de vibraciones es denominado simplemente ruido.
- Vibraciones propagadas por el suelo: son producidas por fuerzas dinámicas generadas por la interacción entre las ruedas de vehículos y las irregularidades en la superficie de la calzada. se denominan vibraciones y, a diferencia del ruido, pueden producir daño en las edificaciones (Figura 1.1).

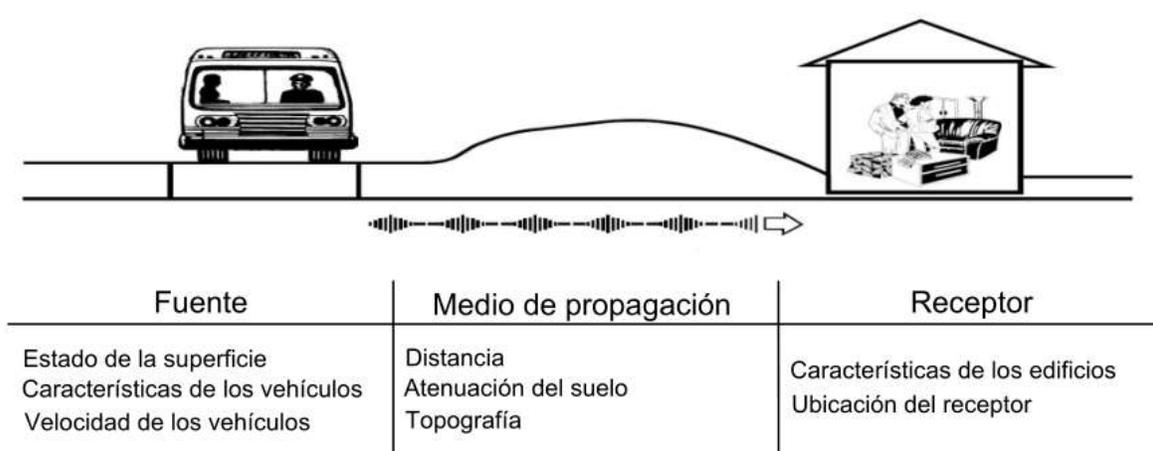


Figura 1.1. Esquema de propagación de las vibraciones. Fuente: Hunaidi, 2000

Es interesante notar que, si bien ambas vibraciones tienen características y efectos diferentes, existe una correlación en la forma en que las personas las perciben. Para



un nivel de vibraciones dado, las personas tienden presentar más quejas por los efectos relacionados al ruido que por las vibraciones propagadas por el suelo, siendo una de las preocupaciones más recurrentes la posibilidad de que estas vibraciones puedan producir daño en sus viviendas (Watts, 1990).

Las vibraciones inducidas por el tráfico se propagan en el terreno principalmente a través de ondas superficiales R. La amplitud de estas ondas disminuye con la distancia a la fuente. Esta disminución es debida a la atenuación geométrica y al amortiguamiento del suelo. La atenuación geométrica se debe al aumento de la superficie a través del cual la energía se propaga a medida que el frente de onda se aleja de su origen, mientras que el amortiguamiento del suelo se debe a su comportamiento histerético.

Las vibraciones propagadas por el suelo son transmitidas a nivel del terreno o de cimentaciones que puede propagarse a otras partes de la edificación. La cantidad de vibraciones percibida por un observador depende de los parámetros dinámicos de los componentes estructurales y arquitectónicos y de su ubicación en el edificio. Para entender este fenómeno se deben tener en cuenta varios conceptos inherentes a él, como son:

Amplitud (A): Es el valor máximo del movimiento de una onda (A)

Periodo (T): El periodo es el tiempo transcurrido por un punto que alcanza sucesivamente la misma posición. El periodo depende de las características iniciales de la perturbación.

Longitud de onda (λ): La distancia entre dos puntos consecutivos en el mismo estado de vibración se denomina longitud de onda (λ); La velocidad de propagación v es la distancia recorrida por la onda por unidad de tiempo. Si consideramos un ciclo completo, el tiempo será T y la distancia recorrida λ : $V = \lambda / T$

Frecuencia (f): El número de perturbaciones -pulsaciones- por segundo se llama frecuencia del sonido y se mide en Hertz (Hz). Las frecuencias más bajas se



corresponden con lo que habitualmente llamamos sonidos “graves”; las frecuencias más altas se corresponden con lo que llamamos “agudos”.

De acuerdo con Asten (1976), citado por Cuadra (2007), la propagación y las características de las fuentes de las vibraciones ambientales son estudiadas desde el siglo XIX, desde entonces se observa la complejidad de la propagación multimodal y multidireccional. Sin embargo, no fue hasta mediado del siglo XX que se comienza a utilizar registros de vibraciones ambientales con el objetivo de estudiar los efectos locales. La mayoría de las vibraciones ambientales de interés práctico sólo ocurren en el intervalo de frecuencias de 0.01 a 30 Hz; cabe mencionar que en la banda de 0.1 a 10 Hz, la energía se transmite como ondas Rayleigh, cuyos modos y velocidades de propagación se pueden estimar y medir con arreglos instrumentales para obtener información sobre las características de los parámetros elásticos de la corteza terrestre hasta profundidades de 20 Km.

1.1.1 Fuentes de las Vibraciones Ambientales

Kanai y Tanaka (1961), afirman que las vibraciones ambientales con frecuencias menores a 1 Hz son el resultado de fenómenos naturales como la acción de las olas, viento y variaciones atmosféricas mientras aquéllos con frecuencias mayores a 1 Hz, son producidos por fuentes artificiales que se deben a la actividad humana, como trenes, vehículos y el funcionamiento de maquinaria pesada. Detalladamente tenemos:

- A bajas frecuencias (por debajo de 0.1 hasta 0.3 Hz.) son causados por las olas oceánicas que ocurren a grandes distancias, y es posible encontrar buena correlación de las vibraciones ambientales con condiciones meteorológicas de gran escala en el océano.
- A frecuencias intermedias (entre 0.3-0.5 Hz y 1 Hz.) las vibraciones ambientales son generados por el oleaje que rompe en las costas, por lo que su estabilidad es significativamente menor.



- Para altas frecuencias (mayores a 1 Hz.) las fuentes de las vibraciones ambientales están ligadas a la actividad humana, por lo que reflejan los ciclos de esta actividad, y se manifiestan por cambios en la amplitud de éstos.

Debido a las limitaciones que dificultan la utilización de registros sísmicos fuertes en los estudios, por su escasez temporal y espacial, se puede sacar provecho de la información proveniente de movimientos sísmicos débiles y de microtemores para la caracterización dinámica de los suelos y la subsiguiente de evaluación de la amenaza sísmica local.

Vibración ambiental en edificaciones: Los patrones de vibración ambiental de un edificio son complejos, por lo que se descomponen en modos de vibración más sencillos, que conforman la forma final en la cual vibra la estructura. Cada uno de estos modos está definido por tres parámetros: periodo natural (T), amortiguamiento (β) y forma modal.

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 e agrietamientos, hasta la resonancia de la edificación. Si los niveles de vibración son altos en las ciudades emplazadas en zonas sísmicas, los efectos que se produce pueden ser más críticos.

Cada movimiento que se encuentra en un edificio está causado por una fuente externa al edificio. Este tipo de movimiento provoca una serie de sonidos poco agradables para las personas. El ruido es una parte de la energía de la vibración que se transforma en vibraciones depresión. Algunas características principales de las vibraciones son su amplitud y su frecuencia. La amplitud de las vibraciones es la intensidad de la misma, mientras que la frecuencia es el número de veces que se repite el movimiento vibratorio.

Nakamura (1989), define que:



Los microtemblores, también llamado ruido ambiental, microtrepidaciones, microtemblores o ruido sísmico de fondo, son vibraciones aleatorias inducidas en las masas del suelo y roca por fuentes naturales o artificiales. Existe un amplio rango de contribuciones al ruido de fondo existente que incluyen la presencia de mareas, presión atmosférica, efectos diurnos principalmente asociados con la variación de la temperatura y la actividad inducida por el hombre.

Según Contreras, Chuy, Fernández (2018), la suma de estos tipos de ruido afecta de manera importante en la calidad de los registros sísmicos, que cuando se procede a instalar una estación sísmica es importante evitar la influencia de las fuentes de ruido sísmico, las estaciones sísmicas ya establecidas con el tiempo sufren de incremento del ruido debido a las actividades realizadas por el hombre y a las expansiones de las ciudades. Todas las edificaciones pueden sufrir vibraciones. Esto se origina por distintas causas. Entre ellas, pueden ser el tráfico extremo, la presencia cercana de las vías del tren. El viento es otra de las causas que pueden provocar un movimiento de este tipo. Muy a menudo, las edificaciones pueden estar expuestas a maquinaria industrial, en caso de que se están haciendo reformas o por diferentes electrodomésticos de gran potencia y tamaño más voluminosos.

En función de las fuentes que producen las vibraciones externas de la edificación se distinguen tres principales tipos.

- Originadas por procesos continuos, como pueden ser las diferentes industrias
- Producidas por actividades intermitentes permanentes, por ejemplo, el tráfico.
- Actividades por acciones no permanentes o de una duración exacta, como, por ejemplo, la construcción.

En el trabajo de campo que realizan los autores Contreras, Chuy, Fernández (2018), para la vibración ambiental (VA) se utiliza un sismógrafo de tres componentes que registra las ondas generadas por la vibración del suelo debida a fuentes naturales y artificiales. En cada sitio de estudio se coloca un instrumento de medición, capaz de



registrar amplificaciones inducidas en términos de aceleración de partículas en función del tiempo. Este equipo sirve para registrar la amplitud de las oscilaciones. Las vibraciones pueden producir oscilaciones del terreno en sentido vertical y horizontal, por tal motivo hay que registrar las oscilaciones en ambas direcciones.

A continuación, se describe el procedimiento a seguir:

- Localizar el punto donde se realiza la vibración ambiental.
- Conectar el sensor de vibración al mismo.
- Posicionar el sensor de vibración en las coordenadas indicadas.
- Nivelar tratando que el terreno donde se coloque sea lo más plano posible.
- Medir por periodo de 20 minutos.
- Repetir procedimiento en cada punto.

1.2 Caracterización de los microtremores existentes

Gutenberg (1958) define el ruido como el término genérico que se usa para denotar las vibraciones ambientales del suelo causadas por distintas fuentes como las ondas de la marea, vientos turbulentos y sus efectos en los árboles o edificios, maquinaria industrial, carros, trenes o actividades del ser humano. Además, establece una lista de los diferentes tipos de fuente de acuerdo a su frecuencia y luego Asten y Henstridge (1984) obtienen las mismas conclusiones.

Los análisis de microtremores muestran que el ruido básicamente tiene diferentes orígenes: naturales y culturales, y difieren en el contenido de frecuencia. Esta diferencia induce a estos autores a distinguir entre microsismos y microtremores, correspondiendo respectivamente a fuentes naturales y culturales de relativas altas y bajas frecuencias. Basado en el resumen de Gutenberg (1958) y Asten y Henstridge (1978) se puede concluir como una aproximación, que las frecuencias bajas (menores a 1 Hz) son naturales (condiciones meteorológicas), frecuencia intermedia (de 1 a 5 Hz) son naturales y culturales (ruido de la ciudad), y altas frecuencias las fuentes son esencialmente culturales.



Los microtemores comenzaron a estudiarse desde el siglo pasado para la caracterización de suelos y estructuras. Omori (1909) fue el pionero en realizar estos estudios mediante el empleo de un péndulo inclinado y concluye que existen vibraciones naturales en el suelo que no correspondían a las sísmicas o pulsaciones oscilatorias. Luego en los años cincuenta, aparecen diversas metodologías lideradas por los japoneses sobre el origen y utilización de los microtemores para el estudio de las propiedades dinámicas del suelo. En la actualidad el desarrollo y mejora de estas metodologías permiten aplicarlas en estudios geotécnicos y de estructuración para la estimación de efectos de sitio y modelos de velocidad, espectro de diseño y zonificación sísmica basada en periodos fundamentales de vibración de los suelos, en el área urbana.

Según Kanai y Tanaka, (1961), entre las características principales de los microtemores se destacan:

- Las amplitudes de los registros de microtemores obtenidos durante el día son entre 2 y 10 veces más grandes que los registrados durante la noche, lo que sugiere que las amplitudes de los microtemores son dependientes de la hora del día en que se realiza su medición y de las fuentes de vibración alrededor del punto de medición.
- Los microtemores se presentan en un rango de frecuencia entre 0.001 a 30 Hz, aunque la banda de interés está entre 0.1 a 10 Hz, es decir, en el cual la energía se transmite como ondas Rayleigh y cuyos modos y velocidades de propagación se pueden estimar con arreglos instrumentales.

En general, las características espectrales de los microtemores pueden correlacionarse con las condiciones geológicas locales (Kanai y Tanaka, 1961). Por ejemplo, los periodos predominantes menores a 0.2 segundos son característicos de rocas duras, mientras que, periodos predominantes superiores a 0.2 segundos son típicos de depósitos más blandos.



Para Kilic, Ozener y Atilla-Ansal (2006), los estudios de microzonificación sísmica consisten en estudios multidisciplinarios, que en general abarcan unos pocos kilómetros delimitados por la zona urbana existente de una ciudad y su posible expansión. En este se consideran los efectos que un sismo tendría en la zona, tomando en cuenta los efectos de sitio y las micro-zonas sísmicas. En este estudio se definen como efecto de sitio las modificaciones en amplitud, duración y contenido frecuencial que experimentan las ondas sísmicas cuando llegan a la superficie. Los resultados finales quedan representados en un mapa de microzonificación sísmica, donde el área de estudio queda dividida en sectores de diferente riesgo potencial, zonas de riesgos sísmicos, que se etiquetan de acuerdo con su peligrosidad, en orden ascendente. Con esto se tiene la información necesaria para inferir los efectos de un terremoto sobre las edificaciones, dentro de una ciudad.

Es importante en este caso, tener una noción de la respuesta que puede tener el suelo ante las vibraciones. Existen autores, como Chopra (2001), que plantean que entre más blando sea el tipo de suelo que exista bajo la estación, mayor será la amplificación. Como se muestra en la figura 1.2, si el suelo es muy firme o se trata de roca sólida, los valores pico se ubican hacia la izquierda (períodos cortos inferiores a 0.4 s), mientras que, si el suelo es blando, los valores máximos se ubican hacia la derecha (períodos largos mayores a 0.4 s).

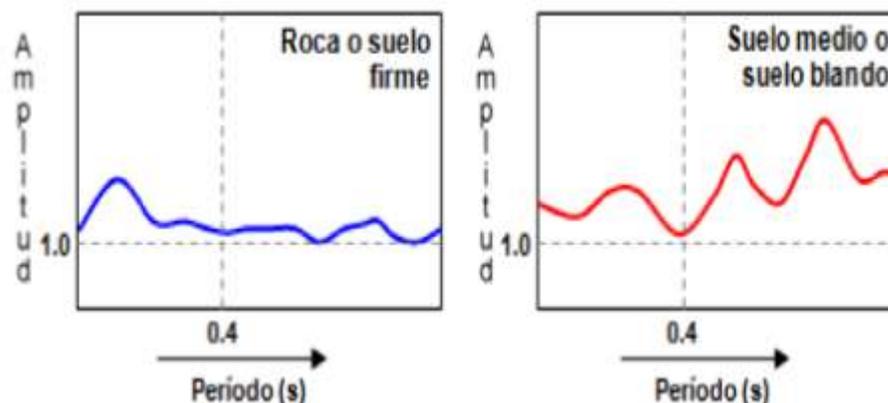


Figura 1.2. Amplitud vs periodo. Fuente: Chopra, (2001).



Kramer (1996), plantea que en el suelo se producen 2 tipos de ondas principales: de compresión y de corte. Cuando se producen vibraciones en el suelo, la velocidad de propagación de las ondas de compresión es 70% más rápida que las de corte, en consecuencia, las de compresión se registran en un inicio y es por esa razón que se llaman ondas primarias (P) y las de corte ondas secundarias (S) (Figura 1.3). Las velocidades de onda de corte son un parámetro muy importante para el análisis del comportamiento dinámico del suelo. Así mismo es una de las principales provisiones sísmicas en la construcción ya que las propiedades elásticas de los suelos en la superficie tienen un rol fundamental en la respuesta sísmica de sitio. Las normas internacionales *National Earthquakes Hazard Reduction Programs* (NEHRP) y el Eurocode 8 (EC8) consideran fundamental la velocidad de onda de corte en sitios con alta actividad sísmica para el diseño sismo resistente de las estructuras.

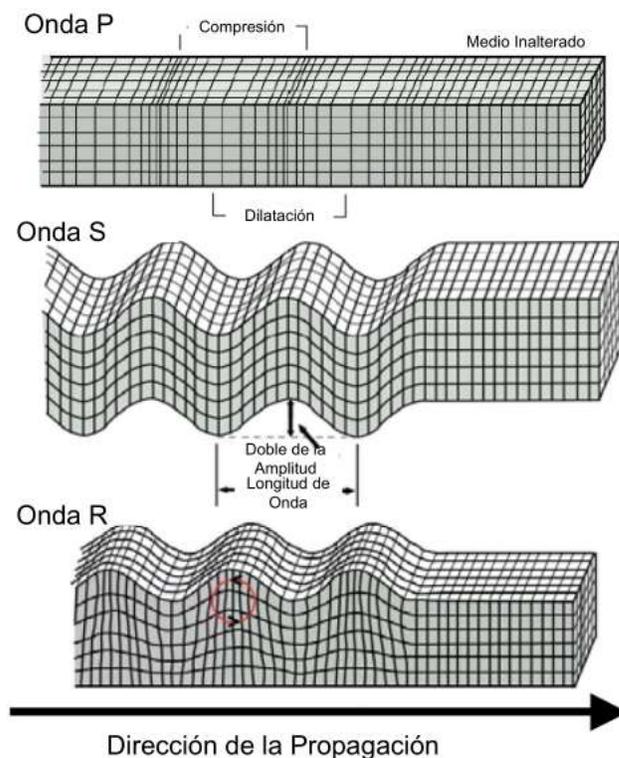


Figura 1.3. Tipos de ondas. Fuente: Hunaidi, 2000



La primera metodología que se tiene como referencia del uso de microtremores para determinar el efecto de sitio fue propuesta por los japoneses Kanai y Tanaka (1954), los cuales encontraron que los microtremores estudiados obtienen periodos predominantes similares a los obtenidos con señales de movimientos sísmicos fuertes. Según diversos investigadores como Aki (1957), Kagami (1982), Horike (1985), hicieron diversas investigaciones para determinar las características dinámicas del suelo a partir del uso de microtremores, desarrollando así nuevas metodologías para su análisis, donde se destacan los métodos pasivos.

Los métodos pasivos de ondas sísmicas superficiales son métodos geofísicos basados en el análisis de los microtremores. No requieren que se genere ninguna señal, como por ejemplo las producidas por las explosiones en la prospección sísmica. El objetivo de estos métodos es evaluar de forma indirecta y no destructiva la consistencia del terreno, registrando microtremores. Nakamura propone un método pasivo en el año 1989, que consiste en hallar el cociente entre la componente horizontal y la componente vertical en el dominio de frecuencia era un buen estimador de la respuesta de sitio. Esta técnica se aplicó por primera vez a microtremores de zonas urbanas de Japón.

En la actualidad el método de Nakamura (1989) es uno de los más usados para la determinación del periodo predominante del suelo y para la caracterización del efecto de sitio, por su fácil implementación en el trabajo de campo y en el procesamiento de los datos. Este método asume la componente vertical de la superficie como sustituta de la señal horizontal del basamento rocoso y su técnica consiste en la relación espectral de microtremores entre sus componentes horizontal y vertical (H/V). Las magnitudes de las fuentes de ruido que provocan microtremores, dependen su clasificación y el lugar donde se ubican. A continuación, se exponen algunos de estos valores que se plasman en el Programa de la Procuraduría ambiental y del ordenamiento territorial del Distrito Federal de México (PAOT) (2002-2006):



- Ruido ambiental urbano provocado por el tráfico aéreo: constituye otra fuente de contaminación ambiental de gran impacto, aunque su incidencia se localiza en la zona que rodea los aeropuertos y a lo largo de las rutas de salida y arribo de aeronaves. En el área que circunda a un aeropuerto hay altos niveles de ruido, con presiones acústicas hasta de 150 decibeles. En este el ruido ambiental (microtremor) o de fondo imperante se incrementa de manera momentánea con el paso de aviones en las rutas de salida y arribo en el orden de 10 a 25 db(A), y de 25 a 55 db(A) en las zonas de despegue y aproximación de las aeronaves.
- Ruido ambiental urbano por la industria de la construcción: El ruido por obras civiles en construcción es otra fuente frecuente de ruido ambiental (microtremor), y cuando se trata de obras públicas pueden provocar campos acústicos de gran impacto vecinal. En general, el ruido es emitido por la maquinaria de construcción en funcionamiento y los vehículos de transporte de carga en movimiento; algunas máquinas como hincadoras de pilotes y martillos neumáticos, generan elevados niveles de presión acústica acompañados de vibraciones mecánicas que afectan las áreas aledañas a las obras.
- Ruido ambiental urbano por fuentes diversas: En las ciudades existen determinadas zonas que propician focos emisores de ruido ambiental en horarios diurnos y/o nocturnos de impacto vecinal importante, tales como zonas de concentración industrial y zonas de esparcimiento. Las actividades industriales contribuyen a la contaminación ambiental en un 10%, y los bares, discotecas, lugares de ocio y similares participan con un 4%. El nivel de presión acústica provocada por estos establecimientos es muy variable, llegando a superar los 65 dB(A) cuando se trata de fuentes fijas individuales y mayores a los 80 dB(A) en concentraciones importantes de éstas.
- Ruido provocado por fuentes fijas: El ruido ambiental urbano es propiciado por una combinación de fuentes móviles y fuentes de impacto colectivo, y el ruido provocado por una fuente fija es el que afecta solamente a las personas que



ocupan los inmuebles colindantes y próximos al local donde se encuentran instalados los equipos generadores de ruido. Las fuentes fijas ocasionan serias molestias vecinales cuando el ruido escapa fuera de los locales o se transmite a las viviendas e inmuebles vecinos, fundamentalmente por problemas de aislamiento, siendo un frecuente motivo de queja de parte de los habitantes de la ciudad.

Para la OCDE, citada por Alonso (2003), una fuente de ruido urbano que adquiere una importancia creciente es la propiciada por actividades al aire libre y sitios o zonas con comercio informal. Los equipos y medios generadores de ruido son muy diversos y son utilizados en lugares, horarios y por personas diferentes que dificultan su regulación y control. En ambientes urbanos existen zonas críticas de gran impacto vecinal, como es el caso de espacios que aglutinan talleres donde se reparan automóviles y camiones que ocupan la vía pública, o zonas de comercio ambulante en los que se utilizan equipos de audio a volumen elevado.

Una gran cantidad de denuncias provienen de personas que ocupan inmuebles cuyo uso es predominantemente habitacional, y que colindan con inmuebles donde funcionan industrias, talleres, comercios, restaurantes, discotecas, entre otros, afectando con niveles sonoros elevados en diversos horarios. En muchos de estos casos, el problema persiste y no puede ser resuelto debido a la carencia, limitaciones o desarticulación de una regulación apropiada. El crecimiento que ha experimentado el sector del ocio nocturno en años recientes ha traído consigo un problema importante de contaminación acústica, que por sus horarios de funcionamiento afecta a las personas que residen en las áreas circundantes hasta altas horas de la madrugada.

Los niveles de presión acústica que emiten al exterior algunos salones de fiestas, discotecas, bares y otros establecimientos similares, plantean un problema de gran impacto vecinal. Este problema se agrava cuando los locales tienden a agruparse en determinadas zonas de la ciudad, propiciando además de ruido masivo y continuo, la



saturación de la vía pública y congestionamientos de tránsito por falta de estacionamientos, entre otros. El ruido procede comúnmente de los aparatos reproductores de música grabada o de los amplificadores de conjuntos musicales, pero también de las actitudes del público que asiste a estos centros de diversión a través de la algarabía y bullicio dentro y fuera de los locales.

Las vibraciones son un problema ambiental que es causa frecuente de denuncia ante las autoridades, y en muchos casos estas quejas acompañan a las denuncias por ruido. Cuando se han practicado las diligencias de reconocimiento de los hechos denunciados, la PAOT reconoce que en la mayoría de los casos no se trata de un problema de contaminación por vibraciones, debido a que no se produce un desplazamiento generalizado de los elementos contenidos en el medio elástico afectado, incluyendo personas, sino que se trata de un problema de vibración de objetos. El problema de vibraciones que principalmente se denuncia se refiere al efecto del choque de la energía acústica de una fuente emisora sobre elementos susceptibles de ser excitados y sometidos a oscilación, como vidrios de puertas y ventanas, paneles, objetos sueltos sobre muebles o colgados en muros y cancelles, entre otros.

La ISO 2631-2-2003 define que un cuerpo o elemento vibra cuando describe un movimiento oscilante con relación a una posición de equilibrio o de referencia. Al número de veces por segundo en que se repite un ciclo completo de movimiento se le llama "frecuencia" de la oscilación, que es medida en Hertz (HZ). Las vibraciones mecánicas objeto de medición por parte de la autoridad ambiental consisten en movimientos ondulatorios, proceso por el cual se propaga energía de un lugar a otro sin transferencia de materia, solamente de ondas mecánicas que avanzan de forma continua, haciendo oscilar las partículas del medio material. El movimiento mecánico o magnitud de la vibración se mide a través un acelerómetro u otros tipos de transductores de vibración.



Los problemas de contaminación por vibraciones tienen que ver la maquinaria y equipos instalados principalmente en establecimientos industriales y de servicios. Estas vibraciones son producidas por fuentes que someten a desplazamientos periódicos (oscilación) a todo un sistema mecánico, es decir, al medio material que contiene tanto a la fuente generadora como a las casas habitación y edificaciones del entorno, incluyendo el suelo donde está desplantado todo el conjunto de elementos involucrados. Este fenómeno físico puede ser percibido en menor o mayor grado por los ocupantes de dichas construcciones, afectándolos de diversas maneras que pueden ir desde una simple molestia, hasta el deterioro de su calidad de vida, pudiendo inclusive producir daños materiales en las construcciones, dependiendo de la naturaleza y características de las vibraciones.

La Norma Internacional ISO 2631-2-2003 advierte que la respuesta humana a las vibraciones en edificios es muy compleja, bajo ciertas circunstancias el grado de molestia o el efecto, no pueden explicarse de manera directa por la magnitud de la vibración medida y, bajo ciertas condiciones de amplitud y frecuencia, podría persistir la denuncia aun cuando la vibración sea más baja que el nivel de percepción. Con relación a los daños en la salud provocados por las vibraciones mecánicas.

La Norma Internacional ISO 2631-1-1997 plantea que “Estudios de investigación biodinámica así como la epidemiológica han mostrado evidencia para un riesgo elevado al deterioro de la salud debido a exposición prolongada con vibración de alta intensidad en cuerpo entero”; sin embargo, agrega “No hay suficiente información para mostrar una relación cuantitativa entre la exposición a la vibración y el riesgo a los efectos en la salud. Por tanto, no es posible evaluar la vibración en cuerpo entero en términos de la probabilidad del riesgo a varias magnitudes y duraciones de exposición”.

En conclusión, determinar los riesgos a la salud provocados por vibraciones mecánicas requiere de estudios muy profundos de parte de autoridades e investigadores especializados; por lo que por el momento la autoridad ambiental



debe atender los problemas de vibraciones. El ruido ambiental urbano por tránsito rodado, las grandes masas de gente que se desplazan diariamente por las redes viales primaria y secundaria recorriendo distancias cada vez mayores, propician también un uso creciente de unidades de transporte colectivo o individual en circulación que produce ruido en diversas formas.

En otro estudio citado en el mismo PAOT (1985) en 25 sitios del sur de la Ciudad de México se encontró que el 98% del ruido provenía del transporte público y el resto de camiones de carga y automóviles. Las mediciones determinaron niveles de ruido superiores a 55 dB(A) en 86% de los sitios estudiados y superiores a 70dB(A) en el 60%, y resalta que de acuerdo con los estándares de la Agencia de Protección Ambiental de los E.U.A. (EPA por sus siglas en inglés), “estos niveles de ruido pueden resultar perturbadores para el ser humano en diversos grados, sobre todo si se mantienen por largos períodos de tiempo”. El Programa de Protección Ambiental refiere un estudio exploratorio realizado por la SEDUE entre 1989 y 1990, donde se determinaron los siguientes niveles equivalentes de presión acústica: en 1989, de 80 a 86 dB(A), y en 1990, de 70 a 76 dB(A). Sin embargo, García y Garrido (2003), y Alonso (2003) demuestran con los resultados de diversas mediciones realizadas en países de la Unión Europea que el tránsito de los vehículos automotores es la causa del 80% de la contaminación acústica en las ciudades.

En Cuba hay escasos estudios que permitan determinar las causas del ruido urbano y dimensionar el impacto en el ambiente y en la salud. Que se tenga referencia, solo en ciudades como La Habana, Villa Clara y Santiago de Cuba, es donde se han realizado estudios sobre esta temática. Pero todos concluyen que las fuentes móviles como vehículos de transporte de carga, autobuses y automóviles son la causa principal del ruido ciudadano. Tampoco existe una norma que limite los valores de vibraciones que se generan por el ruido vehicular, para esto se adoptan las normas europeas en las que los valores límites de permisibles están en dependencia del tipo



de edificación y la frecuencia de las vibraciones. Para las estructuras de valor patrimonial se plantean valores límites de 1-3mm/s.

1.3 Influencia de los microtemores en el ambiente urbano.

Existen documentos normativos que reseñan aspectos básicos de las vibraciones, los estándares técnicos existentes para su medición, su descripción y una comparación entre ellos tanto para los daños en edificios como respecto de los impactos en las personas. Uno de ellos es la Norma ISO 2631(2003) (Organización Internacional de Normalización) donde señala una serie detallada de procedimientos y métodos para evaluar experimentalmente las vibraciones de todo el cuerpo humano en relación con la salud, el bienestar, la percepción y mareo.

La vibración es una oscilación mecánica en torno a una posición de referencia. Es el resultado de fuerzas dinámicas en máquinas o estructuras que tiene partes en movimiento o sometidas a fuerzas variables. Cada parte afectada por la vibración lo hará con distintas frecuencias y amplitudes de onda. La vibración puede causar molestia, fatiga y manifestarse como un fenómeno destructivo. La vibración y el ruido, entendido este último como los sonidos no deseados, son fenómenos vinculados, y desde esa perspectiva, el ruido es una parte de la energía de la vibración que se transforma por variaciones de presión. En los procesos dinámicos es normal que exista ruido y vibraciones.

Mellado, (2018) plantea Algunos conceptos básicos de la vibración son:

- La frecuencia de la vibración, que es el número de veces que se repite un movimiento cíclico en un segundo
- La amplitud de la vibración, es la característica que describe la intensidad de ella, la medición de la distancia entre los picos de la amplitud de la onda vibratoria permite medir la intensidad de la vibración.

También explica Mellado (2018), que en condiciones ambientales las vibraciones están compuestas por múltiples frecuencias, el proceso de descomponer cada una de ellas se llama análisis de frecuencia. Asociado a la vibración existe el fenómeno



de la resonancia. Las estructuras presentan vibraciones propias asociadas a sus características que se denominan vibraciones naturales, cuando estas se conjugan con las vibraciones exógenas se puede producir el fenómeno de resonancia que amplifican el efecto de las vibraciones. La percepción de vibraciones mecánicas constituye una experiencia humana relativamente reciente, y en términos de percepción, los estudios señalan que es un campo aún en estudio.

Mellado (2018) señala que las primeras investigaciones que se realizaron sobre los efectos de la vibración en las personas datan de finales del siglo XIX y abordan los efectos clínicos, médicos, psicológicos y de comodidad. Señala que estudios más recientes, desarrollados en los últimos cincuenta años, logran establecer umbrales estandarizados relacionados con la molestia, la fatiga, la incomodidad y el dolor. En 1973, se publica la Norma ISO 2631, la cual se utiliza para evaluar el efecto de la vibración ambiental sobre la salud, eficiencia y comodidad de un operador. Como muchas variables ambientales, la vibración es significativa en el contexto urbano debido a las concentraciones de personas residiendo cerca de las principales conexiones de transporte (carretera y ferrocarril), muy cerca de la construcción de otros edificios y de la actividad industrial.

En la actualidad, son muchos los países que desarrollan normativas y guías técnicas para la evaluación de la respuesta humana a la vibración, mediante el uso de estándares nacionales e internacionales, entre los que se encuentran:

- Serie ISO 2631(Organización Internacional de Normalización) ISO 2631 -1:2003: Vibración mecánica y choque- Evaluación de la exposición humana a la vibración en todo el cuerpo. Parte 1 requisitos generales (revisados en 2014).
- ISO 2631 -2: 2003: Vibración y choque mecánico - Evaluación de la exposición humana a la vibración de todo el cuerpo - Parte 2: Vibración en edificios (1 Hz a 30 Hz).

En base a estas normas ISO se han publicado una serie de normas relacionadas con las tecnologías de la construcción y también se han desarrollado leyes nacionales.



Según la página institucional, la norma ISO 2631, bajo el título general Vibración mecánica y choque- evaluación de la exposición humana a la vibración de todo el cuerpo, consta de las siguientes partes:

- Parte 1: Requisitos generales
- Parte 2: Vibración en edificios (1 Hz a 80 Hz)
- Parte 3: Directrices para la evaluación de los efectos de la vibración y el movimiento de rotación en el confort de los pasajeros y la tripulación en los sistemas de transporte de vía fija.
- Parte 4: Método de evaluación de la vibración que contiene múltiples choques.

Los alcances de la norma se refieren a la exposición humana a vibraciones y golpes en todo el cuerpo en edificios, respecto de la comodidad o molestia que experimenten sus ocupantes. Especifica un método de medición y evaluación que comprende la determinación de la dirección de la medición y la ubicación de la misma. Además, su ponderación de frecuencias W_m es aplicable al rango de frecuencia entre 1 y 80 Hertz, rango en que no es necesario definir la postura en que se encuentra el habitante de la edificación. Es importante señalar que esta norma no proporciona antecedentes respecto de la probabilidad de daño estructural de las edificaciones (se analiza en ISO 48.662) y no es aplicable para evaluar los efectos en la salud y seguridad humana. Así mismo señala que en las condiciones actuales y mientras no se haya recopilado información de campo, no es posible establecer una guía respecto de la magnitud de las vibraciones aceptables.

- Norma Alemana DIN 4150-2: 1999 "Vibración estructural, parte 2: exposición humana a la vibración en edificios" y la norma noruega NS 8176.E: 2008 Vibración y golpes- medición de la vibración desde el transporte terrestre y la orientación a la evaluación de sus efectos sobre el ser humano. Dichas normas señalan alternativas consideraciones sobre la comodidad (confort) y sugieren vincular los efectos del ruido en la percepción de la vibración, la evaluación de la comodidad y en la molestia provocada.



- BS 6472: 2008 Evaluación de exposición humana a la vibración en los edificios.
- ISO 2631-2:1989. Evaluación de exposición humana táctil a la vibración en cuerpo
- BS 5228.2:2009 Evaluación para el control del ruido y la vibración en la construcción y los sitios abiertos.

Cada uno de esos estándares de vibración mide su nivel, dirección, frecuencia y tiempo de exposición, así como también consideran las características de la construcción y el piso. Para Waddington et al, (2014) el hecho que se usen diferentes métricas para caracterizarla y diferentes escalas para medir la respuesta humana, hace que, comparado con el ruido ambiental, la respuesta humana a la vibración ambiental está menos desarrollada en la investigación. Además, según estudios de Klæboea et al, (2003) muestran que existiría un efecto conjunto de ruido y vibración, generando un estado de molestia para el ser humano cualitativamente distinto del que causan ambas variables por separado, que requeriría mayor nivel de profundización en la investigación. En este marco, en la actualidad, según Wong-McSweeney et al (2016) no habría consenso sobre un descriptor único y más apropiado para medir los efectos de la exposición adversa a la vibración o de criterios apropiados para prevenir sus efectos adversos en entornos residenciales.

La exposición a vibraciones se produce cuando se transmite a alguna parte del cuerpo el movimiento oscilante de una estructura, ya sea el suelo, una empuñadura o un asiento. Dependiendo de la frecuencia del movimiento oscilatorio y de su intensidad, la vibración puede causar sensaciones muy diversas que van desde la simple incomodidad hasta alteraciones graves de la salud (Obando, 2002).

La mayoría de los estudios realizados sobre las consecuencias de la vibración dicen relación con el uso de herramientas laborales. Según el modo de contacto entre el objeto vibrante y el cuerpo, la exposición a vibraciones se divide en dos grandes grupos: vibraciones mano-brazo y vibraciones globales de todo el cuerpo. Las primeras resultan del contacto de los dedos o la mano con algún elemento vibrante



(por ejemplo, una empuñadura de herramienta portátil, un objeto que se mantenga contra una superficie móvil o un mando de una máquina). Ambos tipos de vibración se han relacionado en la investigación con problemas en la salud, tales como trastornos vasculares, trastornos neurológicos periféricos, trastornos de los huesos y articulaciones, trastornos musculares y trastornos en el sistema nervioso central, entre otros.

En el estudio de las actividades sísmicas y demás fuentes de vibraciones es importante por el efecto que soportan las obras civiles, edificaciones y demás infraestructura de interés para la sociedad humana. Se considera de real importancia el estudio del mismo debido que, como lo mencionan Oviedo & Duque, en 2006, más del 85% de la población se localiza en zona de convergencia de tectónicas, cifra que se considera alta y más aún, expuesta a una amenaza sísmica entre intermedia y alta. Según Torres, Pérez, & Terán, (2009), el movimiento ondulatorio es el proceso por el cual se propaga energía de un lugar a otro sin transferencia de materia, mediante ondas, cuando estas ondas necesitan un medio material, se llaman ondas mecánicas.

Según Dolores & Ruiz, (2014) es posible distinguir diferentes tipos de ondas atendiendo a criterios distintos:

- La forma en que se propaga la onda.
- Un medio material para su propagación o según el tipo de energía que transporta la onda.
- La relación existente entre la dirección de vibración de la propiedad perturbada y la dirección de propagación de la onda.

Las vibraciones más agresivas a las estructuras que se puede encontrar y que a la vez resultan más comunes en nuestro día a día, según lo menciona Cahill (2011), es en el proceso de extracción de mineral, donde es necesario realizar voladuras en minas a cielo abierto; dichas voladuras producen inevitablemente vibraciones. En los efectos de vibraciones accionadas por voladuras, internacionalmente se han



establecidos límites máximos admisibles a los niveles de vibración generados por voladuras en la minería.

- Vibraciones generadoras en áreas de construcción: Uno de los inconvenientes más frecuentes se presenta cuando se inician las labores con maquinaria pesada, la cual genera vibraciones ocasionando incomodidad y malestar en las viviendas circunvecinas y sus ocupantes
- Vibraciones generadoras en áreas de construcción: Dado al área de construcción se destacan las máquinas de movimiento alternativo con componentes tanto rotativos como alternativos (motores diésel y ciertos tipos de bombas y compresores). Se incluyen además equipos utilizados en la construcción, con retroexcavadoras, volquetas, compresores, motobombas, martillos, cargadores, vibro compactadores.
- Vibraciones debidas a 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, la cual depende, entre otros aspectos, de las características de los suelos.

Como lo describe el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (2015), las vibraciones continuadas, pueden producir en las estructuras de los edificios afectaciones importantes. A continuación, se presentan las posibles deformaciones que se presentan sobre las estructuras: rotura, agrietamiento o fisuras en paredes o forjados del edificio. Empeoramiento de patologías existentes por otras causas de elementos estructurales o no estructurales.

Las vibraciones en específico producidas por el tráfico vehicular no representan un peligro inmediato para los edificios, pero en función del gran número de repeticiones que las caracteriza, con el correr del tiempo pueden contribuir a procesos de deterioro iniciados por otras causas. Las edificaciones pueden tener concentraciones de deformaciones debidas a asentamientos diferenciales, ciclos de variaciones de



humedad o temperaturas, renovaciones o reparaciones, etc. Las pequeñas vibraciones provocadas por el tráfico (como también por otras actividades humanas como el hincado de pilotes o las explosiones) pueden amplificar las deformaciones residuales que puede producir daño en el edificio. Asimismo, cuando los edificios son sometidos a estas vibraciones por períodos prolongados, existe la posibilidad de daño por fatiga principalmente en los componentes no estructurales, siempre que las tensiones inducidas tengan una magnitud mínima. Además, es posible que las vibraciones produzcan daño de forma indirecta debido a asentamientos en las estructuras relacionados a la densificación del suelo, particularmente en los casos de suelos sueltos (Hunaidi, 2000; Hunaidi y Tremly, 1997; Rainer, 1982; Watts, 1990). Existen también normativas internacionales, que rigen los límites de intensidad de las vibraciones en las edificaciones y la forma de medirlas. A continuación, se exponen algunas de ellas:

- Norma Sismo resistente colombiana NSR-10. Una edificación diseñada siguiendo los requisitos de este Reglamento, debe ser capaz de resistir, además de las fuerzas que le impone su uso, temblores de poca intensidad sin daño, temblores moderados sin daño estructural, pero posiblemente con algún daño a los elementos no estructurales y un temblor fuerte con daños a elementos estructurales y no estructurales, pero sin colapso.
- Normativa DIN 4150, Parte 3 (1999) La normativa alemana DIN 4150 en su tercera parte trata los efectos en edificios y sus elementos estructurales de vibraciones de carácter internas o externas. Para la valoración mediante este criterio, las velocidades, las frecuencias o las tensiones debidas a las cargas dinámicas si es necesario, se comparan con los valores del criterio.
- EEUU - USBM RI8507 Es un reporte de investigación del departamento de minas de EEUU (USBM U.S. Bureau of Mines). Aunque la RI8507 no es una norma, sus valores han sido aceptados en todo el mundo como umbrales para daño cosmético en viviendas debido a vibraciones causadas por voladuras.



Conclusiones parciales

- Las principales fuentes emisoras de vibraciones ambientales son las de tipo naturales (mareas y viento) y culturales (tráfico ferroviario, rodado, aéreo y de otras fuentes diversas).
- A nivel mundial se desarrollan diversas investigaciones sobre la influencia de la vibración ambiental (microtremores) y cómo estas ocasionan afectaciones tanto a la salud humana como a las estructuras.



CAPITULO 2. UBICACIÓN DE LOS MICROTREMORES EN LA CIUDAD DE HOLGUÍN

En el presente capítulo se exponen las principales características socio-económicas y geográficas de la ciudad de Holguín, así como los microtemores que existen en la misma. En base a esto se realiza un análisis de los mismos y se ubican en un mapa para poder definir los puntos críticos que existen en la ciudad.

2.1 Caracterización geográfica y socioeconómica de la ciudad de Holguín

Cuba, país que presenta en la actualidad un grado de urbanización considerable, que recibe reconocimientos internacionales por el conjunto de medidas y acciones para la protección del medio ambiente con un verdadero enfoque de sostenibilidad, se incorporó al proyecto GEO Ciudad es en el 2002 con la Ciudad de La Habana, cuyos resultados éxitos os condujeron a su replicación en otras tres localidades del país: Santa Clara, Cienfuegos y Holguín, las cuales experimentaron un desarrollo horizontal de su mancha urbana en las últimas décadas del pasado siglo, con significativos impactos en la calidad ambiental, el paisaje urbano, y que enfrentan en la actualidad el reto de garantizar las demandas de infraestructuras urbanas y servicios a los habitantes.

La ciudad de Holguín, capital de la provincia y del municipio de igual nombre, se encuentra ubicada en la porción central y al oeste de la provincia, en la región norte del oriente del país, limita al norte con el asentamiento Aguas Claras, por el sur con el municipio Cacocum, por el Este con el asentamiento Las Biajacas, y por el oeste con el asentamiento Yareyal Cementerio (Figura 2.1). El ritmo de crecimiento intermensual en la etapa republicana fue lento, se vigorizó en los últimos años de este período para alcanzar un movimiento inusitado en la etapa de la Revolución en el poder, una muestra de esta tendencia la recogen los resultados de los censos de 1899 donde la población de la ciudad era de 6 045 habitantes, en 1953 de 56 531 y al cierre de 2004 habitan 273 000 personas.



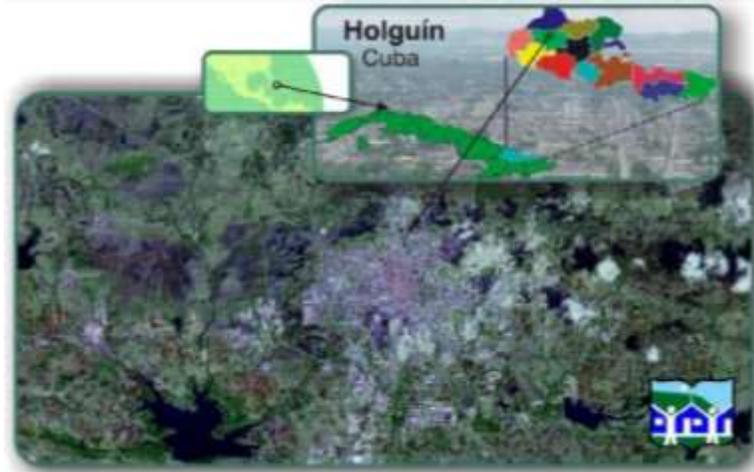


Figura 2.1. Ubicación geográfica de la ciudad de Holguín. Fuente: Foto aérea de INTERNET, adaptada por el Equipo A-21L/GEO, Holguín, 2005.

En la ciudad se encuentran representados los sectores económicos primario, secundario y terciario, estos son la base económica principal para la industria y los servicios. El desarrollo de este programa no ha significado la ocupación de nuevos espacios por la ciudad, sino que se han aprovechado pequeños terrenos urbanos libres que resultaban improductivos y/o estaban destinados por el Plan General de Ordenamiento Urbano (PGOU) para el desarrollo futuro; en su mayoría poseen sistemas de riego a partir de pozos construidos en las propias instalaciones para el cultivo de diferentes productos, fundamentalmente hortalizas, vegetales y condimentos. Se basa en la agricultura orgánica, sin el uso de productos químicos para la fumigación o fertilización. Estas producciones se comercializan en diferentes puntos de la ciudad, los cuales cumplen, en gran medida, con los radios de accesibilidad de la población. El programa está constituido por 27 sub-programas productivos que comprenden, entre otros, la creación de organopónicos y huertos intensivos para favorecer el suministro de hortalizas y condimentos a la población, se ha incluido además el forestal y frutales como vía de mejoramiento y protección ambiental. Entre los programas se encuentran también la producción de semillas y materia orgánica.



Con el triunfo de la Revolución en 1959 comenzó un proceso de descentralización de la actividad industrial de la capital del país hacia las diferentes provincias, lo cual dio lugar a que la ciudad de Holguín se convirtiera en una de las principales zonas industriales, por el tipo de producciones y aportes que proporciona a la economía nacional. Las industrias en la ciudad se concentran fundamentalmente en tres zonas: Zona Industrial Este, Zona Industrial Sur y la Zona Industrial Oeste, además existen algunas industrias ubicadas de manera dispersa dentro de la trama urbana. Actualmente, 37 % de las instalaciones tienen un adecuado estado constructivo, las restantes se encuentran entre regular y mal estado, y sólo 21% cuenta con adecuadas tecnologías de producción, éstas son las principales presiones en el sector.

- Zona Industrial Este: Esta zona se caracteriza por el predominio de instalaciones de producción de alimentos, los cuales se distribuyen a nivel provincial. El estado técnico y constructivo predominante es entre regular y bueno, se destaca el Combinado Lácteo donde se han realizado inversiones recientes en modernización tecnológica y ampliación de capacidades, sin embargo, constituye uno de los principales focos contaminantes a los recursos hídricos de la ciudad por insuficiente capacidad en los sistemas de tratamiento de residuales líquidos. En esta zona industrial existen, además, presiones que limitan su desarrollo y/o funciona-miento como son: el crecimiento incontrolado en la construcción de viviendas, que han ocupado áreas con potenciales para el crecimiento industrial; la deficiente vinculación vial por el sur con la ciudad, y la fragmentación del área por el cruce central de un arroyo, que constituye un umbral físico que limita el desarrollo funcional de la zona.
- Zona Industrial Sur: Esta zona se caracteriza por la diversidad de ramas de producción, se destacan las industrias sideromecánica, de materiales de construcción, y de productos químicos. El estado técnico constructivo predominante es de regular a malo, motivado por la falta de acciones de



mantenimiento y reparación de manera sistemática; así como el predominio de tecnologías obsoletas, a excepción de las fábricas de cervezas Bucanero, de Envases de Aluminio, y de Muebles Sanitarios, que han sido objeto de inversiones en nuevas Tecnologías.

- Zona Industrial Oeste: Esta zona se caracteriza por el predominio de almacenes y talleres, los que se encuentran, en su mayor porcentaje, entre regular y mal estado técnico-constructivo, motivado por la falta de acciones de mantenimiento y reparación de manera sistemática. El abasto de agua y la solución a los residuales se realiza de manera individual en cada una de las instalaciones por no existir redes de acueducto y alcantarillado, por este motivo 28 instalaciones se consideran focos contaminantes activos o potenciales de los recursos hídricos, en este caso a la presa Güirabo, fuente de abasto de agua al municipio. La trama vial es insuficiente y no garantiza buena accesibilidad interna dentro de la zona, es significativo que la vinculación con la ciudad se realiza por la carretera Central, la cual constituye una vía congestionada por presentar una sección transversal insuficiente. Las condiciones ambientales se ven afectadas por la emisión de ruidos de la Fábrica Embotelladora de Bebidas y Licores, así como de los talleres existentes en la zona; el Combinado Cárnico TRADISA produce contaminación por olores. En esta zona coexisten la actividad industrial y zonas residenciales con 7920 habitantes en 220 viviendas.

En la trama urbana se encuentran algunas industrias ligeras, fundamentalmente para la elaboración de confecciones, calzados, tabacos y productos alimenticios como: panaderías y dulcerías. Estas industrias, por su localización, producen conflictos viales por la carga y descarga de mercancías, fundamentalmente en el centro de la ciudad; así como deterioro de la imagen urbana por el mal estado constructivo predominante en estos inmuebles, motivado por la falta de acciones de mantenimiento y reparación de manera sistemática. Existen dos instalaciones dispersas que están consideradas entre los principales focos que contaminan los



recursos hídricos de la ciudad por deficiencias en los sistemas de tratamiento de residuales líquidos, estas son: la fábrica Turquino que produce conservas de frutas y vegetales, y el Combinado Cárnico «Felipe Fuentes», aunque este último produce, además, contaminación atmosférica por olores durante el proceso productivo.

En los últimos años se fomenta el trabajo por cuenta propia de disímiles actividades de producción como: carpintería, fundiciones de diversos materiales, talleres de bicicletas, reparaciones de equipos mecánicos y electro-domésticos, artesanos, chapisteros, herreros, entre otros; labores que resuelven en gran medida necesidades de la población. En este tipo de actividad en ocasiones se realiza en las propias viviendas de los trabajadores, se pueden generar puntualmente afectaciones contaminantes por ruido y polvo en pequeños talleres localizados a nivel de barrios.

En el informe de Zúñiga L.M. et al (2008), se plantea que el análisis de la ocupación del suelo, es necesaria la evaluación del ambiente construido, como expresión física de la organización social y de su implantación en el contexto natural, donde los elementos de mayor trascendencia son las infraestructuras urbanas conformadas por vivienda, servicios y redes técnicas en un 80 %. Las viviendas ocupan el mayor porcentaje del área urbana con 1 030 ha que representan 20 % del área total; por su morfología las viviendas alcanzan una altura predominante de dos niveles, con una estructura urbana no homogénea, formada por la zona del centro, la cual presenta una trama vial regular que forma una retícula ortogonal; las zonas periféricas, donde predomina el crecimiento urbano menos ordenado y espontáneo con una trama vial irregular; y las zonas de nuevo desarrollo de edificios multifamiliares con alturas de cuatro y cinco plantas, aunque puntualmente existe un edificio de 12 y desde 18 plantas.

En total existen 72 155 viviendas de las cuales 62 % se encuentra en buen estado constructivo, 28 % en regular estado y 8 % en mal estado, con un índice de habitabilidad promedio de 3,8 hab./viv. Por el uso de bajas densidades y el predominio de viviendas de una y dos plantas, se ha producido el crecimiento



extensivo de la ciudad, con incidencia desfavorable en la demanda de urbanización, redes de infraestructura técnica y viales que han quedado sin respuesta por requerir soluciones muy costosas, las cuales se han solucionado por medio de vías de tierra, abastecimientos de agua por pozos y pipas, y soluciones de residuales por letrinas y fosas que por sus densidades no son las más adecuadas para la ciudad. Todo ello ha contribuido al deterioro del medio ambiente en las zonas residenciales periféricas, donde predominan las construcciones por esfuerzo propio de la población, esta es una de las principales causas de los problemas urbano-ambientales Zona del centro Es la más antigua con los mayores valores patrimoniales de la ciudad y en ella se encuentra el Centro Histórico y de servicios.

Predomina la arquitectura doméstica del último cuarto del siglo XVIII y principios del XX; las edificaciones son de fachadas altas y paredes comuneras, techos con tejas criollas, patios interiores, sin predominio de portales y ausencias de jardines. El estado constructivo que predomina en las edificaciones es de regular a malo y los servicios básicos presentan buena cobertura, esta se encuentra bien servida por redes infraestructurales con un alto nivel de urbanización. Esta zona está comprendida por los consejos populares Centro Norte y Centro Sur, de los cuales forman parte también barrios como Peralta, parte de Zayas, y El Llano. Estos barrios iniciaron su urbanización a partir de 1930 para las clases media y alta, están formados por viviendas individuales de una y dos plantas (altura promedio entre 2,70 y 3 m), de tipología constructiva I y II, con portales, jardines, escaleras interiores frontales y laterales, así como presencia de garajes con acceso frontal; están identificadas como viviendas de estándar medio y alto.

A partir de 1959, con el triunfo de la Revolución, se inicia la construcción de edificios multifamiliares de tres y cuatro plantas con materiales prefabricados y convencionales en los espacios libres urbanizados de estos barrios. Presentan servicios primarios asociados al hábitat y en su totalidad están servidos por redes de acueducto y alcantarillado.



Las zonas de la periferia las conforman los barrios periféricos al Centro Histórico que han tenido un surgimiento y desarrollo de forma espontánea. La arquitectura de sus construcciones, está representada en su mayoría por viviendas individuales de una y dos plantas, llegan a tres de manera puntual; con un puntal promedio entre 2,40 y 2,60 m, con presencia de escaleras interiores, laterales y frontales para acceder a los niveles superiores. El tipo de viviendas que se encuentra en estas zonas es de bajo o medio estándar, construidas en urbanizaciones periféricas o de los llamados de bajo consumo o esfuerzos propios, con un estado constructivo entre bueno y regular, deficitarias de urbanización, por lo que predominan las vías de tierra y la falta de redes de acueducto y alcantarillado.

El nivel de los servicios es fundamentalmente primario, tales como bodegas, escuelas, consultorios del médico de la familia, entre otros. Esta zona está formada por los consejos populares: Alcides Pino, Vista Alegre, Pueblo Nuevo, Alex Urquiola, Harlem, Edecio Pérez y Lenin; este último de manera parcial. Zonas de nuevo desarrollo Estas zonas se desarrollaron posteriores al triunfo de la Revolución, para responder al programa de construcción de viviendas por el sector estatal. Se caracterizan por edificios multifamiliares, con tecnologías prefabricadas o convencionales, de tipología constructiva I, presencia de balcones o no, con puntales promedio entre 2,40 y 3 m.

La economía del territorio presenta resultados favorables en sus principales indicadores de eficiencia, lo que demuestra que las entidades han mejorado su gestión empresarial, e inciden en la recuperación económica a pesar de las limitaciones de recursos. La producción mercantil como principal indicador macroeconómico que mide el desempeño de un territorio, terminó el 2004 con la mayor cifra reportada en los últimos 10 años. El mayor peso de esta producción se localiza en el sector industrial, el cual representa 48,1% del total del municipio.



2.2 Determinación de los microtremores en la ciudad de Holguín

La cantidad y magnitud de los microtremores, depende del desarrollo de la acción antropogénica fundamentalmente, ya que las fuentes naturales generan una menor incidencia en las fuentes receptoras. Como se plantea en el epígrafe 1.2 las principales fuentes emisoras de ruido ambiental (microtremores) son:

1. Arrastre por las olas del mar
2. Tráfico aéreo
3. Por maquinarias de la construcción
4. Industrias
5. Tráfico rodado
6. Transporte ferroviario
7. Fuentes diversas como centros nocturnos (bares, discotecas y otros lugares de ocio)

Para el análisis de los microtremores en la ciudad de Holguín, no se realizarán mediciones en este trabajo, sino que se tienen en cuenta los aspectos socio-económicos y geográficos de la ciudad. Así como, mediante la observación y percepción que como sujeto puedo corroborar. A partir de este punto se describen cada una de las fuentes que puedan o no estar incidiendo en la zona de estudio.

A más de 40 km de las costas del mar se encuentra ubicada la ciudad de Holguín, por tal motivo se puede llegar a la conclusión de que el arrastre por las olas del mar no es capaz de producir vibraciones que viajen a una distancia tan lejana. Con respecto al tráfico aéreo es importante decir que Holguín siendo una ciudad por la cual circulan aviones a una altura considerable y no tener construido dentro de la misma un aeropuerto las vibraciones producidas por el flujo de aviones tampoco provocan afectaciones por vibraciones al medio urbano, ya sea al ser humano como a ninguna de las estructuras existentes.

En las vibraciones producidas por maquinarias de construcción. En estos momentos en la provincia (ciudad) no se encuentran realizando grandes trabajos que requieran



la utilización de maquinarias de construcción, solo se realizan pequeños trabajos de forma tradicional. Dicho esto, se puede concluir que es algo a favor ya que no afecta a la vida cotidiana.

En la zona sur de la misma se encuentran las principales industrias tales como:

- Poligráfico Holguín
- La Fábrica de Combinadas Cañeras 26 de julio
- La Fábrica de Implementos Agrícolas.

Estas tres están ubicadas en la carretera de San Germán. Además, se puede mencionar otras que se encuentran en el entorno de la propia ciudad. Todas estas fábricas de manera independiente provocan vibraciones que son transmitidas por el suelo a estructuras y a la población. Estas son:

- La Fábrica de Pienso, en la avenida del aeropuerto.
- La Fábrica de Cerveza Bucanero, en la circunvalación.
- El Combinado de productos Lácteos, ubicada en la carretera de Mayarí.
- La Fábrica de cigarro, en el Reparto Villa Nueva.

Con el avance del tiempo la ciudad alcanza gran desarrollo en el sector industrial y empresarial. Además, la población ha aumentado considerablemente provocando en la misma mayor flujo de vehículos pesados y ligeros, trayendo como consecuencia que las calles principales en horarios de máxima demanda queden saturadas por el tránsito de los mismos.

A raíz del crecimiento turístico el estado se ha visto con la necesidad de la apertura y el surgimiento de nuevos actores económicos destinados a la recreación y el entretenimiento en horarios nocturnos, convirtiéndose esto en una solución de la demanda de la población a lugares de ocio. Por otra parte, también es un problema, ya que es una de las principales fuentes emisoras de vibración ambiental y contaminación acústica. El ruido es una de las principales quejas de la propia población ante las autoridades provinciales, pues los centros destinados a estos lugares recreativos ocupan estructuras que durante el proceso de concepción y



ejecución no fueron diseñados para tal fin, provocando un gran nivel de molestias y vibraciones, afirmándose que no reúnen las condiciones necesarias para la protección en sus alrededores.

2.3 Identificación de las zonas de la ciudad con mayor incidencia de vibraciones

Como se explica en el epígrafe 2.2 las fuentes de microtemores que se identifican en la ciudad de Holguín son:

- Tráfico rodado
- Tráfico ferroviario
- Fuentes diversas (centros nocturnos y lugares de ocio)

Estos emisores de vibraciones se comportan de forma distinta según el lugar y la manifestación del fenómeno, siendo el tráfico rodado el de mayor influencia. En el análisis se debe tener en cuenta la simultaneidad de estas fuentes ya que, en ocasiones, aunque la vibración de una de ellas de forma individual no sea considerable, si puede llegar a serlo si se une más de una en un punto dado. Esto puede provocar un efecto de amplificación que genere un aumento de las vibraciones con valores considerables.

Un ejemplo claro de esto, ocurre en una de las zonas con mayor presencia de vibraciones provocadas por fuentes diversas. Esta se enmarca en el centro de la ciudad donde hay varios locales que funcionan como centros nocturnos. El alto volumen de la música y la gran afluencia de personas en un reducido espacio, unido a que las mismas están en su mayoría bailando lo que provoca un gran ruido ambiental. Esto genera grandes molestias en las personas y efectos negativos importantes en las estructuras, las cuales son muy antiguas, con más de 100 años de antigüedad y no fueron diseñadas para soportar este tipo de carga adicional.

Los principales centros nocturnos que existen en la ciudad son: los bares alrededor de la Plaza de la Marqueta (Figura 2.1), la discoteca de “Pico Cristal”, el “Siboney”, y



la Casa de la Música de Artex; además de los diversos bares y cafés que se distribuyen por la ciudad y que se concentran sobre todo en el centro de la ciudad.



Figura 2.2. Plaza de la Marqueta en la ciudad de Holguín.

Fuente: <http://www.ahora.cu/es/holguin/2328-verano-en-la-plaza-de-la-marqueta-holguinera>

La fuente del transporte ferroviario, se encuentran en la estación ferroviaria de la ciudad (Figura 2.2), que va desde la calle Vidal Pita y bordea el tramo de la Carretera Central vía Bayamo. El impacto del tren cargado sobre las vías provoca vibraciones de alta intensidad, que afectan las edificaciones aledañas y a sus habitantes. A lo largo del recorrido de la vía férrea hay una gran cantidad de talleres automovilísticos, empresas, la Fábrica de Tubos y la Fábrica de Pienso; estos lugares tienen actividades pesadas y que generan vibraciones y se suman a las que provoca el tren durante su paso.

La fuente correspondiente al tráfico rodado es la más común en la ciudad. El creciente desarrollo socio-económico de la ciudad, trae como consecuencia un aumento de la cantidad de carros que circulan por la misma, además del crecimiento del porcentaje de vehículos pesados, como son autobuses y camiones de carga, que por sus características son los que más vibraciones producen en la vía. Los microtemores que causa el transporte automotor, provocan daños en las personas y



en las edificaciones, pueden llegar a ser significativos en dependencia del nivel de amplitud e intensidad que los caracteriza.

Las calles de la ciudad con mayor flujo vehicular son las calles:

- Máximo Gómez
- Cables
- Aricochea
- Morales Lemus
- Avenida Libertadores
- Avenida Capitán Urbino
- Avenida Cajigal.



Figura 2.3. Estación de ferrocarril de la ciudad de Holguín.

Fuente: <http://www.acn.cu/cuba/71518-regreso-a-holguin-tren-nacional-de-pasajeros-fotos>

Los valores fundamentales que influyen en el valor de las amplitudes de las vibraciones generadas por la circulación vehicular son:

- Peso del vehículo
- Distancia de la vía a de la vía a la edificación



- Altura del sensor ubicada en la edificación
- Tipo de suelo
- Presencia de defectos técnicos ubicados en la vía (baches)
- La velocidad del vehículo

Para esto se realizan mediciones en intervalos de 5 min con mayores registros de las vibraciones dentro del horario pico así se demuestra que existe una relación entre la vibración generada y el tipo de vehículo que circula por lo tanto las vibraciones aumentan cuando circula un vehículo pesado (12 t) en particular camiones y ómnibus. Los valores de amplitud de las vibraciones van desde los 0.1-0.31, las frecuencias de 4.71-29Hz y el período 0.03-0.21s.

Se establece en la Ley 109 como velocidad máxima de circulación 50km/h por lo que es un factor a tener en cuenta como causa de vibración. En Cuba no existe un documento que limite los valores de las vibraciones generadas por la circulación vehicular, se adoptan normas europeas en las que los valores de vibración permisible están en dependencia del tipo de edificación, con mayor requerimiento para las edificaciones de alto valor patrimonial, las cuales plantean valores límites de velocidad de las vibraciones de 1-3 mm/s. A continuación, se realiza una descripción de las vías con mayor flujo vehicular en la ciudad.

Las calles Máximo Gómez, Morales Lemus, Cable y Aricochea, que presentan el mayor flujo de vehículos en el horario de máxima demanda (FHMD), tienen características similares en cuanto a ancho de la calzada y el tipo de pavimento:

Ancho de calzada (m): 5.0m

Ancho medio de carril (m): 2.5

Tipo de pavimento: Flexible

Por las mismas transitan una amplia variedad de vehículos entre los que se encuentran camiones de más de 12t, ómnibus, autos ligeros, ciclos y en algunos casos coches (tracción animal). A continuación, se exponen el flujo de vehículos por



calle en el horario de máxima demanda de vehículos por calle (Figuras 2.3, 2.4, 2.5 y 2.6).

Acceso	Mov.	Volúmenes por tipo de vehículos						total	Total del acceso
		Camión	Ómnibus	Auto	Moto	Ciclo	Coche		
Máximo Gómez	Recto	9	8	269	177	189	85	737	974
	Izquierda	4	2	165	41	21	4	237	

Figura 2.4. Volumen de máxima demanda en la calle máximo Gómez. Fuente:(Gómez, 2021)

Acceso	Mov.	Volúmenes por tipo de vehículo						total	Total del acceso
		Camión	Ómnibus	Auto	Moto	Ciclo	Coche		
Morales Lemus	Recto	21	12	479	297	311	0	1120	1345
	Derecha	3	1	92	81	48	0	225	

Figura 2.5. Volumen de máxima demanda en la calle Morales Lemus. (Fuente: Gómez, 2021)

Accesos	Mov.	Volúmenes por tipo de vehículos						total	Total del acceso
		Camión	Ómnibus	Auto	Moto	Ciclo	Coche		
Aricochea	Recto	30	51	548	443	110	27	1209	1291
	Izquierda	2	0	20	27	33	0	82	

Figura 2.6. Volumen de máxima demanda en la calle Aricochea. Fuente:(Gómez, 2021)

Accesos	Movimientos	Volúmenes por tipo de vehículos						total	Total del Acceso
		Camión	Ómnibus	Auto	Moto	Ciclo	Coche		
Cable	Recto	42	26	389	271	118	62	908	1059
	Derecha	4	3	55	54	35	0	151	

Figura 2.7. Volumen de máxima demanda en la calle Cable. Fuente: (Gómez, 2021)



Como se puede observar el porcentaje de vehículos pesados no es tan grande con respecto a los demás vehículos. En cuanto a flujo vehicular se destaca la calle Morales Lemus, sin embargo, por la calle Cables y calle Aricochea hay un mayor tránsito de vehículos pesados. Las fuentes de vibraciones en estas vías están muy cerca de las edificaciones por la poca anchura de la calzada, aunque se debe tener en cuenta que la flexibilidad del pavimento es un aspecto positivo ante la transmisión de las vibraciones.

2.4 Ubicación de los distintos tipos de microtremores en el mapa de la ciudad de Holguín

Para la ubicación de las zonas críticas de la ciudad de Holguín, donde hay mayor afectación por microtremores, se realiza un mapa para cada uno de los microtremores existentes en la ciudad y uno para los puntos rojos que existen en la misma. El primer mapa es el referente a los lugares de ocio (Figura 2.8). Las fuentes emisoras de estas vibraciones son los centros nocturnos y bares con la música a un alto volumen, como se puede observar se concentran en el centro de la ciudad.

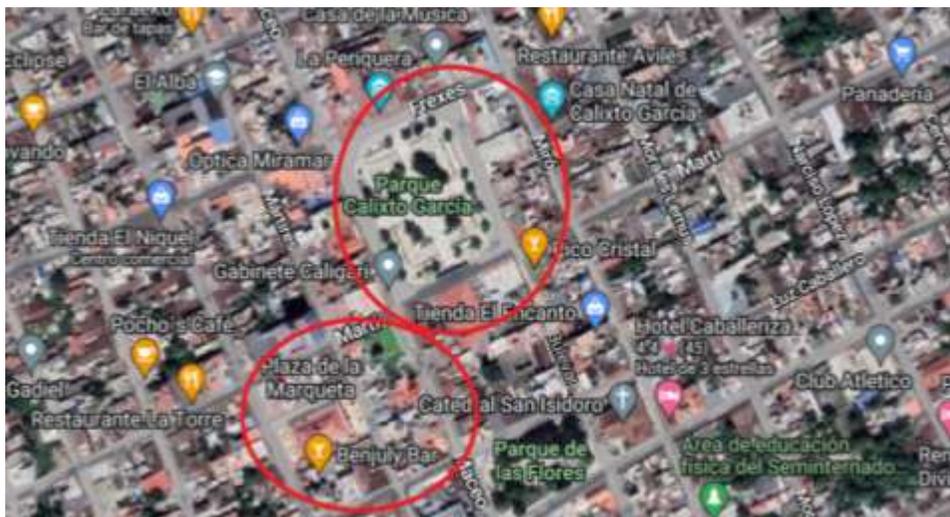


Figura 2.8. Zonas con mayor influencia de los microtremores debido al ocio. Fuente: Elaboración propia.

Las fuentes referentes al tráfico ferroviario (Figura 2.9) se encuentran en la estación del tren y a todo lo largo de la vía que va paralela con la calle Maceo.



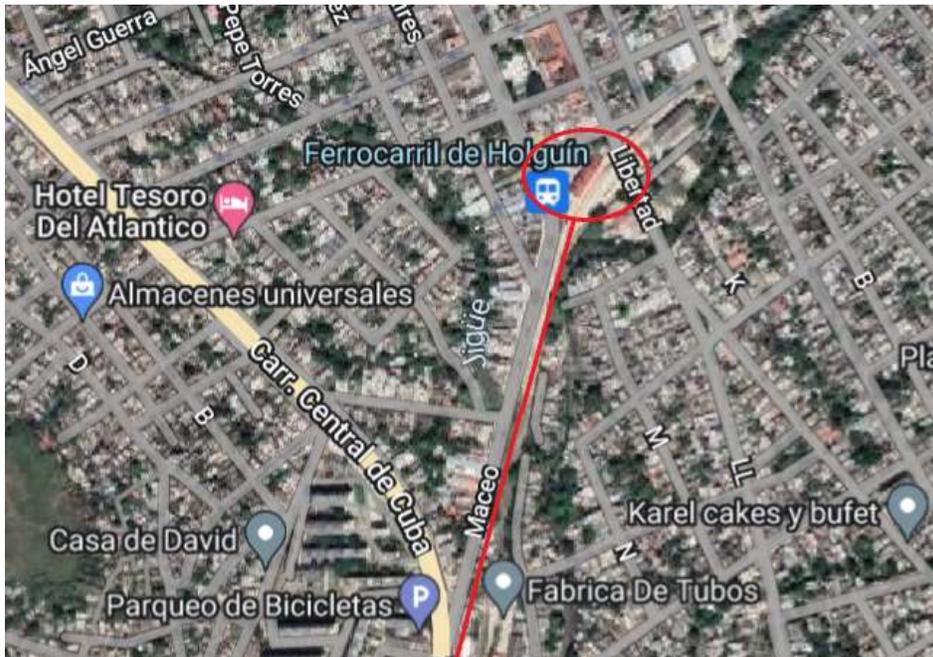


Figura 2.9. Zonas con mayor influencia de los microtremores debido al transporte ferroviario. Fuente: Elaboración propia.

Las vibraciones más comunes en la ciudad provienen del tráfico rodado, que como se muestra afecta a varias zonas de la ciudad (Figura 2.10). Este depende de varios factores, entre ellos se encuentran la flexibilidad del pavimento, el peso del vehículo y la velocidad a la que transita.

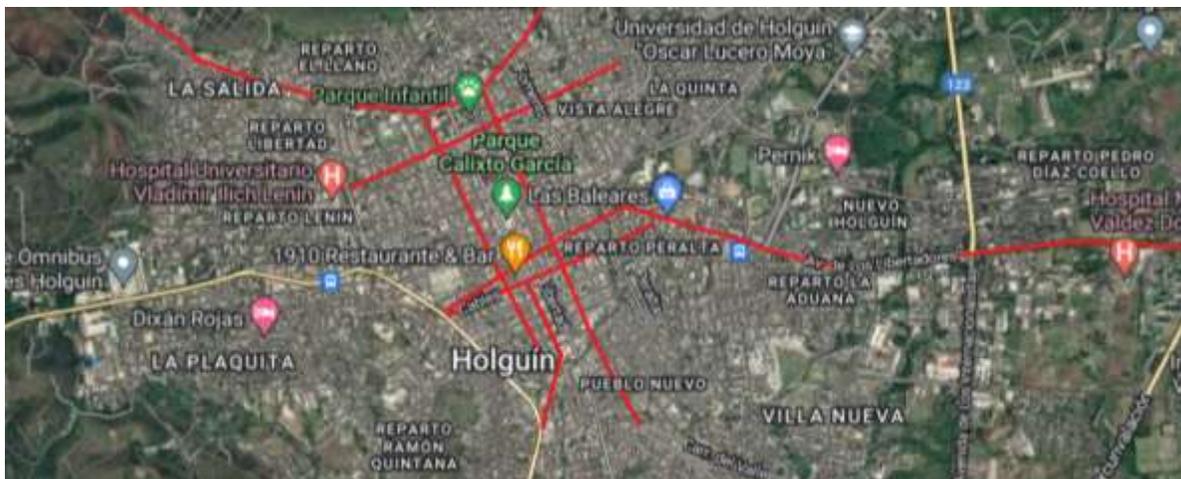


Figura 2.10. Zonas con mayor influencia de los microtremores debido al transporte ferroviario. Fuente: Elaboración propia.

Al sobreponer los mapas de cada fuente de microtremor se evidencia que hay dos zonas donde pueden existir puntos críticos de vibraciones, estas son las enmarcadas en el rectángulo de color azul (Figura 2.11). En cada caso se unen el efecto debido al tráfico rodado y otra fuente de vibración. En ningún caso se unen las tres fuentes de microtremores identificados en la ciudad de Holguín; sin embargo, es importante realizar un estudio de vibraciones en estas zonas pues hay una gran cantidad de edificaciones antiguas alrededor y a muy corta distancia de la fuente.

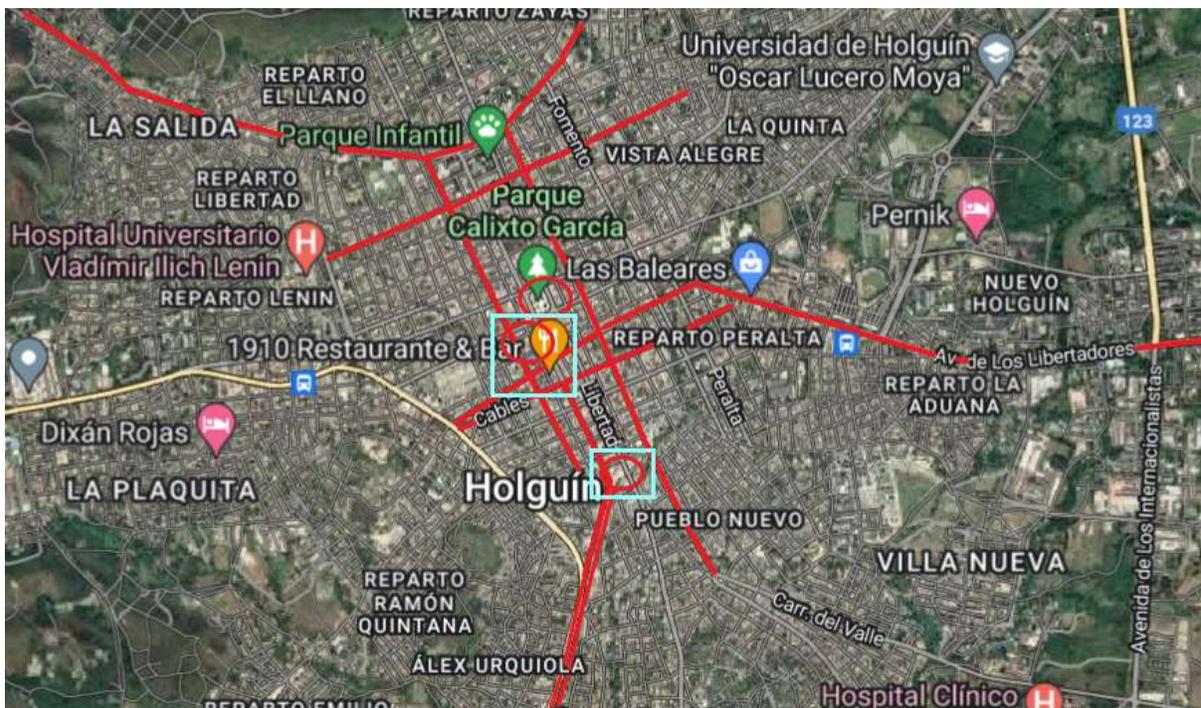


Figura 2.11. Zonas con mayor influencia de los microtremores debido al transporte ferroviario. Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones parciales

- Luego del análisis de las características socio-económicas de la ciudad de Holguín, se puede concluir que la fuente de microtremor más común y de mayor intensidad es el tráfico rodado.



- Mediante la ubicación de las fuentes emisoras de vibraciones ambientales en el mapa de la ciudad de Holguín, se pudo determinar que las áreas más críticas se encuentran en el centro histórico, donde se concentran la mayor cantidad de actividades económicas y sociales.



CONCLUSIONES GENERALES

1. Al analizar el marco teórico vinculado a los microtemores se evidencia que hay una gran cantidad de fuentes emisoras de vibraciones, sin embargo, la presencia y magnitud de las mismas depende de las características geográficas y socioeconómicas del lugar.
2. Los microtemores existentes en la ciudad de Holguín vienen de tres fuentes principales: el tráfico rodado, el tráfico ferroviario y los emitidos por los lugares de ocio. Su cercanía a las edificaciones y a los seres humanos generan una mayor percepción y pueden llegar a generar afectaciones en los mismos.
3. Se identifican en el mapa de la ciudad de Holguín las zonas con mayor influencia de microtemores, las cuales se localizan en el centro de la ciudad y en las áreas aledañas del ferrocarril.



RECOMENDACIONES

A la oficina del CENAIIS en Holguín:

1. Profundizar en el estudio de los microtemores en la ciudad de Holguín y se realicen mediciones en los lugares que se identifican como más críticos, así como en otros lugares de la ciudad donde tengan influencia marcada estas fuentes de vibraciones.

Al departamento de Construcciones de la Universidad de Holguín:

2. Continuar las investigaciones en esta temática en conjunto con la oficina del CENAIIS, para lograr un estudio más completo de micro vibraciones en la ciudad y su influencia en las estructuras circundantes.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aki, K. (1957). Space and time spectra of stationary stochastic waves with special reference to microtremors, Bulletin of the Earthquake Research Institute, Tokyo University, Japan, Vol. 35, pp. 415-456.
- Asmussen, B. (2011). *International Union Railways*. Revisión de normas, reglamentos y directrices existentes, así como estudios de laboratorio y de campo sobre exposición humana a la vibración. (Edición 2011). Disponible en: http://www.rivasproject.eu/fileadmin/documents/rivas_cstb_wp1_d1_4_v03_asessment_human_response.pdf (Mayo 2018)
- Asten, M., & Henstridge, J. (1984). Array estimators and the use of microseisms for Reconaissance of sedimentary basins.
- Castro, A.K., Pérez, J.M. (2016). Espectro de diseño y zonificación sísmica basada en periodos fundamentales de vibración de los suelos, en el área urbana de la ciudad de Mateare.
- Chopra, A.K. (2001). *Dinámica de Estructuras*. (4ta Edición).
- Contreras, O. S., Fernández, L., Chuy, T. J. (2018) Estudio de la respuesta local del suelo en el sector urbano del municipio Caimanera, provincia Guantánamo ante la ocurrencia de sismos.
- Cuadra, M., Pilar, E. (2007) “Aplicación de técnicas de vibraciones ambientales: Análisis de microtremores y vibraciones naturales, para la caracterización de sitio”. Universidad Simón Bolívar. Ingeniería Geofísica
- Gutenberg, B. (1958). *Microseisms*. *Advan. Geophys*, 5, 53-92
- Hunaidi, O. (2000). “*Traffic Vibrations in Buildings*”. *Construction Technology Updates*
- Hunaidi, O., y Tremly, M. (1997). “Traffic-Induced Building Vibrations in Montréal”. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 24(5), 736-753.
- International Union Railways. RIVAS - Vibrations: Ways out of the annoyance (2013). Disponible en: http://www.rivas-project.eu/fileadmin/documents/Publications/newsletter_rivaspages_final.pdf



(Mayo 2018)

Kanai K., Tanaka, T. (1961). *On microtremores*. Tokyo, Japón. Editorial: Univ. Tokyo.

Kilic, H., Ozener, P. T., & Atilla-Ansal, M. Y. (2006). *Microzonation of Zeytinburnu region with respect to soil amplification: A case study*.

Mellado, V. (2018) "Percepción de vibración en los edificios: una encuesta desde los orígenes históricos hasta nuestros días"

Nakamura, Y. (1989). *A Method for Dynamic Estimations of sub subsurface using microtremor on the ground surface*.

Norma Internacional ISO 2631

Norma ISO 2631-1-1997. Disponible en <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:2631:-2:ed-2:v1:en>(Mayo, 2018).

Omori, F. (1909). *On micro-tremor. Bull imperial Earth investigation Committe of Tokio*, Vol. II

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2010) *One United Nations Plaza New York, NY 10017 USA*. www.undp.org. Octubre de 2010

Rainer, J. H. (1982). "Effect of Vibrations on Historic Buildings: an Overview". Bulletin of Association for Preservation Technology, 14(1), 2-10.

Schiavi, A., Rossi, L. (2015). "Percepción de vibración en los edificios: una encuesta desde los orígenes históricos hasta nuestros días" *National Institute of Metrological Research*. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215018263>

(Mayo2018)

Waddington, D., Moorhouse, A. (2014) Influencia de factores actitudinales que afectan a la relación exposición respuesta de vibraciones por obras de construcción. Ingeniería Rural, Universidad de Córdoba, Córdoba, España /*Acoustics Research Centre*

Watts, G. R. (1990). "Traffic Induced Vibrations in Buildings". Research Report 246,



Transportation and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire.
Zúñiga L.M. et al (2008). Perspectivas del Medio Ambiente Urbano: GEO Holguín

