



Universidad
Rey Juan Carlos

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIÓN

GRADO EN INGENIERÍA EN SISTEMAS AUDIOVISUALES Y
MULTIMEDIA

TRABAJO FIN DE GRADO

EVALUACIÓN E IMPACTO DE LA SEÑAL VIBRATORIA EN EL
ACUEDUCTO DE SEGOVIA

Autor: Irene Martín Iglesias

Tutor: Roberto San Millán Castillo

Curso académico: 2019/2020

Agradecimientos.

Gracias a mis padres y mi hermana, por apoyarme en todas las decisiones que he tomado a lo largo de mi vida y en especial la de querer ser ingeniera.

Gracias a mi pareja, mi gran aliado, Julián, por hacer que crea en mí.

Gracias a mi tutor de este trabajo, Roberto San Millán, por estar siempre disponible y ser una inspiración para mí, tú me enseñaste la pasión por la acústica.

Gracias a mi otra familia, mis amigos. Ellos más que nadie me han enseñado a luchar por mi futuro.

Y en especial, gracias abuela, esto es por ti. Se que estás orgullosa de mi estés dónde estés.

Resumen.

Desde la época de los romanos hasta nuestros días, el acueducto ha cumplido y cumple una importante función para Segovia; en periodos pasados para el abastecimiento de agua de su población, y hoy en día por la simbología y el atractivo que ofrece para los turistas que vienen a visitarlo diariamente. Por la relevancia que cumple para la ciudad, y el interés por su mantenimiento, algo que se ha puesto en tela de juicio en los últimos tiempos, hemos decidido llevar a cabo esta investigación y ver la influencia en el monumento de agentes externos, en nuestro caso las vibraciones producidas por tráfico vehicular. Estudios precedentes sobre él se muestran inconclusos y siguen sin dar respuestas claras de la problemática.

Para llevar a cabo nuestra investigación, se tuvieron que solicitar diversos permisos al Ayuntamiento de Segovia para la posterior aprobación de estos por la Junta de Castilla y León, realizando una justificación de la relevancia de nuestro proyecto y un informe detallado de los puntos del monumento dónde se iban a realizar las mediciones. Así pues, en febrero de 2020 se realizaron las medidas en los puntos elegidos por su cercanía a la calzada para su posterior análisis y comparación de los resultados obtenidos con diversas normativas europeas y poder así determinar su influencia en el Acueducto.

La revisión realizada corrobora unos resultados dispares en los puntos analizados, dando unos niveles más elevados en dos de ellos, aunque refleja el gran recorrido que queda por hacer mediante la realización de más estudios complementarios y las medidas a tomar para su futura conservación.

Abstract.

From Roman times to the present day, the aqueduct has fulfilled and continues to fulfil an important function for Segovia; in past periods for the supply of water to its population, and today for the symbolism and attraction it offers to the tourists who come to visit it daily. Because of its relevance to the city, and the interest in its maintenance, something that has been questioned in recent times, we have decided to carry out this research and see the influence on the monument of external agents, in our case the vibrations produced by vehicular traffic. Previous studies on it are inconclusive and still do not give clear answers to the problem.

In order to carry out our investigation, various permits had to be requested from Segovia City Council for subsequent approval by the Junta de Castilla y León, providing a justification of the relevance of our project and a detailed report of the points on the monument where the measurements were to be taken. Thus, in February 2020, measurements were taken at the points chosen for their proximity to the roadway for subsequent analysis and comparison of the results obtained with various European regulations in order to determine their influence on the Aqueduct.

The review carried out corroborates the disparate results at the points analysed, giving higher levels at two of them, although it reflects the great distance that remains to be covered by carrying out more complementary studies and the measures to be taken for future conservation.

Índice de Figuras.

Figura 1: Estructura acueducto (Fernández Casado, 2008).	7
Figura 2: Longitud total de la parte visible del monumento (Gómez Somorrostro, 1820).....	8
Figura 3: Representación gráfica de las variables.....	10
Figura 4: Cálculo de la frecuencia fundamental UNE 22-381-33.	17
Figura 5: Tabla criterio prevención de daños.	17
Figura 6: Gráfica criterio prevención de daños.....	18
Figura 7: Valores de referencia para el valor pico de la vibración del terreno en su mayor componente.	19
Figura 8: Valores de referencia para la velocidad de vibración (mm/s) de las cimentaciones frente a vibraciones de corta duración.	20
Figura 9: Valores límite de la norma DIN 4150-3 1999.....	21
Figura 10: Gráfica de la VPP límite para la plata superior.	21
Figura 11: Valores límite de la norma SN 640 312a.	24
Figura 12: Valores límite norma BS 7385-2.....	25
Figura 13: Extensión visible que abarca el acueducto de Segovia.	28
Figura 14: Punto de medida calle Cañuelos.....	28
Figura 15: Distancias desde Punto 1 hasta calzadas cercanas.	29
Figura 16: Punto de medida en la Plaza de Artillería	29
Figura 17: Distancia del punto 2 a la calzada.	30
Figura 18: Punto de medida en la Plaza Díaz Sanz.	30
Figura 19: Distancia punto 3 al paso de vehículos.	31
Figura 20: Analizador SVAN 958.	32
Figura 21: Datos de la sensibilidad del acelerómetro y acelerómetro.	32
Figura 22: Masa sísmica dónde se encuentra el acelerómetro.	33
Figura 23: Interconexión de todos los elementos.	33
Figura 24: Colocación acelerómetro en la Calle Cañuelos.....	37
Figura 25: Colocación acelerómetro en la Plaza de Artillería.	38
Figura 26: Colocación acelerómetro en la Plaza Díaz Sanz.	38
Figura 27: Posición de los ejes de medida en el Acueducto.	39
Figura 28: Ejemplo de visualización de los datos en el software SvanPc++.....	41
Figura 29: Gráficas de la medición 1 en la Calle Cañuelos.	43
Figura 30: Gráficas de la medición 2 en la Calle Cañuelos.	44

Figura 31: Gráficas de la medición 3 en la Calle Cañuelos.	45
Figura 32: Gráficas de la medición 4 en la Plaza Díaz Sanz.	47
Figura 33: Gráficas de la medición 5 en la Plaza Díaz Sanz.	48
Figura 34: Gráficas de la medición 6 en la Plaza Díaz Sanz.	49
Figura 35: Gráficas de la medición 7 en la Plaza Díaz Sanz..	50
Figura 36: Gráficas de la medición 8 en la Plaza Díaz Sanz.	51
<i>Figura 37:</i> Gráficas de la medición 9 en la Plaza de Artillería.	53
<i>Figura 38:</i> Gráficas de la medición 10 en la Plaza de Artillería.	54
Figura 39: Gráficas de la medición 11 en la Plaza de Artillería.	55
Figura 40: Gráficas de la medición 12 en la Plaza de Artillería.	55
Figura 41: Gráficas de la medición 13 en la Plaza de Artillería.	56
Figura 42: Gráfica global de las mediciones en el eje x.	58
Figura 43: Gráfica global de las mediciones en el eje y.	59
Figura 44: Gráfica global de las mediciones en el eje z.	59

Índice de Tablas.

Tabla 1: Grados susceptibilidad norma SN 640 312a.....	22
Tabla 2: Planificación temporal del trabajo desempeñado.	35
Tabla 3: Resultados VPP en la Calle Cañuelos, medición 1.....	43
Tabla 4: Resultados VPP en la Calle Cañuelos, medición 2.....	44
Tabla 5: Resultados VPP en la Calle Cañuelos, medición 3.....	45
Tabla 6: Comparativa resultados con la normativa en la Calle Cañuelos.....	45
Tabla 7:Resultados VPP en la Plaza Díaz Sanz, medición 4.	47
Tabla 8: Resultados VPP en la Plaza Díaz Sanz, medición 5.....	48
Tabla 9: Resultados VPP en la Plaza Díaz Sanz, medición 6.	49
Tabla 10: Resultados VPP en la Plaza Díaz Sanz, medición 7.....	50
Tabla 11: Resultados VPP en la Plaza Díaz Sanz, medición 8.....	51
Tabla 12: Comparativa resultados con la normativa en la Plaza Díaz Sanz.....	51
Tabla 13: Resultados VPP en la Plaza de Artillería, medición 9.....	53
Tabla 14: Resultados VPP en la Plaza de Artillería, medición 10.....	54
Tabla 15: Resultados VPP en la Plaza de Artillería, medición 11.....	55
Tabla 16: Resultados VPP en la Plaza de Artillería, medición 12.....	56
Tabla 17: Resultados VPP en la Plaza de Artillería, medición 13.....	56
Tabla 18: Comparativa resultados con la normativa en la Plaza de Artillería.....	57

Acrónimos

COACYLE	Colegio Oficial de Arquitectos de Castilla y León
UNE	Asociación Española de Normalización
DIN	Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemán de Normalización)
CTE	Código Técnico de la Edificación
DBSE-C	Documento Básico de Seguridad Estructural Cimientos
SN	Swiss Standard (Norma Suiza)
BS	British Standard (Norma Británica)
SS	Swedish Standard (Norma Sueca)
USBM	United States Bureau of Mines (Oficina de Minas de Estados Unidos)
PAN	Planning Advice Notes (Notas de Asesoramiento de Planificación)
PPV	Peak Particle Velocity (Velocidad Pico de Partícula)
VDV	Dosis de Vibración
IEC	International Electrotechnical Commission (Comisión Internacional de Electrotécnica)
FFT	Fast Fourier Transform (Transformada Rápida de Fourier)
APA	American Psychologist Association
APGA	American Personnel and Guidance Association
TFG	Trabajo Final de Grado

1-Índice

Agradecimientos.....	II
Resumen.....	III
Abstract.....	IV
Índice de Figuras.....	V
Índice de Tablas.....	VII
Acrónimos.....	VIII
1-Índice.....	1
2-Introducción.....	3
3-Marco Teórico.....	6
3.1. Acueducto Romano de Segovia: ideas básicas.....	6
3.1.1 Construcción.....	6
3.2. Vibraciones.....	8
4-Estado del arte.....	11
4.1. Acueducto de Segovia.....	11
4.2. Estudios de vibraciones por tráfico vehicular.....	13
4.3. Otros estudios.....	14
4.4. Normativa.....	15
4.4.1. Norma UNE 22-381-93.....	15
4.4.2. Norma CTE DBSE-C.....	18
4.4.3. Norma DIN 4150-3.....	20
4.4.4. Norma SN 640 310a.....	22
4.4.5. Norma BS 7385-2.....	24
4.4.6. Otras normas.....	25
4.4.7. Justificación de la utilización de la normativa.....	26
5- Metodología de la investigación.....	27

5.1. Tipo de investigación.....	27
5.2. Contexto.....	27
5.2.1. <i>Calle Cañuelos</i>	28
5.2.2. <i>Plaza de Artillería</i>	29
5.2.3. <i>Plaza de Díaz Sanz</i>	30
5.3. Instrumentos de la investigación.....	31
5.4. Aspectos éticos.....	34
5.5. Planificación temporal del proyecto.	34
5.6. Procedimiento técnico.....	37
5.7. Tratamiento de datos.....	40
5.8. Resultados.....	42
5.8.1. <i>Resultados Calle Cañuelos</i>	42
5.8.2. <i>Resultados Plaza Díaz Sanz</i>	46
5.8.3. <i>Resultados Plaza de Artillería</i>	52
5.9. Conclusiones y líneas futuras de investigación.	60
5.9.1. <i>Conocimientos académicos desarrollados</i>	61
Bibliografía.....	63
Anexo 1: Solicitud de permiso.....	68
Anexo 2: Requerimiento y escritos de compromiso.....	69
Anexo 3: Permisos de realización de mediciones.....	72
a) Permiso Junta de Castilla y León.....	72
b) Permiso Ayuntamiento de Segovia.....	75
Anexo 4: Hojas de registro.....	79
Anexo 5: Código obtención de gráficas.....	82

2-Introducción.

“El Acueducto de Segovia, uno de los monumentos más emblemáticos, puede estar corriendo serio peligro” (Mariló T, 2016). Numerosos artículos periodísticos se han hecho eco a lo largo del tiempo de, una serie de deterioros causados por determinadas variables que están causando cierta preocupación en la sociedad segoviana. (Atlas España, 2017) (Diario de Navarra, 2017) (Acueducto2, 2017). Debido al interés que suscita el Acueducto en los segovianos y sus turistas, surge este trabajo buscando dar respuesta a una de esas variables agresivas: las vibraciones.

Este monumento, es un símbolo a nivel patrimonial y turístico que es necesario cuidar y preservar para el deleite y disfrute de todos aquellos que se sientan atraídos por esta ciudad castellana y la historia que lo acontece. Por ello, nuestra investigación se va a centrar en una evaluación de vibraciones producidas por el tráfico vehicular en diferentes puntos del monumento para determinar, dentro de la medida de lo posible, su influencia y si son perjudiciales o no, puesto que:

La presencia de edificios patrimoniales o, más generalmente, de edificios protegidos por las leyes de conservación del patrimonio, requiere un cuidado especial en la evaluación de las acciones que causan estrés adicional a las estructuras y en la evaluación de los daños potenciales (Crispino y D’apuzzo ,2001).

A modo de referencia, tomando un estudio ofrecido por el Colegio oficial de Arquitectos de Castilla y León, se mostraba una gran preocupación por los efectos generados sobre el monumento, proponiendo varias alternativas y medidas de prevención como la creación de una franja de seguridad a 15 metros de distancia del monumento o el corte de tráfico en la calle Ochoa Ondategui. Además, también propusieron un análisis de las vibraciones que llegaban al acueducto con el fin de realizar un plan de actuación para disminuir el alcance y los efectos de la contaminación vibroacústica (COACYLE, 2011).

Por todo ello, hemos realizado varias mediciones de vibraciones en el entorno del monumento que nos han llevado a obtener unos resultados concisos y a conocer su influencia sobre la construcción.

La elección de este tema viene ligada a dos motivos: la reciente curiosidad y pasión que generó la ingeniería acústica en mí y mis raíces, mi ciudad y más concretamente el Acueducto.

¿Por qué la elección de este tema?

Durante varios años siempre ha existido el debate de si el Acueducto está sufriendo algún tipo de daño en su estructura. Pensamos que sería oportuno realizar un estudio para intentar proporcionar datos actuales que aliviaran el mal estar, debido a que, aunque se han realizado estudios anteriores, como el realizado en los 90, basado en varias pruebas de transmisión de vibraciones, como hacer saltar un camión desde un tablón de madera o poner en funcionamiento un martillo neumático (Jurado, 1995), no existía ninguna investigación sobre las vibraciones generadas por el tráfico cercano ni sobre los efectos de los eventos musicales llevados a cabo en sus inmediaciones.

Como consecuencia de estos estudios precedentes, se han tomado medidas, como la decisión de cortar el tráfico a través de los arcos del acueducto; sin embargo, con el paso del tiempo se ha podido observar que esta problemática social no ha desaparecido, si no que ha aumentado durante estos dos últimos años.

El acueducto forma parte en las vidas de todos y cada uno de los segovianos y cómo dijo Francisco de Cossío en 1924:

*“Eres paisaje ya, nada te mueve;
lo efímero se asusta ante tu masa
y una legión de enanos te traspasa
buscando eternidad en tu relieve.”*

Así pues, pretendemos aportar información para intentar paliar la polémica social, desde un punto de vista científico, tratando de dar datos fehacientes de la exposición a las vibraciones comparando los resultados con diferentes normativas vigentes en el mundo.

Por otro lado, con este trabajo también se pretende poner en práctica los conocimientos adquiridos en las asignaturas relacionadas con la acústica, desde los conceptos básicos hasta la consecución de resultados. Un punto importante en este trabajo es la motivación que suscita este tema en mi persona, debido a la gran cantidad de horas buscando conceptos que no sabía siquiera de su existencia o simplemente formándome de forma autónoma sobre vibraciones.

El objetivo general que pretendemos desarrollar con este proyecto es:

- **Aportar información para intentar proporcionar una visión de la exposición del Acueducto a las vibraciones producidas por el tráfico.**

Para llevar a cabo este propósito se han desarrollado los siguientes objetivos específicos:

- Investigar para la realización del estado del arte el grado de afección de las vibraciones en edificios históricos en general y en el Acueducto en particular.
- Recopilación de la normativa técnica asociada a las vibraciones en edificios y determinación de un protocolo de medida adecuado.
- Analizar las vibraciones producidas por el tráfico que circula en las cercanías del monumento en varias zonas.
- Observar si las medidas preventivas que se han establecido desde el Ayuntamiento de Segovia han ayudado a la conservación y al mantenimiento del Acueducto.

3-Marco Teórico.

3.1. Acueducto Romano de Segovia: ideas básicas.

Si hablamos de Segovia no podemos llegar a entenderla si no es través de su acueducto romano y la identidad cultural que ha generado para la ciudad. El Acueducto ha formado parte esencial del paisaje urbano de la ciudad, formando parte de su evolución y crecimiento a lo largo del tiempo. Siguiendo a Madoz (1984 citado en Fundación Caja Madrid,2002) hace hincapié a la importancia que ha tenido para Segovia desde su valor funcional hasta el desuso actual, manteniéndose firme a pesar de los estragos que han venido acompañados por el paso del tiempo y la acción del hombre.

3.1.1 Construcción.

El Acueducto romano de Segovia data del siglo II d.C, a principios del reinado de Adriano. Consta de una longitud total de 15Km, haciéndose visible en el centro de la ciudad, comenzando en una cisterna conocida como *El Caserón* y finalizando en lo alto del *Postigo*. Durante su construcción no se usó ningún tipo de argamasa para su fijación, sino que las piedras se encajaban directamente. Gran parte de su recorrido son arcos simples, pero en la zona de más altura, que alcanza 28 metros, consta de arcos dobles.

La *Figura 1* muestra como es la construcción de la arcada doble, formada por una arcada inferior y una superior, donde la mínima distancia entre los pilares es de 3,9 metros, aumentando progresivamente hasta el punto más alto a la vez que la anchura de ellos va disminuyendo.

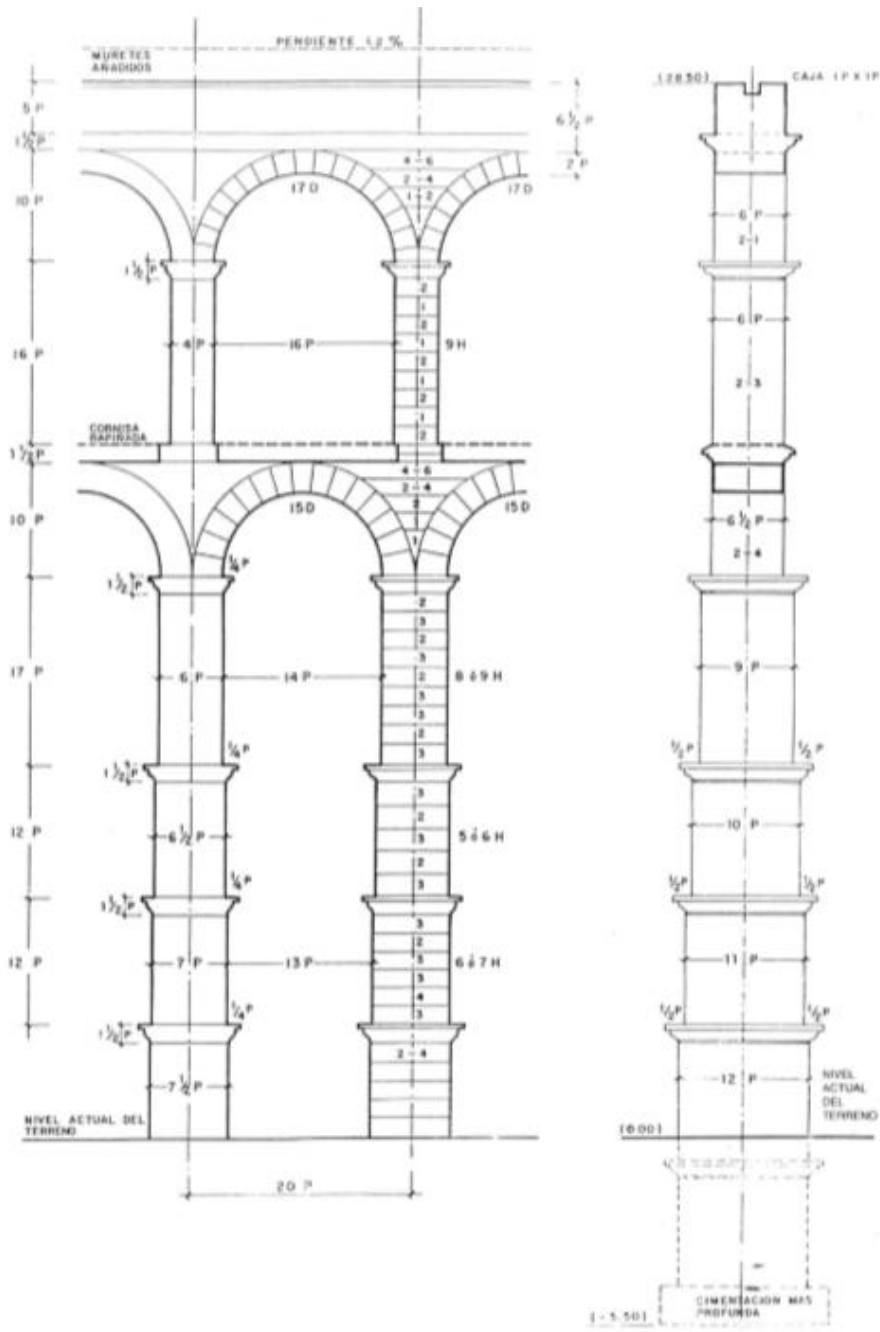


Figura 1: Estructura acueducto (Fernández Casado, 2008).

La Figura 2 representa el total de la estructura visible del acueducto y cómo está formada.

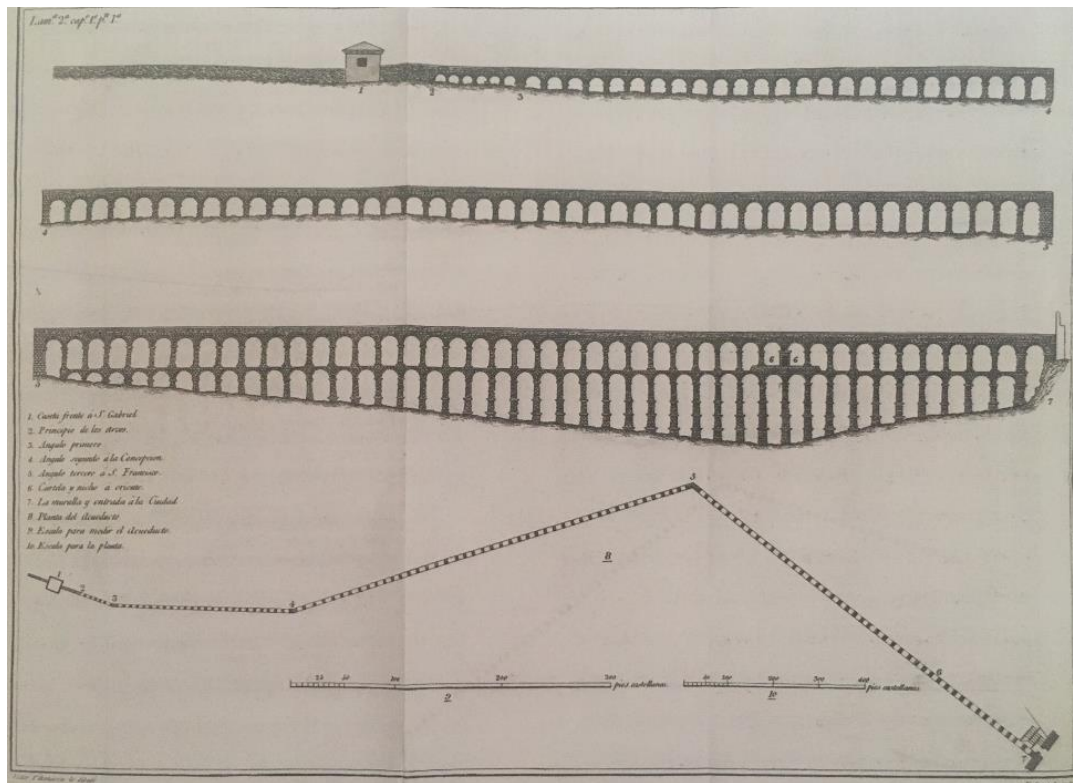


Figura 2: Longitud total de la parte visible del monumento (Gómez Somorrostro, 1820).

3.2. Vibraciones.

Este trabajo está motivado por la exposición que sufre el Acueducto de Segovia a diferentes tipos de vibraciones; nosotros nos centraremos en las producidas por el tráfico rodado. Pero, ¿qué es una vibración?.

Una vibración es la oscilación de un cuerpo alrededor de una posición de equilibrio (García, 2010). Estas, pueden estar originadas por la naturaleza como por ejemplo las causadas por el viento, pero también son provocadas por nosotros. Una de las más comunes son las vibraciones del tráfico de vehículos.

¿Cómo se originan las vibraciones por tráfico rodado?

El contacto del vehículo con irregularidades en la superficie de la carretera (por ejemplo, baches grietas y tapas de alcantarillas desiguales) induce cargas dinámicas en el pavimento. Estas cargas generan ondas de estrés, que se propagan en el suelo, llegando finalmente a los cimientos de los edificios adyacentes y haciéndolos vibrar. (Basekar, Vaghela y Katakiya, 2015).

No solo existen este tipo de vibraciones por tráfico en el entorno del Acueducto, sino que también se ve expuesto a las producidas por diferentes eventos populares a lo largo del todo el año como son conciertos, procesiones o carreras populares, todas ellas generadas por el gran volumen de sonido originado.

Las vibraciones son unas señales medibles y analizables y por ello tienen unas propiedades y variables que los definen.

¿Cuáles son estas propiedades?

Una de ellas es la frecuencia, definida como la cantidad de oscilaciones que se producen por segundo y cuya unidad de medida es el Hertz (Hz). Existe una propiedad inversa a la frecuencia, el periodo, descrito como el tiempo transcurrido entre dos puntos iguales de la misma onda y medida en segundos (s). Por último, para averiguar cuánta distancia de la onda se realiza en un periodo se utiliza la longitud de onda, cuya fórmula es la siguiente:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Donde c es la velocidad del sonido y f la frecuencia. Su unidad es el metro (m) (Rocamora, 2006).

¿Cuáles son sus variables?

Podemos caracterizar una onda, ya sea de vibración o de sonido, con una serie de variables relacionadas con la amplitud. Una de ellas es el valor pico a pico, definida como la diferencia entre el valor más alto y el más bajo alcanzados por la señal. También existe una variable que indica el máximo de nivel que ha alcanzado la señal sin tener en cuenta al resto, llamada valor pico. Asimismo, existe el valor medio de la señal, que calcula la media de todos los valores que ha ido alcanzando. Por último, la medida más importante relacionada con la amplitud es el valor RMS, debido a que mide la capacidad destructiva, o lo que es lo mismo su energía, teniendo en cuenta toda la historia de la señal en el tiempo.

En la siguiente figura se representan dichas variables de forma visual.

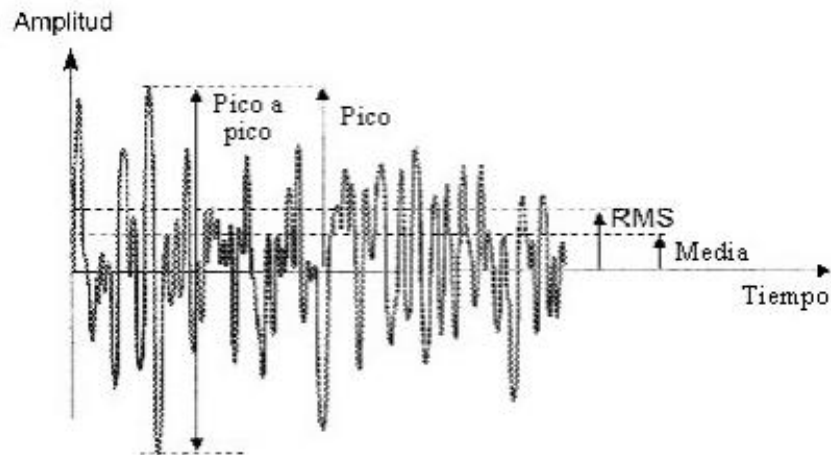


Figura 3: Representación gráfica de las variables.

¿Cuáles son los tipos de vibraciones?

Las vibraciones que se pueden detectar en el entorno del Acueducto son dos, vibraciones estacionarias y vibraciones transitorias.

- Una onda o vibración estacionaria es la interferencia de dos ondas con la misma amplitud: un incidente que se propaga hacia cualquier dirección (derecha o izquierda) y la otra el reflejo de esta en dirección opuesta. Así pues, una vibración estacionaria no depende del momento en que se mida, siempre va a tener la misma energía.
- Una vibración transitoria es una excitación temporal, es decir, que tienen una duración finita en el tiempo. Siempre empiezan y acaban con el mismo valor, normalmente cero.

El tráfico y los eventos sonoros que se pueden observar en las inmediaciones del monumento se pueden caracterizar principalmente como de tipo estacionario, ya que si hablamos de tráfico siempre está presente, en mayor o menor afluencia, nunca deja de existir. En el caso de los conciertos y diversos actos populares, durante el tiempo de los eventos se puede considerar que generan ondas estacionarias, debido a que no duran unos pocos segundos, sino que se prolongan durante horas.

Por último, hay que mencionar que el Acueducto de Segovia también se ve expuesto a vibraciones transitorias, como pueden ser las causadas por los fuegos artificiales que se alzan sobre él, el día 24 de junio por la festividad de San Juan.

Estas vibraciones pueden causar daños, de mayor o menor alcance, dependiendo de varios factores, como la amplitud de la vibración o el tiempo de exposición a ella. Estos daños pueden ser puramente visuales, como son las grietas o desprendimientos leves, o pueden ser estructurales, que afectan gravemente a la estabilidad del edificio como pueden ser daños en los cimientos, o en los pilares que lo sostienen.(Fajardo-Segarra, Abdi Farah y Oliva-Álvarez, 2018).

4-Estado del arte.

4.1. Acueducto de Segovia.

El 4 de diciembre de 1985 la ciudad de Segovia y su Acueducto son declarados “*Patrimonio de la Humanidad*” por la UNESCO, año en que se aprueba la nueva normativa del Patrimonio Histórico Español. Todo esto, va a venir acompañado por una preocupación por el mantenimiento y estado del monumento.

A partir de 1992 comenzaron a realizarse diferentes estudios para conocer el estado del monumento y las causas que provocaban su deterioro. Una de ellas, era la contaminación atmosférica, a partir de los gases procedentes de coches y de las chimeneas cercanas. Otra que, acompañaba a esta, eran las vibraciones y otros agentes similares de los que era culpable el tráfico.

Según la empresa Geocisa (Jurado, 1995), llegaron a la conclusión de que el tráfico producía daños directos al Acueducto, concretamente la contaminación producida por los vehículos y en menor medida las vibraciones que producían, degradando los sillares, las uniones entre ellos y cambiando la resistencia de la estructura total. De tal manera, en julio de 1992 se limitó el paso de vehículos por debajo de sus arcos y, especialmente los más pesados y contaminantes.

Por ello, el Ayuntamiento a partir del día 15 de julio de 1992 tomó la decisión de cortar el tráfico rodado entre los pilares de este. Una situación que llevó a modificar la circulación en la ciudad.

En diciembre del 2017, el Ayuntamiento tomó la determinación de alejar los bolardos que, impiden el paso del tráfico por debajo de los arcos, cerrando también el acceso a la plaza de la artillería por la calle Ochoa Ondategui, aumentando la zona peatonal en torno al

monumento. Los bolardos que, estaban a unos 5 metros del monumento, pasaron a no seguir una línea recta, llegando a tener una distancia de 24 metros hasta el monumento.

En relación con estudios posteriores a este cambio, se constató que, la supresión del tráfico rodado había supuesto una reducción de los gases en torno al 80%, así como la eliminación de la mayoría de las vibraciones que este sufría, aunque no se llegó a determinar que, estas fueran las causantes de la agresión (Fernández, 2008).

Tomando estudios más actuales, el 22 de junio de 2018, el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) llevaron a cabo un análisis sobre eventos sonoros para poder ver si las vibraciones sonoras podrían afectar a la estructura del acueducto y, para llegar a la conclusión de si se debe o no celebrar conciertos en el entorno de este. Para ello, utilizaron acelerómetros y servo-acelerómetros colocados en la cara opuesta al escenario a diferentes alturas en los pilares 105 y 106, pilares centrales ubicados en la Plaza de Artillería. También, colocaron un anemómetro y un sonómetro.

Partiendo de los datos recopilados durante el concierto de Diana Navarro en la noche del 22 de junio de 2018, pudieron observar que la distancia de 20 metros ofrecida desde el escenario al acueducto era suficiente con relación a la normativa actual establecida. Entre todas las vibraciones, no llegaron a detectar valores que pudieran superar los límites más restrictivos que aparecen en las diversas normas como la DIN 4150-3 o la UNE 22-381-93 y estudios utilizados, como el límite establecido por el Comité Europeo del Hormigón. Sin embargo, cabe destacar que, la colocación de los sensores fue errónea, ya que la norma DIN 4150-3 especifica que los acelerómetros tienen que ser colocados en la cara de la construcción más cercana a la fuente de análisis.

4.2. Estudios de vibraciones por tráfico vehicular.

Existen diversos estudios, realizados en distintas partes del mundo, relacionados con la influencia de las vibraciones provocadas por el tráfico de vehículos en edificios históricos. Este es el caso del estudio en el que se realizan mediciones en diversos edificios históricos de la ciudad de Ahmedabad (India). En la superficie de los edificios colocaron acelerómetros triaxiales, mientras que, paralelos y perpendiculares al tráfico colocaron acelerómetros uniaxiales. Finalmente, los resultados obtenidos concluyeron que, el tráfico no causaba daños estructurales, pero posiblemente sí daños cosméticos (Basekar et al, 2015).

Años antes en 1997, se analizaron las vibraciones inducidas por el tráfico en Montreal. Las medidas las realizaron en nueve edificios residenciales de diferentes partes de la ciudad y las posiciones de medida se ubicaron tanto fuera como dentro de los edificios. Usaron servo-acelerómetros y midieron la dirección transversal (eje x) y longitudinal (eje y) en todas las posiciones excepto en los puntos de las habitaciones en los que sólo midieron la dirección vertical. Respecto al análisis, lo realizaron para bandas de 1/3 de octava, ponderado en frecuencia, de frecuencia en banda estrecha y con funciones de transferencia. Finalmente, para determinar el grado de daño en los edificios, usaron los valores límite de las normas DIN 4150, SN 640 312, BS 7385 y U.S Bureau of Mines (USBM) y concluyeron que, los valores medidos eran significativamente más bajos que los valores límite (Hunaidi & Tremblay, 1997).

Otro estudio muy interesante, es el realizado en el Acueducto de Querétaro para ver su comportamiento dinámico debido a que, por debajo de sus arcos se encuentran el Boulevard Bernardo Quintana y la Calzada de los Arcos donde hay un gran tránsito de vehículos. Utilizaron 15 acelerómetros de baja frecuencia situados a diferentes alturas y en diferentes arcos y cada uno de ellos tomando valores en las diferentes direcciones. En total hubo 7 puntos de medición; del 1 al 4 se tomaron valores en las direcciones z e y, del 4 al 5 en las direcciones x e y, y en el punto 7 en las tres. Las mediciones se realizaron en periodos de 10 minutos a una frecuencia de muestreo de 250 Hz. Adicionalmente, también se tomaron valores de temperatura y viento y se colocaron 6 sensores para el registro del flujo vehicular. Posteriormente, con los datos recopilados realizaron un modelo dinámico y estático para averiguar las zonas dónde sufre un mayor esfuerzo la construcción. Finalmente, llegaron a la conclusión de que es necesario un monitorio constante del Acueducto para evaluar su condición estructural y, además, que los límites obtenidos son aceptables para el tipo de material del que está construido. Sin embargo, aconsejan realizar otra investigación para analizar al detalle las

propiedades mecánicas y averiguar el factor de seguridad de la estructura (Viramontes et al., 2011).

Al mismo tiempo, el estudio realizado por Crispino y D'apuzzo con métodos de medición y predicción de las vibraciones inducidas por el tráfico en los edificios históricos, es otro trabajo a tener en cuenta. Se realizó en Nápoles y usaron 3 acelerómetros, 2 de ellos para las posiciones horizontales x e y, y uno para la vertical z utilizándolos en un total de 5 posiciones. Analizando las velocidades pico de partícula en los diversos puntos, concluyen que, tomando como referencia la norma suiza SN 640 312a se sobrepasaron los límites y que debían tomar medidas para evitar daños en los edificios con un valor histórico importante (Crispino & D'Apuzzo, 2001).

4.3. Otros estudios.

En España, en la ciudad de Vigo, se realizó un control de vibraciones en las edificaciones por el paso de dos tuneladoras. Aplicaron la norma alemana DIN 4150-3, y realizaron las medidas usando tres sismógrafos y también tres acelerómetros, uno triaxial, uno biaxial y uno uniaxial. Realizaron un estudio preliminar para obtener una previsión de las vibraciones que se podían generar y poder prever la velocidad de vibración para una cierta velocidad de avance de la máquina, intentado que el 95% de los valores quedaran por debajo de los límites. Los resultados arrojaron que, los datos medidos comparados con los esperados estaban la gran mayoría en línea, sólo con un 10% de desviación (Del Castillo Martínez, 2012).

Un caso muy singular, es el desempeñado en la localidad de Villajoyosa, Alicante, en el que analizaron el impacto de las vibraciones producidas por armas con explosivos en un edificio declarado Bien de Interés Cultural (BIC) durante la celebración de la fiesta de Moros y Cristianos. Utilizaron cuatro puntos de medida en el exterior, separados a tres metros de donde se iban a realizar los disparos y dos puntos de medida en el interior del edificio. Para ello, utilizaron acelerómetros BMA056 triaxiales y midieron el nivel de presión sonora con sonómetros. Adicionalmente, también registraron los valores de temperatura, humedad y velocidad del viento, por si pudieran afectar a las medidas. Finalmente, los resultados mostraron que durante la festividad, la construcción sufrió daños en ventanas y en la parte exterior de la fachada y también por consecuencia podrían causar lesiones humanas (Lloret et al., 2017).

Por otro lado, también hay otros estudios que, intentan analizar el estado de los edificios históricos a través del monitoreo de las vibraciones producidas por diversas fuentes. Este es el caso del realizado en la ciudad costera de Isola del Gioglio (Italia), durante las operaciones de extracción del crucero Costa Concordia. Concluyen que, es muy importante el monitoreo de las vibraciones debidas a fuentes externas, sobre todo, en tareas de construcción para preservar los monumentos históricos (Del Grosso & Basso, 2014). En la misma línea, es el publicado por Gao, Zhang, Liu y Ba, pero en este caso, los autores analizan la influencia de las vibraciones producidas por los cambios de temperatura y la afluencia de turistas al monumento, analizándolo por meses, semanas, estaciones del año e incluso en periodo de vacaciones (Gao, Zhang, Liu & Ba, 2017).

Vista la literatura relacionada se observa como la afección de edificios históricos por señal vibratoria es un problema de interés en distintos lugares del mundo, como Italia, México o Japón. La señal vibratoria analizada no siempre proviene de la misma fuente, sino que existen muchos factores que afectan a los edificios. Aun así, se constata que, los resultados no son heterogéneos al igual que los métodos usados, habiendo margen de mejora en los procedimientos y su normalización para este asunto específico, para intentar crear una única metodología.

4.4. Normativa.

Existen diferentes normativas o recomendaciones relacionadas con la influencia de las vibraciones en edificios, tanto a nivel nacional como europeo y también fuera de Europa. A continuación, nombraremos las que son de nuestro interés.

4.4.1. Norma UNE 22-381-93.

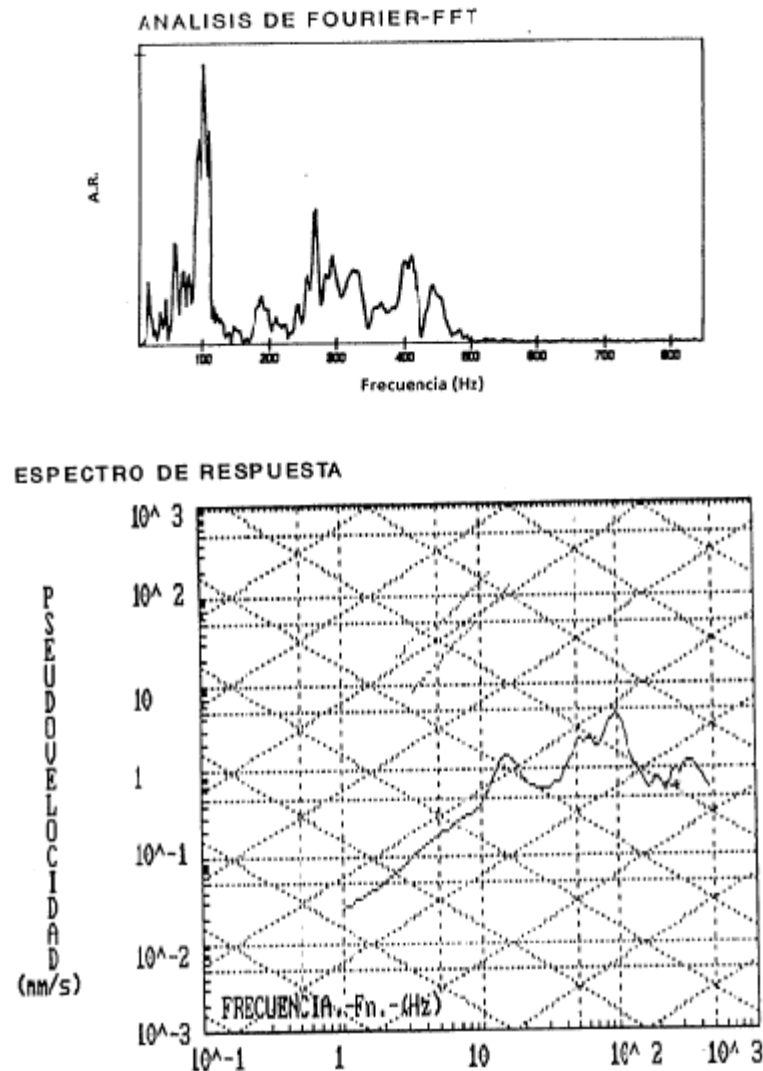
Esta norma fue creada en 1993 y es de origen español. Se titula “Control de vibraciones producidas por voladuras” y su objetivo es establecer un método de estudio y control de las vibraciones causadas por voladuras y propagadas por el terreno.

Establece tres tipos de estructuras constructivas, de menos a más restrictivas:

1. Tipo I: Edificios y naves industriales.
2. Tipo II: Edificios residenciales, oficinas, centros comerciales y de recreo. Además, también entran dentro de este tipo, los edificios con valor histórico que, no tienen una alta sensibilidad a las vibraciones.

3. Tipo III: Estructuras de valor arqueológico, arquitectónico o histórico que, tengan una especial sensibilidad a las vibraciones, debido a cómo están construidas o por elementos que pueden contener.

Los parámetros utilizados para analizar las vibraciones son el valor pico de la velocidad de vibración en su mayor componente y la frecuencia fundamental de esta. Para la obtención de estos parámetros, es necesario la medición en las tres componentes, vertical, longitudinal y transversal y se elegirá la más elevada de las tres. Para la obtención de la frecuencia fundamental, se pueden usar el análisis de Fourier, el espectro respuesta de la señal y el método del semiperiodo. La *Figura 4* muestra un ejemplo de cada uno de los métodos de obtención de la frecuencia fundamental, en ese orden.



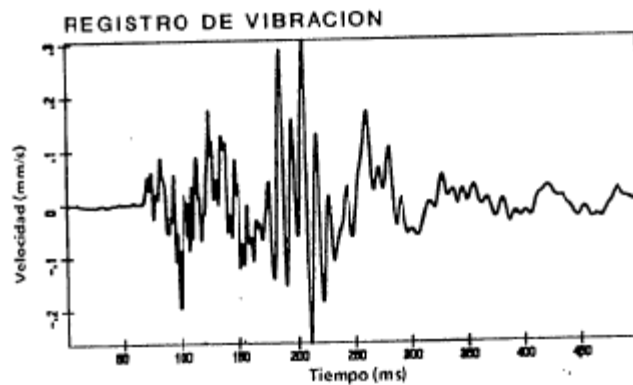


Figura 4: Cálculo de la frecuencia fundamental UNE 22-381-33.

En base a los parámetros medidos, se establecen unos criterios de prevención de daños clasificados por tipo de estructura y rangos de frecuencia para los cuales se establecen los valores seguros de velocidad de vibración, mostrados en la Figura 5 y la Figura 6.

		Frecuencia principal (Hz)		
		2 - 15	15 - 75 ¹⁾	> 75
		Velocidad mm/s	Desplazamiento mm	Velocidad mm/s
Tipo de estructura	I	20	0,212	100
	II	9	0,095	45
	III	4	0,042	20

1) En los tramos de frecuencias comprendidas entre 15 y 75 Hz, en los que el nivel está dado en desplazamiento, se podrá calcular la velocidad equivalente conociendo la frecuencia principal a través de la ecuación:

$$V = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot d$$

donde

V es la velocidad de vibración equivalente en mm/s

$\pi = 3,1416$

f es la frecuencia principal en Hz

d es el desplazamiento admisible en mm indicado en la tabla

Figura 5: Tabla criterio prevención de daños.

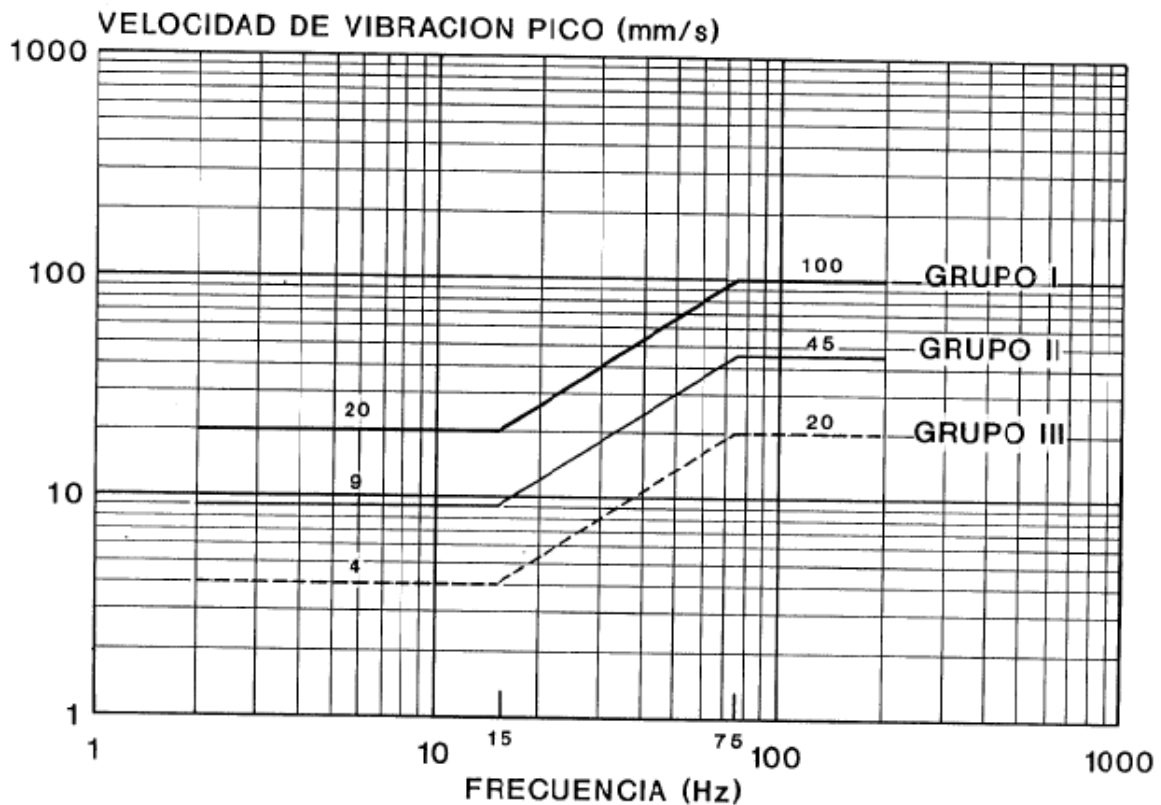


Figura 6: Gráfica criterio prevención de daños.

Esta norma, además, establece que, los equipos de medida deben poder registrar las tres componentes de la vibración de forma simultánea, o si se sabe cuál es, utilizar equipos de un solo canal. La respuesta del equipo debe tener al menos un rango dinámico de 2 Hz a 200 Hz y capacidad de detención de niveles pico desde los 1mm/s hasta los 100mm/s.

Por último, establece que, la colocación del equipo de medida debe ser sobre el terreno donde este cimentada la estructura, evitando la colocación en el propio edificio debido a que, se registraría la respuesta de la misma y no qué velocidad de vibración le está llegando a la misma (AENOR, 1993).

4.4.2. Norma CTE DBSE-C.

Este documento fue aprobado por el Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo y posteriormente ha sufrido modificaciones, la última el 20 de diciembre del 2019, con el Real Decreto 732/2019. El objeto de este documento es establecer la seguridad estructural, capacidad portante y aptitud al servicio, de los elementos de cimentación y, en su caso, de contención de todo tipo de edificios, en relación con el terreno, independientemente de lo que afecta al elemento propiamente dicho.

Dentro de este documento, se definen los estados límite que, se definen como aquellas situaciones en las que, de ser superadas, suponen que el edificio no cumple con los requisitos estructurales para los que ha sido construido. Hay dos tipos:

- Los estados límite últimos, son aquellos que, constituyen un gran riesgo pudiendo producir un colapso total o parcial del edificio. Se consideran estados límite últimos a la pérdida de equilibrio del edificio, a la transformación de la estructura o rotura de algún elemento que forme parte de ella como los cimientos o las uniones y también a los producidos por el paso del tiempo cómo son la fatiga o la corrosión.
- Los estados límite de servicio son aquellos que, afectan al confort de las personas o a la apariencia de la construcción. Se consideran estados límite de servicio a los producidos por las deformaciones de la obra, a las vibraciones que puedan afectar a las personas o a la funcionalidad de la estructura y los daños que, afectan a la apariencia de la obra.

En el apartado 2.4.3 dentro de las verificaciones que hay que efectuar en los estados límite de servicio, se especifica en el apartado 11 que para las vibraciones de corta duración no se superaran los valores de las siguientes figuras.

Clase de edificio	Frecuencia principal (Hz)		
	2-15 Velocidad [mm/s]	15-75 Desplazamiento ⁽¹⁾ [mm]	>75 Velocidad [mm/s]
Edificios y naves industriales ligeras con estructuras de hormigón armado o metálicas.	20	0,212	100
Edificios de viviendas y otros similares en su construcción y/o en su utilización.	9	0,095	45
Edificios especialmente sensibles a las vibraciones.	4	0,042	20

⁽¹⁾ En los tramos de frecuencias comprendidas entre 15 y 75 Hz se podrá calcular la velocidad equivalente conociendo la frecuencia principal a través de la ecuación:

$$v = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot d$$

siendo

v la velocidad de vibración equivalente en mm/s

f la frecuencia principal en Hz

d el desplazamiento admisible en mm indicado en la tabla

Figura 7: Valores de referencia para el valor pico de la vibración del terreno en su mayor componente.

Clase de edificio	Cimientos			Nivel del techo del piso mas alto habitable	Forjados o Techos
	Valor máximo de las 3 componentes del vector velocidad			Vibraciones horizontales en dos direcciones	Vibración vertical en el centro
	Frecuencias			Todas las frecuencias	Todas las frecuencias
	< 10 Hz	10 a 15 Hz	50 a 100 ⁽¹⁾ Hz		
Edificios utilizados para actividades industriales y edificios industriales	20	20 a 40	40 a 50	40	
Edificios de viviendas y otros similares en su construcción y/o su utilización. Edificios con enlucidos	5	5 a 15	15 a 20	15	20
Edificios especialmente sensibles a las vibraciones	3	3 a 8	8 a 10	8	

(1) Para frecuencias superiores a 100 Hz se deben aplicar, como mínimo, los valores de referencia para 100 Hz

Figura 8: Valores de referencia para la velocidad de vibración (mm/s) de las cimentaciones frente a vibraciones de corta duración.

La *Figura 7* toma sus valores de la UNE 22-381-93 y la *Figura 8* de la norma alemana DIN-4150-3, por lo que, las mediciones para la comprobación de si se alcanzan o no esos valores se harán de acuerdo a esas normativas (Ministerio de Fomento, 2019).

4.4.3. Norma DIN 4150-3.

La siguiente norma de origen alemán se titula: “Efectos de la vibración en edificios”. Fue publicada por primera vez en 1975 y en esta primera versión únicamente relacionaba la velocidad de la partícula con el tipo de estructura, ya sean de tipo comercial, de uso residencial o edificios bajo orden de preservación. En 1999, se realizó una modificación en la que se incluyó la frecuencia de vibración de la estructura.

Esta norma indica que se deben realizar las mediciones en los tres ejes de medición, longitudinal, transversal y vertical. Estas mediciones se pueden realizar en la parte exterior de los cimientos o en la planta baja del edificio y se deben realizar en el lado de la construcción que este de cara al evento bajo estudio.

La evaluación de las componentes medidas se lleva a cabo realizando el valor absoluto del máximo de todas ellas para posteriormente realizar la comparación de dichos valores con los límites establecidos en esta norma en función de la frecuencia. Para ello, es necesario saber en qué frecuencia se ha detectado el máximo y, a su vez, qué componente es la más elevada.

El parámetro utilizado para establecer los límites de esta norma es la velocidad pico de partícula (VPP). La *Figura 9* muestra dichos límites.

Line	Type of structure	Guideline values for velocity, v_i , in mm/s			
		Vibration at the foundation at a frequency of			Vibration at horizontal plane of highest floor at all frequencies
		1 Hz to 10 Hz	10 Hz to 50 Hz	50 Hz to 100 Hz*)	
1	Buildings used for commercial purposes, industrial buildings, and buildings of similar design	20	20 to 40	40 to 50	40
2	Dwellings and buildings of similar design and/or occupancy	5	5 to 15	15 to 20	15
3	Structures that, because of their particular sensitivity to vibration, cannot be classified under lines 1 and 2 and are of great intrinsic value (e.g. listed buildings under preservation order)	3	3 to 8	8 to 10	8

*) At frequencies above 100 Hz, the values given in this column may be used as minimum values.

Figura 9: Valores límite de la norma DIN 4150-3 1999.

Esta norma, también incluye los valores límite recomendados para el último piso de la estructura, cómo muestra la *Figura 10*, pero en este caso, sólo hay que medir las componentes longitudinal y transversal.

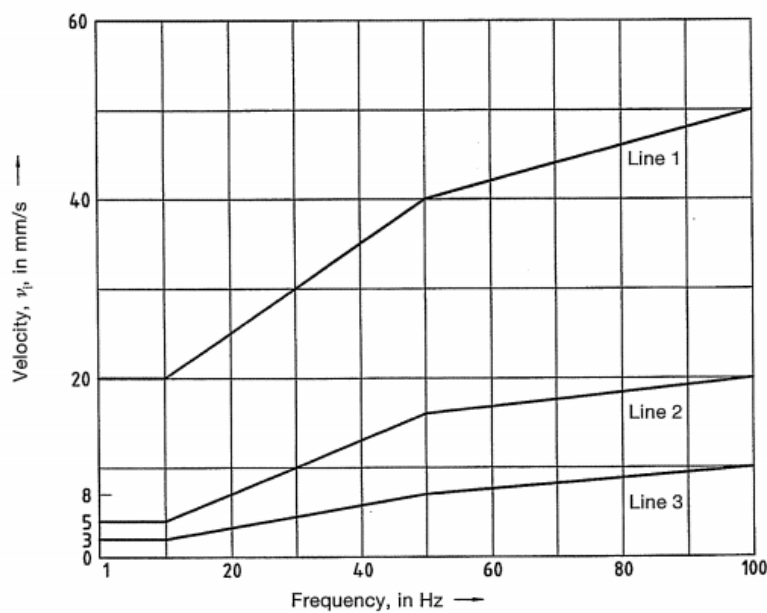


Figura 10: Gráfica de la VPP límite para la plata superior.

Las líneas *Line 1*, *Line 2* y *Line 3* representan cada tipo de estructura, correspondiendo cada una de ellas con los edificios comerciales, de viviendas o con protección respectivamente. (Civil Engineering Standards, 1999)

4.4.4. Norma SN 640 310a.

Esta norma es de origen suizo y fue creada en 1992 para evaluar los efectos de sacudidas sobre edificaciones. Su dominio de aplicación es sobre voladuras, máquinas y equipo de construcción y tráfico de carretera y ferroviario.

En cuanto a las mediciones, la norma establece que, se debe medir en las tres componentes de la velocidad de partícula, dentro de la estructura. Asimismo, cómo las mediciones pueden variar mucho en lugar y otro de la estructura, se recomienda medir en varios puntos hasta determinar los más críticos.

Lo más novedoso de esta norma, es su forma de clasificar a los edificios en función de lo susceptibles que sean a las vibraciones debido al tipo de materiales que usaron en su construcción, el tipo de edificación o las condiciones de esta. Los tipos son:

1. Muy poco susceptible.
2. Poco susceptible.
3. De susceptibilidad normal.
4. Particularmente susceptible.

Tabla 1: *Grados susceptibilidad norma SN 640 312a.*

Clase susceptibilidad	Construcción en altura	Construcción subterránea
1)muy poco susceptibles		<ul style="list-style-type: none"> -puentes en concreto armado o acero - estructuras de contención en concreto armado o mampostería maciza - socavones, túneles, cavernas, pozos en roca dura o sedimentos bien consolidados - cimentaciones de grúas y maquinaria - tuberías sobre terreno

2)poco susceptibles	<ul style="list-style-type: none"> -edificaciones industriales y de oficios, en concreto armado o acero, generalmente sin resentimiento - silos, torres, chimeneas altas en construcción maciza y sin revestimiento o estructura de acero - mástiles de estructura metálica. - condición: las edificaciones han sido construidas bajo las reglas generales del ramo y adecuadamente mantenidas -Viviendas con muros en concreto, concreto armado o ladrillos artificiales 	<ul style="list-style-type: none"> - cavernas, túneles, socavones y tuberías en roca blanda - parqueaderos subterráneos - conducciones industriales (gas, agua, canalización, cables) subterráneas - muros secos
3)susceptibilidad normal	<ul style="list-style-type: none"> - edificios de oficinas, colegios, hospitales e iglesias con muros de mampostería o ladrillos artificiales y revestimiento en cemento - Condición: las edificaciones han sido construidas bajo las reglas generales del ramo y adecuadamente mantenidas -casas con cielorosos de yeso o similares (“Hourdis”) 	<ul style="list-style-type: none"> -captaciones - reservorios - conducciones de hierro gris - cavernas, rasantes y subrasantes en túneles - cables susceptible
4)particularmente susceptible	<ul style="list-style-type: none"> - construcciones en cerrojo (“Colombage”) - edificaciones de la clase 3 nuevas o recientes renovadas - edificaciones históricas o bajo protección 	<ul style="list-style-type: none"> - cables de plomo viejos - tuberías de hierro gris viejas

También existe una clasificación para la frecuencia de solicitaciones. Hay tres tipos de frecuencias.

1. Ocasionales: muy inferiores a 1000.

2. Frecuentes.
3. Permanentes: muy superiores a 10000.

Así, la *Figura 11* representa los valores límite para cada tipo de edificación en función de la frecuencia en la que sufre sacudidas.

Clase de susceptibilidad	Frecuencia de eventos	Valores máximos del vector velocidad (mm/s)		
<i>muy poco susceptible (1)</i>	<i>Ocasional</i>	<i>Hasta el triple de los valores correspondientes a la clase de susceptibilidad (3)</i>		
	<i>Frecuente</i>			
	<i>Permanente</i>			
<i>poco susceptible (2)</i>	<i>Ocasional</i>	<i>Hasta el doble de los valores correspondientes a la clase de susceptibilidad (3)</i>		
	<i>Frecuente</i>			
	<i>Permanente</i>			
<i>susceptibilidad normal (3)</i>		<i>frecuencia dominante</i>		
		<i>< 30 Hz</i>	<i>30 -60 Hz</i>	<i>> 60 Hz</i>
	<i>Ocasional</i>	15	20	30
	<i>Frecuente</i>	6	8	12
	<i>Permanente</i>	3	4	6
<i>particularmente susceptible (4)</i>	<i>Ocasional</i>	<i>Entre los valores de la clase (3) y la mitad de estos</i>		
	<i>Frecuente</i>			
	<i>Permanente</i>			

Figura 11: Valores límite de la norma SN 640 312a.

Esta norma establece que, la superación ocasional de cualquier límite hasta un 30% solo lleva a un ligero aumento de la probabilidad de daño y que, se esperan fisuras cuando se alcancen en varias ocasiones los valores anteriores (Benjumea, 2003).

4.4.5. Norma BS 7385-2.

Esta norma es de origen británico, se creó en el año 1993 para establecer un método de evaluación y medición de las vibraciones en los edificios.

Establece un rango de frecuencia desde los 4 Hz hasta los 250 Hz y las fuentes que tiene en cuenta son las voladuras, demoliciones, equipo de construcción, tunelización, tráfico aéreo, rodado y de ferrocarril y maquinaria industrial.

La magnitud que se mide es la velocidad pico de partícula, calculándola con las tres componentes ortogonales y las posiciones de medida se deben posicionar en la base del edificio, en el lado más cercano a la fuente de vibración.

Existen dos procedimientos para medir vibraciones, uno para las de tipo transitorio y otro para las continuas. Las de nuestro interés son las de tipo continuo, y esta norma, como se

muestra en la *Figura 12*, tiene en cuenta las siguientes consideraciones para evaluar los daños cosméticos en los edificios.

Line (see Figure 1)	Type of building	Peak component particle velocity in frequency range of predominant pulse	
		4 Hz to 15 Hz	15 Hz and above
1	Reinforced or framed structures Industrial and heavy commercial buildings	50 mm/s at 4 Hz and above	
2	Unreinforced or light framed structures Residential or light commercial type buildings	15 mm/s at 4 Hz increasing to 20 mm/s at 15 Hz	20 mm/s at 15 Hz increasing to 50 mm/s at 40 Hz and above
NOTE 1 Values referred to are at the base of the building (see 6.3).			
NOTE 2 For line 2, at frequencies below 4 Hz, a maximum displacement of 0.6 mm (zero to peak) should not be exceeded.			

Figura 12: Valores límite norma BS 7385-2.

En esta tabla, sólo se tienen en cuenta los edificios industriales y residenciales, pero en el apartado 7.5.2 de dicha norma, se especifica que los edificios históricos no tienen por qué ser más sensibles que los especificados en la tabla.

Para la evaluación de los resultados obtenidos, se obtiene el máximo de VPP de las tres componentes y se realiza el valor absoluto. Es necesario conocer la frecuencia a la que, se ha registrado el máximo para la comparación con los límites (British Standard, 1993).

4.4.6. Otras normas.

Además de las cinco normas ya mencionadas, existen otras que no son aplicables en nuestro trabajo debido a que el ámbito de estudio no es el mismo. Es el caso de las normas SS 4604866, USBM R18507 y AS 2187-2 que se utilizan únicamente para vibraciones por voladuras, y la norma PAN-50 que, aunque es igual que la norma BS 7385-2 sólo tiene en cuenta los edificios residenciales (Benjumea, 2003).

4.4.7. Justificación de la utilización de la normativa.

Para nuestro trabajo, vamos a basarnos en la normativa nacional UNE-22-381-93, y la normativa internacional DIN 4150-3 y BS 7385-2, por varios motivos.

La utilización de la norma UNE 22-381-93 es debido a que, es la única normativa nacional disponible en cuanto a la influencia de vibraciones en edificios, aunque en dicha norma no contemple las creadas por tráfico. Las normas DIN 4150-3, y BS 7385-2, se ajustan más a nuestra investigación, contemplando todas ellas el tráfico vehicular. Además, debido a la utilización de la UNE 22-381-93 y a la DIN 4150-3, implícitamente también se utiliza el CTE DBSE-C debido a que, utiliza los límites de estas normativas para medir vibraciones en los cimientos de los edificios.

En todas ellas, se especifica la necesidad de utilización de acelerómetros triaxiales y que, la colocación de estos debe ser en los cimientos de la estructura, en la cara más cercana a la fuente bajo estudio.

Descartamos la utilización de la norma SN 640 310a debido a que, especifica que los sensores tienen que colocarse en la propia estructura, y en nuestro caso eso no ha sido posible.

5- Metodología de la investigación.

5.1. Tipo de investigación.

Se trata de una propuesta basada en una metodología cuantitativa, debido a que:

La investigación cuantitativa, conocida también como metodología cuantitativa, es un modelo de investigación basado en el paradigma positivista, cuyo propósito es hallar leyes generales que expliquen la naturaleza de su objeto de estudio a partir de la observación, la comprobación y la experiencia. Esto es, a partir del análisis de resultados experimentales que arrojan representaciones numéricas o estadísticas verificables. (Significados de la investigación cuantitativa, 2018).

Dicho tipo de investigación se caracteriza por la rápida recolección de datos, el mayor alcance del análisis de los resultados y la eliminación de sesgos, ya que, los resultados son numéricos.

5.2. Contexto.

Este proyecto se desarrolló en el entorno urbano de Segovia, en la parte donde empieza a ser visible el Acueducto. Su extensión abarca, desde la Avenida Padre Claret, pasando por la Calle Cañuelos y la calle Altamira, siguiendo por la Plaza de Díaz Sanz hasta finalizar en la Plaza de Artillería. En la *Figura 13* se puede observar, una fotografía aérea del recorrido del monumento, ilustrado con una línea roja marcando toda su extensión.

Dicho punto se encuentra a una distancia de 3,5 metros de la calzada de la Calle Cañuelos y, a aproximadamente 15 metros de la Avenida Padre Claret, como se muestra en la fotografía. El acelerómetro se colocó en la base del monumento, concretamente en el suelo junto a este.



Figura 15: Distancias desde Punto 1 hasta calzadas cercanas.

5.2.2. Plaza de Artillería.

En esta ubicación se decidió realizar un único punto de medida, al que hemos llamado Punto 2. Está situado en el pilar más cercano a la calzada, dónde se juntan la Cuesta de San Juan y la Plaza de Artillería.



Figura 16: Punto de medida en la Plaza de Artillería

Se encuentra a unos 18 metros de la calzada. En él, se colocó el acelerómetro en la base del acueducto, en el suelo junto a este.



Figura 17: Distancia del punto 2 a la calzada.

5.2.3. Plaza de Díaz Sanz.

En esta posición, se ubicó un único punto de medida al que, llamamos punto 3 y que se encuentra justo en el cruce de la calle Pintor de Montalvo con la Plaza de Díaz Sanz.

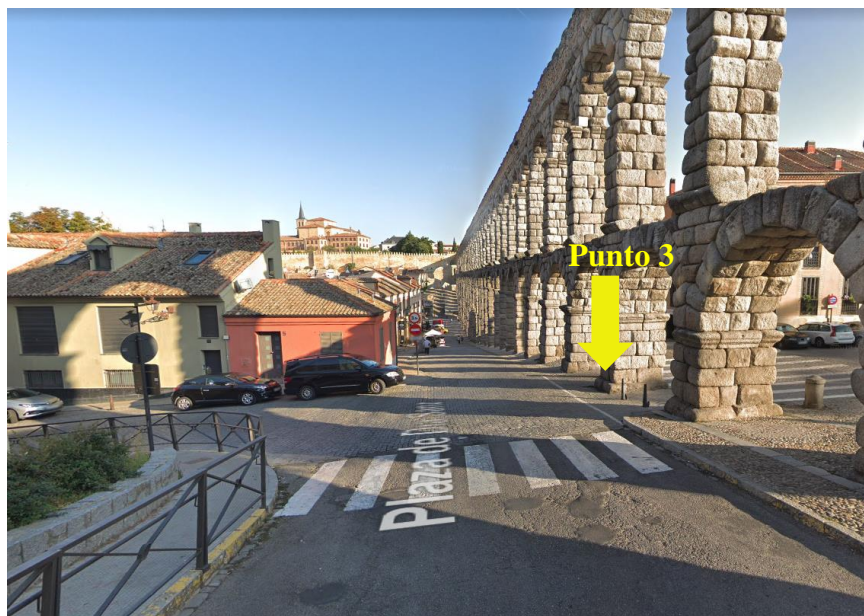


Figura 18: Punto de medida en la Plaza Díaz Sanz.

Este punto, se encuentra muy próximo a la calzada, a escasos centímetros. No obstante, los vehículos suelen circular a una mayor distancia, unos 3-4 metros. Se colocó el acelerómetro en la base del acueducto, en el suelo junto a este.

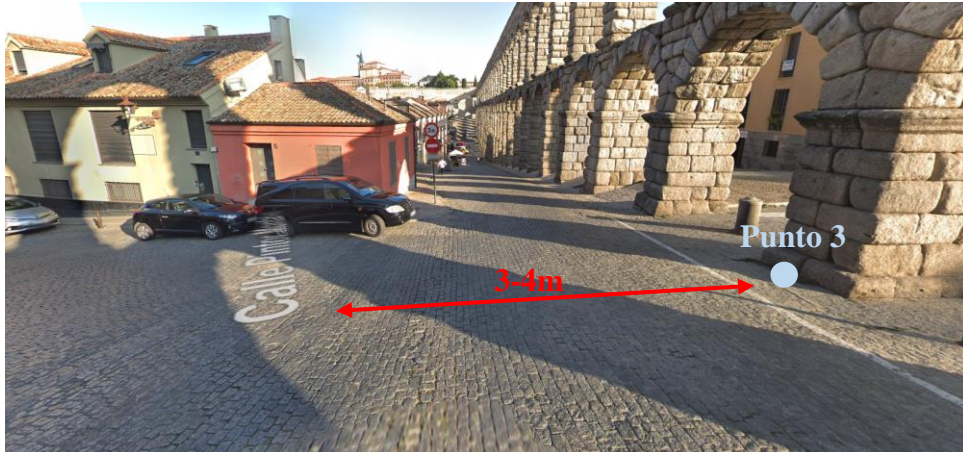


Figura 19: Distancia punto 3 al paso de vehículos.

5.3. Instrumentos de la investigación.

En este trabajo, se usó el siguiente equipo de medida, de acuerdo a lo especificado tanto en la normativa nacional como europea.

1. **SVAN 958:** es un analizador digital de 4 canales con un rango dinámico de 100dB 4x20 convertidor A/D. Cuenta con un rango frecuencial desde los 0.5 Hz hasta los 20kHz y combina las funciones de sonómetro integrador de Tipo 1 y analizador de vibraciones. Este equipo, es adecuado tanto para medir vibraciones en el cuerpo humano como en edificios. Cuenta con dos perfiles para mediciones simultáneas en el terreno, PPV (Velocidad pico de partícula) y VDV (Dosis de vibración), de acuerdo con la norma DIN 4150-3. Tiene la opción de análisis 1/1 octava, con frecuencias centrales desde 1 a 16 kHz o 1/3 de octava con frecuencias centrales desde los 0,8 a 20 kHz. Para ambas opciones es un equipo de clase 1, de acuerdo con los requisitos de IEC 61260. También cuenta con análisis FFT.



Figura 20: Analizador SVAN 958.

2. **Acelerómetro Dytran 3233A:** acelerómetro triaxial con una sensibilidad de 1 a 1000 mV/g. En este caso, para el eje x presenta una sensibilidad de 1027 mV/g, para el eje y 987 mV/g y para el eje z 1036 mV/g, como se puede ver en la Figura 21. Hemos decidido usar este equipo debido a que, en las diferentes normativas nombradas en el apartado 4.4 nos especifican la necesidad de utilización de un acelerómetro triaxial para la recolección de los datos de forma simultánea en las tres direcciones ya que, es muy importante captar en los tres ejes a la vez el valor pico alcanzado durante la medida y poder determinar qué dirección es la predominante.

Datos de Calibración		22-01-2018
Marca: Dytran	Nº Serie: 502	
Modelo: 3233A	Nº Ident: ---	
Sensibilidad @ 15,92 Hz		
x axis	104,8 mV/ms ⁻²	(1027 mV/g)
y axis	100,7 mV/ms ⁻²	(987 mV/g)
z axis	105,7 mV/ms ⁻²	(1036 mV/g)



Figura 21: Datos de la sensibilidad del acelerómetro y acelerómetro.

3. **Masa sísmica:** estructura dónde se encuentra el acelerómetro y que, permite su colocación en el terreno de forma que, no sufra desplazamientos y asegurar el equilibrio mediante el ajuste de sus tres patas.



Figura 22: Masa sísmica dónde se encuentra el acelerómetro.

A continuación, se muestra una imagen a modo de ejemplo de la conexión de los aparatos mediante el cable SC 242 para la conexión del acelerómetro ubicado dentro de la masa sísmica con el SVAN 958. Este cable está compuesto por un cabezal con 7 pines y el otro extremo con un LEMO de 4 pines.

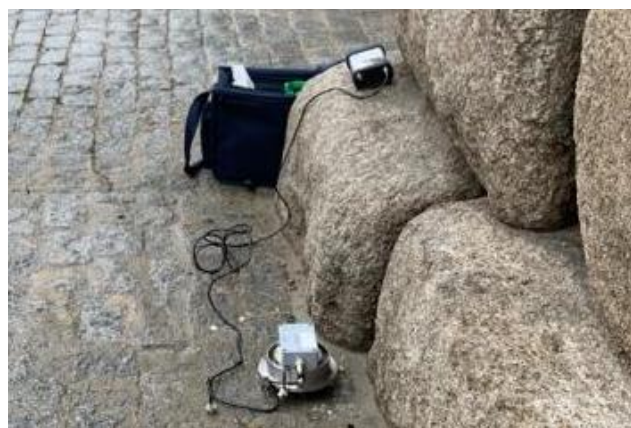


Figura 23: Interconexión de todos los elementos.

5.4. Aspectos éticos.

El interés por la integridad de los sujetos participantes durante el procedimiento investigador por asociaciones como la APA (American Psychologist Association) y la APGA (American Personnel and Guidance Association) han dado cabida a una serie de normas éticas que determinan los comportamientos éticos, las exigencias y la praxis que deben seguir los profesionales a la hora de llevar a cabo en un estudio de estas características.

Para el presente estudio, tendremos en cuenta los problemas éticos que puedan surgir durante la investigación, en relación con la intervención del proyecto, una actitud de respeto, justicia y optimización de los resultados.

Antes de comenzar la investigación, solicitaremos permiso al Ayuntamiento de Segovia (vía presencial mediante la presentación de un escrito informativo con los detalles del proyecto *Anexo 1: Solicitud de permiso*) para posteriormente entregar una copia de este en la concejalía de patrimonio.

Posteriormente, se entregarán una serie de escritos donde se detallan el centro de estudio, el tutor al cargo y un compromiso de entregar una copia cuando se haya finalizado el proyecto (*Anexo 2: Requerimiento y escrito de compromiso*).

Una vez que se obtiene el permiso por parte tanto de la Junta de Castilla y León como por el Ayuntamiento de Segovia para los días solicitados para la ejecución del trabajo (*Anexo 3: Permisos de realización de mediciones*), se solicitara el equipo necesario a la universidad.

En cuanto a los datos obtenidos, en ningún momento se manipularán y tendremos una visión objetiva de los mismos. (*Anexo 4: Hojas de registro*).

5.5. Planificación temporal del proyecto.

A continuación, se representa una línea temporal dónde se detalla el tiempo invertido en cada proceso.

Tabla 2: *Planificación temporal del trabajo desempeñado.*

PASOS	MES	SEP 2018	OCT 2018	NOV 2018	DIC 2018	ENE 2019	FEB 2019	MAR 2019	ABR 2019	MAY 2019	JUL- SEP 2019	NOV- DIC 2019	ENE 2020	FEB- ABR 2020
1º Acuerdo de tema con el tutor.														
2º Búsqueda de información relacionada (fuentes varias) y Asistencia a la charla sobre el estudio realizado por el CEDEX en las III Jornadas del Acueducto.														
4º Primera reunión en la concejalía de patrimonio.														
5º Solicitud y entrega del documento explicativo sobre el trabajo en el Ayuntamiento de Segovia y en Patrimonio.														
6º Requerimiento del Ayuntamiento para aportar más información (Centro de estudios, nombre del tutor y compromiso de entregar una copia del trabajo).														

8º Recepción de los permisos del Ayuntamiento y de la Junta de Castilla y León.													
9º Recogida del equipo para las mediciones y realización 1ª mediciones de abril.													
11º Extracción de los resultados del equipo de medida.													
12º Primera toma de contacto con la memoria.													
13º Realización del programa informático de extracción de datos.													
14º Toma de la decisión de volver a realizar medidas con instrumentación diferente.													
15 º Recopilación de información y finalización del Estado del Arte.													
16 º Préstamo del Laboratorio acústico Labenac del equipo de medida													
17º Realización de las 2ª mediciones													
18º Extracción de datos, procesado y finalización de la memoria.													

5.6. Procedimiento técnico.

Para la realización de las mediciones, fue necesario saber dónde se iba a medir, eligiendo las posiciones en función a su cercanía al tráfico, como ya se ha establecido en el contexto.

Las mediciones se realizaron el día 1 de febrero de 2020. A continuación, se detalla cómo y cuándo se llevaron a cabo.

- Medición en la Calle Cañuelos. Se realizó sobre las 10:45h y se recabaron cinco muestras, cada una de ellas con una duración variable de entre 2 y 3 minutos.



Figura 24: Colocación acelerómetro en la Calle Cañuelos.

- Medición en la Plaza de Artillería. Se llevó a cabo aproximadamente a las 12:00h y se recogieron cinco muestras, con una duración entre 2 y 5 minutos cada una de ellas.



Figura 25: Colocación acelerómetro en la Plaza de Artillería.

- Medición en la Plaza Díaz Sanz. Se llevó a cabo aproximadamente a las 11:20h y se recogieron cinco muestras, con una duración de menos de un minuto en todas ellas.



Figura 26: Colocación acelerómetro en la Plaza Díaz Sanz.

Para las vibraciones, se han consultado diversas normas nacionales, europeas y del resto del mundo y también diversos artículos y publicaciones académicas, como se ha

comentado en el apartado de *Estado del Arte* y finalmente se han decidido usar la norma UNE 22-381-33, la *DIN 4150-3* y la *BS 7385-2*

En las normas europeas se especifica que, se debe medir simultáneamente en las tres componentes, perpendiculares entre sí. También en estas normas se establece que, lo que se compara es la velocidad pico de partícula (VPP). En nuestro caso, siguiendo la normativa, utilizamos un acelerómetro triaxial, registrando cada una de las direcciones para posteriormente obtener el valor de velocidad pico.



Figura 27: Posición de los ejes de medida en el Acueducto.

El acelerómetro se colocó en el terreno donde está cimentada la estructura, en la cara más cercana a la fuente de vibración, evitando la medición sobre la misma piedra del monumento ya que en ese caso se registraría la respuesta del mismo, tal y como se especifica en la norma UNE 22-381-93, apartado 8.2. *Fijación de los sensores al terreno*. En las normas *DIN 4150-3* y en *BS 7385-2*, en los apartados dónde explican los procedimientos de medición, ambas señalan que las mediciones se deben realizar en los cimientos de la edificación.

Antes de la colocación del elemento de medición, se configuró el software *Svantek* de la siguiente manera:

- Se activaron las variables PEAK, RMS y MAX ya que, consideramos que eran las que más información relevante nos podían ofrecer en nuestro caso y además, la variable PEAK es la exigida por la normativa para determinar si un edificio sufre daños o no.
- Se ajustó para que las medidas tomaran datos cada segundo y se limitó el tiempo de medición a un máximo de 5 minutos. En las diferentes normativas consultadas no se especifica un tiempo de medida, sino la importancia de captación del evento a analizar. En nuestro caso se configuró ese tiempo máximo para que, en caso de ser necesario, es decir, en el caso de que hubiera mucho tráfico circulando, la medida se parara automáticamente llegado a ese tiempo. La realidad fue que, durante las mediciones se iniciaba y se paraba manualmente cuando el evento deseado ya había sido captado ya que, el paso de tráfico constante no solía durar más de 2 minutos.

Durante las mediciones, el analizador estuvo inmóvil en todo momento para evitar posibles alteraciones de las muestras por el movimiento del cable de conexión con el acelerómetro y, además, se tomaron registro de las condiciones medioambientales de temperatura, humedad y velocidad del viento, asegurando que, durante las mediciones no estaba lloviendo ni la velocidad del viento era elevada.

Por último, se confeccionaron unas hojas de registro para ser rellenas en el momento que comenzaba la medición, se pueden consultar en el *Anexo 5: Hojas de registro*.

5.7. Tratamiento de datos.

Una vez fueron recopilados todos los datos necesarios, para su procesado utilizamos varias herramientas. La primera de todas fue el software *SvanPc++*, el único compatible con el equipo utilizado. Posteriormente, conectamos el equipo al ordenador mediante USB y se extrajeron los datos pico de aceleración y velocidad en las tres componentes exportándolos a archivos *.csv.

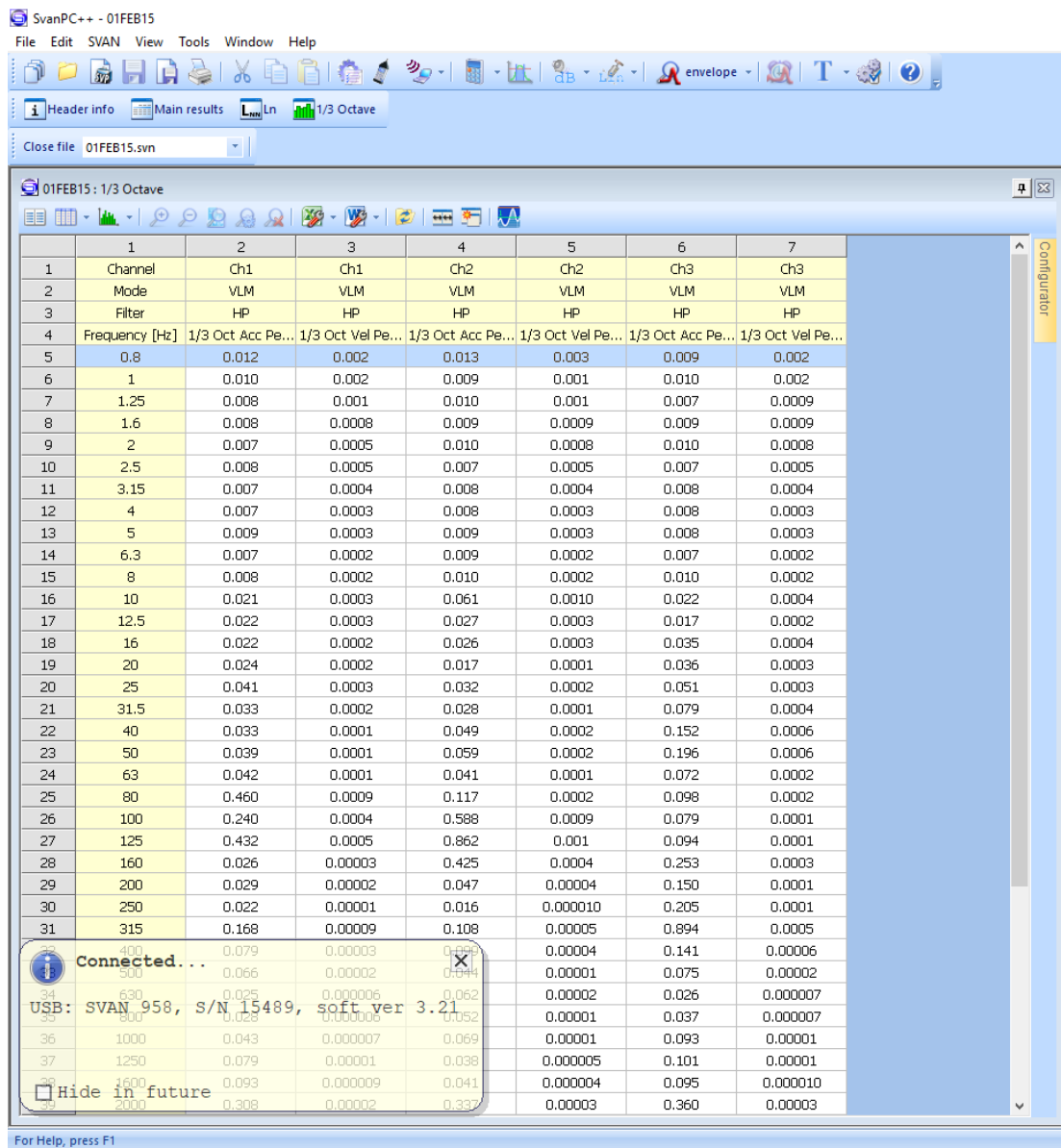


Figura 28: Ejemplo de visualización de los datos en el software SvanPc++.

Estos archivos *csv fueron necesarios para la obtención de los datos gráficos mediante un programa creado en lenguaje Python. Se realizaron tres archivos *csv, uno por cada eje de medición.

Por último, para la obtención de las gráficas comparativas, se creó un programa escrito en lenguaje Python que, mediante la librería Pandas se leyeron los archivos *csv para la interpretación y representación gráfica de los datos mediante la implementación de funciones. Para dicha representación, fue necesario la importación del módulo pyplot de la librería Matplotlib. Se crearon dos tipos de funciones, una para la representación de los datos de las mediciones de los tres ejes en una misma gráfica, y otra para la

representación de los resultados obtenidos en cada eje de todas las mediciones. Para ser exactos, obtuvimos las siguientes gráficas:

- ❖ Velocidad pico de partícula de los ejes x-y-z (PPV_{xyz}), desde los 0.8 Hz hasta los 200 Hz. En total hay 13 gráficas.
- ❖ Velocidad pico de partícula del eje x de todas las mediciones (PPV_x), desde los 0.8 Hz hasta los 200 Hz. 1 gráfica.
- ❖ Velocidad pico de partícula del eje y de todas las mediciones (PPV_y), desde los 0.8 Hz hasta los 200 Hz. 1 gráfica.
- ❖ Velocidad pico de partícula del eje z de todas las mediciones (PPV_z), desde los 0.8 Hz hasta los 200 Hz. 1 gráfica.

El código empleado se puede consultar en el *Anexo V: Código obtención de gráficas*.

5.8. Resultados.

A continuación, se van a mostrar los resultados obtenidos en cada uno de los puntos de medición. Para ello, vamos a dividirlo en tres apartados, uno por cada punto, y finalmente se realizará una comparativa de los tres.

El análisis se va a realizar, como ya se ha explicado con anterioridad, con tres normativas diferentes y para ello se van a seleccionar, de los resultados obtenidos, los valores más elevados de cada medición, de acuerdo con los límites establecidos en las normativas en rangos de frecuencia. Así pues, en la UNE 22-381-33 se especifican tres rangos de límites: de 2 a 15 Hz el primero, de 15 a 75 Hz el segundo y >75 Hz el tercero. Para la DIN 4150-3 también se especifican tres rangos: de 1 a 10 Hz el primero, de 10 a 50 Hz el segundo y de 50 a 100 Hz el tercero. Por último, la BS 7385-2 especifica dos rangos de 4 a 15 Hz y >15 Hz.

En resumen, por cada normativa vamos a mostrar el resultado más elevado obtenido para cada uno de esos rangos de frecuencias.

5.8.1. Resultados Calle Cañuelos.

En este punto, se realizaron cinco medidas, de las cuales dos de ellas no resultaron válidas debido a que, durante el procesado se observó que, tenían unos valores exageradamente altos y se decidió no tenerlas en cuenta.

Las siguientes figuras muestran los resultados de las tres mediciones analizadas en este punto.

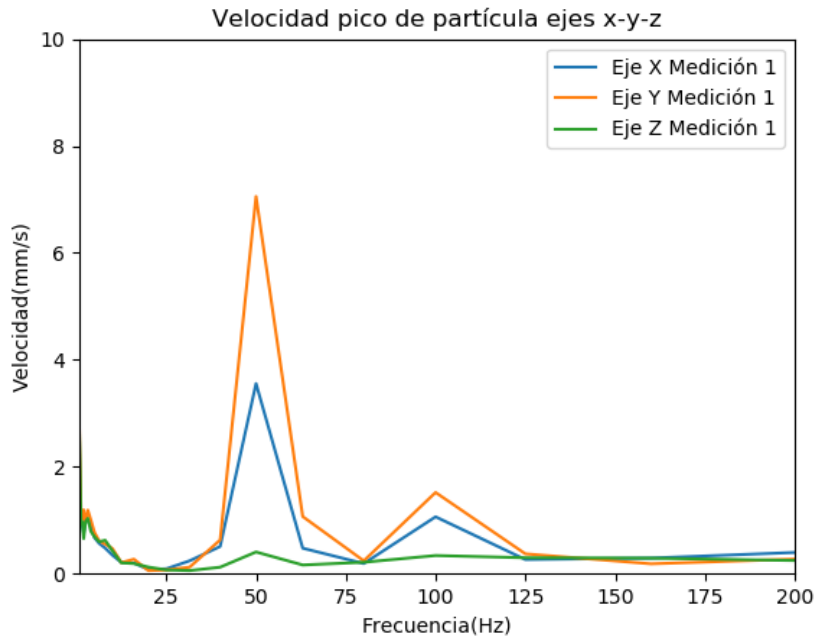


Figura 29: Gráficas de la medición 1 en la Calle Cañuelos.

Tabla 3: Resultados VPP en la Calle Cañuelos, medición 1.

Frecuencia(Hz)	Eje x (mm/s)	Eje y (mm/s)	Eje z (mm/s)
1	1,14	1,96	1,91
2	0,76	1,19	0,65
4	0,88	1,00	0,79
50	3,55	7,06	0,40
100	1,06	1,52	0,33

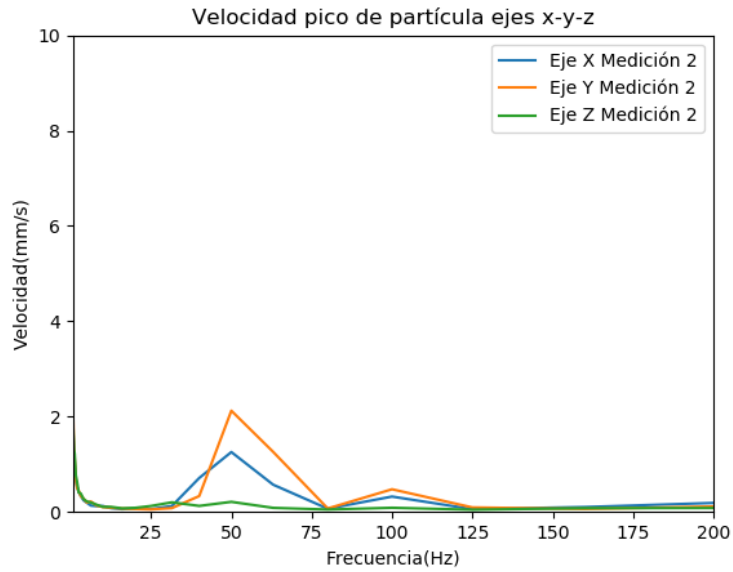


Figura 30: Gráficas de la medición 2 en la Calle Cañuelos.

Tabla 4: Resultados VPP en la Calle Cañuelos, medición 2.

Frecuencia(Hz)	Eje x (mm/s)	Eje y (mm/s)	Eje z (mm/s)
1	1,32	1,33	1,31
2	0,53	0,49	0,62
4	0,24	0,27	0,27
50	1,25	2,12	0,21
63	0,57	1,26	0,08
100	0,32	0,47	0,08

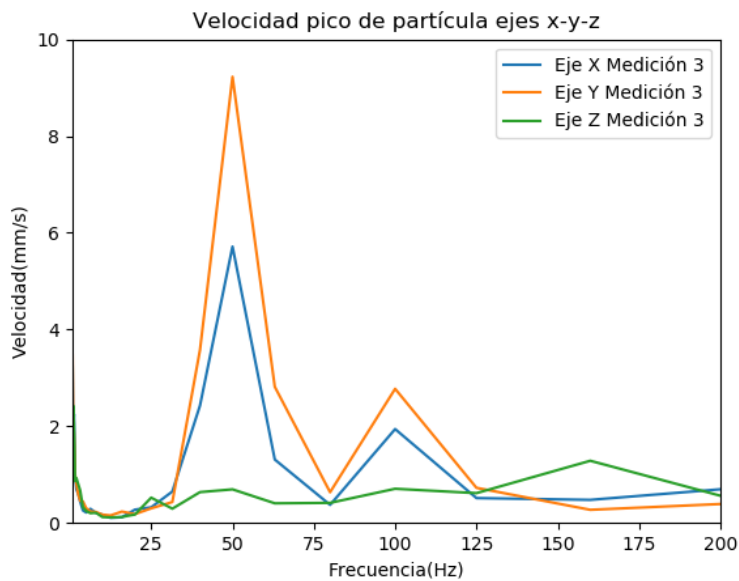


Figura 31: Gráficas de la medición 3 en la Calle Cañuelos.

Tabla 5: Resultados VPP en la Calle Cañuelos, medición 3.

Frecuencia(Hz)	Eje x (mm/s)	Eje y (mm/s)	Eje z (mm/s)
1,25	2,25	1,87	2,06
2	0,69	0,79	0,93
4	0,25	0,44	0,32
50	5,71	9,22	0,69
63	1,94	2,77	0,70
160	0,47	0,27	1,28

Como se puede observar, en las tres mediciones los valores más elevados se encuentran en la frecuencia de 50 Hz en la dirección y, dando unos resultados de 7,05 mm/s, 2,12 mm/s y 9,22 mm/s respectivamente.

En cuanto a la normativa, a continuación, se muestra una tabla comparativa con los límites establecidos y los resultados obtenidos.

Tabla 6: Comparativa resultados con la normativa en la Calle Cañuelos..

UNE 22-381-33		Medición 1	Medición 2	Medición 3
2 a 15 Hz	4 mm/s	1.19 mm/s	0.62 mm/s	0.93 mm/s
15 a 75 Hz	$V=2*\pi*f*0,042$	7.06 mm/s	2.12 mm/s	9.22 mm/s
>75 Hz	20 mm/s	1.52 mm/s	0.47 mm/s	1.28 mm/s

DIN 4150-3		Medición 1	Medición 2	Medición 3
1 a 10 Hz	3 mm/s	1.96 mm/s	1.33 mm/s	2.25 mm/s
10 a 50 Hz	3 a 8 mm/s	7.06 mm/s	2.12 mm/s	9.22 mm/s
50 a 100 Hz	8 a 10 mm/s	1.52 mm/s	1.26 mm/s	2.77 mm/s

BS 7385-2		Medición 1	Medición 2	Medición 3
4 a 15 Hz	15 a 20 mm/s	1.00 mm/s	0.27 mm/s	0.44 mm/s
>15 Hz	20 a 50 mm/s	7.06 mm/s	2.12 mm/s	9.22 mm/s

Como se puede observar, para las tres normativas utilizadas los valores más altos se encuentran entre las frecuencias de 10 a 75 Hz, concretamente, en nuestro caso, se corresponden con la frecuencia de 50 Hz como ya se ha mencionado anteriormente.

Para la normativa UNE 22-381-33, tenemos que, calcular el límite para esa frecuencia con la fórmula indicada arriba. Sustituyendo f por 50 Hz, ya que, en nuestro caso es dónde se ha registrado el valor más alto en ese rango de frecuencia. El resultado es 13.19 mm/s, por lo que, los resultados obtenidos en esta medición quedan por debajo de los límites establecidos en esta norma.

En el caso de la norma alemana DIN 4150-3 para las frecuencias comprendidas entre 10 y 50 Hz los límites están entre 3 y 8 mm/s, y como podemos observar, en la primera medición el valor obtenido se encuentra en dicho rango, mientras que la segunda medición se encuentra muy por debajo y la tercera se encuentra por encima. En conclusión, en dos de las tres mediciones, las vibraciones incidentes procedentes del eje y representan un riesgo, pudiendo ocasionar algún daño en el monumento.

Por último, la normativa BS 7385-2 representa los límites menos restrictivos y ninguno de los valores obtenidos se acerca a dichos límites.

5.8.2. Resultados Plaza Díaz Sanz.

En este punto, se realizaron cinco mediciones. Las siguientes figuras y tablas muestran los resultados.

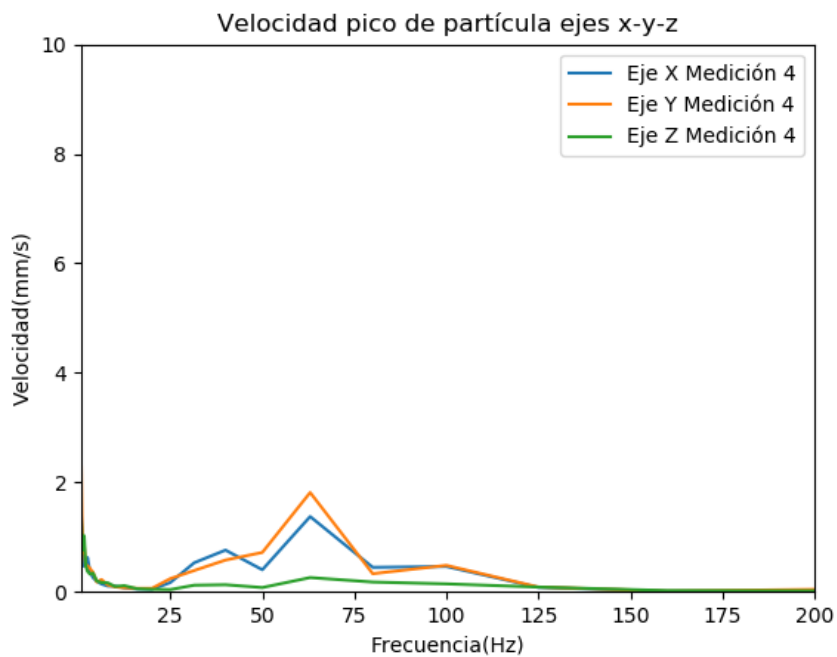


Figura 32: Gráficas de la medición 4 en la Plaza Díaz Sanz.

Tabla 7: Resultados VPP en la Plaza Díaz Sanz, medición 4.

Frecuencia(Hz)	Eje x (mm/s)	Eje y (mm/s)	Eje z (mm/s)
1	1,08	1,26	0,85
2	0,62	0,47	0,37
4	0,25	0,35	0,34
40	0,76	0,57	0,12
63	1,37	1,81	0,26
100	0,46	0,48	0,14

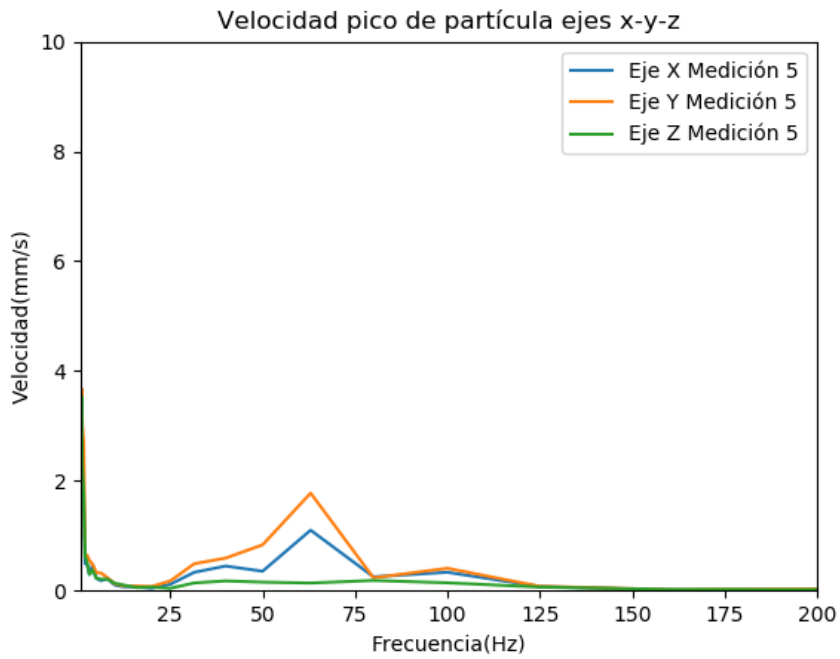


Figura 33: Gráficas de la medición 5 en la Plaza Díaz Sanz.

Tabla 8: Resultados VPP en la Plaza Díaz Sanz, medición 5.

Frecuencia(Hz)	Eje x (mm/s)	Eje y (mm/s)	Eje z (mm/s)
1	2,74	3,68	3,53
2	0,48	0,64	0,62
4	0,47	0,47	0,37
40	0,44	0,59	0,17
63	1,10	1,77	0,13
100	0,33	0,40	0,14

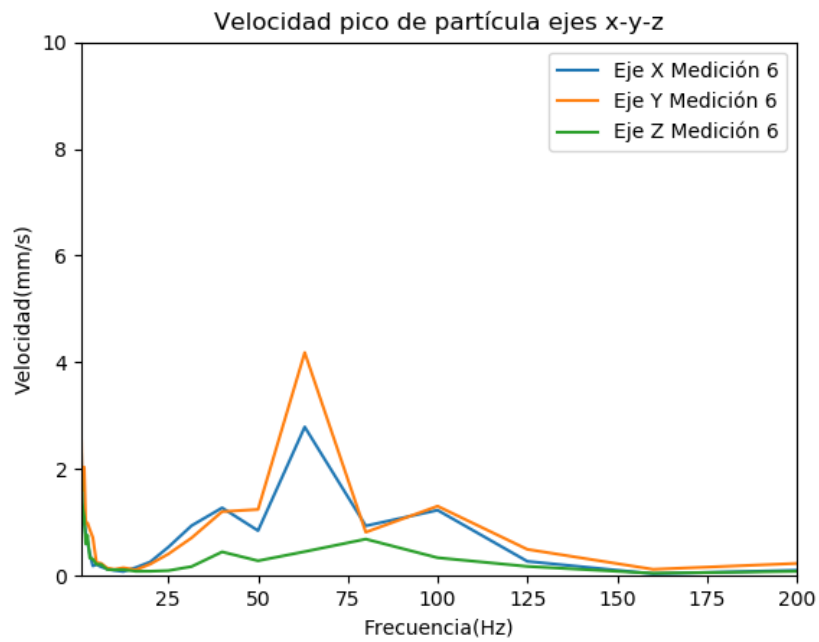


Figura 34: Gráficas de la medición 6 en la Plaza Díaz Sanz.

Tabla 9: Resultados VPP en la Plaza Díaz Sanz, medición 6.

Frecuencia(Hz)	Eje x (mm/s)	Eje y (mm/s)	Eje z (mm/s)
1.6	1,04	2,03	1,09
2.5	0,62	0,99	0,75
4	0,18	0,71	0,31
40	1,27	1,20	0,44
63	2,78	4,18	0,45
100	1,22	1,30	0,33

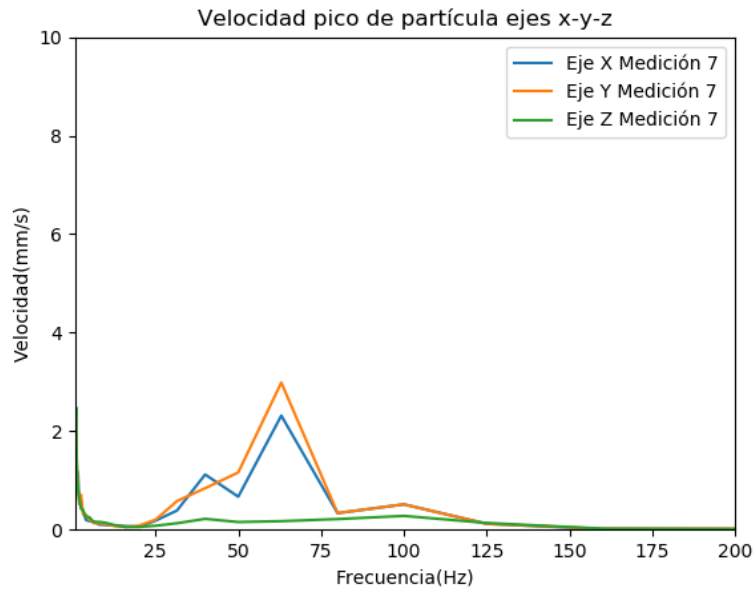


Figura 35: Gráficas de la medición 7 en la Plaza Díaz Sanz..

Tabla 10: Resultados VPP en la Plaza Díaz Sanz, medición 7.

Frecuencia(Hz)	Eje x (mm/s)	Eje y (mm/s)	Eje z (mm/s)
1	1,90	2,14	2,48
2.5	0,48	0,70	0,42
4	0,19	0,30	0,25
40	1,11	0,84	0,21
63	2,31	2,98	0,17
100	1,22	0,51	0,27

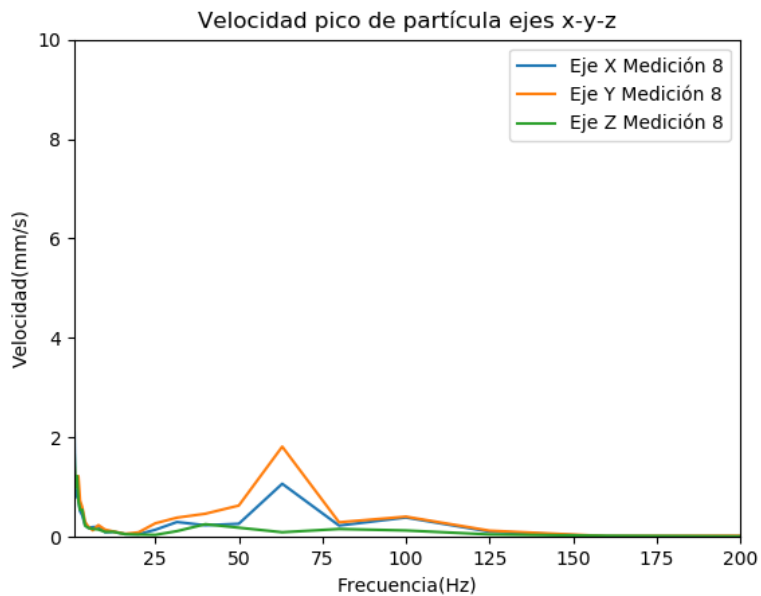


Figura 36: Gráficas de la medición 8 en la Plaza Díaz Sanz.

Tabla 11: Resultados VPP en la Plaza Díaz Sanz, medición 8.

Frecuencia(Hz)	Eje x (mm/s)	Eje y (mm/s)	Eje z (mm/s)
1	1,11	1,11	1,20
2	0,77	1,22	0,72
4	0,23	0,30	0,22
50	0,26	0,46	0,25
63	1,07	1,81	0,09
100	0,39	0,40	0,13

Como se puede observar, en las cuatro de las mediciones los valores más elevados se encuentran en la frecuencia de 63 Hz en la dirección y, dando unos resultados de 1,81 mm/s en la medición 4, 4.18 mm/s en la medición 6, 2.98 mm/s en la medición 7 y 1,81 mm/s en la medición 8, y también en la frecuencia 1 Hz en la medición 3 con un valor de 3,68 mm/s.

En cuanto a la normativa, a continuación, se muestra una tabla comparativa con los límites establecidos y los resultados obtenidos.

Tabla 12: Comparativa resultados con la normativa en la Plaza Díaz Sanz.

UNE 22-381-33		M4	M5	M6	M7	M8
2 a 15 Hz	4 mm/s	0.62 mm/s	0.64 mm/s	0.99 mm/s	0.70 mm/s	1.22 mm/s
15 a 75 Hz	$V=2*\pi*f*0,042$	1.81 mm/s	1.77 mm/s	4.18 mm/s	2.98 mm/s	1.81 mm/s
>75 Hz	20 mm/s	0.48 mm/s	0.40 mm/s	1.30 mm/s	1.22 mm/s	0.40 mm/s

DIN 4150-3		M4	M5	M6	M7	M8
1 a 10 Hz	3 mm/s	1.26 mm/s	3.68 mm/s	2.03 mm/s	2.48 mm/s	1.20 mm/s
10 a 50 Hz	3 a 8 mm/s	0.76 mm/s	0.59 mm/s	1.27 mm/s	1.11 mm/s	0.46 mm/s
50 a 100 Hz	8 a 10 mm/s	1.81 mm/s	1.77 mm/s	4.18 mm/s	2.98 mm/s	1.81 mm/s

BS 7385-2		M4	M5	M6	M7	M8
4 a 15 Hz	15 a 20 mm/s	0.35 mm/s	0.47 mm/s	0.71 mm/s	0.3 mm/s	0.3 mm/s
>15 Hz	20 a 50 mm/s	1.81 mm/s	1.77 mm/s	4.18 mm/s	2.98 mm/s	1.81 mm/s

Como se puede observar, la mayoría de valores altos se registran entre los 10 y los 75 Hz en las tres normativas, siendo el pico registrado a 63 Hz como se ha mencionado con anterioridad.

Para la normativa UNE 22-381-33, calculamos el límite para esa frecuencia con la fórmula indicada arriba. Sustituyendo f por 63 Hz, el resultado es 16.62 mm/s. Por lo tanto, los resultados obtenidos en nuestras mediciones quedan por debajo de los límites establecidos en esta norma.

En el caso de la norma alemana DIN 4150-3 para las frecuencias comprendidas entre 50 y 100 Hz los límites están entre 8 y 10 mm/s, y como podemos observar, en ninguno de los casos se aproxima a dichos valores. En cambio, para las frecuencias comprendidas entre 1 y 10 Hz, establece un límite de 3 mm/s, y durante la medición 2, la frecuencia de 1 Hz alcanzó los 3,68 mm/s, sobrepasando el límite. Además, en la medición 7, se obtuvo un valor muy próximo al límite. Esto puede ser un problema si se registran dichos valores frecuentemente, ya que, como se ha dicho con anterioridad, pueden causar daños en el monumento.

Por último, la normativa BS 7385-2 representa los límites más elevados y ninguno de los valores obtenidos se acerca a ellos.

5.8.3. Resultados Plaza de Artillería.

En este punto, también se realizaron 5 mediciones. A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

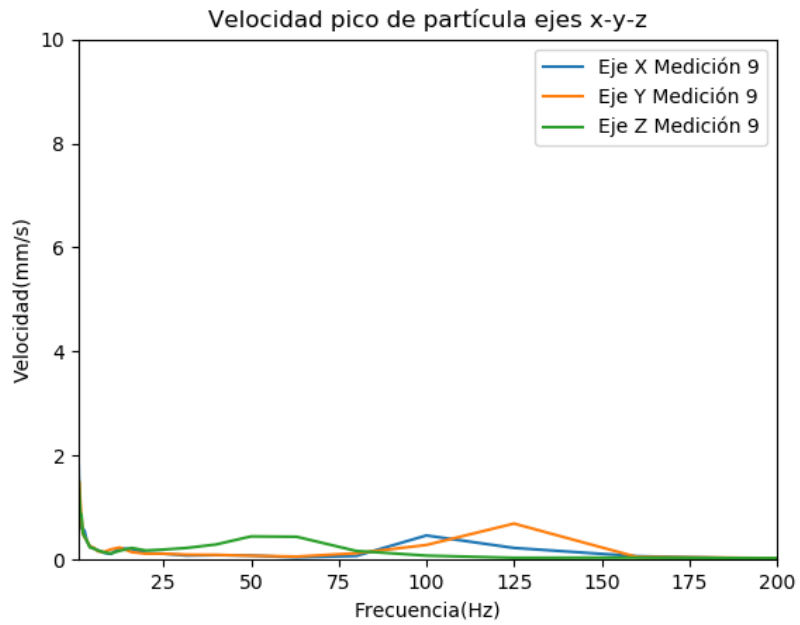


Figura 37: Gráficas de la medición 9 en la Plaza de Artillería.

Tabla 13: Resultados VPP en la Plaza de Artillería, medición 9.

Frecuencia(Hz)	Eje x (mm/s)	Eje y (mm/s)	Eje z (mm/s)
1	1.14	1.47	1.28
2	0.60	0.49	0.51
4	0.25	0.24	0.23
12.5	0.21	0.23	0.17
63	0.04	0.05	0.44
100	0.46	0.28	0.077
125	0.22	0.69	0.035

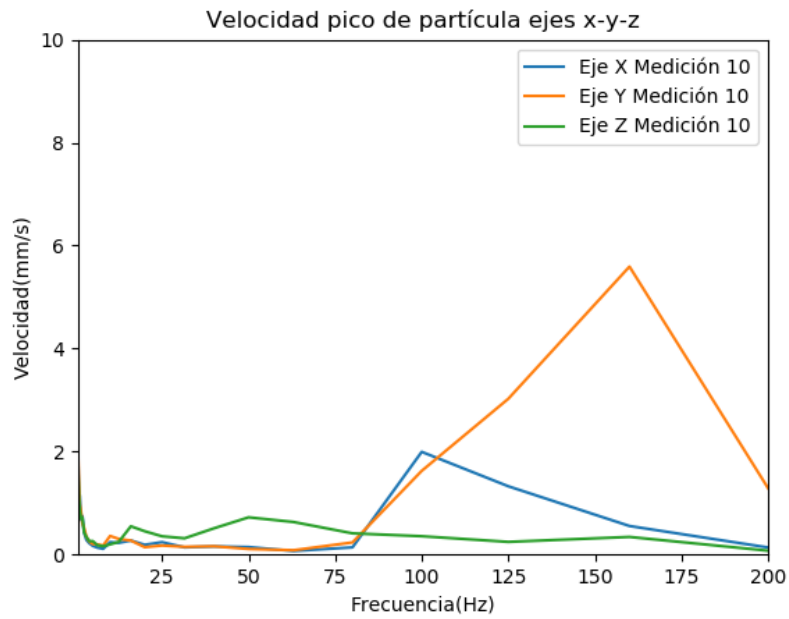


Figura 38: Gráficas de la medición 10 en la Plaza de Artillería.

Tabla 14: Resultados VPP en la Plaza de Artillería, medición 10.

Frecuencia(Hz)	Eje x (mm/s)	Eje y (mm/s)	Eje z (mm/s)
1	1,17	1,35	1,11
2	0,74	0,60	0,71
4	0,21	0,25	0,25
50	0,14	0,10	0,72
63	0,06	0,08	0,63
100	1,99	1,62	0,35
160	0,55	5,59	0,34

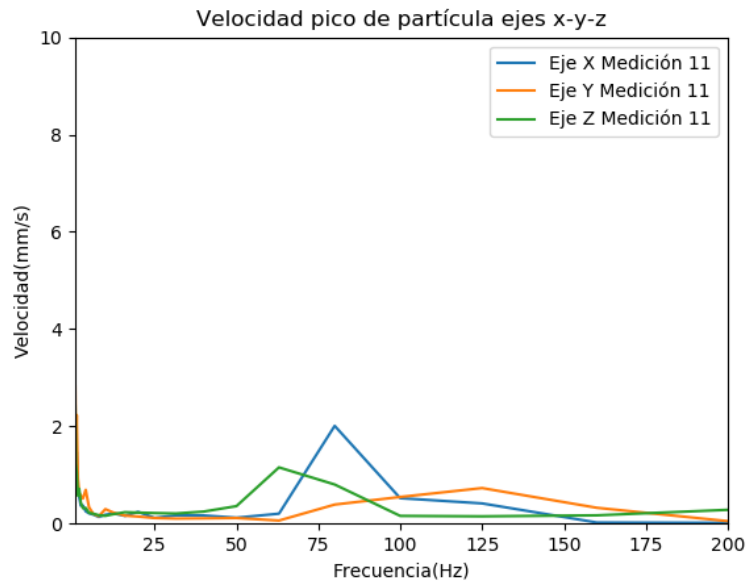


Figura 39: Gráficas de la medición 11 en la Plaza de Artillería.

Tabla 15: Resultados VPP en la Plaza de Artillería, medición 11.

Frecuencia(Hz)	Eje x (mm/s)	Eje y (mm/s)	Eje z (mm/s)
1.25	1,47	2,23	1,04
2	0,55	0,63	0,71
4	0,25	0,69	0,32
20	0,24	0,14	0,22
80	2,01	0,39	0,80

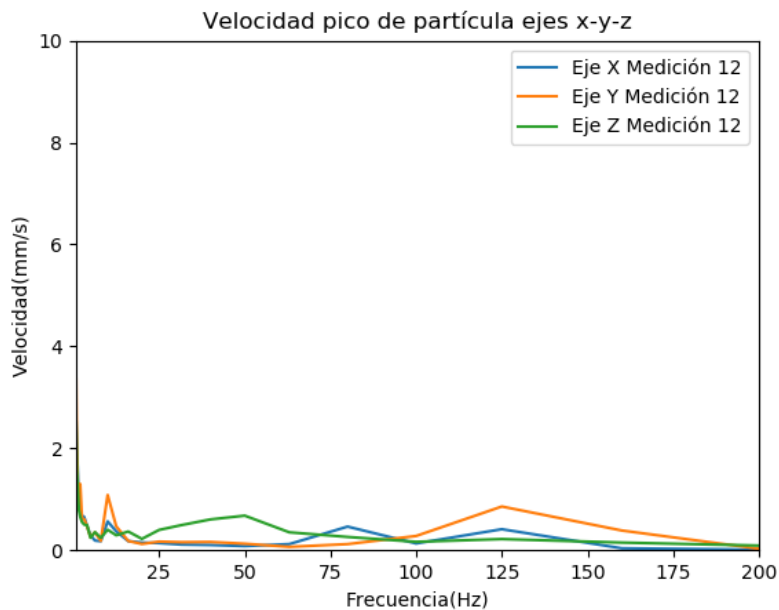


Figura 40: Gráficas de la medición 12 en la Plaza de Artillería.

Tabla 16: Resultados VPP en la Plaza de Artillería, medición 12.

Frecuencia(Hz)	Eje x (mm/s)	Eje y (mm/s)	Eje z (mm/s)
1	1,96	2,05	1,59
2	0,75	1,30	0,65
10	0,56	1,08	0,40
50	0,08	0,12	0,67
125	0,41	0,85	0,21

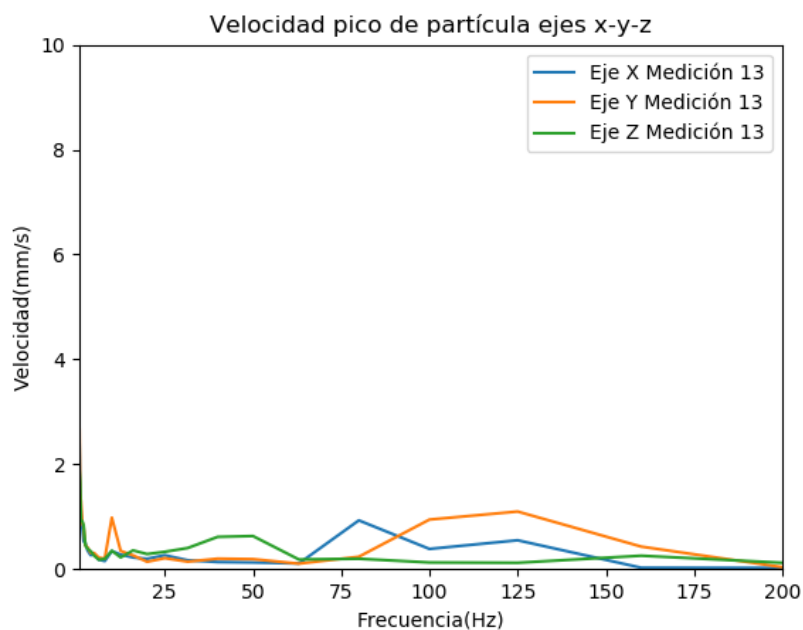


Figura 41: Gráficas de la medición 13 en la Plaza de Artillería.

Tabla 17: Resultados VPP en la Plaza de Artillería, medición 13.

Frecuencia(Hz)	Eje x (mm/s)	Eje y (mm/s)	Eje z (mm/s)
1	1,55	1,45	1,65
2	0,53	0,80	0,84
10	0,34	0,98	0,35
50	0,12	0,19	0,63
80	0,93	0,23	0,19
125	0,55	1,09	0,12

Las mediciones anteriores nos revelan que los resultados más elevados, en cada una de ellas, se encuentran entorno a 1Hz, dando como resultado para la medición 9 1.47 mm/s, para la medición 10 1.35 mm/s, para la medición 11 2.23 mm/s, para la medición 12 2.05 mm/s y para la medición 13 1.65 mm/s. Además, también se han registrado

valores bastante elevados en las frecuencias entre los 80 y 160 Hz en las mediciones 10, 11, y 13, dando como resultado 5.59 mm/s, 2.00 mm/s y 1.09 mm/s respectivamente.

Estos resultados, no se han obtenido en la misma dirección, sino que, en este caso, hay bastante variedad en la dominancia de los ejes de medición. Sin embargo, cabe destacar que, el resultado más elevado se ha obtenido en la dirección y, perpendicular a la fuente de medición.

En cuanto a la normativa, a continuación, se muestra una tabla comparativa con los límites establecidos y los resultados obtenidos.

Tabla 18: *Comparativa resultados con la normativa en la Plaza de Artillería.*

UNE 22-381-33		M9	M10	M11	M12	M13
2 a 15 Hz	4 mm/s	0.60 mm/s	0.74 mm/s	0.71 mm/s	1.30 mm/s	0.98 mm/s
15 a 75 Hz	$V=2*\pi*f*0,042$	0.44 mm/s	0.72 mm/s	0.24 mm/s	0.67 mm/s	0.63 mm/s
>75 Hz	20 mm/s	0.69 mm/s	5.59 mm/s	2.01 mm/s	0.85 mm/s	1.09 mm/s

DIN 4150-3		M9	M10	M11	M12	M13
1 a 10 Hz	3 mm/s	1.47 mm/s	1.35 mm/s	2.23 mm/s	2.05 mm/s	1.65 mm/s
10 a 50 Hz	3 a 8 mm/s	0.23 mm/s	0.72 mm/s	0.24 mm/s	1.08 mm/s	0.98 mm/s
50 a 100 Hz	8 a 10 mm/s	0.46 mm/s	1.99 mm/s	2.01 mm/s	0.67 mm/s	0.93 mm/s

BS 7385-2		M9	M10	M11	M12	M13
4 a 15 Hz	15 a 20 mm/s	0.25 mm/s	0.25 mm/s	0.69 mm/s	1.08 mm/s	0.98 mm/s
>15 Hz	20 a 50 mm/s	0.69 mm/s	5.59 mm/s	2.01 mm/s	0.85 mm/s	1.09 mm/s

En cuanto a la normativa DIN 4150-3 se puede observar que, ninguno de los resultados obtenidos sobrepasa los límites, pero cabe destacar que, en la M11 y en la M12, en el rango de 1 a 10 Hz, se quedan bastante cerca del límite.

En cuanto a las normativas UNE 22-381-33 y BS 7385-2, los valores obtenidos quedan muy por debajo de los límites de ambas, por lo que, según estas normativas no existe posibilidad de daño alguno en la estructura.

Seguidamente, vamos a mostrar unas gráficas, a modo de resumen, de todas las mediciones realizadas para poder tener una visión global de los resultados obtenidos.

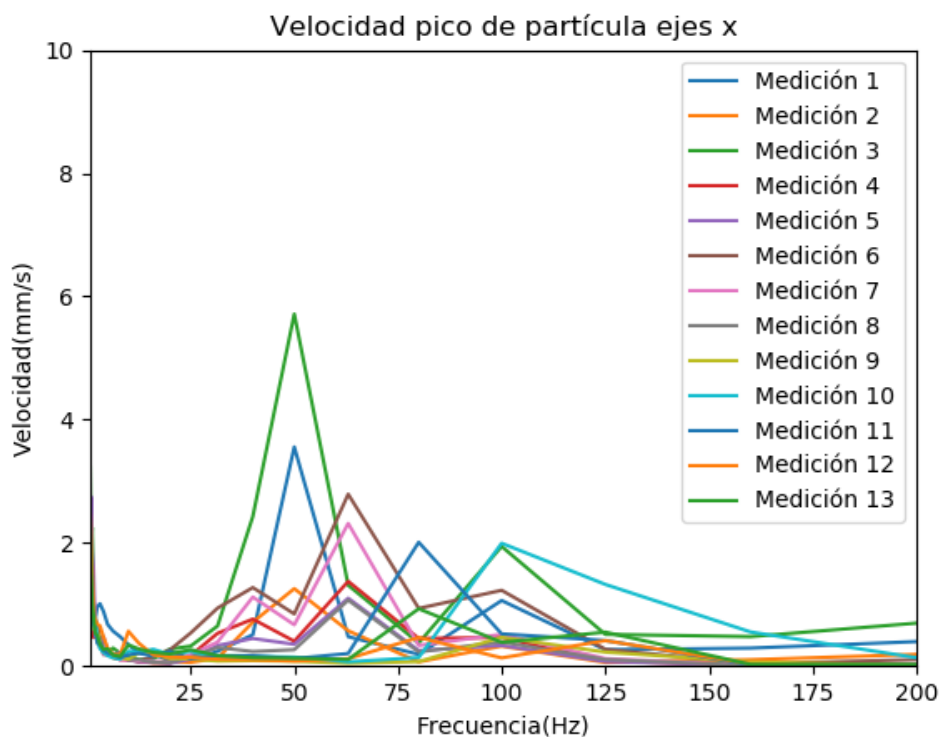


Figura 42: Gráfica global de las mediciones en el eje x.

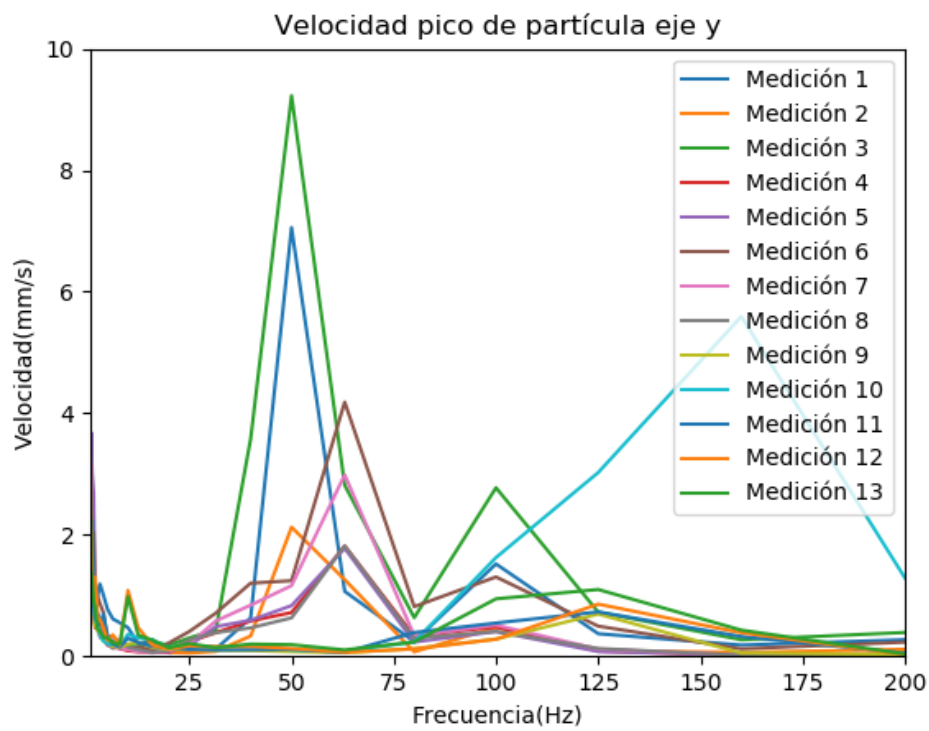


Figura 43: Gráfica global de las mediciones en el eje y.

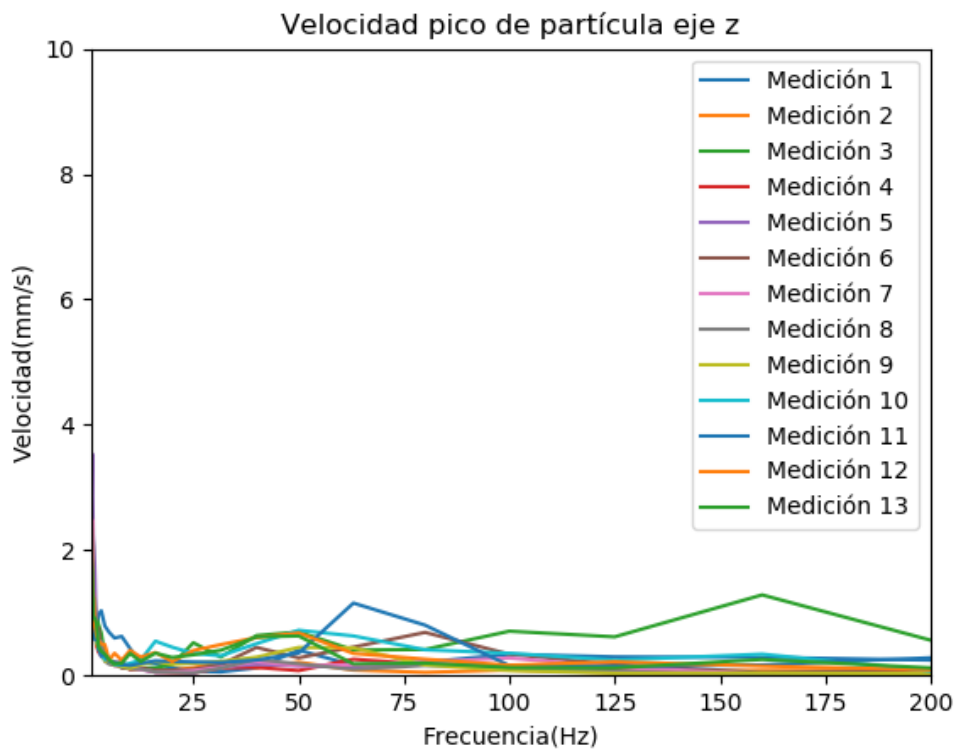


Figura 44: Gráfica global de las mediciones en el eje z.

5.9. Conclusiones y líneas futuras de investigación.

Teniendo en cuenta las mediciones analizadas, el Acueducto de Segovia, monumento patrimonio de la humanidad, podría sufrir daños debido a las vibraciones. Se han analizado varias localizaciones a lo largo de la parte visible de la estructura, dando los siguientes resultados:

1. Las mediciones tomadas en la Calle Cañuelos muestran que, la estructura podría sufrir daños visuales tales como fisuras o desgaste de los bloques de granito debido a la cercanía del paso de vehículos según los límites de la normativa alemana DIN 4150-3 y el CTE DBSE-C.
2. Las mediciones tomadas en la Plaza Díaz Sanz determinan que, a muy bajas frecuencias, el monumento puede estar sufriendo deterioro si se sobrepasan los límites a menudo.
3. Las mediciones realizadas en la Plaza de Artillería determinan que es el único punto de nuestra investigación dónde no se han sobrepasado en ningún momento los límites, pero sorprende la cercanía de los valores de baja frecuencia a los límites debido a la lejanía a la que circula el tráfico.

Debido a lo expuesto con anterioridad y teniendo sólo en cuenta los resultados obtenidos respecto a las vibraciones, no pudiendo evaluar la influencia de otras variables como temperatura, humedad o velocidad del viento o el posible deterioro debido a los nidos creados por los vencejos en los huecos entre las piedras, llegamos a la conclusión de que el Acueducto si percibe las vibraciones causadas por el tráfico rodado en las zonas donde circulan a una distancia cercana. Estas vibraciones pueden llegar a causar fisuras, grietas en los bloques de granito e incluso pequeños desprendimientos debidos a la fricción entre bloques, causando el desgaste de las piedras que conforman los pilares según diversos estudios (Basekar et al., 2015) (Crispino & D'Apuzzo, 2001). Sin embargo, según la DIN 4150-3, las superaciones de los límites establecidos en sus tablas no tienen por qué causar daños, pero si es necesario seguir investigando.

La decisión del Ayuntamiento de Segovia de alejar en la zona de la Plaza de Artillería el paso de vehículos y cortar la circulación en la calle Ochoa Ondategui, aconsejado por el Colegio Oficial de Arquitectos de Castilla y León a través de la realización de un informe, ha sido acertada y los resultados así lo demuestran. No

obstante, para poder saber a ciencia cierta la influencia de factores externos en el Acueducto, sería conveniente la realización de las siguientes medidas y toma de datos:

1. La colocación de acelerómetros triaxiales en varios puntos del monumento y también a diferentes alturas, sacando muestras continuas de las vibraciones, no sólo las producidas por el tráfico, sino también registrando las producidas durante Semana Santa con las procesiones y en las fiestas de la ciudad en el mes de junio cuando se realizan los conciertos a pie del monumento, llevando un registro de las veces que se sobrepasan los límites establecidos en la normativa y a qué frecuencia se han sobrepasado durante el periodo de un año.
2. La colocación de varios medidores de temperatura, humedad y viento a lo largo del monumento, registrando los valores y hacer un posterior estudio en relación a la influencia de las condiciones meteorológicas en el granito.
3. El estudio de cómo pueden influir los vencejos a la degradación del granito con sus nidos y los excrementos producidos.

5.9.1. Conocimientos académicos desarrollados.

Por medio de este TFG se han desarrollado diversos conocimientos adquiridos durante los cuatro cursos de formación, tanto en el ámbito de la programación como en el de la acústica.

Primero de todo, hay que destacar la importancia a nivel teórico y práctico que han tenido las tres asignaturas de acústica desarrolladas en el grado en este TFG, pero sobre todo Ingeniería Acústica I y II una dedicada más a la teoría, fundamental para el desarrollo de todo el marco teórico y la comprensión de diversas variables y otra dedicada a la acústica ambiental. En Ingeniería Acústica II se nos enseña a realizar los cálculos según el Real Decreto 1367/2007 y, aunque en este proyecto esa norma no se ha utilizado, han sido de gran importancia los conocimientos adquiridos cursando esta materia debido a que, se nos enseña, primero a leer una normativa, saber sintetizarla e interpretarla; segundo a aplicar sus restricciones en la realización de medidas y tercero analizar los resultados según nos indica. Todos estos conocimientos adquiridos en el tercer curso del grado, han sido vitales para poder desarrollar correctamente la búsqueda de la normativa aplicable, saber cómo, cuándo y dónde teníamos que hacer las mediciones y finalmente obtener la variable que necesitábamos analizar.

Otra parte importante de este proyecto ha sido la representación gráfica de los resultados obtenidos y para ello decidimos hacerlo mediante lenguaje Python y su librería Matplotlib. Este proceso, ha sido posible gracias a las numerosas asignaturas de programación que se han cursado, aprendiendo diferentes lenguajes, pero sobre todo quería destacar Protocolos para la Transmisión de Audio y Vídeo en Internet ya que, es la asignatura en la que aprendimos a programar en Python.

Por otro lado, quería destacar también la asignatura Tratamiento Digital del Sonido, que, aunque en ella no se utiliza Python si se usa Matlab para analizar y representar variables ligadas a las ondas sonoras y poder representarlas gráficamente.

Por último, quiero destacar los conocimientos que se han adquirido adicionalmente a la hora de la realización de este proyecto. La primera de todas ellas ha sido la investigación realizada del Acueducto de Segovia, consultando libros de cómo está construido, qué proyectos se habían desarrollado antes y qué es lo que preocupa tanto a la población segoviana como a diversos arquitectos. Ligado a ello, surgió la inquietud de saber si se habían realizado estudios similares en otros lugares del mundo y comenzó la recopilación de diversos estudios y publicaciones con los que se realizó el estado del arte. Paralelamente, a la vez que se leían los estudios relacionados iban apareciendo nombres de diversas normativas en el ámbito de las vibraciones en los edificios y se analizaron para valorar si se ajustaban a nuestro objetivo o no. Finalmente, todo el trabajo de investigación desarrollado y la formación mediante la lectura de libros y páginas web sobre las vibraciones en los edificios nos permitieron realizar las mediciones de forma correcta en febrero del 2020 y su posterior análisis e interpretación de resultados, ya que, en un primer intento, se realizaron unas medidas en abril del 2019 que resultaron ser inválidas debido al equipo utilizado por falta de información.

El conjunto de todo ello, tanto lo adquirido en el grado como lo aprendiendo por cuenta propia, ha servido para poder desarrollar este proyecto, y poder realizar un estudio completo, dentro de nuestras capacidades, de impacto de vibraciones en un edificio histórico.

Bibliografía

- (COACYLE), C. O. de A. de C. y L. (2011). *Documento de trabajo para la protección del Acueducto y del patrimonio histórico de Segovia*. Recuperado de <https://es.calameo.com/read/00046927783ce50a3cbe0>
- AENOR. (1993). Control de vibraciones por voladuras. Une 22-381-93.
- Archives of the Photogrammetry*, XLII-2/W5. Recuperado de <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-2-W5/253/2017/isprs-archives-XLII-2-W5-253-2017.pdf>
- Atlas España. (2017). El acueducto de Segovia, en estado crítico. *Las provincias*. Recuperado de <https://www.lasprovincias.es/sociedad/ciencia/acueducto-segovia-estado-20170814002932-ntrc.html>
- Basekar, P., Vaghela, D., & Katakia, M. (2015). *IMPACT OF TRAFFIC VIBRATION ON HERITAGE STRUCTURES*. (03), 6-15.
- Benjumea, J. M. (2003). *Vibraciones causadas por la actividad humana*. 3, 117–148.
- British Standard. (1993). BS 7385-2, Evaluation and measurement for vibration in buildings — Guide to damage levels from groundborne vibration, 13.
- Civil Engineering Standards. (1999). Structural vibration Part 3: Effects of vibration on structures DIN:4150-3, (0108), 1–11.
- Control, T., Mineral, S., February, W., Annex, T., Effects, E., Workings, S. M., Annex, T., Limited, V., Environmental, T., Blasting, P., Workings, S. M., Office, T. S., Annex, T., Effects, E., & Workings, S. M. (2000). *PAN 50 Annex D: Controlling the Environmental Effects of Surface Mineral Workings*. February.
- Council of Standards Australia. (2006). *Australian Standard™ Explosives — Storage and use Part 2 : Use of explosives*. 1–10.

- CRISPINO, M., & D'APUZZO, M. (2001). MEASUREMENT AND PREDICTION OF TRAFFIC-INDUCED VIBRATIONS IN A HERITAGE BUILDING. *Journal of Sound and Vibration*, 246(2), 319–335. <http://doi.org/10.1006/JSVI.2001.3648>
- Del Castillo Martínez, I. (2012). *Control de las vibraciones generadas por el paso de dos tuneladoras bajo las edificaciones del casco urbano de Vigo*. 22-25.
- Del Grosso, A. E., & Basso, P. (2014). Monitoring of vibrations for the protection of architectural heritage. *7th European Workshop on Structural Health Monitoring, EWSHM 2014 - 2nd European Conference of the Prognostics and Health Management (PHM) Society*, 639-646.
- Diario de Navarra. (2017, Agosto.). *El Acueducto de Segovia, en estado crítico*. 2017. <https://www.diariodenavarra.es/multimedia/videos/2017/08/14/el-acueducto-segovia-estado-critico.html>
- Fajardo-Segarra, A. F., Abdi Farah, M.-A., & Oliva-Álvarez, R. (2018). EVALUACIÓN DE LAS VIBRACIONES PRODUCIDAS POR EL TRANSPORTE AUTOMOTOR EN LA PLAZA DE MARTE, SANTIAGO DE CUBA. *Ciencia En Su PC*. Retrieved from <https://www.redalyc.org/jatsRepo/1813/181358509008/html/index.html>
- Fernández Casado, C. (2008). *Acueductos romanos en España* (2008. 2 ed.). Madrid: Consejo Superior de Investigadores Científicos (CSIC).
- Gao, Xi.; Zhang, Long.;Liu, Gang.; Ba, Z. (2017d. C.). MONITORING OF VIBRATIONS FOR THE CONSERVATION OF CULTURAL HERITAGE : THE CASE OF THE SUMMER PALACE IN BEIJING. *The International*
- García, A. J. B. (2010). *Oscilaciones de Ondas*. https://previa.uclm.es/profesorado/ajbarbero/S_Ondas/Oscilaciones2010.pdf
- Gómez Somorrostro, A. (1820). *El Acueducto y otras antigüedades de Segovia*. Madrid.

- Hunaidi, O., & Tremblay, M. (1997). Traffic-induced building vibrations in Montréal. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 24(5), 736-753. <https://doi.org/10.1139/197-023>.
- Jurado, F. (1995). Acueducto de Segovia. *Informes de la Construcción*, 47(437), 5-27. <https://doi.org/10.3989/ic.1995.v47.i437.1071>
- Lloret, A. T., Sendra, S., Lloret, J., Rey, R. Del, & Cereceda, M. L. (2017). Vibroacoustic impact on the architectonic heritage when using replicas of 16th century weapons. *Sensors (Switzerland)*, 17(8), 1-20. <https://doi.org/10.3390/s17081871>
- Ministerio de Fomento. (2019). *Documento Basico Seguridad Estructural Cimientos*. Recuperado de <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE-C.pdf>
- Ministerio de Fomento. (2019). Documento Básico Seguridad estructural (DBSE). *Septiembre*, 1–129. Retrieved from <http://www.arquitectura-tecnica.com/hit/Hit2016-2/DBHE.pdf>
- Redacción (2017). El “estado crítico” del Acueducto llena la prensa nacional. *Acueducto2*. Segovia. Recuperado de <http://www.acueducto2.com/el-estado-critico-del-acueducto-llena-la-prensa-nacional/54708>
- Rocamora, M. (2006). Apuntes de Acústica Musical. *EMe - Estudio de Musica Electroacústica*, 26. <http://www.eumus.edu.uy/eme/ensenanza/acustica/apuntes/fisica-del-sonido.pdf>
- Significados. (2018). Recuperado de Significado de la investigación cuantitativa website: <https://www.significados.com/investigacion-cuantitativa/>
- Siskind, D. E., Stagg, M. S., Kopp, J. W., & Dowding, C. H. (1980). Structure Response and Damage Produced By Ground Vibration From Surface Mine Blasting. *Report of Investigations - United States, Bureau of Mines*, 8507. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(81\)91353-x](https://doi.org/10.1016/0148-9062(81)91353-x)
- SVANTEK. (2008). *User's Manual Svan 958*. (April).

T, M. (2016). El Acueducto romano de Segovia en estado crítico según indica un reciente estudio. *ancient-origins*. Recuperado de <https://www.ancient-origins.es/noticias-historia-arqueologia/el-acueducto-romano-segovia-estado-crítico-según-indica-un-reciente-estudio-003666>

Teresa Sanz. (2011, October). Los arquitectos de Segovia alertan del “maltrato” que sufre el Acueducto, p. 1. Segovia. Retrieved from <https://www.elmundo.es/elmundo/2011/10/01/castillayleon/1317456930.html>

Viramontes, F. C., Cárdenas, R. A., Antonio, J., Rodríguez, Q., José, A., Moreno, J. L., ... Hernández, J. (2011). *Análisis de Vibraciones de los Arcos de Querétaro*. (January).

Anexo 1: Solicitud de permiso



(sello registro)

D. Irene Martín Iglesias con D.N.I. 70200352-S
(Nombre y apellidos)
en representación de Irene Martín Iglesias
(Nombre y apellidos o razón social)
con D.N.I./N.I.F./C.I.F. 70200352-S
con domicilio a efectos de notificación en Calle Test. Anillo N.º 2
2ºB (calle y número)
(municipio) (provincia) (C.P.)
con teléfono 696034928 y correo electrónico iren3e22@gma.es

desea exponer lo siguiente: Por la siguiente razón se solicita un
proyecto final de grado, presento la siguiente información
junto a esta solicitud para poder realizar mediciones
topográficas y de ubicaciones en el arquitecto de vivienda,
los datos que se exponen en la información adjunta.

y SOLICITA permiso para poder realizar el mencionado trabajo
los días 14, 18, 19 y 16 de abril de 2019 de horario de
10:00h hasta las 22:00h.

Segovia, a 07 de Enero de 2019
(Firma)

Ilma. Sra. Alcaldesa del Excmo. Ayuntamiento de Segovia.

Datos de Carácter Personal. Los datos recogidos, conforme a lo previsto en la L.O. 15/1999 de Protección de Datos de Carácter Personal, serán incluidos en un fichero, inscrito en el RGPD y cuyo responsable es el Ayuntamiento de Segovia. La posibilidad de ejercitar los derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición se ejercerán en el Registro General del Ayuntamiento de Segovia, Plaza Mayor 1, 40001, Segovia, indicando la referencia "Protección Datos".

Anexo 2: Requerimiento y escritos de compromiso



PATRIMONIO HISTORICO

Documento	Informe técnico	PG1.000.20_INF
Expediente	168/2019/PG1000 - PG1.000 - Procedimiento Administrativo Común. Solicita autorización para realizar mediciones acústicas y de vibraciones en el acueducto los días 14, 18, 19 y 16 de abril de 2019 entre las 10 y las 20 horas	
Interesado	MARTIN IGLESIAS, IRENE	070260852S

D^a Irene Martin Iglesias
Calle Teofilo Ayuso núm. 2, 2º B
40002-SEGOVIA

Requerimiento aporte documentación

En relación a su petición de autorización para realizar mediciones acústicas y de vibraciones en el acueducto los días 14, 18, 19 y 16 de abril de 2019 entre las 10 y las 20 horas:

Y visto el informe emito por el Arquitecto Municipal, se le requiere para que presente documento complementario en el que conste el centro para el que se realizan los trabajos y el tutor de los mismos, así como el compromiso expreso de depositar una copia del documento final una vez evaluado en el Ayuntamiento.

Lo que se comunica a los efectos oportunos.

20/02/2019

Fuencisla García Rubio

Código de identificación único	12433253135543257473	Página 1 de 1
Documento firmado electrónicamente (RD 1671/2009) autenticidad verificable en https://sede.segovia.es/validacion		

Plaza Mayor 1, 40001 Segovia. Tel . 921 419800. Fax: 921 419840
www.segovia.es

JUSTIFICANTE DE PRESENTACIÓN EN REGISTRO
Interesado / Representante:

Nombre	Documento de identificación	en calidad de
MARTIN*IGLESIAS,IRENE	070260852-S	INTERESADO

Datos del asiento:
Número de Registro: 2019006765

Fecha y hora de entrada: 27/02/2019 12:58

A los efectos del cómputo de plazo fijado en días hábiles, la presentación en un día inhábil se entenderá realizada en la primera hora del primer día hábil siguiente salvo que una norma permita expresamente la recepción en día inhábil. (art. 31.2b Ley 39/2015)

CSV* de este justificante: 12435227650124231326

Oficina Registral: Registro General

Asunto: Comunica su compromiso para facilitar al Ayuntamiento una copia de su trabajo fin de grado

Documentos anexados:

Documento	Descripción	CSV*
	27/02/2019 Firmado electrónicamente con certificado de Sello de A.P. de la F.N.M.T. AYUNTAMIENTO DE SEGOVIA	

*El Código Seguro de Verificación (CSV) permite verificar la validez del justificante a través del servicio de verificación de documentos electrónicos de la Sede Electrónica de esta administración. Accediendo al servicio habilitado al efecto en la Sede electrónica y tecleando dicho código se puede obtener nuevamente el justificante original o cotejar una copia impresa.

El presente justificante se expide a los efectos previstos en el artículo 16.3 de la Ley 39/2015 del Procedimiento Administrativo Común de las Administraciones Públicas.

A los efectos del cómputo de plazo fijado en días hábiles, la presentación en un día inhábil se entenderá realizada en la primera hora del primer día hábil siguiente salvo que una norma permita expresamente la recepción en día inhábil. (art. 31.2b Ley 39/2015)

En el caso de los obligados a relacionarse electrónicamente con la Administración (art. 14 Ley 39/2015), la presentación presencial de una solicitud deberá ser subsanada mediante su presentación electrónica, considerándose como fecha de presentación de la solicitud, la de su presentación en el Registro telemático (art. 68.4 Ley 39/2015).

El interesado de esta solicitud se responsabiliza de la veracidad de los documentos presentados (art. 28.7 Ley 39/2015)

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Centro universitario: Universidad Rey Juan Carlos, campus de Fuenlabrada.
Facultad Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicaciones.

Tutor: Roberto San Millán Castillo.

Yo, Irene Martín Iglesias con DNI 70260852S me comprometo a dar una copia de mi trabajo final de grado al ayuntamiento de Segovia cuando haya acabado el mismo y haya sido evaluado.


En SEGOVIA a 25 de FEBRERO del 2019



fdo: IRENE MARTÍN IGLESIAS

Anexo 3: Permisos de realización de mediciones.

a) Permiso Junta de Castilla y León.

 **Junta de Castilla y León**
Delegación Territorial de Segovia

COMISIÓN TERRITORIAL DE PATRIMONIO CULTURAL
Ponencia Técnica

Expte. núm. **OM-29/2019-101**

Dña. Irene Martín Iglesias
C/ Teófilo Ayuso, 2 - 2º B
40002-Segovia

ASUNTO: *Notificación de un acuerdo de la Ponencia Técnica de la Comisión Territorial de Patrimonio Cultural de Segovia.*

Expte. núm.: **OM-29/2019-101**
Interesado: **Dña. Irene Martín Iglesias**
Objeto del expediente: **solicitud de autorización para realizar mediciones acústicas y vibraciones en el Acueducto de Segovia los días 14, 16, 18 y 19 de abril de 2019**

La Ponencia Técnica de la Comisión Territorial de Patrimonio Cultural de Segovia, en la sesión celebrada el día 12 de marzo de 2019, ha resuelto:

"...examinado el expediente de referencia, tiene en cuenta lo siguiente:

I.- *Antecedentes.*

Con fecha 19 de febrero de 2019, esta Ponencia Técnica acordó, por unanimidad de los presentes, en relación con este expediente, lo siguiente:

"Devolver el expediente de solicitud junto con la documentación que se acompaña puesto que la misma no reúne los requisitos previstos normativamente para poder obtener o no la autorización preceptiva de este órgano colegiado"

II.- *Base documental*

La base documental para la adopción del presente acuerdo es el expediente municipal recibido el 4 de marzo de 2019.

III.- *Localización y descripción del inmueble*

El Acueducto de Segovia fue declarado Bien de Interés Cultural mediante Real Orden de 11 de octubre de 1884 e incluido en la Lista de Patrimonio Mundial de la Unesco el 6 de diciembre de 1985.

IV.- *Análisis de la propuesta*

El expediente, en síntesis, consiste en solicitud de autorización de un particular para realizar distintos tipos de mediciones en el Acueducto de Segovia. Concretamente, Redacción de un trabajo de fin de grado: Proyecto de investigación sobre la respuesta sonora del Acueducto del Segovia a eventos musicales y al tráfico durante diferentes días.

Los puntos de medición:

- *Plaza de la Artillería*

Plaza de la Merced, 12 - 40003 Segovia - Tfno. 921 417 385 - Fax 921 461 027 - www.jcyl.es



- Calle Teodosio el Grande

- Calle Cañuelos

La nueva documentación que se ha recibido relacionada con este expediente, consiste en información relativa al centro de enseñanza que avala el trabajo, el profesor tutor del mismo y el compromiso expreso de depositar una copia del documento técnico resultante.

V.- Fundamentación jurídica

Que es competente para resolver el expediente, dado que se trata de obras menores que afectan a un inmueble que forma parte de un conjunto histórico, por lo que conforme a lo dispuesto en los artículos 44.1 de la Ley 12/2002, de 11 de julio, de Patrimonio Cultural de Castilla y León, y en los artículos 17,a) y 98.1 del Reglamento para la protección del Patrimonio Cultural de Castilla y León, aprobado por el Decreto 37/2007, de 19 de abril, -RPPC, en lo sucesivo-, se precisa su autorización, previa a la presentación de la declaración responsable.

Por todo ello y por unanimidad de sus miembros presentes, ACUERDA:

Tomar conocimiento de la documentación recibida.

Asimismo, en el caso de que el Ayuntamiento, en el ejercicio de su competencia, autorice la realización de la actividad, se solicita remisión de una copia de los resultados del trabajo al Servicio Territorial de Cultura y Turismo para su archivo en el expediente correspondiente al Acueducto de Segovia."

Contra este acuerdo, que no pone fin a la vía administrativa, pueden los interesados interponer recurso de alzada ante el Ilmo. Sr. Director General de Patrimonio Cultural, según establece el artículo 27.2 del RPPC, en el plazo de un mes contado desde el día siguiente a la recepción de esta notificación, según lo previsto en los artículos 121 y 122 de la Ley 39/2015, de 1 de octubre, del Procedimiento Administrativo Común de las Administraciones Públicas, transcurrido el cual, la resolución será firme a todos los efectos.

El presente acuerdo se notifica sin estar aprobada el acta de la sesión, lo que se advierte en cumplimiento de lo señalado en el artículo 58.3 de la Ley 3/2001, en concordancia con el artículo 26.1 del Reglamento para la protección del Patrimonio Cultural de Castilla y León.

Segovia, 14 de marzo de 2019

Vº Bº
LA PRESIDENTA

Ruth Llorca de Andrés



LA SECRETARIA

Raquel Alonso Pérez

JUSTIFICANTE DE PRESENTACIÓN

Oficina de registro: JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN. DELEGACIÓN TERRITORIAL DE SEGOVIA.
SERVICIO TERRITORIAL DE ECONOMÍA, OFICINA TERRITORIAL DE
TRABAJO Y SERVICIO TERRITORIAL DE CULTURA Y TURISMO.

Fecha y hora del registro de salida: 14/03/19 12:32

Número del registro de salida: 201912100002378

Origen: 05962 - SERVICIO TERRITORIAL DE CULTURA Y TURISMO DE
SEGOVIA
1006 - DELEGACION TERRITORIAL DE SEGOVIA
0 - JUNTA DE CASTILLA Y LEON

Destinatario: IRENE MARTÍN IGLESIAS -

Resumen: NOTIFICACIÓN ACUERDO PONENCIA TÉCNICA EXPTE. OM-29/2019-101

Documentación física requerida: SÍ

Documentación física complementaria: NO

El registro realizado está amparado en el artículo 16 de la Ley 39/2015, de 1 de octubre, del Procedimiento Administrativo Común de las Administraciones Públicas.

De acuerdo con el artículo 31.2b de la citada Ley 39/2015, a los efectos del cómputo de plazo fijado en días hábiles, y en lo que se refiere al cumplimiento de plazos por los interesados, la presentación en un día inhábil se entenderá realizada en la primera hora del primer día hábil siguiente salvo que una norma permita expresamente la recepción en día inhábil.

b) Permiso Ayuntamiento de Segovia.



PATRIMONIO HISTORICO

RS. 2019 006834

IRENE MARTIN IGLESIAS
CALLE TEOFILO AYUSO, 2 2 B
40002- SEGOVIA- SEGOVIA

Documento	Notificación de la resolución (firma delegada)	NOT_I_D
Expediente	168/2019/PG1000 - PG1.000 - Procedimiento Administrativo Común	
Asunto	Autorización a D ^a Irene Martín Iglesias para realización de mediciones y vibraciones en el Acueducto de Segovia	
Interesado	MARTIN*IGLESIAS,IRENE JUNTA C Y L DELEGACION TERRITORIAL	

En cumplimiento de las previsiones contenidas en el artículo 40 de la Ley 39/2015, de 1 de octubre, del Procedimiento Administrativo Común de las AA.PP., pongo en su conocimiento que por la Alcaldía, con fecha 22/03/2019, en el expediente de referencia, se ha dictado la Resolución que a continuación se transcribe:

ANTECEDENTES

Vista la petición de D^{ña}. Irene Martín Iglesias para poder realizar mediciones acústicas y de vibraciones en el Acueducto de Segovia para realizar su Proyecto Fin de Grado los días 14-16-18- y 19 de Abril de 2019 en horario de 10:00 a 20:00 horas en diversos puntos de la vía pública junto al Acueducto (Plaza de Artillería, Teodosio el Grande y Cañuelos).

Visto acuerdo de la Ponencia Técnica de la Comisión Territorial de Patrimonio Cultural de fecha 12 de Marzo de 2019 por el que toma conocimiento de la documentación recibida, solicitando copia de los resultados del trabajo al Servicio Territorial de Cultura y Turismo para su archivo en el expediente correspondiente al Acueducto de Segovia.

Visto informe del Arquitecto Municipal de la Concejalía de Patrimonio Histórico de fecha 21 de marzo de 2019, que refiere:

Asunto: Informe a propósito de solicitud para la realización de mediciones acústicas y de vibraciones en el Acueducto de Segovia con la finalidad de desarrollar un Trabajo de Fin de Grado (TFG), sobre nueva documentación aportada.

Ilma. Sra. Alcaldesa:

Código de identificación único	12431776736046301430	Página 1 de 4
Documento firmado electrónicamente (RD 1671/2009) autenticidad verificable en https://sede.segovia.es/validacion		

Plaza Mayor 1, 40001 Segovia. Tel. 921 419800. Fax: 921 419840
www.segovia.es



Visto el acuerdo de la Ponencia Técnica de la Comisión Territorial de Patrimonio Cultural de Segovia de 12 de marzo de 2019, que tomó conocimiento de la actividad a desarrollar, solicitando copia de los resultados del trabajo;

Vista la propuesta que la interesada, D^a. Irene Martín Iglesias, adjunta a su solicitud para la realización de TFG, realizando mediciones acústicas los días 14, 16, 18 y 19 de abril de 2019, en horarios comprendidos entre las 10:00 y las 20:00, actuaciones a realizar en la vía pública junto al Acueducto en puntos específicos;

Considerando el interés científico-educativo del trabajo, y su carácter no lucrativo al estar vinculado a la formación académica, cuyas características son las siguientes:

Solicitante: D^a Irene Martín Iglesias

Trabajo de Fin de Grado: "Respuesta Sonora del Acueducto de Segovia en diferentes eventos" y es un estudio de interés.

Centro Universitario donde se desarrolla el TFG: Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad Rey Juan Carlos de Madrid.

Tutor: D. Roberto San Millán Castillo.

Considerando que, además, aporta el compromiso de depositar una copia del trabajo al final del proceso.

Considerando que el Acueducto de Segovia fue declarado Monumento Nacional Histórico-Artístico el 11 de Octubre de 1884, estando, pues, protegido en la Categoría de Bien de Interés Cultural – Monumento de acuerdo a la legislación de Patrimonio Cultural de Castilla y León.

El técnico que suscribe estima **correcta** la solicitud desde el punto de vista técnico, debiéndose recabar informe de la Policía Local antes de la autorización municipal, para que pueda establecer las limitaciones o especificaciones a la actividad que correspondan.

Visto informe de la Policía Local en esa misma fecha por que toma nota de las actuaciones y solicitando que se traslade a los Jefes de Turno el Decreto de autorización para su conocimiento.

CONSIDERACIONES

La Ley 7/1985, de 2 de Abril, de Bases de Régimen Local, en su artículo 25.1 establece que *El municipio, para la gestión de sus intereses y en el ámbito de sus competencias, puede promover actividades y prestar los servicios públicos que contribuyan a satisfacer las necesidades y aspiraciones de la comunidad vecinal en los términos previstos en este artículo.*

Código de identificación único 12431776736046301430	Página 2 de 4
Documento firmado electrónicamente (RD 1671/2009) autenticidad verificable en https://sede.segovia.es/validacion	

Plaza Mayor 1, 40001 Segovia. Tel . 921 419800. Fax: 921 419840
www.segovia.es



En su apartado 2, el artículo regula las competencias de los municipios y establece que, *El Municipio ejercerá en todo caso como competencias propias, en los términos de la legislación del Estado y de las Comunidades Autónomas en las siguientes materias (entre otras): a) Protección y gestión del Patrimonio Histórico.*

Teniendo en cuenta que la pretensión de la solicitante lo es para desarrollar su Trabajo Fin de Grado en la Universidad Rey Juan Carlos, Campus de Fuenlabrada, Facultad Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicaciones y que tiene por objeto ampliar un proyecto de investigación en el ámbito de la acústica arquitectónica y medioambiental del comportamiento y la respuesta del Monumento.

Teniendo en cuenta que dicho trabajo tiene un interés científico-educativo, no lucrativo, vinculado a su formación académica y que además la solicitante adquiere el compromiso de depositar una copia del trabajo al final de proceso a esta Administración, lo que redundaría en beneficio de un mayor conocimiento del Acueducto de Segovia.

RESUELVO

Por lo anteriormente expuesto, en virtud de las facultades que me confiere la vigente legislación, VENGO EN DISPONER:

Primero.- Autorizar a Dña. Irene Martín Iglesias a la realización de mediciones acústicas y de vibraciones en el Acueducto de Segovia los días 14, 16, 18 y 19 de Abril de 2019 en la Plaza de la Artillería, Teodosio el Grande y Calle Cañuelos.

Segundo.- Trasladar la presente autorización a la interesada y al Servicio de Policía Local, Jefes de Turno, para su conocimiento.

La presente resolución pone fin a la vía administrativa, pudiendo interponerse contra la misma recurso de reposición con carácter potestativo ante la Ilma. Alcaldía-Presidencia en el plazo de un mes o bien, directamente, recurso contencioso administrativo ante el Juzgado de lo Contencioso-Administrativo de Segovia, en el plazo de dos meses a contar desde la notificación de esta resolución. En el caso de interponerse recurso de reposición, no podrá interponerse recurso contencioso-administrativo hasta que aquel sea resuelto expresamente o se haya producido la desestimación presunta del mismo, que se producirá si en el plazo de un mes no hay notificación de su resolución.

Código de identificación único 12431776736046301430	Página 3 de 4
Documento firmado electrónicamente (RD 1671/2009) autenticidad verificable en https://sede.segovia.es/validacion	

Plaza Mayor 1, 40001 Segovia. Tel. 921 419800. Fax: 921 419840
www.segovia.es



Todo ello sin perjuicio de que pueda ejercitarse, en su caso, cualquier otra acción que se estime procedente.

LA SECRETARIA GENERAL, por delegación.

22/03/2019

Fuencisla García Rubio

Código de identificación único 12431776736046301430	Página 4 de 4
Documento firmado electrónicamente (RD 1671/2009) autenticidad verificable en https://sede.segovia.es/validacion	

Plaza Mayor 1, 40001 Segovia. Tel. 921 419800. Fax: 921 419840
www.segovia.es

Anexo 4: Hojas de registro



Hoja registro acueducto de Segovia

Información de la localización

Nombre del evento Tráfico calle cañuelo /pacho claret.

Fecha 21/01/02/2020 Hora 10:46.

Ubicación calle cañuelo , arco 1 p lar 2.

Información meteorológica

Temperatura 11°C.

Velocidad Viento 0-1 m/s.

Humedad 94%.

Registro de eventos

Nombre archivo	Hora inicio	Hora fin
01FEB1 (pico coche con escape frustrado)	10:50.	10:53.
01FEB2. normal) (tráfico	10:56.	10:58.
01FEB3 (tráfico normal)	10:59	11:02
01FEB4 (tráfico normal)	11:03	11:06.
01FEB5 (tráfico normal). pico cámara telepista	11:08.	11:10.



Hoja registro acueducto de Segovia

Información de la localización

Nombre del evento tráfico Plaza Diaz Sane.
Fecha 01/02/2020 Hora 11:20
Ubicación Plaza Diaz Sane / arco enfrente carretera.

Información meteorológica

Temperatura 11°
Velocidad Viento 0-3 m/s
Humedad 94 %

Registro de eventos

Nombre archivo	Hora inicio	Hora fin
01 FEB 6	11:24	finalizado a los 15 segundos
01 FEB 7	11:25	finalizado a los 28 segundos
01 FEB 8	11:27	finalizado a los 47 segundos
01 FEB 9	11:28	finalizado a los 37 segundos
01 FEB 10 (Jurgoneta)	11:29	finalizado a los 17 segundos



Hoja registro acueducto de Segovia

Información de la localización

Nombre del evento Tráfico Plaza de Artillería
Fecha 01/02/2020 Hora 12:00
Ubicación Plaza de artillería, 1º arco.

Información meteorológica

Temperatura 11°
Velocidad Viento 0-1 m/s
Humedad 94%

Registro de eventos

Nombre archivo	Hora inicio	Hora fin
01 FEB 11	12:09	finalizado a los 2 min 31 seg
01 FEB 12	12:14	finalizado a los 2 min 10 seg
01 FEB 13	12:19	finalizado a los 3 min 20 seg
01 FEB 14	12:23	finalizado a los 3 min 18 seg
01 FEB 15	12:28	finalizado a los 5 min

Anexo 5: Código obtención de gráficas.

```
"""
Created on Sat Mar  7 18:33:23 2020
@author: Irene Martín Iglesias
"""

import pandas as pd
from matplotlib import pyplot as plt

data1= pd.read_csv('global eje x.csv', header=None)
data2= pd.read_csv('global eje y.csv',header=None)
data3= pd.read_csv('global eje z.csv',header=None)

#REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS
def total (data1, data2, data3):
    max_columna=13;
    i = 1;
    n = 1 #Va marcando el numero de medición
    while i<=max_columna :
        y1=data1.iloc[:,i]
        y2=data2.iloc[:,i]
        y3=data3.iloc[:,i]
        i = i + 1;
        x=[0.8,1.0,1.25,1.6,2.0,2.5,3.15,4.0,5.0,6.3,8.0,10.0,12.5,16.0,20.0,25.0,31.5,
        40.0,50.0,63.0,80.0,100.0,125.0,160.0,200.0]

        plt.plot(x, y1, label='Eje X Medición '+ str(n))
        plt.plot(x, y2, label='Eje Y Medición '+ str(n))
        plt.plot(x, y3, label='Eje Z Medición '+ str(n))
        n = n + 1
        plt.ylabel('Velocidad(mm/s)')
        plt.xlabel('Frecuencia(Hz)')
        plt.title('Velocidad pico de partícula ejes x-y-z')
        plt.xlim(0.8, 200)
        plt.ylim(0,10.0)
        plt.legend(bbox_to_anchor=(0.5,0.5,0.5,0.5), loc='best', ncol=1)
        plt.show()
```

```

#REPRESENTACIÓN DE CADA EJE POR SEPARADO DE TODAS LAS MEDICIONES JUNTAS
def vel_x (data1):
    max_columna=13;
    i = 1;
    n = 1;
    while i<=max_columna :
        x=data1.iloc[:,0]
        y=data1.iloc[:,i]
        i = i + 1;

        plt.plot(x,y,label='Medición '+ str(n))
        n = n + 1;
        plt.title("Velocidad pico de partícula ejes x")
        plt.ylabel('Velocidad(mm/s)')
        plt.xlabel('Frecuencia(Hz)')
        plt.xlim(0.8, 200)
        plt.ylim(0,10.0)
        plt.legend(bbox_to_anchor=(0.5,0.5,0.5,0.5), loc='best', ncol=1)
    plt.show()

def vel_y (data2):
    max_columna=13;
    i = 1;
    n= 1;
    while i<=max_columna :
        x=data2.iloc[:,0]
        y=data2.iloc[:,i]
        i = i + 1;

        plt.plot(x,y,label='Medición '+ str(n))
        n = n + 1;
        plt.ylabel('Velocidad(mm/s)')
        plt.xlabel('Frecuencia(Hz)')
        plt.title('Velocidad pico de partícula ejes y')
        plt.xlim(0.8, 200)
        plt.ylim(0,10.0)
        plt.legend(loc='upper right', ncol=1)
    plt.show()

```

```

def vel_z (data3):
    max_columna=13;
    i = 1;
    n= 1;
    while i<=max_columna :
        x=data3.iloc[:,0]
        y=data3.iloc[:,i]
        i = i + 1;

        plt.plot(x,y, label='Medición '+ str(n))
        n = n + 1;
        plt.ylabel('Velocidad(mm/s)')
        plt.xlabel('Frecuencia(Hz)')
        plt.title('Velocidad pico de partícula ejes z')
        plt.xlim(0.8, 200)
        plt.ylim(0, 10.0)
        plt.legend(bbox_to_anchor=(0.5,0.5,0.5,0.5), loc='best', ncol=1)
    plt.show()

total(data1,data2,data3)
vel_x(data1)
vel_y(data2)
vel_z(data3)

```