



**UNIVERSITAT
JAUME·I**

**ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA I CIÈNCIES
EXPERIMENTALS**

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

**Análisis numérico y experimental del
comportamiento vibratorio de una pasarela
peatonal: identificación de propiedades
dinámicas y valoración del Estado Límite de
Servicio.**

TRABAJO FINAL DE GRADO

AUTOR:

Jose Cervera Capuz

DIRECTORES:

Víctor Roda Casanova

María Dolores Martínez Rodrigo

FECHA: 20/09/2022

ÍNDICE GENERAL

MEMORIA.....	5
ANEXOS.....	91
Anexo 1. Códigos de Matlab empleados.....	92
Anexo 1.1. Códigos de la campaña 0 para obtener modos de frecuencia.....	92
Anexo 1.2. Códigos de la campaña 1 para obtener las aceleraciones.....	98
Anexo 1.3. Códigos para obtener las frecuencias y los parámetros exactos de la pasarela.....	102
Anexo 2. Fichas de características de los equipos utilizados.....	109
Anexo 3. Resultados de la campaña 1.....	118
Anexo 3.1. Gráficas de resultados de la campaña 1.....	118
Anexo 3.2. Tablas de resultados de la campaña 1.....	137
PLIEGO DE CONDICIONES.....	140
PRESUPUESTO.....	143
PLANOS.....	145

MEMORIA

AGRADECIMIENTOS

Agradecer en primer lugar a todas las personas que me han acompañado, desde el primer día hasta el último, en mi viaje por este grado lleno de momentos de todo tipo y sentimientos muy distintos.

Mi mayor muestra de agradecimiento quiero dedicársela a mis padres y mi hermano, que sin su apoyo incondicional ahora mismo no estaríais leyendo estas líneas. Gracias, mamá, papá y Colás.

Ha sido una experiencia más que me va a servir para llegar donde de verdad quiero estar. Este grado me ha enseñado valores, amistades, conocimientos, así como, lo que quiero y lo que no para mi vida. Finalizo este viaje ya con la mente en mi siguiente paso para seguir mi formación académica.

Agradecer también a mis amigos y pareja porque sin su apoyo habría sido más difícil.

Por último, agradecer en especial a Víctor Roda Casanova, Lola Martínez Rodrigo y en general a todos los profesores del departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción por ofrecerme la oportunidad de acogerme a esta beca y poder trabajar con ellos en este proyecto.

RESUMEN

El objetivo de este Trabajo Final de Grado es identificar las propiedades dinámicas (frecuencias naturales, modos propios y amortiguamiento) de una pasarela peatonal, así como valorar su comportamiento vibratorio al paso de viandantes. La pasarela es interesante desde un punto de vista estructural por tratarse de una construcción muy ligera y por presentar una geometría que da lugar a un comportamiento dinámico complejo, muy diferente al típico de una viga biapoyada.

La pasarela objeto de estudio se encuentra en la autopista de la Plana (CV-10) en la salida 21 de Borriol Sur.

La pasarela está construida en acero y está formada por dos rampas de acceso y un vano principal que cruza la autovía.

En el marco del proyecto se llevará a cabo una primera campaña experimental con la finalidad de identificar las propiedades dinámicas de la estructura. Estas propiedades se utilizarán tanto para calibrar un modelo numérico de Elementos Finitos de la pasarela como para planificar una segunda campaña de valoración del nivel de aceleraciones que experimenta la pasarela en distintas condiciones de servicio. Con este proyecto también se pretende evaluar el estado límite de servicio asociado a las vibraciones en la pasarela peatonal según diferentes normativas y valorar su adecuación en relación al tipo de uso.

Finalmente, se implementará y calibrará un modelo numérico que sirva para reproducir el comportamiento dinámico de la pasarela y analizar la sensibilidad de las propiedades dinámicas del modelo ante variaciones de diversos parámetros. Con ello se podrán proporcionar recomendaciones a calculistas sobre una mejor manera de modelar esta tipología de estructuras.

ÍNDICE

MEMORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ÍNDICE

1. Objeto.....	17
2. Antecedentes.....	18
2.1. Localización de la pasarela de estudio.....	18
2.2. Descripción de la pasarela de estudio.....	18
2.3. Estudios previos realizados sobre la pasarela.....	22
3. Comportamiento vibratorio de pasarelas peatonales	23
3.1. Tipologías de pasarelas peatonales.....	23
3.2. Problemática vibratoria de las pasarelas peatonales y maneras de mitigar estas vibraciones.....	28
3.3. Normativa de aplicación y referencias de interés comentadas.....	31
4. Estudios experimentales.....	34
4.1. Método experimental y objetivos de las campañas realizadas.....	34
4.2. Descripción de los equipos de medida.....	36
4.3. Campaña 0: identificación de propiedades modales.....	38
4.4. Campaña 1: valoración del nivel de vibraciones con un número reducido de viandantes.....	50
4.5. Campaña 2: valoración del nivel de vibraciones con un número elevado de viandantes.....	58
4.6. Resultados y conclusiones de los estudios experimentales.....	58
5. Modelización numérica de la pasarela.....	59
5.1. Descripción de los modelos numéricos implementados.....	59
5.2. Estudios de sensibilidad.....	63
5.3. Conclusiones de la modalización numérica.....	64
6. Presupuesto.....	86
7. Viabilidad técnica y económica.....	87

8. Conclusiones.....	88
9. Bibliografía.....	89
Anexos.....	91
Anexo 1. Códigos de Matlab empleados.....	92
Anexo 1.1. Códigos de la campaña 0 para obtener modos de frecuencia.....	92
Anexo 1.2. Códigos de la campaña 1 para obtener las aceleraciones.....	98
Anexo 1.3. Códigos para obtener las frecuencias y los parámetros exactos de la pasarela.....	102
Anexo 2. Fichas de características de los equipos utilizados.....	109
Anexo 3. Resultados de la campaña 1.....	118
Anexo 3.1. Gráficas de resultados de la campaña 1.....	118
Anexo 3.2. Tablas de resultados de la campaña 1.....	137

PLIEGO DE CONDICIONES

PRESUPUESTO

PLANOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Imagen 1 - Localización de la pasarela.....	18
Imagen 2 - Elementos de la pasarela.....	18
Imagen 3 - Elementos estructurales de la pasarela.....	20
Imagen 4 - Pilar rampa Oeste.....	22
Imagen 5 - Pilar rampa Este.....	22
Imagen 6 - Pasarela construida con metal.....	24
Imagen 7 - Pasarela construida con piedra.....	24
Imagen 8 - Pasarela construida con hormigón.....	24
Imagen 9 - Pasarela construida con hormigón prefabricado.....	25
Imagen 10 - Pasarela construida con plásticos y fibras.....	25
Imagen 11 - Pasarela de tipología colgante.....	26
Imagen 12 - Pasarela de tipología atirantada.....	26
Imagen 13 - Pasarela de tipología de vigas y pórticos.....	26
Imagen 14 - Pasarela de tipología de arcos.....	27
Imagen 15 - Millennium bridge de Londres.....	27
Imagen 16 - Pasarela peatonal situada en Benicasim, Castellón.....	28
Imagen 17 - Dispositivos viscosos del Millennium Bridge.....	30
Imagen 18 - Amortiguadores de masa sintonizada del Millennium Bridge.....	30
Imagen 19 - Conexión del ordenador con el módulo.....	36
Imagen 20 - Acelerómetro.....	37
Imagen 21 - Módulo de adquisición de datos.....	37
Imagen 22 - Sistema de configuración 1 de los acelerómetros.....	38
Imagen 23 - Sistema de configuración 2 de los acelerómetros.....	39
Imagen 24 - Selección de la ventana temporal de análisis.....	40
Imagen 25 - Selección de frecuencias que se desean analizar.....	41
Imagen 26 - Introducción de frecuencia que se quiere estudiar.....	41
Imagen 27 - Ventana de resultados.....	42
Imagen 28 - Modo de vibración asociado a $f_{si} = 3.25$ Hz.....	45

Imagen 29 - Modo de vibración asociado a $f_{si} = 4.25$ Hz.....	46
Imagen 30 - Modo de vibración asociado a $f_{si} = 5$ Hz.....	46
Imagen 31 - Modo de vibración asociado a $f_{si} = 7.75$ Hz.....	47
Imagen 32 - Modo de vibración asociado a $f_{si} = 7.875$ Hz.....	47
Imagen 33 - Modo de vibración asociado a $f_{si} = 8$ Hz.....	48
Imagen 34 - Modo de vibración asociado a $f_{si} = 8.5$ Hz.....	48
Imagen 35 - Modo de vibración asociado a $f_{si} = 9.5$ Hz.....	49
Imagen 36 - Sistema de configuración 3 de los acelerómetros.....	50
Imagen 37 - Sentido de movimiento de los peatones andando.....	53
Imagen 38 - Código de colores utilizado para la Tabla 9.....	57
Imagen 39 - Modo de vibración 1, frecuencia 3,48 Hz.....	64
Imagen 40 - Modo de vibración 2, frecuencia 4,51 Hz.....	65
Imagen 41 - Modo de vibración 4, frecuencia 5,07 Hz.....	65
Imagen 42 - Modo de vibración 10, frecuencia 7,94 Hz. 'no válido'	66
Imagen 43 - Modo de vibración 1, frecuencia 3,57 Hz.....	66
Imagen 44 - Modo de vibración 2, frecuencia 4,59 Hz.....	67
Imagen 45 - Modo de vibración 3, frecuencia 5 Hz.....	67
Imagen 46 - Modo de vibración 9, frecuencia 7,9 Hz. 'no válido'	68
Imagen 47 - Modo de vibración 10, frecuencia 7,96 Hz. 'no válido'	68
Imagen 48 - Modo de vibración 1, frecuencia 3,65 Hz.....	69
Imagen 49 - Modo de vibración 2, frecuencia 4,66 Hz.....	69
Imagen 50 - Modo de vibración 3, frecuencia 5,07 Hz.....	70
Imagen 51 - Modo de vibración 9, frecuencia 7,91 Hz. 'no válido'	70
Imagen 52 - Modo de vibración 10, frecuencia 7,97 Hz. 'no válido'	71
Imagen 53 - Modo de vibración 1, frecuencia 3,32 Hz.....	71
Imagen 54 - Modo de vibración 2, frecuencia 4,3 Hz.....	72
Imagen 55 - Modo de vibración 5, frecuencia 5,27 Hz.....	72
Imagen 56 - Modo de vibración 10, frecuencia 7,57 Hz. 'no válido'	73

Imagen 57 - Modo de vibración 1, frecuencia 3,67 Hz.....	73
Imagen 58 - Modo de vibración 2, frecuencia 4,75 Hz.....	74
Imagen 59 - Modo de vibración 3, frecuencia 5,19 Hz.....	74
Imagen 60 - Modo de vibración 9, frecuencia 8,32 Hz. 'no válido'.....	75
Imagen 61 - Modo de vibración 1, frecuencia 3,48 Hz.....	76
Imagen 62 - Modo de vibración 2, frecuencia 4,51 Hz.....	76
Imagen 63 - Modo de vibración 4, frecuencia 5,07 Hz.....	77
Imagen 64 - Modo de vibración 10, frecuencia 7,94 Hz. 'no válido'.....	77
Imagen 65 - Modo de vibración 1, frecuencia 3,54 Hz.....	78
Imagen 66 - Modo de vibración 2, frecuencia 4,51 Hz.....	78
Imagen 67 - Modo de vibración 4, frecuencia 5,08 Hz.....	79
Imagen 68 - Modo de vibración 10, frecuencia 7,94 Hz. 'no válido'.....	79
Imagen 69 - Modo de vibración 1, frecuencia 3,48 Hz.....	80
Imagen 70 - Modo de vibración 2, frecuencia 4,51 Hz.....	80
Imagen 71 - Modo de vibración 4 frecuencia 5,08 Hz.....	81
Imagen 72 - Modo de vibración 10, frecuencia 7,94 Hz. 'no válido'.....	81
Imagen 73 - Modo de vibración 1, frecuencia 3,48 Hz.....	82
Imagen 74 - Modo de vibración 2, frecuencia 4,51 Hz.....	82
Imagen 75 - Modo de vibración 4, frecuencia 5,06 Hz.....	83
Imagen 76 - Modo de vibración 10, frecuencia 7,94 Hz. 'no válido'.....	83

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1 - Resultados de la configuración 1 de la amortiguación frente a la frecuencia.....	44
Gráfica 2 - Resultados de la configuración 2 de la amortiguación frente a la frecuencia.....	45
Gráfica 3 - Variación de la densidad del acero frente a la frecuencia.....	84
Gráfica 4 - Variación de la densidad del hormigón frente a la frecuencia.....	84
Gráfica 5 - Variación del módulo elástico del hormigón frente a la frecuencia.....	85
Gráfica 6 - Variación del espesor de la chapa frente a la frecuencia.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Mediciones de la pasarela.....	19
Tabla 2 - Dimensiones de los perfiles de la pasarela.....	21
Tabla 3 - Órdenes de magnitud de frecuencias de excitación asociadas a distintas acciones.....	31
Tabla 4 - Aceleraciones límite según el HIVOSS y la IAP-11.....	33
Tabla 5 - Resultados obtenidos de la Campaña 0.....	42
Tabla 6 - Valores orientativos de índice de amortiguamiento.....	43
Tabla 7 - Frecuencias de excitación.....	51
Tabla 8 - Frecuencias objetivo, armónicos y ritmos de excitación aplicados en bpm.....	52
Tabla 9 - Valores de aceleraciones y RMS máximos obtenidos en la Campaña 1.....	54
Tabla 10 - Valores obtenidos comparados con la normativa.....	56
Tabla 11 - Factores para la función objetivo.....	60
Tabla 12 - Frecuencias buscadas.....	60
Tabla 13 - Resumen de datos obtenidos.....	62
Tabla 14 - Parámetros utilizados en cada análisis.....	63

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 - Ecuación para pasar de Hercios (hz) a beats por minuto (bpm).....	52
Ecuación 2 - Ecuación para obtener la función de objetivo.....	59

ABREVIATURAS

ELS	Estado Límite de Servicio.
ELU	Estado Límite Último.
ζ	Amortiguación o tasa de amortiguamiento.
TMD	Tuned Mass Dampers .
TLD	Tuned Liquid Dampers.
TLCD	Tuned Liquid Column Dampers.
SETRA	Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes.
HIVOSS	Human Induced Vibrations Of Steel Structures.
IAP-11	Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera.
a_{max}	Aceleración máxima.
bpm	Beats por minuto.
FFT	Fast Fourier Transform

1. Objeto

El objetivo de este trabajo final de grado es analizar y estudiar en detalle las propiedades dinámicas y el comportamiento vibratorio de una pasarela peatonal que, por su geometría, tiene un comportamiento complejo y diferente al típico de una viga biapoyada.

Por otro lado, con este proyecto también se quiere evaluar el estado límite de servicio asociado a las vibraciones en la pasarela peatonal y valorar su adecuación en relación con su uso. Para ello se llevarán a cabo distintas campañas experimentales, en las que se realizarán diversos ensayos, variando el número de viandantes, así como, la acción que realizan sobre la pasarela, de manera que se registrarán las aceleraciones que se inducen sobre la misma y este será el material de estudio. Estas campañas serán posibles gracias a otra campaña previa a este proyecto de la que se han obtenido las frecuencias más críticas, estas serán las que se buscarán excitar en la pasarela.

Para ello, se utilizará la normativa y las distintas guías existentes en lo que se refiere a las pasarelas peatonales.

Finalmente, se implementará un modelo numérico que sirva para reproducir el comportamiento dinámico de la pasarela, poder calibrar dicho comportamiento y analizar la sensibilidad de las propiedades dinámicas del modelo ante variaciones de diversos parámetros. Con ello, se proporcionarán recomendaciones a calculistas sobre una mejor manera de modelar esta tipología de estructuras.

2. Antecedentes

2.1. Localización de la pasarela de estudio

La pasarela objeto de estudio se encuentra situada en la Autovía de la Plana (CV-10), localizada en las coordenadas 40°01'54.8"N 0°04'58.7"W, entre Castellón de la Plana y la localidad de Borriol. Esta pasarela permite a peatones y ciclistas cruzar una autovía de cuatro carriles, dos en cada sentido.



Imagen 1 - Localización de la pasarela.

2.2. Descripción de la pasarela de estudio

La pasarela está construida en acero y está formada por dos rampas de acceso, el vano principal y 3 apoyos con sus correspondientes cimentaciones.

Para un mayor entendimiento a la hora de hacer las distintas referencias, diferenciaremos entre rampa oeste con el pilar 1 y pilar 2 así como rampa este con su respectivo pilar (pilar 3) y finalmente la parte central que la nombraremos vano principal.

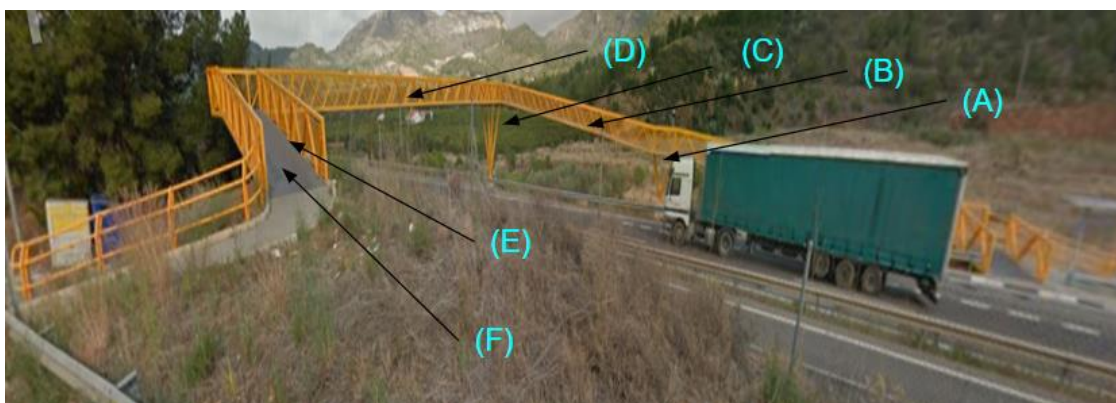


Imagen 2 - Elementos de la pasarela.

- (A)→ Pilar 2.
- (B)→ Rampa Oeste.
- (C)→ Pilar 1.
- (D)→ Vano principal (parte central).
- (E)→ Pilar 3.
- (F)→ Rampa Este.

En la siguiente tabla se presentan las distintas medidas de todas las partes de la pasarela explicadas anteriormente.

PARTE	LONGITUD (m)	ANCHO (m)
Vano central	42.50	2.50
Rampa este	13.75	2.50
Rampa oeste	52.50	2.50

Tabla 1 - Mediciones de la pasarela.

Con ayuda de la siguiente imagen se van a describir los componentes por los que está formada la pasarela peatonal:

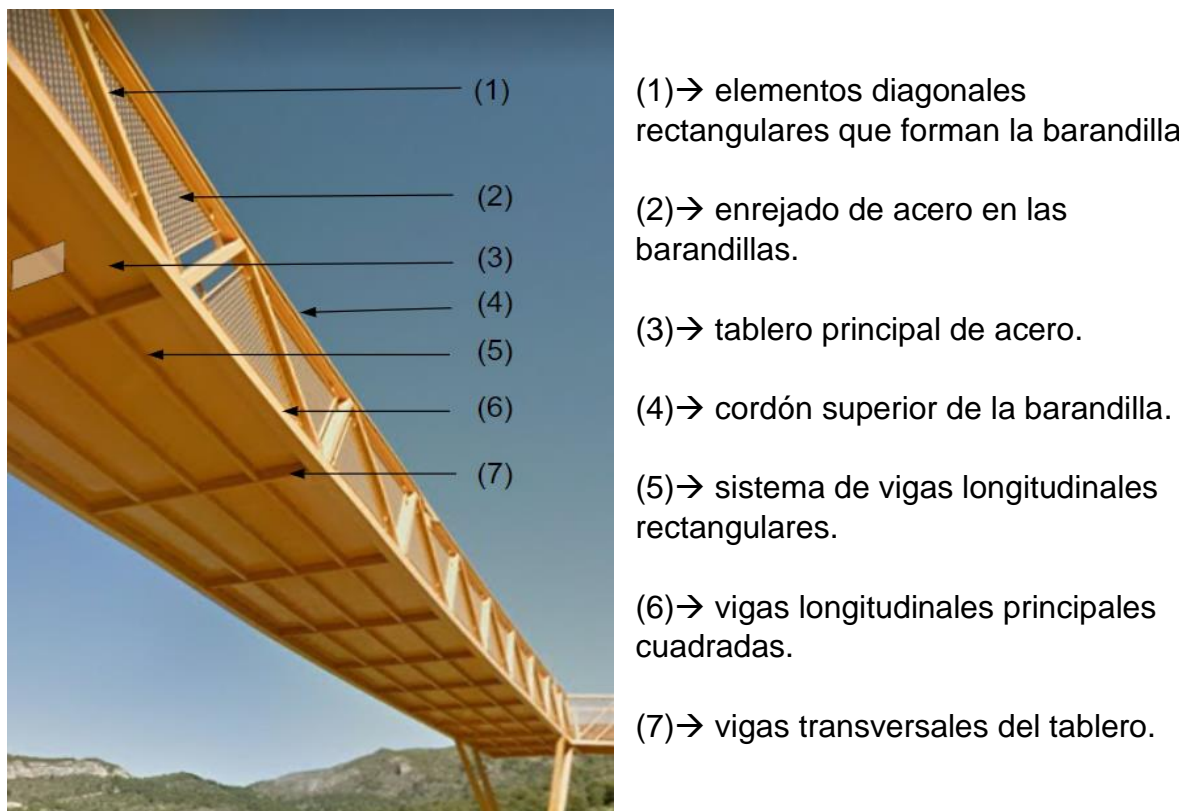


Imagen 3 - Elementos estructurales de la pasarela.

El tablero es toda la estructura horizontal, está presente tanto en el vano principal, así como en ambas rampas de acceso. Está formado por una chapa de acero, vigas longitudinales y transversales.

Tanto los perfiles de las diagonales como en los distintos sistemas de vigas utilizados en esta estructura son perfiles rectangulares huecos.

El tablero del vano principal y de ambas rampas de acceso, está formado por un emparrillado de largueros (los de los extremos de distinto tamaño a los centrales) y viguetas, sobre el que descansa una chapa de piso de un espesor de 5 milímetros en ambos casos.

El vano central se prolonga de manera perpendicular a los carriles que cruza y tiene una distancia entre apoyos de 42,50 metros y una anchura de 2,50 metros.

La rampa de acceso Este, tiene un único tramo de 13,75 metros entre la zona donde nace y el pilar 3, así como una anchura igual a la del vano central de 2,50 metros, la rampa de acceso Oeste, está formada por dos tramos rectilíneos, el primer tramo desde el nacimiento de la rampa hasta el pilar 2 de una longitud de 25 metros y el segundo tramo desde el pilar 2 al pilar 1 de una longitud de 22,50 metros, al finalizar ambos tramos de la rampa Oeste hay un descansillo de 2,50 metros. La anchura de esta rampa es también de 2,50 metros.

Finalmente, la barandilla está constituida por la propia estructura de celosía y un enrejado de acero.

En la siguiente tabla donde se adjuntan las dimensiones de cada componente de la estructura (ancho, canto y espesor) se utilizan los mismos números que en la Imagen 3. Si a un número de referencia le acompaña una comilla indica que es el mismo elemento de la imagen anterior con la diferencia de estar situado sobre el tablero de las rampas de acceso.

Parte	Referencia	Dimensiones (mm)	Espesor (mm)
Vigas rectangulares de los tableros rampas y vano principal.	5	80 x 60	2,5
	7	100 x 50	3
Vigas principales de las rampas.	6'	100 x 100	5
Viga principal del vano central.	6	140 x 140	6
Diagonales del vano central.	1	140 x 80	5
Diagonales de las rampas.	1'	100 x 60	4

Tabla 2 - Dimensiones de los perfiles de la pasarela.

Esta pasarela está soportada por tres pilares formados por cuatro vigas de sección variable soldados a una placa de anclaje de acero. Dos de estos pilares soportan la rampa oeste y están embebidos en un dado de hormigón armado conectado a la cimentación, que sirve para compensar la diferencia de alturas. (Imagen 4).

El otro pilar soporta la parte de la rampa corta al otro lado de la autovía y está formado únicamente por cuatro vigas de acero de sección variable sin base de hormigón (Imagen 5).



Imagen 4 - Pilar rampa Oeste.



Imagen 5 - Pilar rampa este.

En los planos se puede ver de manera detallada la descripción realizada anteriormente, tanto de la estructura general, como de los tres pilares como y del propio tablero de la estructura.

2.3. Estudios previos realizados sobre la pasarela

Esta pasarela ya ha sido objeto de estudio en anteriores ocasiones, pero no con la misma finalidad. Con anterioridad se hizo un estudio preliminar no exhaustivo de las propiedades modales de la estructura a fin de obtener frecuencias y modos de vibración.

En el punto 4.2. (Campaña 0: identificación de propiedades modales), se explica en profundidad cómo se ha analizado, con qué objetivos y finalidad se ha llevado a cabo esta campaña previa.

Dicha campaña ha sido de gran ayuda para otras posteriores, ya que a partir de los resultados obtenidos se puede avanzar con la investigación.

3. Comportamiento vibratorio de pasarelas peatonales

3.1. Tipologías de pasarelas peatonales

Hoy en día, hay una enorme variedad y tipología de puentes.

Dentro de la categoría de puentes, podemos distinguir las pasarelas peatonales. Existen de muchas formas, más sencillas, más funcionales, otras basadas en códigos genéticos, etc. Algunas exigen soluciones muy técnicas e innovadoras, incluso es posible que en algunas de ellas sea necesario realizar algún tipo de actualización o mejora una vez ya construidas para poder solventar alguna problemática que pueda surgir con posterioridad.

Se puede definir una pasarela peatonal como una estructura que permite el paso de peatones y/o ciclistas sobre distintas superficies, como pueden ser vías de tráfico, valles, montañas e incluso ríos. Las hay de una gran variedad de longitud, desde unos pocos metros hasta cientos de ellos.

Asimismo, se pueden construir de distintos materiales. Esto hace que puedan ser muy ligeras en proporción al peso que llegan a soportar. Cabe mencionar que las pasarelas peatonales están pensadas para aguantar poca carga, por lo que su diseño puede ser muy distinto.

A continuación, se muestra la clasificación de las pasarelas peatonales en función de los materiales con los que se pueden construir y así como de la tipología de la estructura.

→ En cuanto a los materiales de construcción: (se mencionan los más comunes)

- Metal
- Piedra
- Hormigón
- Hormigón prefabricado
- Plástico y fibras

A continuación, se añaden distintas imágenes de pasarelas realizadas con los materiales mencionados anteriormente:



Imagen 6 - Pasarela construida con metal.



Imagen 7 - Pasarela construida con piedra.



Imagen 8 - Pasarela construida con hormigón.



Imagen 9 - Pasarela construida con hormigón prefabricado.

En la siguiente Imagen 10, se muestra otro tipo de pasarela, realizada con materiales compuestos. Hoy en día, estos nuevos materiales cada vez en mayor uso combinados con las nuevas tecnologías que se van desarrollando, se utilizan para salvar luces moderadas. Es uno de los campos hacia los que se dirige el futuro de la construcción de las pasarelas peatonales.



Imagen 10 - Pasarela construida con plásticos y fibras.

→ En cuanto a la tipología de la estructura:

- Colgante
- Atirantada
- Vigas y pórticos
- Arcos

Se adjuntan imágenes de las distintas tipologías de estructuras mencionadas:



Imagen 11 – Pasarela de tipología colgante.



Imagen 12 – Pasarela de tipología atirantada.



Imagen 13 – Pasarela de tipología de vigas y pórticos.



Imagen 14 – Pasarela de tipología de arcos.

Otro aspecto para destacar en las pasarelas peatonales es su esbeltez, es decir su reducida sección en comparación con su gran longitud.

En las siguientes imágenes se puede ver algunas pasarelas y su distinta tipología y funcionalidad, como se ha comentado anteriormente.

El Millennium Bridge (Imagen 15) es una pasarela peatonal situada en Londres que cruza el Río Támesis. Como se puede observar, es una pasarela con una estructura y un diseño muy particular. Esta pasarela puede soportar más de dos mil toneladas de peso y mide más de trescientos metros.

En contraposición a la Imagen 15, en la Imagen 16 se puede observar una pasarela peatonal que únicamente sirve para cruzar una carretera convencional de un solo carril por sentido (N-340) a la altura de Benicasim, Castellón. Ésta última es mucho más simple y con un tamaño y una longitud considerablemente menores.



Imagen 15 – Millennium bridge de Londres.



Imagen 16 – Pasarela peatonal situada en Benicasim, Castellón.

3.2. Problemática vibratoria de las pasarelas peatonales y maneras de mitigar estas vibraciones

El gran problema de esta tipología de estructuras es, que, a la hora de realizar su diseño y construcción, se está condicionado por el ELS debido a las aceleraciones que se producen en la pasarela, tanto aceleraciones horizontales como aceleraciones verticales provocadas por los peatones y ciclistas que las cruzan. Ello es debido a su ligereza y a la posibilidad de proyectar cada vez estructuras más esbeltas con el desarrollo de nuevos materiales.

Más adelante se mostrarán algunas técnicas que se aplican a nivel estructural para poder mitigar o evitar, en la medida de lo posible, estas vibraciones excesivas.

La combinación de esbeltez, ligereza y longitud de las pasarelas da como resultado unas vibraciones que pueden llegar a ser un problema, tanto para el confort de los usuarios como, en ocasiones, para asegurar la integridad de la estructura.

Hay que tener en cuenta uno de los parámetros más importantes a la hora de la construcción de estas estructuras. Dicho parámetro es el amortiguamiento (ζ). El amortiguamiento es un parámetro con el que se simulan matemáticamente los fenómenos de disipación de energía que tienen lugar cuando una estructura está sometida a cargas dinámicas.

La disipación de energía en el caso dinámico de una pasarela se puede deber a:

1. Apertura y cierre de fisuras en el caso de estructuras de hormigón.
2. Rotura de enlaces en materiales en general.
3. Interacción suelo-cimentación.
4. Fricciones en las uniones y en los apoyos (cimentación).
5. Rozamiento con el viento.
6. Rozamiento aportado por elementos no estructurales (paramentos, barandillas, etc.)

Cuando el amortiguamiento es bajo, ante una situación de resonancia, las amplitudes de vibración pueden llegar a ser muy altas.

La valoración del amortiguamiento estructural es en sí mismo un reto, ya que este parámetro depende de la propia amplitud de las vibraciones. Los mecanismos de disipación de energía mencionados anteriormente aumentan con las amplitudes de vibración.

En muchas ocasiones, la única forma de conocer de forma precisa la amortiguación es de manera experimental una vez ya construida la estructura.

A continuación, se mencionan algunas de las formas más utilizadas para mitigar la respuesta vibratoria de una estructura que, una vez construida, presenta un comportamiento dinámico no admisible:

Una manera muy extendida e incluso de las más clásicas, consiste en incrementar la masa de la propia estructura. De esta forma se consiguen reducir las frecuencias naturales de la estructura y, en ocasiones, alejarlas de las de excitación, evitando que la estructura entre en resonancia.

Otra solución que se puede llegar a plantear va en concordancia con otro de los parámetros determinantes del comportamiento dinámico, la rigidez. Consiste en rigidizar la estructura para incrementar sus frecuencias y alejarla de las frecuencias de excitación.

Finalmente, otra solución muy extendida en el campo de mitigación de vibraciones sobre las estructuras es la instalación de dispositivos como pueden ser algunos elastómeros o bien amortiguadores del tipo Tuned Mass Dampers (TMD), Tuned Column Liquid Dampers (TCLD) o Tuned Liquid Dampers (TLD).

A continuación, se presentan algunos ejemplos de sistemas de amortiguamiento que se han comentado:

→ Dispositivos viscosos (VD):



Imagen 17 – Dispositivos viscosos del Millennium Bridge.

→ Amortiguadores de masa sintonizados (TMD):



Imagen 18 – Amortiguadores de masa sintonizada del Millennium Bridge.

Es importante conocer el amortiguamiento, la masa de la estructura y su rigidez, ya que estos parámetros son los que rigen la respuesta dinámica.

En el caso de pasarelas peatonales, estructuras eminentemente sencillas, la masa y rigidez son parámetros que pueden ser estimados con cierta fiabilidad y de forma relativamente sencilla a partir de planos constructivos. Para obtener un valor realista del amortiguamiento no obstante es necesario recurrir a experimentación sin olvidar que, dependiendo de las condiciones de uso y las consecuentes amplitudes de vibración, éste puede variar.

3.3. Normativa de aplicación y referencias de interés comentadas

Para llevar a cabo este trabajo se han estudiado y consultado distintas normativas y guías de recomendaciones para valorar el estado límite de servicio de aceleraciones en pasarelas peatonales.

Las vibraciones que provocan los peatones sobre las pasarelas es un problema muy reciente, ya que antes, las pasarelas no eran tan esbeltas por lo que las vibraciones que se inducían en la misma no era un problema. Hoy en día, con el desarrollo de nuevos materiales y nuevas técnicas constructivas se realizan pasarelas cada vez más ligeras y esbeltas por lo que ellos efectos dinámicos empiezan a ser problemáticos.

Se ha consultado el HIVOSS [5] y el SETRA [6] como guías de recomendaciones y, por otro lado, el EuroCódigos EN 1990:2002 [7] y la IAP-11 [8] como normativa a cumplir.

A continuación, se muestra una tabla con órdenes de magnitud de rangos de frecuencia de excitación que suponen acciones habituales que pueden ocurrir sobre una pasarela peatonal para que sea más fácil orientarse alrededor de los rangos a los cuales se va a hacer referencia.

ACCIÓN	RANGO DE FRECUENCIA (Hz)
andar	1.6 – 2.4
correr	2.0 – 3.5
rebotar	1.5 – 3.0
saltar	1.8 – 3.4

Tabla 3 – Órdenes de magnitud de frecuencias de excitación asociadas a distintas acciones.

Por otra parte, la normativa y las distintas guías de construcción de pasarelas peatonales recomiendan que se eviten ciertos rangos de frecuencias de excitación para evitar la coincidencia de éstos con las frecuencias naturales de la estructura. En tal caso, el fenómeno vibratorio se amplifica y puede dar lugar a niveles de aceleración indeseados.

Hay que diferenciar, en primer lugar, entre los límites de frecuencia recomendados según guías e impuestos según normativas. También hay que tener en cuenta que en estos límites se diferencia entre aceleración vertical y horizontal, que a su vez puede ser longitudinal (en la dirección de avance del peatón) y lateral (en dirección perpendicular a la pasarela en el plano horizontal).

Para este proyecto se ha tenido en cuenta las guías de pasarelas peatonales del HIVOSS [5] y el SETRA [6] y la normativa europea (EuroCódigos) [7], así como la normativa IAP-11 [8], la normativa española para puentes de carretera.

Con la finalidad de que este proyecto pueda servir de ayuda para futuras investigaciones y diferentes proyectos, a continuación, se realiza una recopilación de todos los límites de las distintas guías y normativas mencionadas anteriormente de manera más clara y concisa para que no haya lugar a duda. Además, estos valores serán utilizados en los apartados siguientes para evaluar el estado límite de servicio de la pasarela de estudio asociado a vibraciones.

A continuación, se exponen los rangos de frecuencias naturales que resultan críticos para las normas y recomendaciones analizadas.

→ Según el SETRA son rangos de frecuencias naturales de pasarelas (f_{si}) críticos o susceptibles de ser excitados por coincidencia con las frecuencias asociadas al uso por peatones los siguientes:

- $1'25 \text{ Hz} \leq f_{si} \leq 2'30 \text{ Hz}$ para vibraciones verticales y longitudinales
- $0'30 \text{ Hz} \leq f_{si} \leq 1'30 \text{ Hz}$ para vibraciones laterales

→ Según el HIVOSS son rangos de frecuencias naturales críticos:

- $1'25 \text{ Hz} \leq f_{si} \leq 4'6 \text{ Hz}$ para vibraciones longitudinales y verticales (*)
- $0'5 \text{ Hz} \leq f_{si} \leq 1'2 \text{ Hz}$ para vibraciones laterales

(*) En el caso del SETRA se está considerando únicamente la excitación debida al primer armónico del paso de los peatones, mientras que en el HIVOSS se considera que se pueden excitar frecuencias de la estructura más altas si la excitación proviene del segundo armónico, de ahí que el límite sea superior.

→ Según el EuroCódigo (EN 1990:2002) hay que evitar valores inferiores a los siguientes:

- 5 Hz para vibración vertical
- 2'5 Hz para vibraciones laterales y torsionales

→ Según la IAP-11 son frecuencias críticas las comprendidas entre:

- $1'25 \text{ Hz} \leq f_{si} \leq 4'60 \text{ Hz}$ para vibraciones longitudinales y verticales
- $0'50 \text{ Hz} \leq f_{si} \leq 1'20 \text{ Hz}$ para vibraciones laterales

Se exponen los límites máximos admitidos, es decir, para garantizar un confort y una seguridad en las pasarelas peatonales no se deben sobrepasar los siguientes valores. Definidos en las distintas normativas y guías de recomendación. En referencia a la aceleración, generalmente se diferencia entre aceleración vertical y horizontal.

→ Según el SETRA:

- No se deben sobrepasar valores entre $0'5 - 0'8 \text{ m/s}^2$ para vibraciones verticales.
- Para vibraciones laterales no se debe pasar de:
 - $0'2 \text{ m/s}^2$ en un uso normal
 - $0'4 \text{ m/s}^2$ en un caso excepcional

→ Según el HIVOSS y la IAP-11:

Se lleva a cabo la siguiente tabla para una mejor comprensión:

Grado y clase de confort	a_{max} vertical (m/s^2)	a_{max} lateral (m/s^2)
MÁXIMO (clase 1)	$\leq 0'50$	$\leq 0'10$
MEDIO (clase 2)	$0'50 - 1'00$	$0'10 - 0'30$
MÍNIMO (clase 3)	$1'00 - 2'50$	$0'30 - 0'80$
INADMISIBLE (clase 4)	$\geq 2'50$	$\geq 0'80$

Tabla 4 – Aceleraciones límite según el HIVOSS y la IAP-11.

→ Según los EuroCódigos (EN 1990:2002):

- 0'7 m/s² para vibraciones verticales
- 0'2 m/s² para vibraciones horizontales
- 0'4 m/s² para condiciones de multitud

Finalmente, se debe destacar que hay distintos límites tanto de frecuencias como de aceleraciones, verticales, longitudinales, horizontales e incluso torsionales en los distintos documentos existentes, ya sean normativas o guías de recomendación basadas en estudios e investigaciones.

En función de dónde se encuentre la pasarela y de la clase de uso para el cual se proyecte (es diferente el uso de una pasarela que se encuentra en las afueras de una población de una pasarela localizada en una zona de mucho tránsito), se aplicarán unos u otros documentos, pero, en cualquier caso, hay que mencionar que estos límites y recomendaciones expuestos anteriormente, son muy similares en todos ellos. Cada proyectista se acogerá a unos u otros documentos en función del emplazamiento de la estructura, así como del riesgo que quiera asumir.

4. Estudios experimentales

4.1. Método experimental y objetivos de las campañas realizadas

En un primer lugar se explica el método experimental que se ha aplicado para identificar las propiedades modales de la estructura de estudio y valorar su aptitud para el servicio con relación a las vibraciones.

En este proyecto, el método experimental consiste en colocar de manera premeditada sobre la pasarela, un número determinado de sensores de medida de aceleración o acelerómetros (en este caso, ocho) en puntos concretos cuyo emplazamiento exacto se detalla posteriormente en las configuraciones 1, 2 y 3.

De manera general, se excitarán los acelerómetros dispuestos sobre la pasarela y la barandilla de forma que, a través de un módulo de adquisición de datos, el ordenador mediante el que se controla el ensayo recibe señales temporales de aceleración en cierta dirección y en los puntos de instalación de los sensores que posteriormente serán el material de estudio.

Estos acelerómetros son excitados de distintas formas: mediante un impacto con mazas y martillos sin instrumentar y al paso o balanceo de un número diferente de personas sobre la pasarela. Se considera oportuno destinar un apartado para explicar el proceso y los pasos realizados para la campaña.

Para este proyecto se realizan tres campañas. A continuación, se nombran todas las campañas realizadas y el objetivo principal de cada una de ellas. La realización y explicación en detalle de éstas se realiza en su apartado correspondiente.

En la Campaña 0, el objetivo principal ha sido el de identificar las propiedades modales de la estructura. Para ello, se llevaron a cabo una serie de pruebas que se explicarán más adelante en el apartado 4.3. En esta campaña se obtuvieron las frecuencias naturales de la estructura y los modos de vibración asociados. En la tabla 4 se muestran las de menor valor y, por tanto, mayor contribución a la respuesta estructural. Los valores de frecuencia obtenidos se han utilizado en la Campaña 1 para planificar el paso de peatones.

En la Campaña 1, el objetivo principal era conocer realmente cuáles eran las aceleraciones de la pasarela al ser excitada de distintas maneras en unas condiciones u otras, similares a las de servicio, para así determinar si se cumplen los requisitos de normativa, así como los criterios del Estado Límite de Servicio (ELS) correspondiente. Se explicará en profundidad en el punto 4.4.

Por último, la Campaña 2, cuyo objetivo principal es muy similar al de la Campaña 1 pero con un número de viandantes superior al de la campaña anterior. Se explicará en profundidad en el punto 4.5.

4.2. Descripción de los equipos de medida

Para llevar a cabo las distintas campañas que se han realizado en este proyecto, se ha hecho uso de unos acelerómetros piezoeléctricos, un módulo de adquisición de datos, un ordenador portátil, software específico, cables, conectores y sistemas de fijación de los acelerómetros a la estructura.



Imagen 19 - Conexión del ordenador con el módulo.

Un acelerómetro piezoeléctrico es un sensor de aceleración de masa sísmica. Los acelerómetros utilizados en este proyecto solo miden en una dirección, por lo que estaban dispuestos a lo largo de toda la pasarela peatonal colocados de manera que algunos medían aceleraciones verticales y otros medían aceleraciones horizontales. Se decide este método para, una vez estar sometido a la misma excitación, poder ser capaces de reconocer cómo se deforma la pasarela tanto vertical como horizontalmente y poder identificar así no sólo las frecuencias naturales sino los correspondientes modos de vibración.

El acelerómetro es uno de los transductores más versátiles, siendo el más común el piezoeléctrico por compresión. Éste se basa en que, cuando se comprime un retículo cristalino piezoeléctrico, se produce una carga eléctrica proporcional a la fuerza aplicada.

Los elementos piezoeléctricos están hechos normalmente de circonato de plomo. Se encuentran comprimidos por una masa sísmica, sujeta en un extremo por un muelle y todo el conjunto, dentro de una caja metálica. Cuando el conjunto es sometido a vibración, el disco piezoeléctrico se ve sometido a una fuerza variable, proporcional a la aceleración de la masa. Debido al efecto piezoeléctrico, se desarrolla un potencial variable que será proporcional a la aceleración. Dicho potencial variable se puede registrar sobre un osciloscopio o voltímetro.

Este dispositivo, junto con los circuitos eléctricos asociados, se puede usar para medir la velocidad y el desplazamiento además de la determinación de formas de onda y frecuencia. El intervalo de frecuencia típica es de 2 Hz a 10 kHz.

Los acelerómetros son fijados a la pasarela y a la barandilla mediante imanes muy potentes de manera que no se podrán despegar, ya que deben estar dispuestos de esta manera para que las mediciones sean fiables.

En las siguientes imágenes se pueden ver los acelerómetros utilizados y el módulo que conecta los acelerómetros con el equipo informático:



Imagen 20 – Acelerómetro.



Imagen 21 – Módulo de adquisición de datos.

Por otro lado, el módulo de adquisición de datos es el sistema que recoge los datos de medida y se encarga de alimentar eléctricamente a los acelerómetros.

Este módulo se conecta a un ordenador portátil mediante un cable de red y se controla su funcionamiento con un programa. En este caso se utiliza el programa BK connect, de la casa comercial Brüel & Kjaer.

Para las campañas realizadas, como ya se ha mencionado anteriormente, se utilizan ocho acelerómetros únicamente (aunque se disponía de algunos más) puesto que el limitante era el módulo que solo cuenta con ocho canales de información y en estas campañas no se disponía de más módulos.

4.3. Campaña 0: Identificación de propiedades modales

Como se ha mencionado anteriormente, el objetivo principal de esta campaña fue identificar las propiedades modales de la estructura. A continuación, se plasma una tabla que contiene un resumen de los datos obtenidos más importantes.

La manera de excitación de la pasarela en esta campaña fue mediante impactos de martillo en distintos puntos de ésta para así poder obtener, mediante las distintas configuraciones de los acelerómetros, la mayor información posible. Cabe destacar que se tomaban varias medidas en cada punto de excitación para realizar posteriormente medias aritméticas, así como que se intentaba golpear en todos los casos con la misma intensidad de martillo.

A continuación, se puede ver en las imágenes 21 y 22 la disposición de los acelerómetros en las configuraciones 1 y 2 respectivamente.

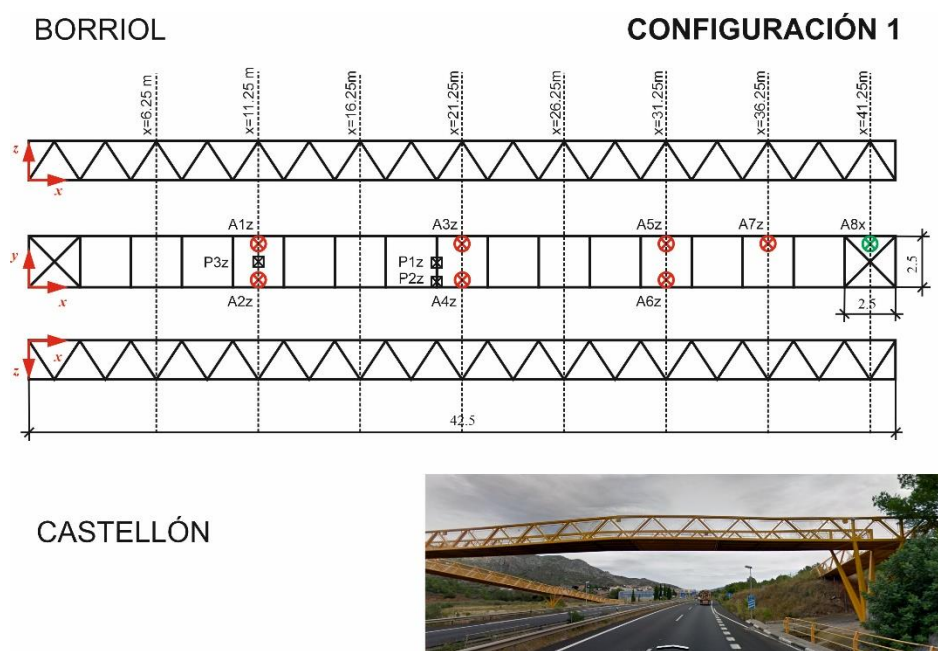


Imagen 22 – Sistema de configuración 1 de los acelerómetros.

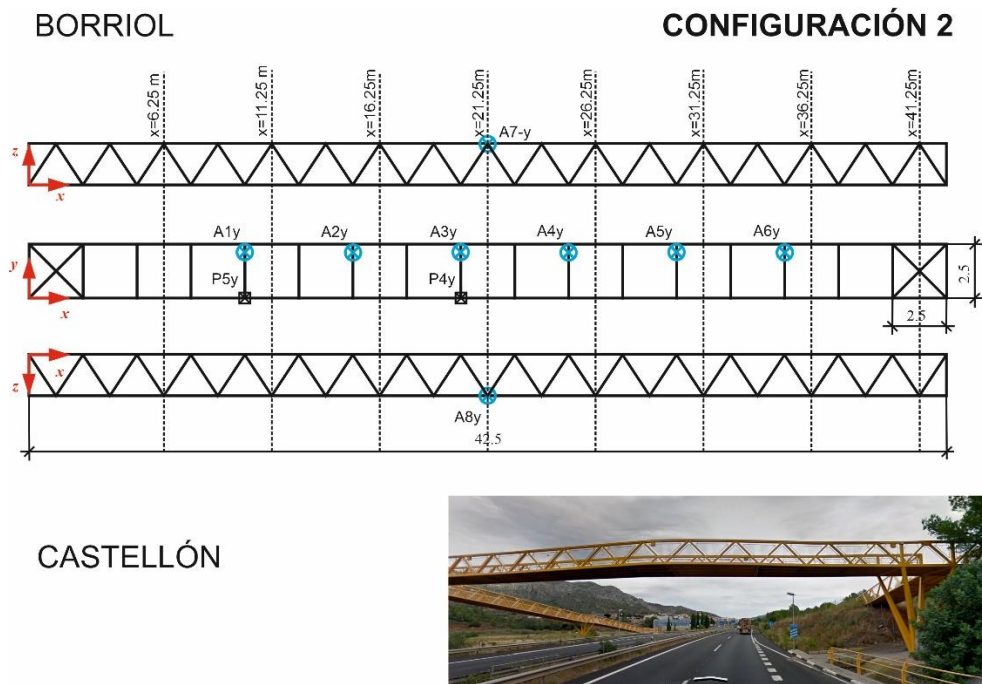


Imagen 23 – Sistema de configuración 2 de los acelerómetros.

En las imágenes anteriores, se utiliza AX1X2 y PX1X2 para indicar la localización de los acelerómetros y los golpes de martillo respectivamente, siendo X1 el número de acelerómetro o, en el caso de ir precedida una P, indica el número de impacto de martillo. Por otro lado, la variable 2 indica el eje en el que mide el acelerómetro o el eje en el que se produce el golpe.

En la Tabla 5 se incluyen las frecuencias naturales identificadas a partir de la vibración libre de la estructura causada por el impacto del martillo registrada con los acelerómetros en las distintas posiciones.

Los valores que se muestran a continuación se obtienen después de procesar los distintos registros con el software de Matlab. El proceso que se sigue en Matlab se detalla a continuación.

Tras seleccionar el registro que se quiere analizar, se elige la ventana temporal que se quiere analizar, se muestra en la imagen 23.

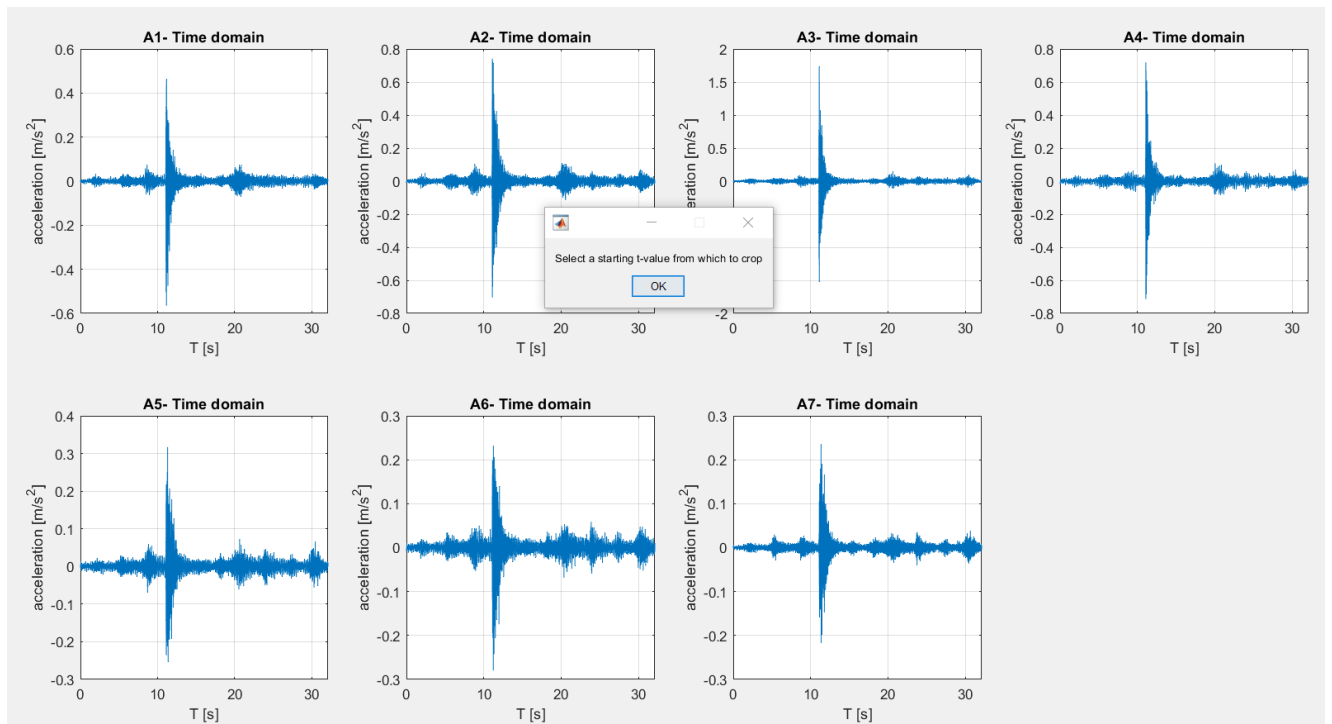


Imagen 24 – Selección de la ventana temporal de análisis.

Se selecciona desde justo antes del pico principal hasta el final de la medición de manera aproximada. Posteriormente se elige el filtro que se desea aplicar. En este proyecto siempre se elige el filtro Chebyshev. Esto ejecuta el código escrito en el archivo de Matlab donde, mediante la transformada rápida de Fourier (FFT), se pasa al dominio de la frecuencia, con la que se obtiene la siguiente ventana (Imagen 24). Llegados a este punto, se seleccionan las frecuencias que se desean analizar (frecuencias de la Tabla 5). El criterio que se ha seguido el criterio de elegir un pico notorio en la gráfica para encontrar dichas frecuencias además de ser un pico repetitivo en los distintos acelerómetros.

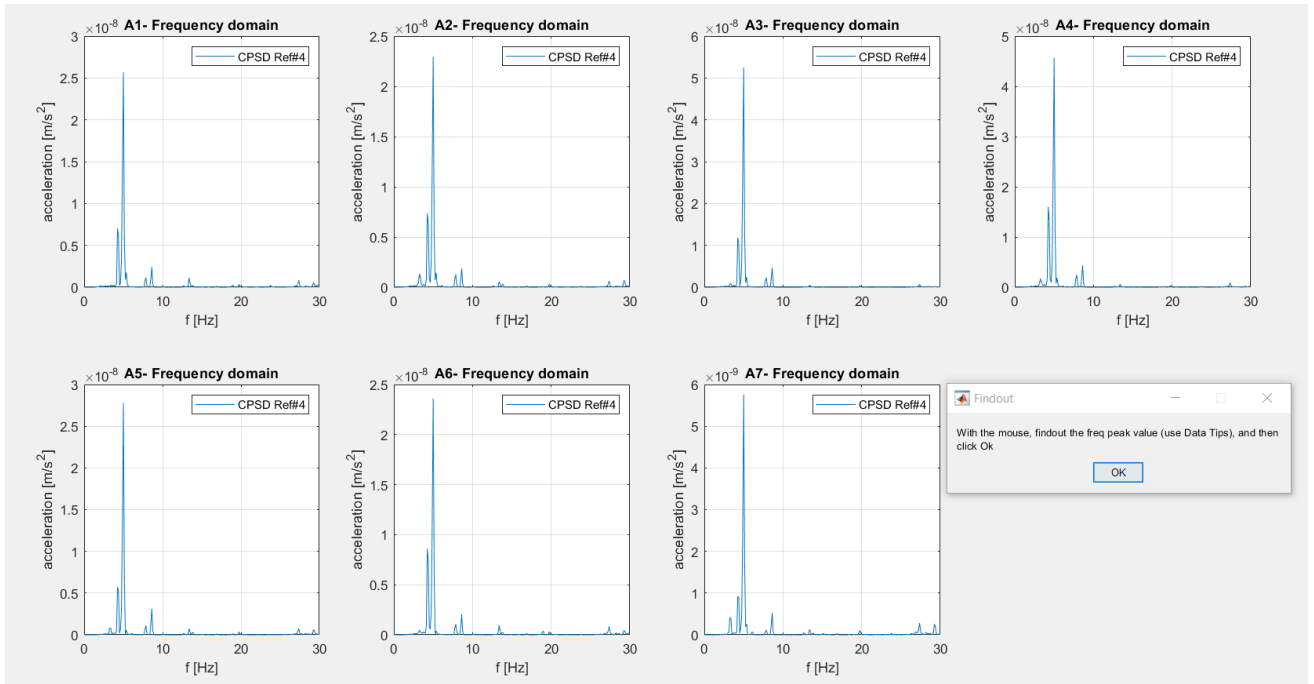


Imagen 25 – Selección de frecuencias que se desean analizar.

Por último, se indica que frecuencia exacta que se quiere analizar (Imagen 25). Y finalmente se obtienen los amortiguamientos y el modo de vibración de la estructura para esa frecuencia en ese registro (Imagen 26).

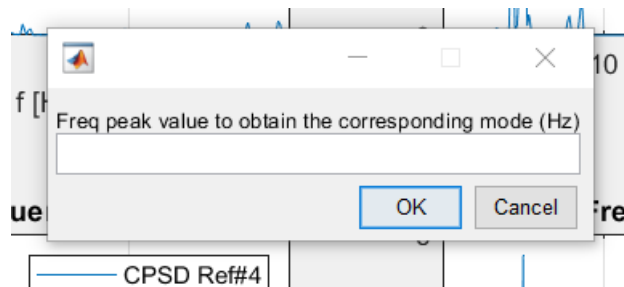


Imagen 26 – Introducción de frecuencia que se quiere estudiar.

De la Imagen 26, se obtienen los valores del amortiguamiento que se han utilizado para hallar los valores necesarios (amortiguamiento medio y desviación típica) para rellenar la Tabla 5.

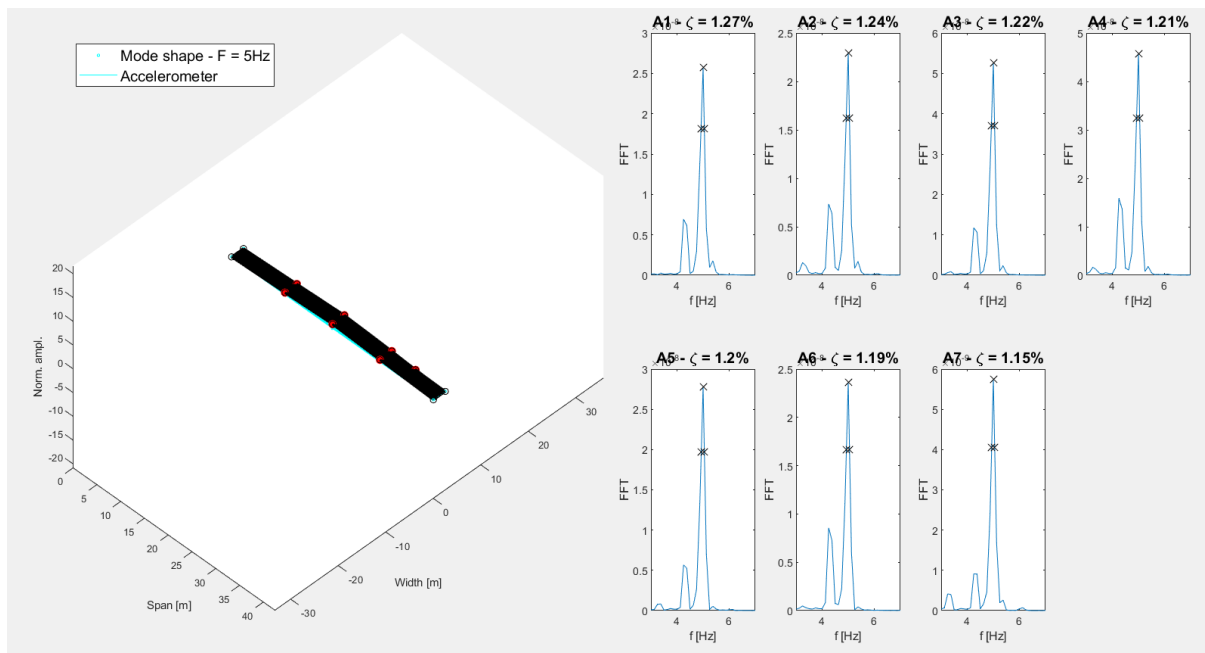


Imagen 27 – Ventana de resultados.

Valores de frecuencia seleccionados para la Configuración 1 (Hz)	3.25	4.25	5	7.75	7.875	8.5
Amortiguamiento medio (conf. 1) (%)	3.2503	2.4931	2.4258	2.2768	0.8243	1.6176
Desviación típica del amortiguamiento (conf. 1)	0.4764	0.1928	0.8106	0.2504	0.1495	0.8566
Valores de frecuencia seleccionados para la Configuración 2 (Hz)	3.25	4.25	-	7.75	8	9.5
Amortiguamiento medio (conf. 2) (%)	4.5996	3.5538	-	2.3973	2.4795	1.3169
Desviación típica del amortiguamiento (conf. 2)	0.4877	0.6277	-	0.1051	0.1266	0.0519

Tabla 5 – Resultados obtenidos de la campaña 0.

En la normativa IAP-11, en el capítulo 7, se indica a partir de qué valores de amortiguamiento se debe realizar un análisis del comportamiento dinámico. Dichos valores aparecen en la Tabla 6 y son válidos tanto para puentes como para pasarelas peatonales.

Tipo de estructura	ζ (%)
Acero	0,4
Mixta	0,6
Hormigón Pretensado	1,0
Hormigón Armado	1,5

Tabla 6 – Valores orientativos de índice de amortiguamiento.

Comparando los valores de amortiguamiento medio obtenidos (Tabla 5) con los valores a partir de los cuales la normativa [8] (IAP-11) (Tabla 6) recomienda evaluar el efecto dinámico, podemos afirmar que, en este caso, la normativa está del lado de la seguridad.

La estructura que se está analizando en este trabajo es de acero y según la norma se debe evaluar a partir de valores de amortiguamiento de 0,4%. Los valores que se han obtenido son superiores a 0,8%.

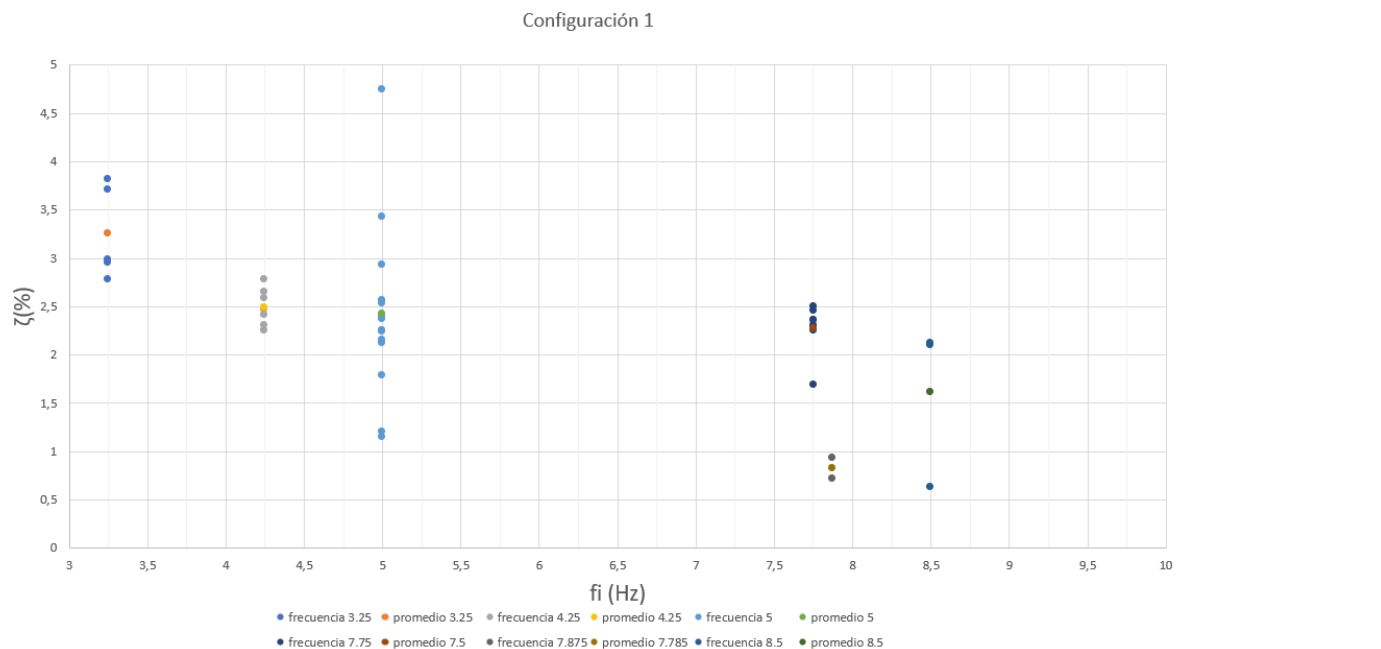
Es importante comprender que en ambas Configuraciones 1 y 2 las frecuencias que se repiten o están muy próximas corresponden al mismo modo de vibración. Ello indica que la deformada de la pasarela presenta por lo general un marcado carácter tridimensional, alejado del de una viga simplemente apoyada, que es la forma habitual de analizar puentes y pasarelas de configuraciones sencillas y un único vano. Se llega a esta conclusión porque es posible identificar el mismo modo en ambas configuraciones, la 1, con los acelerómetros dispuestos en la dirección Z (vertical) y la 2, con los acelerómetros dispuestos en su mayoría en la dirección Y (lateral).

Mencionar por otro lado, que en los modos que coinciden en ambas configuraciones es normal que la amortiguación media no coincida debido a que este factor depende en gran medida de la amplitud, así como del rozamiento de la estructura en cada caso. Además, en todos los modos se obtiene un amortiguamiento distinto en cada ensayo. Se puede ver en la desviación típica que existe una gran dispersión.

En las siguientes imágenes se muestran un par de gráficas (una para cada configuración) donde se puede observar la tasa de amortiguamiento de la pasarela peatonal identificada en cada modo de vibración, tal y como se ha explicado y mostrado anteriormente en la Tabla 4.

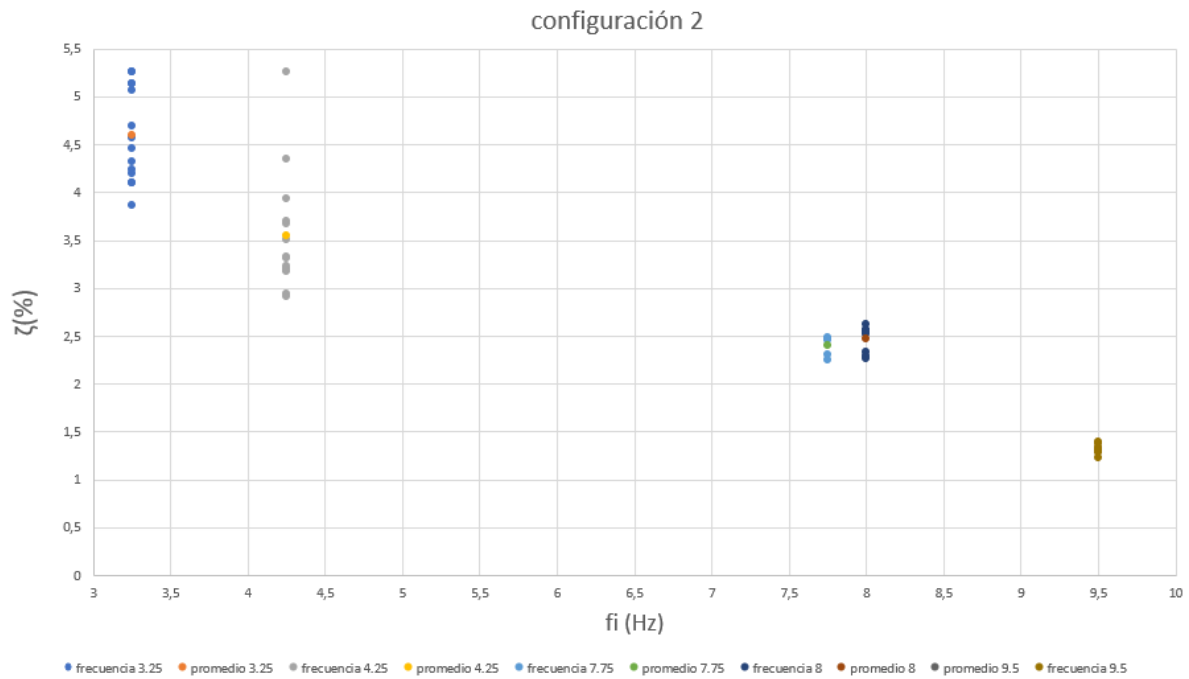
Además de observar los valores de amortiguamiento para cada valor de frecuencia. También se puede ver la dispersión entre las distintas medidas realizadas. Como se ha comentado anteriormente, este parámetro es altamente dependiente de la amplitud de vibración y su identificación no es trivial.

Mediante la gráfica 1, se puede comprobar que en general, no hay mucha dispersión en los valores, exceptuando algunos registros en los que sí que existe una dispersión notable.



Gráfica 1 - Resultados de la configuración 1 de la amortiguación frente a la frecuencia.

Para la configuración 2, se obtiene una gráfica similar, pero varían algunos valores de frecuencia puesto que para esta configuración se consideró oportuno la selección de estos valores mostrados también en la Tabla 4.



Gráfica 2 - Resultados de la configuración 2 de la amortiguación frente a la frecuencia.

De la misma manera que ocurre en la configuración 1, en esta segunda configuración sucede algo similar. Por lo general no existe mucha dispersión entre las tasas de amortiguamiento que hay para los modos de vibración seleccionados.

Para tener una referencia de los modos de vibración que se están estudiando, a continuación, se insertan distintas fotografías de cada uno de ellos.

→ Para una frecuencia de vibración de 3.25 Hz:

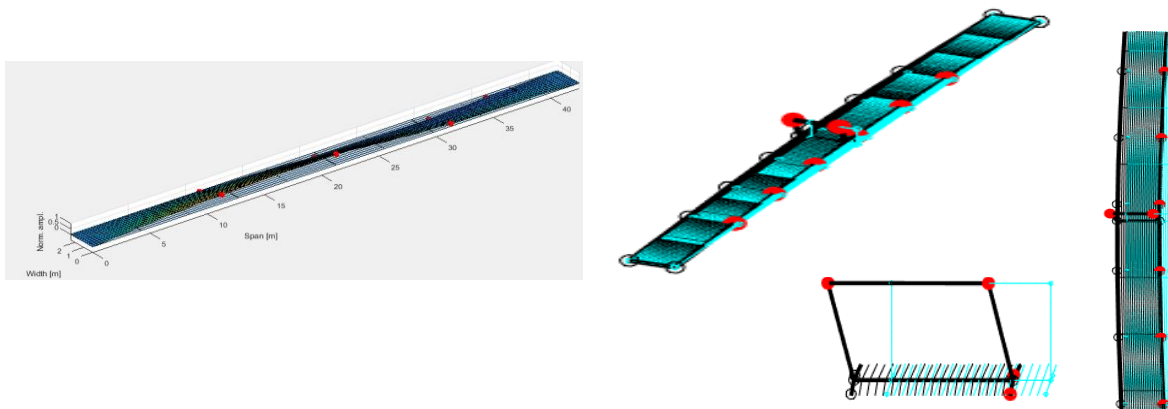


Imagen 28 – Modo de vibración asociado a $f_{si} = 3.25$ Hz.

→ Para una frecuencia de vibración de 4.25 Hz:

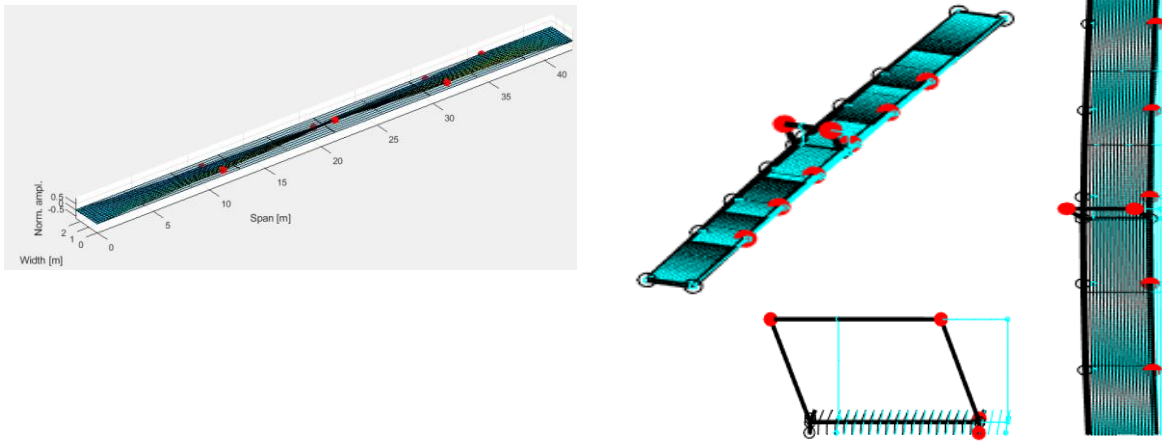


Imagen 29 – Modo de vibración asociado a $f_{si} = 4.25$ Hz.

→ Para una frecuencia de vibración de 5 Hz:

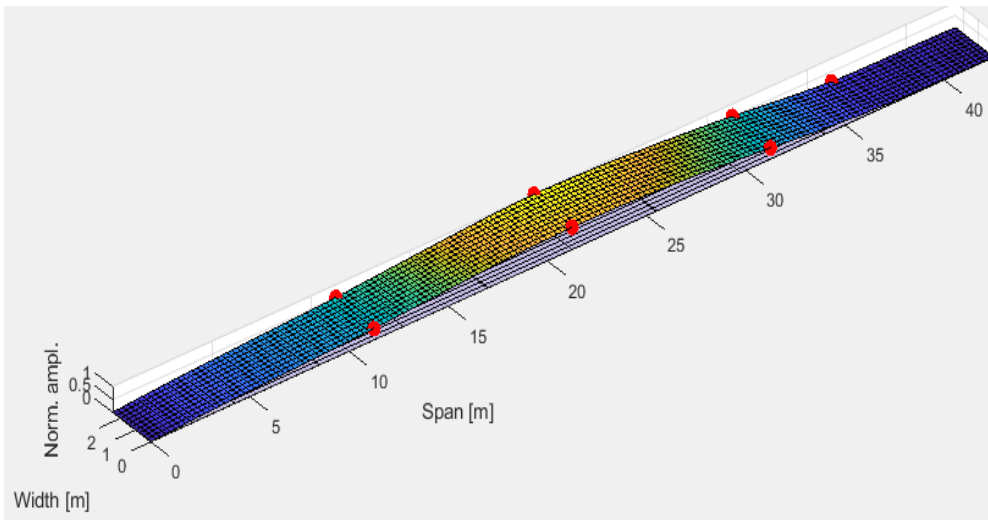


Imagen 30 – Modo de vibración asociado a $f_{si} = 5$ Hz.

→ Para una frecuencia de vibración de 7.75 Hz:

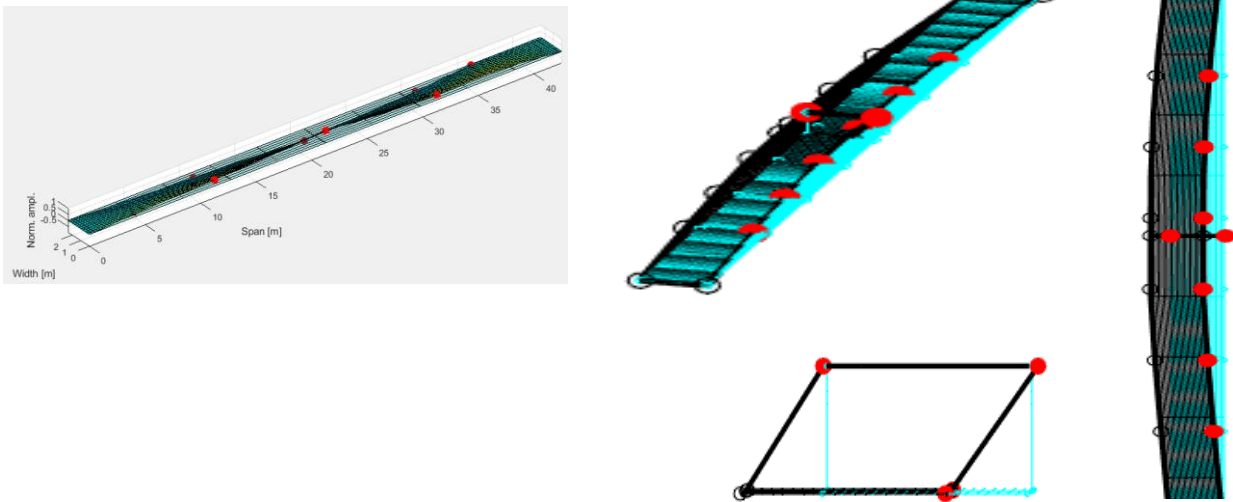


Imagen 31 – Modo de vibración asociado a $f_{si} = 7.75$ Hz.

→ Para una frecuencia de vibración de 7.875 Hz:

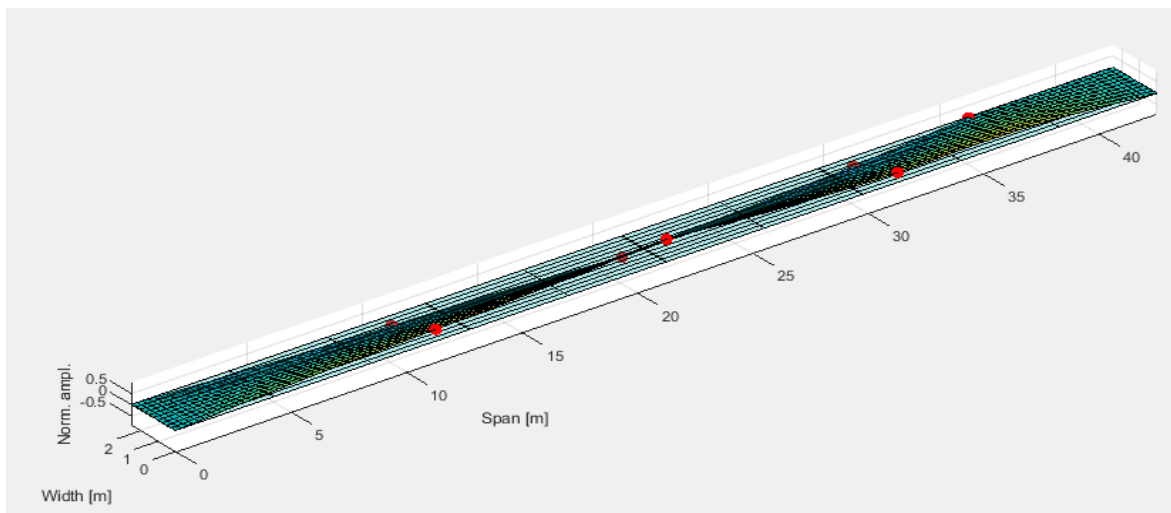


Imagen 32 – Modo de vibración asociado a $f_{si} = 7.875$ Hz.

→ Para una frecuencia de vibración de 8 Hz:

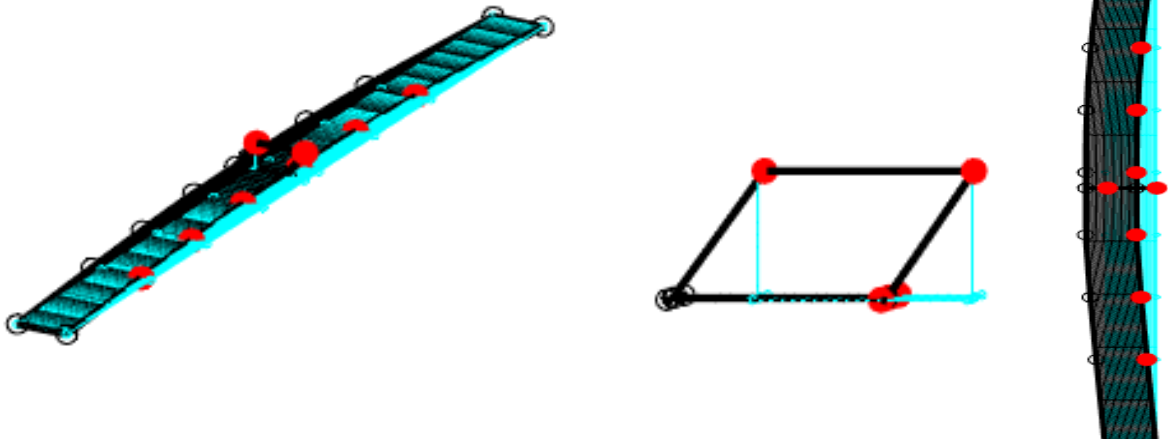


Imagen 33 – Modo de vibración asociado a $f_{si} = 8$ Hz.

→ Para una frecuencia de vibración de 8.5 Hz:

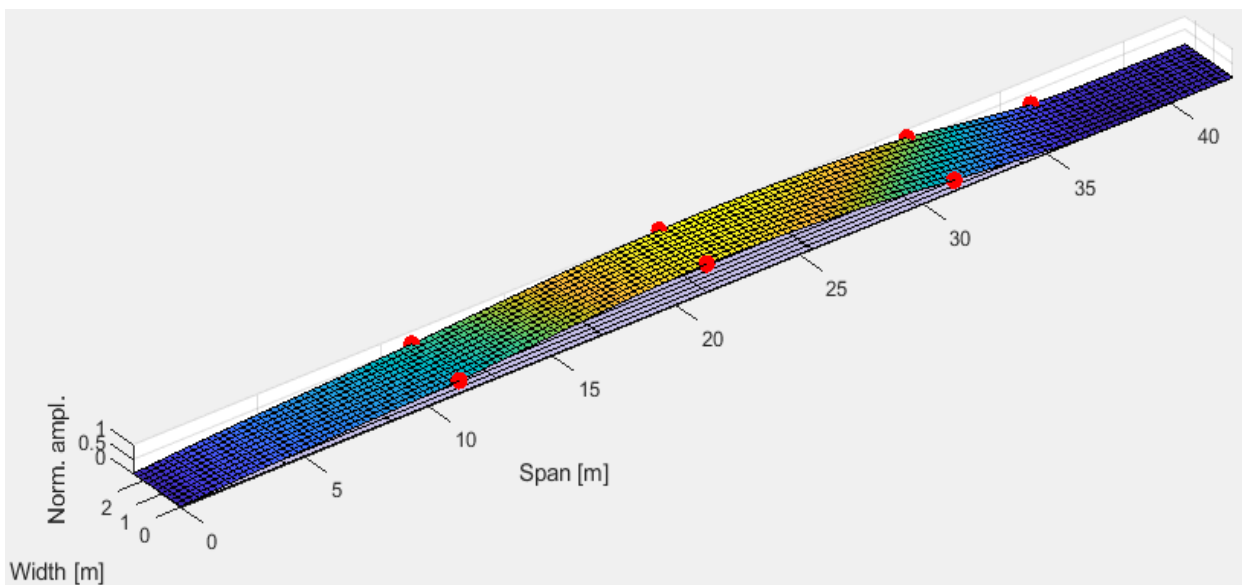


Imagen 34 – Modo de vibración asociado a $f_{si} = 8.5$ Hz.

→ Para una frecuencia de vibración de 9.5 Hz:

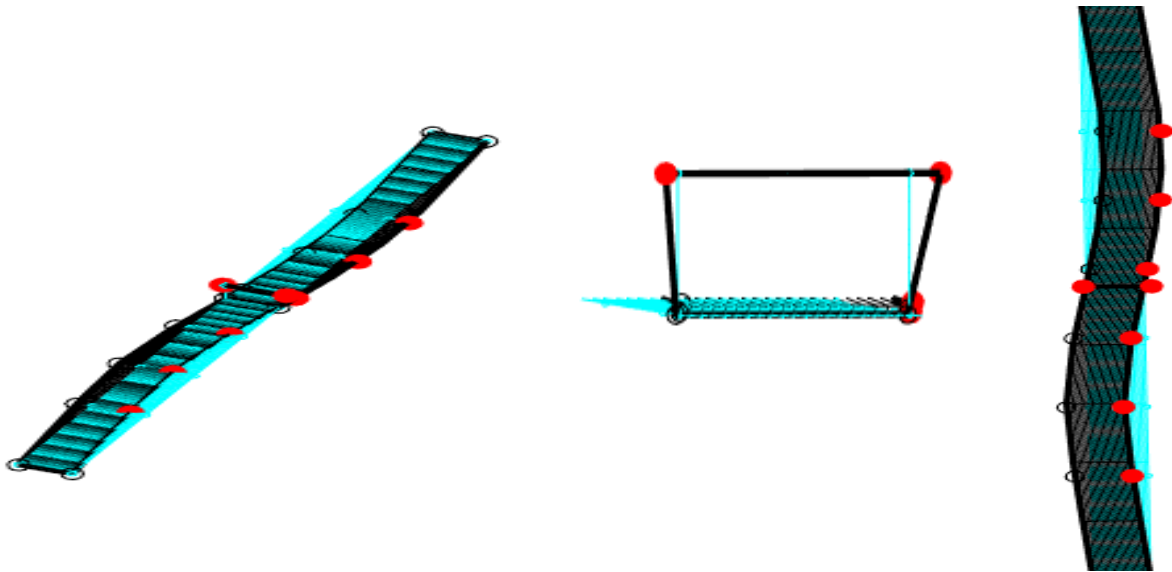


Imagen 35 – Modo de vibración asociado a $f_{s_i} = 9.5$ Hz.

Se concluye el apartado de la Campaña 0 destacando su objetivo principal, el cual ha sido la identificación de las frecuencias naturales y modos de vibración de la pasarela hasta una frecuencia de 10 Hz, así como la valoración de la tasa de amortiguamiento asociada a cada uno de estos modos, haciendo especial hincapié en la desviación de resultados identificados entre registros y en la comparación con el amortiguamiento a emplear en cálculos recomendados por la normativa.

Por otro lado, hay que destacar también que a medida que aumentan los modos de vibración, es decir, a medida que se aumenta la frecuencia, disminuye la amortiguación. Esto ocurre debido a que la tasa de amortiguamiento es dependiente de la amplitud, por lo que, al aumentar la frecuencia, se aumentan los ciclos por minuto y por consiguiente disminuye la amplitud de movimiento y con ella el amortiguamiento en el caso de mantenerse las amplitudes. A mayores modos de vibración se obtendrían mayores tasas de amortiguamiento, ya que la tasa de amortiguación es aportada por las distintas maneras de rozamiento e interacción que puede tener la propia estructura.

4.4. Campaña 1: Valoración del nivel de vibraciones con un número reducido de viandantes

Como se ha explicado con anterioridad, el objetivo principal de esta campaña ha sido determinar el nivel de aceleraciones de la pasarela en servicio ante diferentes usos por parte de los viandantes, con la finalidad de comprobar si se cumplen los requisitos de normativa, y en particular, los Estados Límite de Servicio asociados a las vibraciones.

Para esta Campaña 1, se han dispuesto los acelerómetros según la configuración 3 que se adjunta a continuación:

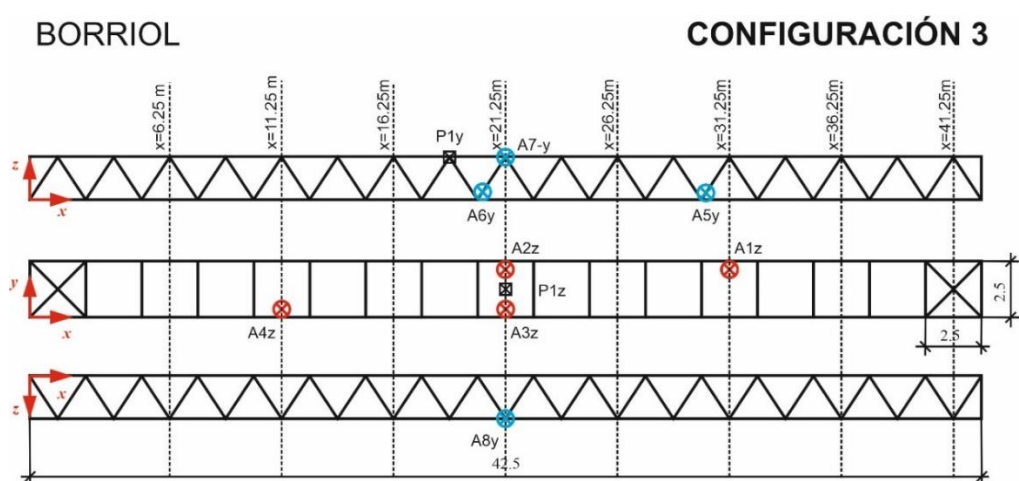


Imagen 36 – Configuración 3 de los acelerómetros.

En esta campaña se han realizado los ensayos con distinto número de viandantes, así como realizando éstos diferentes acciones.

El número de viandantes que se han utilizado han sido uno o tres y para estos viandantes se ha excitado la pasarela de diversas formas:

→ Para un único peatón de masa de 60 kg (0.177%, este es el porcentaje de masa respecto al peso total de la pasarela) se ha excitado:

- Andando*.
- Haciendo 'skipping'**.
- Haciendo 'bouncing'***.

→ Para tres peatones sumando una masa total 185 kg (0.547%, este es el porcentaje de masa respecto al peso total de la pasarela) se ha excitado:

- Andando*.
- Haciendo 'skipping'**.
- Haciendo 'bouncing'***.
- Andando de manera libre****.

El peso total de la pasarela peatonal es de 33.818,61 kg.

Nota 1: Posición del peatón.

*: El peatón no oscila en el mismo punto, sino que cruza la pasarela.

**: El peatón oscila en el mismo punto sin cruzar la pasarela.

***: El peatón oscila en el mismo punto sin cruzar la pasarela.

****: El peatón cruza la pasarela de manera totalmente libre.

Nota 2 (definiciones):

- **Skipping**: Consiste en elevar las rodillas de manera alternada por encima de la cintura manteniendo la cadera en una posición elevada. En este caso sobre un punto fijo sin desplazarse.
- **Bouncing**: Su traducción exacta es 'rebotar'. Consiste en hacer la intención de saltar, pero en este caso sin despegar los pies del suelo. Igual que la acción anterior, se realiza sin moverse sobre un punto fijo.

Salvo en el caso de la actividad de andar libremente, el resto de las acciones se han realizado a frecuencias concretas, tratando de excitar las frecuencias más bajas que fueron identificadas durante la Campaña 0 (ver Tabla 5). Las frecuencias 8.5 Hz y 9.5 Hz no se han tratado de excitar ya que son demasiado elevadas y por tanto difíciles de alcanzar por un viandante o corredor. Por ello, solo se excita la pasarela hasta 8 Hz.

3.25 Hz	4.25 Hz	5 Hz	7.75 Hz	8 Hz
---------	---------	------	---------	------

Tabla 7 – Frecuencias de excitación objetivo.

La única frecuencia que se ha excitado en el primer armónico ha sido la de 3.25 Hz, puesto que las demás son de un ritmo muy elevado y difícil de conseguir por un viandante o corredor. En el resto de los casos se ha tratado de excitar el segundo y el tercer armónico. En la tabla 6 se muestran las frecuencias que se ha pretendido excitar, en qué armónico y la frecuencia real de excitación en golpes por minuto (beats/min = bpm).

Frecuencia (Hz)	Armónico	Beats por minuto (bpm)
3.25	primer	195
4.25	segundo	128
5	segundo	150
7.75	tercer	155
8	tercer	160

Tabla 8 – Frecuencias objetivo, armónicos excitados y ritmos de excitación aplicados en bpm.

La ecuación 1, que se muestra a continuación, es la que se utiliza para pasar de una determinada frecuencia (a la que queremos excitar) a un número de beats equivalente (a lo que se va a excitar):

$$f_{exc}(bpm) = \frac{f_{obj}(Hz) \cdot 60}{N} \quad (1)$$

Siendo:

f_{exc} (bpm) → Frecuencia a la que se excita la pasarela en bpm.

N → Armónico que se excita de la frecuencia objetivo f_{obj} .

f_{obj} (Hz) → Frecuencia que se quiere excitar y que coincide con alguna de las frecuencias naturales de la pasarela.

Los ensayos que se han hecho para esta campaña han sido los mencionados anteriormente y se describen con más detalle a continuación:

En primer lugar, un único peatón de masa 60 kg cruza la pasarela a cierta frecuencia. Al llegar al extremo opuesto se espera hasta que finalice la fase de vibración libre y la pasarela recupere su estado de reposo normal. Este ensayo se repite para todas las frecuencias objeto de análisis que se han expuesto con anterioridad en la Tabla 6.

En el segundo bloque de ensayos, un único peatón de masa 60 kg, salta apoyando alternativamente cada pie ('skipping') sobre la sección central del vano principal durante cuarenta segundos a una única frecuencia de 3.25 Hz (195 bpm), Al finalizar espera unos segundos a que la pasarela recupere su estado normal de reposo.

El mismo ensayo anterior y con el mismo único peatón (de masa 60 kg) se repite con la diferencia de que el peatón no separa los pies del suelo, sino que rebota ('bouncing'), estando ubicado también en centro del vano y también durante cuarenta segundos a 3.25 Hz. Al finalizar el ensayo, el peatón espera unos segundos a que la pasarela recupere su estado normal de reposo.

En tercer lugar, se realizan ensayos con tres peatones, sumando una masa total de 185 kg. Cabe destacar que para los ensayos de múltiples peatones el factor más importante es la coordinación y sincronización de todos ellos. Primeramente, los peatones anduvieron durante cinco minutos aproximadamente de manera aleatoria (a una frecuencia indeterminada) recorriendo la pasarela de extremo a extremo siempre por la parte derecha realizando círculos.

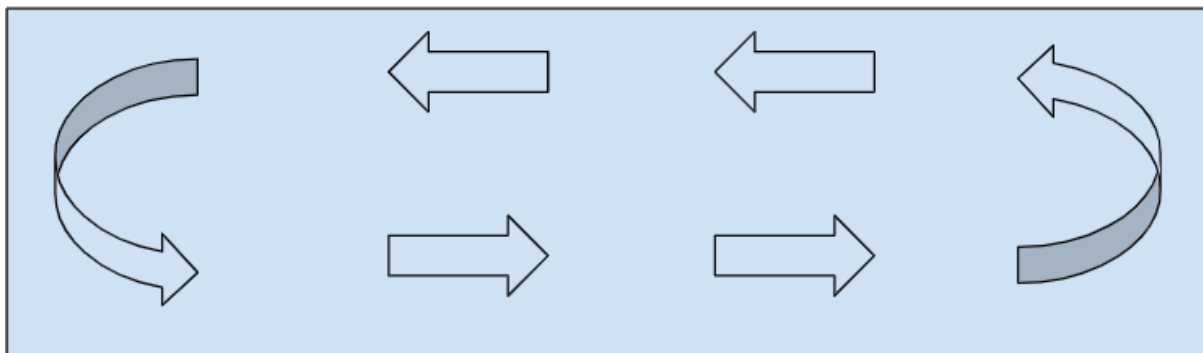


Imagen 37 - Sentido de movimiento de los peatones andando.

Como cuarto bloque, se realizan ensayos con los mismos 3 peatones andando de manera sincronizada y a las frecuencias objetivo, recogidas en la Tabla 6. Cabe destacar la importancia de la sincronización para excitar los diferentes modos de la pasarela. En estos ensayos se cruza la pasarela de extremo a extremo y, al llegar al lado opuesto al inicial, se espera hasta que la pasarela recupere el estado de reposo.

En quinto lugar, los ensayos de "skipping" y "bouncing" también se repiten esta vez con 3 peatones a una frecuencia de 3.25 Hz de manera sincronizada, sobre centro de vano y durante un tiempo de cuarenta segundos. Al transcurrir este tiempo se espera en reposo hasta que la pasarela recupere el estado original. Este ensayo también se repitió a una frecuencia de 5 Hz o, lo que es equivalente, 150 bpm (segundo armónico).

En el caso del ensayo de 'bouncing' con tres peatones, sólo se realizó a la frecuencia de 3.25 Hz

Una vez realizados todos los ensayos, el objetivo consistía en obtener tanto las aceleraciones máximas en cada eje de medición, como los valores de RMS máximos en cada prueba y, de esta manera, poderlos comparar con la normativa para estudiar la verificación del Estado Límite de Servicio. Se muestra en la siguiente tabla, un resumen de todos los valores obtenidos:

Ensayos	$a_{z,m\acute{a}x.}(m/s^2)$	$a_{z,RMS,m\acute{a}x.}$	$a_{y,m\acute{a}x.}(m/s^2)$	$a_{y,RMS,m\acute{a}x.}$	Repeticiones	Num. acel. eje Z		Num. acel. eje Y	
Ensayos de una persona andando a distintas frecuencias.						a_{max}	a_{RMS}	a_{max}	a_{RMS}
Registro 1, 3.25 Hz	0.61	0.11	2.06	0.5575	Una	1	1	8	8
Registro 2, 8 Hz	1.68	0.37	1.76	0.3248	Una	2	2	8	8
Registro 3, 7.75 Hz	1.06	0.26	2.46	0.7494	Una	3	3	8	8
Registro 4, 5 Hz	1.74	0.62	1.73	0.3417	Una	2	2	8	8
Registro 5, 4.25 Hz	0.68	0.14	2.28	0.6083	Una	2	2	8	8
Aquí empiezan los ensayos de skipping (s) y bouncing (b) de una sola persona a frecuencia de 3.25 Hz.						a_{max}	a_{RMS}	a_{max}	a_{RMS}
Registro 6, 's' 3.25 Hz	0.55	0.15	1.69	0.3358	Una	3	3	8	8
Registro 7, 'b' 3.25 Hz	0.85	0.2	0.78	0.206	Una	2	2	8	8
Registro 8, 's' 3.25 Hz	1.02	0.24	1.23	0.3053	Dos	3	3	8	8
Registro 9, 'b' 3.25 Hz	0.75	0.19	0.84	0.204	Dos	2	2	8	8
Aquí finalizan los ensayos con una única persona y empiezan los ensayos con 3 personas.						a_{max}	a_{RMS}	a_{max}	a_{RMS}
Registro 10, andando libremente	0.49	0.07	0.65	0.1398	Una	2	2	8	8
Registro 11, andando a 3.25 Hz	1.28	0.16	2.34	0.3815	Una	2	2	8	8
Registro 12, andando a 8 Hz	1.38	0.23	1.49	0.1743	Una	2	2	8	8
Registro 13, andando a 8 Hz	1.49	0.22	1.7061	0.2143	Dos	2	2	8	8
Registro 14, andando a 7.75 Hz	1.5	0.28	1.1341	0.1806	Una	2	2	8	8
Registro 15, andando a 5 Hz	3.13	0.51	1.9949	0.2739	Una	2	2	8	8
Registro 16, andando a 4.25 Hz	1.27	0.19	3.1838	0.4958	Una	3	3	8	8
Fin ensayos de 3 personas andando a distintas frecuencias y empiezan los análisis de skipping y bouncing.						a_{max}	a_{RMS}	a_{max}	a_{RMS}
Registro 17, 's' 3.25 Hz	0.52	0.11	1.5334	0.324	Una	1	4	8	8
Registro 18, 'b' 3.25 Hz	0.75	0.14	1.0723	0.1718	Una	2	2	8	8
Registro 19, 's' 5 Hz	3.13	0.93	2.5875	0.5681	Una	1	1	8	8

Tabla 9 – Valores de aceleraciones y RMS máximos obtenidos en la Campaña 1.

En la Tabla 9, se muestran los valores máximos obtenidos en cada ensayo, diferenciando entre aceleración vertical (eje 'z') y aceleración horizontal (eje 'y') (aceleración lateral), así como separando los valores RMS máximos de cada ensayo en cada eje.

Como se puede observar en la Imagen 35 (sistema de configuración 3 de los acelerómetros), los acelerómetros 1, 2, 3 y 4 están dispuestos de manera que miden aceleraciones verticales (eje 'z'). Por el contrario, los acelerómetros 5, 6, 7 y 8 miden aceleraciones horizontales (eje 'y').

Observando la Tabla 9 así como la Imagen 36, se puede saber la localización de los acelerómetros, el valor exacto de aceleraciones y con ello dónde se encuentran estas aceleraciones máximas en toda la pasarela. Se puede concluir que el acelerómetro número 8, es el que registra todas las aceleraciones horizontales más altas. Este acelerómetro se encuentra situado en el centro del vano principal de la pasarela peatonal y mide dichas aceleraciones en el eje Y.

Para aceleraciones verticales, los acelerómetros que registran las aceleraciones máximas son el número 2 y el 3 en el 90% de los casos aproximadamente. Es lo esperado, puesto que estos son los que se encuentran justo en el centro de vano de la pasarela y los modos de frecuencia más baja (cuya contribución es de esperar que sea relevante) tienen máxima amplitud en esta sección.

Hay que mencionar también que en algunos ensayos ocurrió que, distintos acelerómetros saturaron (el límite de saturación de los acelerómetros utilizados es 0.5g). Es decir, se sobre pasó el límite que son capaces de medir y dejaron de hacerlo, por lo que para la tabla anterior y los distintos cálculos realizados, se eliminan los valores obtenidos por los acelerómetros que saturan para que no se distorsione el resultado final.

Por último, una vez hemos sido capaces de conocer estas aceleraciones para cada registro, se puede comparar cada una de las aceleraciones, diferenciando entre la vertical y la horizontal con la normativa vigente para ver si la pasarela objeto de estudio cumple con la misma.

En la Tabla 10, se muestra la misma Tabla 9 pero con un código de colores comparando los valores con los límites de la normativa española para puentes de carretera y pasarelas peatonales IAP-11 [8].

Ensayos	$a_{z,m\acute{a}x.} (m/s^2)$	$a_{RMS,m\acute{a}x.}^z$	$a_{y,m\acute{a}x.} (m/s^2)$	$a_{RMS,m\acute{a}x.}^y$
Registro 1, 3.25 Hz	0.61	0.11	2.06	0.5575
Registro 2, 8 Hz	1.68	0.37	1.76	0.3248
Registro 3, 7.75 Hz	1.06	0.26	2.46	0.7494
Registro 4, 5 Hz	1.74	0.62	1.73	0.3417
Registro 5, 4.25 Hz	0.68	0.14	2.28	0.6083
Registro 6, 's' 3.25 Hz	0.55	0.15	1.69	0.3358
Registro 7, 'b' 3.25 Hz	0.85	0.2	0.78	0.206
Registro 8, 's' 3.25 Hz	1.02	0.24	1.23	0.3053
Registro 9, 'b' 3.25 Hz	0.75	0.19	0.84	0.204
Registro 10, andando libremente	0.49	0.07	0.65	0.1398
Registro 11, andando a 3.25 Hz	1.28	0.16	2.34	0.3815
Registro 12, andando a 8 Hz	1.38	0.23	1.49	0.1743
Registro 13, andando a 8 Hz	1.49	0.22	1.7061	0.2143
Registro 14, andando a 7.75 Hz	1.5	0.28	1.1341	0.1806
Registro 15, andando a 5 Hz	3.13	0.51	1.9949	0.2739
Registro 16, andando a 4.25 Hz	1.27	0.19	3.1838	0.4958
Registro 17, 's' 3.25 Hz	0.52	0.11	1.5334	0.324
Registro 18, 'b' 3.25 Hz	0.75	0.14	1.0723	0.1718
Registro 19, 's' 5 Hz	3.13	0.93	2.5875	0.5681

Tabla 10 – Valores obtenidos comparados con la normativa.

Con la Imagen 36, se puede conocer que indica cada color marcado en la tabla superior.



Imagen 38 – Código de colores utilizado para la Tabla 9.

Para el correcto entendimiento de la imagen anterior es conveniente explicar que las distintas clases (1, 2, 3 y 4) son como la normativa divide los distintos niveles de comodidad en las pasarelas peatonales. Siendo la clase 1 donde mayor comodidad existe y la clase 4, la clase con menor comodidad al paso de peatones.

En el anexo 3.2. se muestran las distintas tablas realizadas para cada ensayo donde se recopila tanto la aceleración máxima como el valor RMS máximo recogido en los distintos ensayos realizados.

Para este proyecto se ha tomado la decisión de únicamente comparar los resultados con la normativa de la IAP-11 [8] y se han obtenido las conclusiones respecto a ésta misma, Pero se debe destacar que se podría comparar con los Euro Códigos [7] siguiendo el mismo procedimiento, teniendo en cuenta que los resultados podrían diferir.

Por lo que se concluye que, si bien solo hay un valor (0.49 m/s²) en el caso de andar libremente en el eje Z (registro 10 de la Tabla 10) que se encuentra dentro de los valores de máxima comodidad (clase 1), dicho valor se encuentra justo en el límite. Para el resto de los casos se va a diferenciar entre comodidad respecto al eje vertical (eje Z) así como comodidad respecto al eje horizontal (eje Y).

Mayoritariamente, para el eje Z, la pasarela peatonal objeto de estudio se encuentra en la clase 3, la cual es la mínima admisible para el confort de los usuarios.

Por otro lado, para el eje Y, dicha pasarela se cataloga como clase 4, lo cual es inadmisibles para el confort de los usuarios salvo en dos registros en los que la pasarela se puede catalogar como clase 3.

4.5. Campaña 2: valoración del nivel de vibraciones con un número elevado de viandantes

En el planteamiento del proyecto existía la intención de realizar esta campaña para comprobar el comportamiento de la pasarela peatonal bajo un número elevado de viandantes, pero debido a la falta de tiempo se ha preferido centrar esfuerzos en la Campaña 1 y dejar para trabajos futuros esta Campaña 2.

4.6. Resultados y conclusiones de los estudios experimentales

Los resultados obtenidos en la Campaña 0, tanto los valores de frecuencias críticas como las tasas de amortiguamiento, han sido el punto de partida para realizar la Campaña 1.

Con los resultados obtenidos de la Campaña 1, se ha elaborado la Tabla 9 (en el apartado 4.4.). Para que sea más visual la comparativa de los valores obtenidos con los valores que recomienda la normativa en función de las distintas clases que existen, en este caso, se han comparado con la normativa española de puentes de carretera IAP-11 [8].

Observando dicha tabla, podemos concluir que en la mayoría de los casos para aceleraciones horizontales (eje Y), la pasarela se clasificaría como clase 4 (inadmisible). Sin embargo, para aceleraciones verticales (eje Z), sí que hay un registro que pertenecería a la clase 1, es decir, la máxima. Dicho registro corresponde a la actividad en la que tres viandantes anduvieron libremente por la pasarela durante cinco minutos. En general, en este eje, la pasarela peatonal pertenecería a la clase 3 (valores mínimos).

Para concluir este apartado, cabe destacar que esta pasarela peatonal que se está analizando es una pasarela muy poco transitada, por lo que no es tan imprescindible pertenecer a las clases de confort más elevadas ya que el flujo de personas que lo atraviesan es muy bajo y elevar el confort supondría encarecer el presupuesto para mitigar estas aceleraciones excesivas.

5. Modelización numérica de la pasarela

5.1. Descripción de los modelos numéricos implementados

Para la implementación de los modelos numéricos se ha hecho uso de la licencia del programa informático de SolidWorks que con ayuda de Matlab se han obtenido los parámetros necesarios.

Mediante dicho programa informático (MatLab) se implementó un código con el que se obtiene como resultado el error de frecuencia, el MAC, así como el factor de correlación en una hoja de Excel.

Como se ha mencionado anteriormente, con ayuda del código se han obtenido todos los parámetros que han sido necesarios para poder obtener una conclusión de la manera más acertada posible. A continuación, se explican en detalle:

El error de frecuencia es la diferencia que hay entre la frecuencia obtenida de manera experimental y la frecuencia obtenida mediante el modelo numérico.

El MAC es la diferencia que existe en deformarse la pasarela comparando el modo experimental y el modo numérico, entendiéndose, el valor igual a la unidad como que no hay diferencia y, por lo tanto, el modo coincide. El valor nulo (cero) indica que la diferencia es máxima.

Finalmente, la función de correlación da la relación directa entre el error de frecuencia y el MAC.

Con todos estos parámetros mencionados anteriormente se obtiene la función objetivo (Ecuación 2) operando la función de correlación por un factor de atenuación distinto, dependiendo de a cuál de los modos esté multiplicando, siendo el primer modo el que más influencia tiene y el último de ellos el que menos.

$$f_{obj} = w_1 * f_{cor_1j} + w_2 * f_{cor_2j} + w_3 * f_{cor_3j} + w_4 * f_{cor_4j} \quad (2)$$

En la ecuación anterior se está multiplicando el factor de atenuación correspondiente (w_i) a los modos 1, 2, 3 y 4 respectivamente por el factor de correlación mayor obtenido de cada modo (f_{cor_ij}). Este valor de correlación se obtiene en un fichero '.xlsx' con la ayuda del código mencionado anteriormente.

En la siguiente tabla se muestran los valores de dichos factores de atenuación:

Modos	Factor de atenuación correspondiente (w_i)
1	0.5
2	0.267
3	0.133
4	0.1

Tabla 11 - Factores para la función objetivo.

En primer lugar, el objetivo era conocer cuáles eran los modos de frecuencia experimentales que coincidían con los modos de frecuencia obtenidos en el modelo numérico para tener en cuenta por su influencia.

En la siguiente tabla se puede observar a qué modo corresponde cada uno de manera general:

Modo experimental	Corresponde con:	Modo numérico	Frecuencia buscada (Hz)
1	—————▶	1	3.25
2	—————▶	2	4.25
3	—————▶	3	5
4	—————▶	9	8.5

Tabla 12 - Frecuencias buscadas.

Después de realizar los estudios pertinentes y como se puede observar en las imágenes que se adjuntan en 'punto 5.3.', el último modo no se puede interpretar como un resultado válido, ya que, en esta investigación se quiere conocer cómo se deforma el vano principal de la pasarela peatonal y el último modo de vibración que se ha obtenido (en ocasiones corresponde con el modo 9 y en otras con el modo 10 de las imágenes) la parte deformada es siempre una de los dos rampas (Este u Oeste) y por lo tanto, no se puede aceptar como válido este último modo. Únicamente se toman como válidos los tres primeros modos obtenidos. En las imágenes mencionadas se puede leer un 'no válido' para los modos descartados.

Ya en segundo lugar y para finalizar el proyecto, el objetivo era conocer cuáles eran las propiedades exactas de los materiales con los que se conseguían mejores resultados. Es decir, con qué parámetros se obtenía la función de correlación máxima.

Estas propiedades que se han analizado han sido:

- Densidad del acero. (+/- 10%)
- Densidad del hormigón. (+/- 20%)
- Módulo elástico del hormigón. (+/- 20%)
- Espesor de la chapa. (4, 5 o 6 mm)

Se ha de mencionar también que se ha tenido en cuenta una posible variación de cada parámetro, valores entre paréntesis, como se ha indicado para abarcar un mayor rango de posibilidades.

En la siguiente tabla, se observa el factor de correlación obtenido en cada análisis y en los distintos modos, así como el valor de la función objetivo:

Modo	Análisis	Factor correlación	Función objetivo
1	1	0.89795	0.917469
2		0.90813	
3		0.99787	
4		0.93302	
1	2	0.92646	0.93789
2		0.93117	
3		0.98432	
4		0.9512	
1	3	0.87429	0.89681
2		0.88739	
3		0.98573	
4		0.91632	
1	4	0.83871	0.85997
2		0.85038	
3		0.9437	
4		0.88047	
1	5	0.94892	0.95202
2		0.9578	
3		0.95471	
4		0.94856	
1	6	0.89795	0.91747
2		0.90814	
3		0.99787	
4		0.93304	
1	7	0.89795	0.91746
2		0.90813	
3		0.99787	
4		0.933	
1	8	0.89667	0.91611
2		0.90671	
3		0.99709	
4		0.93062	
1	9	0.89975	0.91936
2		0.91	
3		0.99896	
4		0.93638	
1	10	0.92485	0.93572
2		0.93553	
3		0.96694	
4		0.94905	
1	11	0.87019	0.88688
2		0.87548	
3		0.96272	
4		0.89996	

Tabla 13 – Resumen de datos obtenidos.

En la Tabla 13, se observa que el mayor valor obtenido para la función objetivo se consigue con los parámetros del análisis 5, que, a continuación, se puede ver qué valores tienen las propiedades de los materiales para obtener la mejor simulación posible, es decir, la que más se aproxima a la realidad.

Análisis	Propiedades de los materiales			
	$\rho_{\text{acero}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\rho_{\text{hormigón}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$E_{\text{hormigón}} \text{ (Mpa)}$	$E_{\text{chapa}} \text{ (mm)}$
1	7850	2300	33620	5
2	7850	2300	33620	4
3	7850	2300	33620	6
4	7065	2300	33620	5
5	8635	2300	33620	5
6	7850	2760	33620	5
7	7850	1840	33620	5
8	7850	2300	40344	5
9	7850	2300	26896	5
10	8635	2760	40344	6
11	7065	1840	26896	4

Tabla 14 - Parámetros utilizados en cada análisis.

5.2. Estudios de sensibilidad

En puntos anteriores se han determinado modos de vibración objetivo, por lo que en la simulación del modelo numérico, se intentan buscar frecuencias parecidas. Si no pueden ser iguales que estén lo más próximas posibles.

A continuación, se añaden unas fotografías para poder entender de manera visual la forma en la que puede responder la pasarela al ser excitada.

Para conseguir un campo de resultados más amplio, se consideran algunos errores y por ello se realizan varios análisis variando parámetros de manera acorde con lo que se cree que puede variar el valor real de dichos parámetros.

En los análisis que se adjuntan, los valores propuestos han sido los siguientes:

- Densidad del acero: 7850 kg/m³
- Densidad del hormigón: 2300 kg/m³
- Espesor de la chapa: 4 mm
- Módulo elástico del hormigón: 33620 MPa

5.3. Conclusiones de la modelización numérica

Finalmente, observando el valor más elevado de la función objetivo una vez obtenidas y cruzando las múltiples posibilidades, se puede afirmar con seguridad que los parámetros óptimos son los que corresponden al análisis 5 para la pasarela peatonal objeto de estudio y son los siguientes:

- Densidad del acero: 8635 Kg/m³
- Densidad del hormigón: 2300 Kg/m³
- Módulo elástico del hormigón: 33620 MPa
- Espesor de la chapa: 5 mm

Por último, se adjuntan las distintas imágenes de la deformada de la pasarela peatonal diferenciando entre qué modo de vibración es y la frecuencia que provoca dicha deformada:

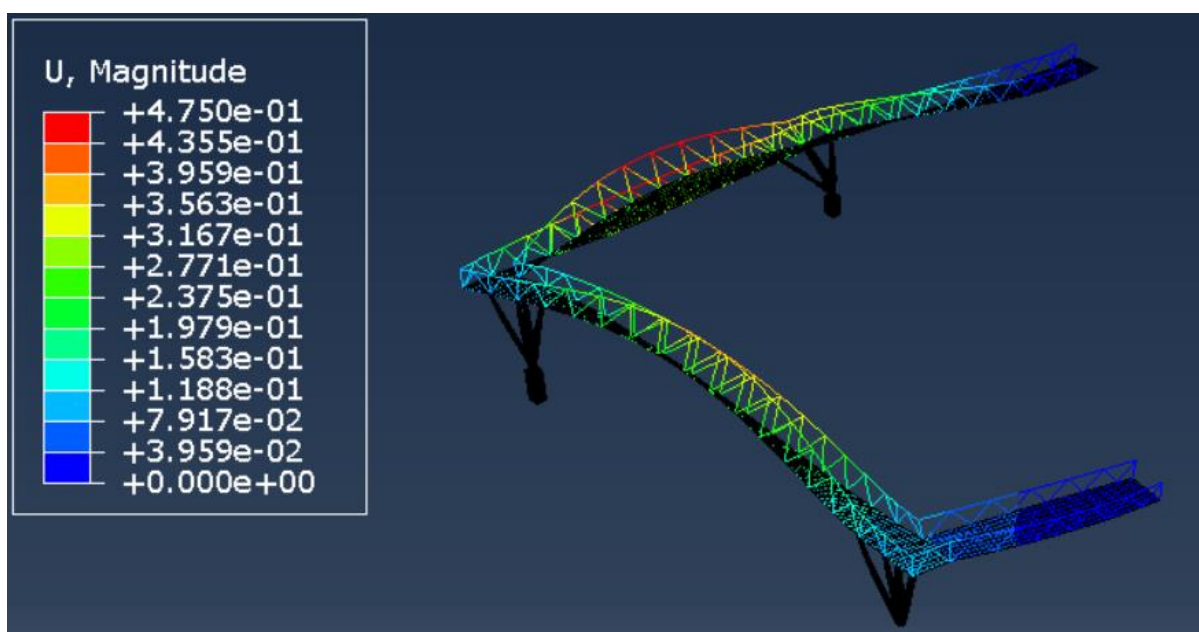


Imagen 39 - Modo de vibración 1, frecuencia 3,48 Hz.

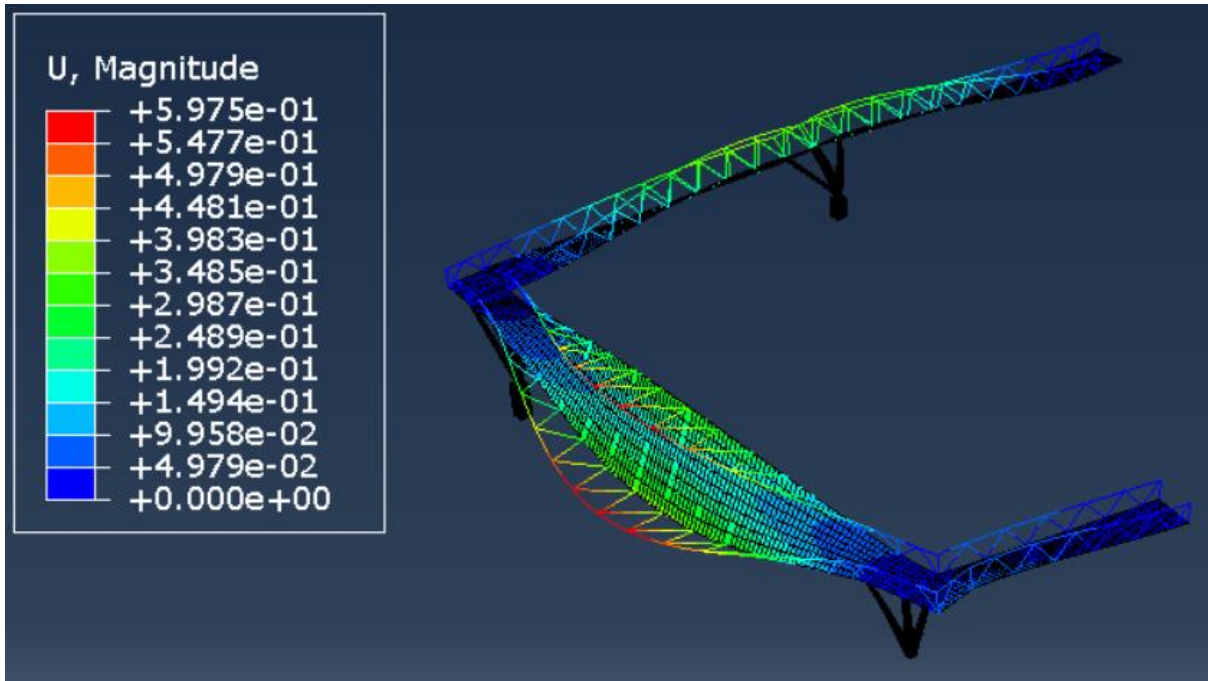


Imagen 40 – Modo de vibración 2, frecuencia 4,51 Hz.

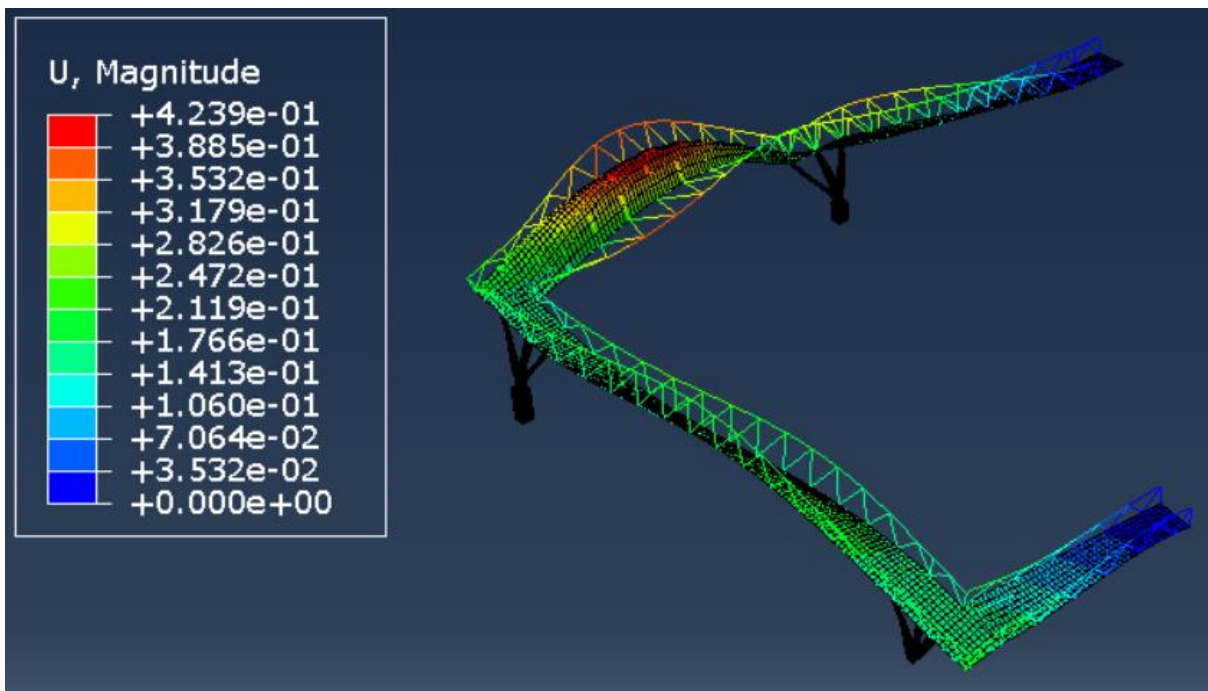


Imagen 41 – Modo de vibración 4, frecuencia 5,07 Hz.

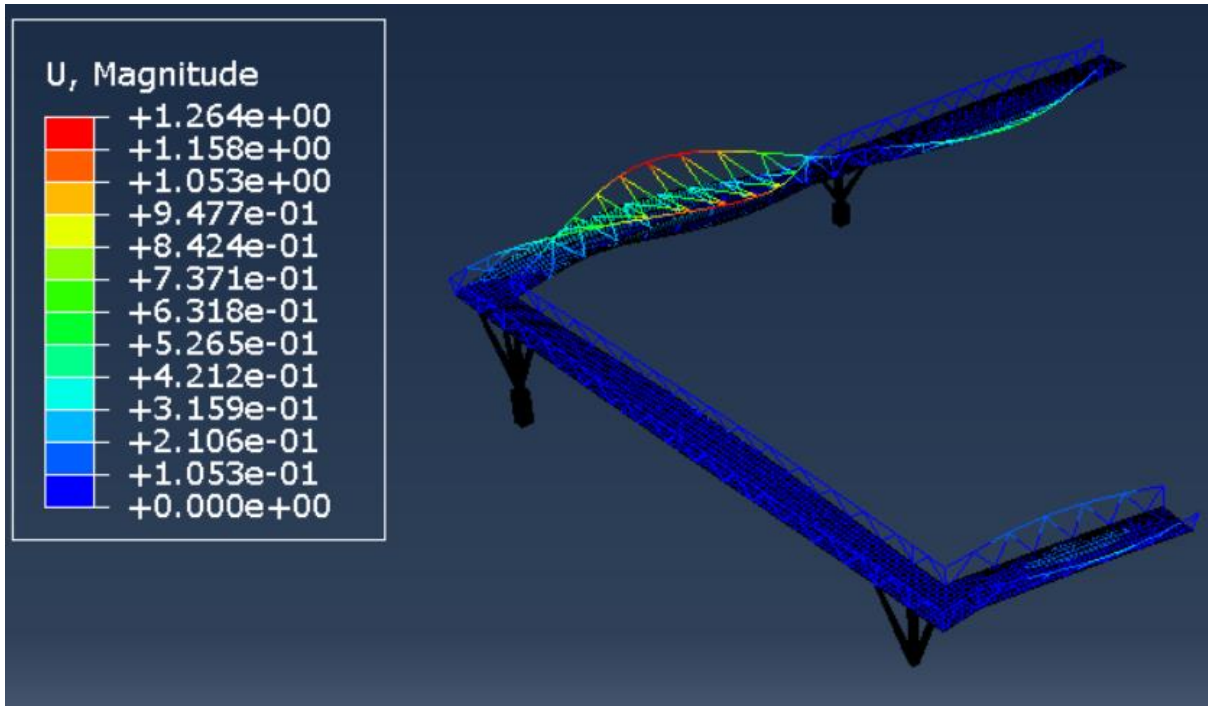


Imagen 42 – Modo de vibración 10, frecuencia 7,94 Hz. 'no válido'

- Densidad del acero: 7850 kg/m³
- Densidad del hormigón: 2300 kg/m³
- Espesor de la chapa: 5 mm
- Módulo elástico del hormigón: 33620 MPa

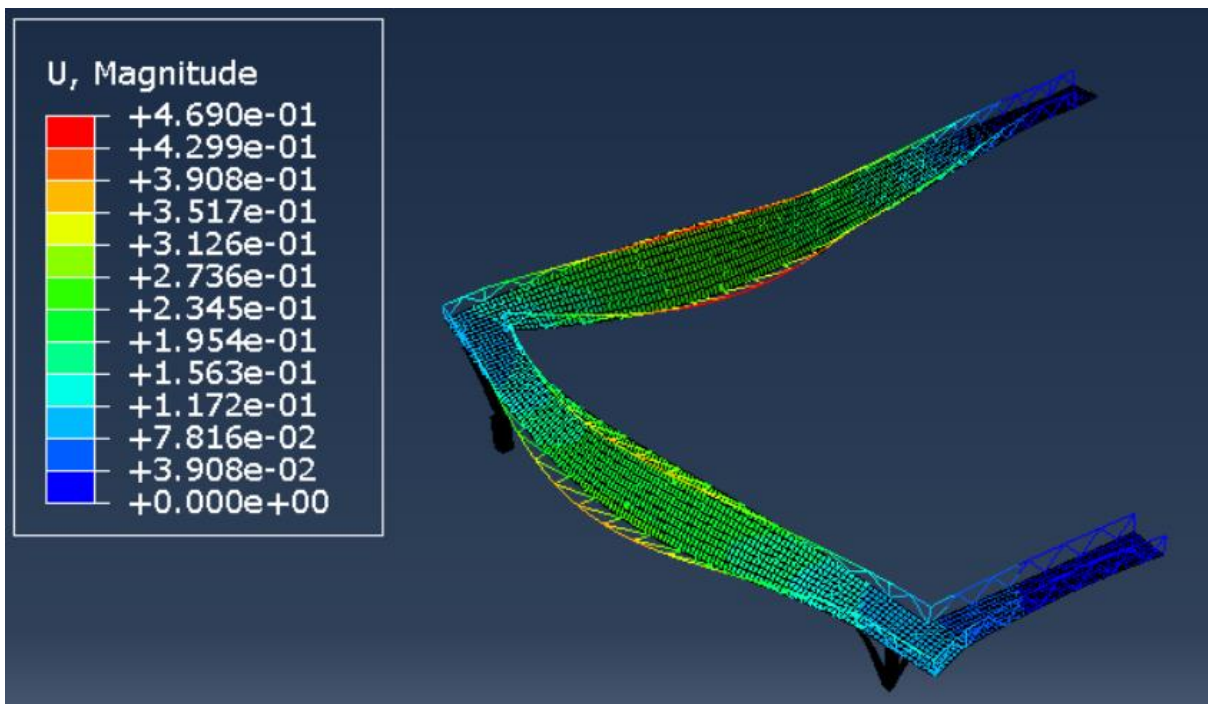


Imagen 43 – Modo de vibración 1, frecuencia 3,57 Hz.

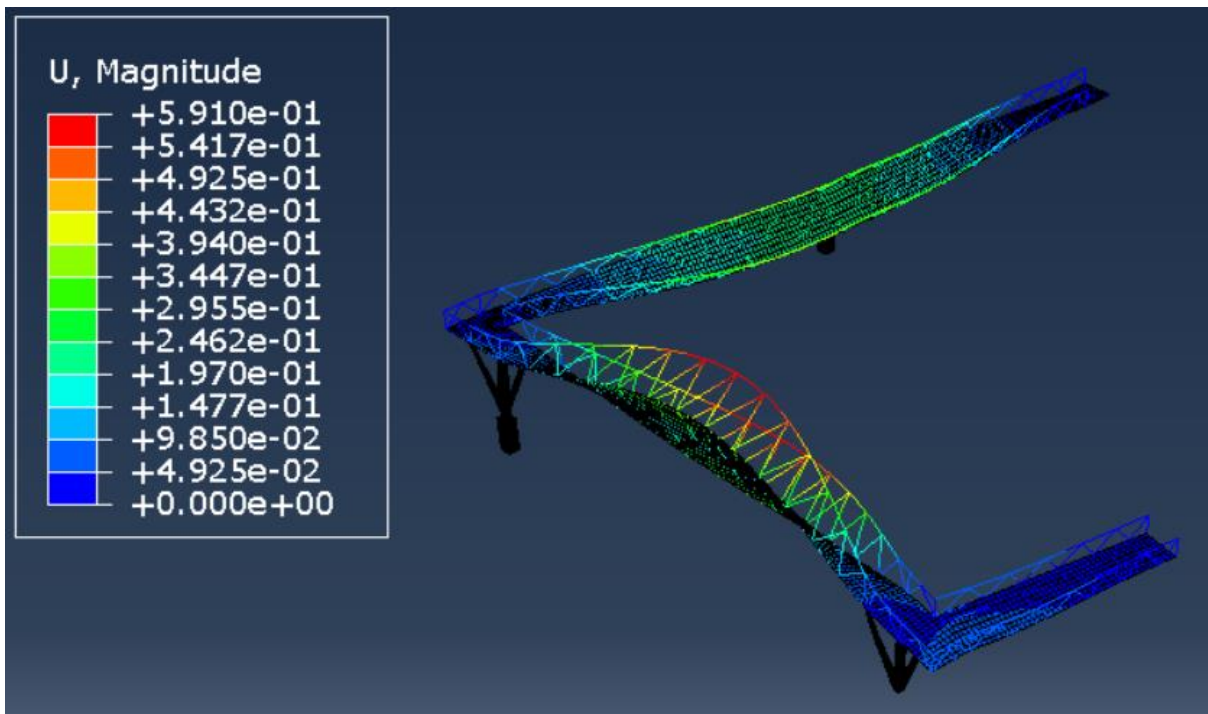


Imagen 44 – Modo de vibración 2, frecuencia 4,59 Hz.

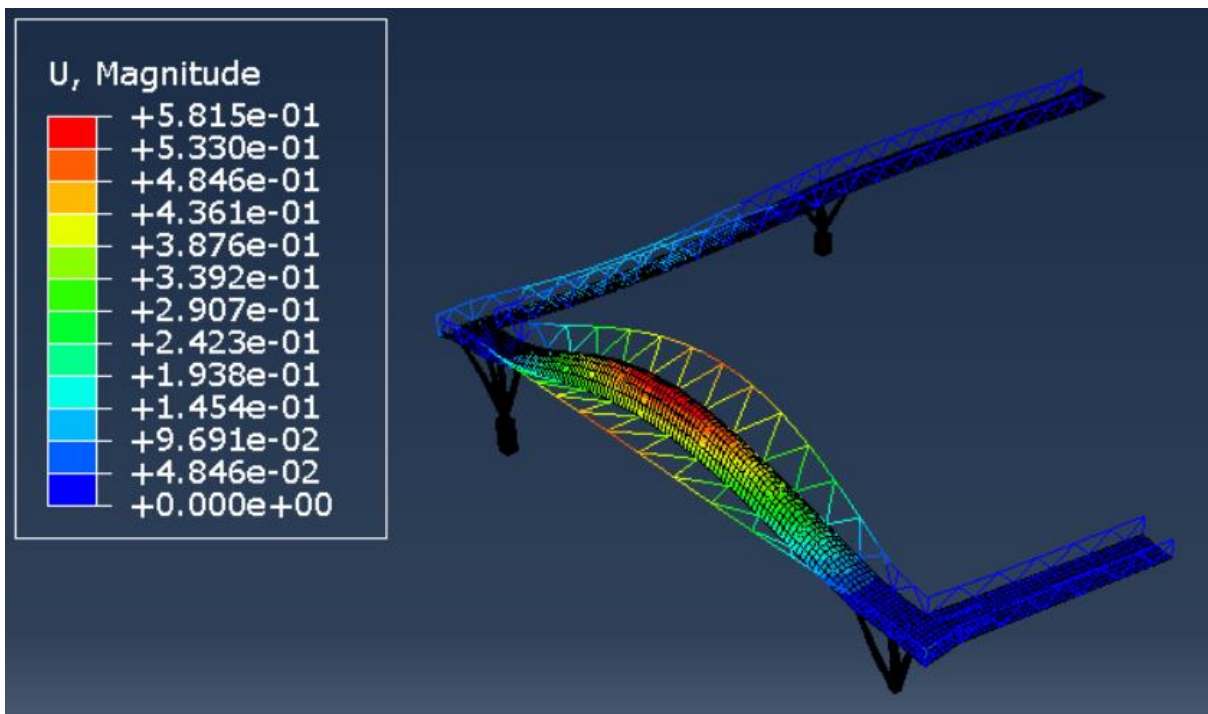


Imagen 45 – Modo de vibración 3, frecuencia 5 Hz.

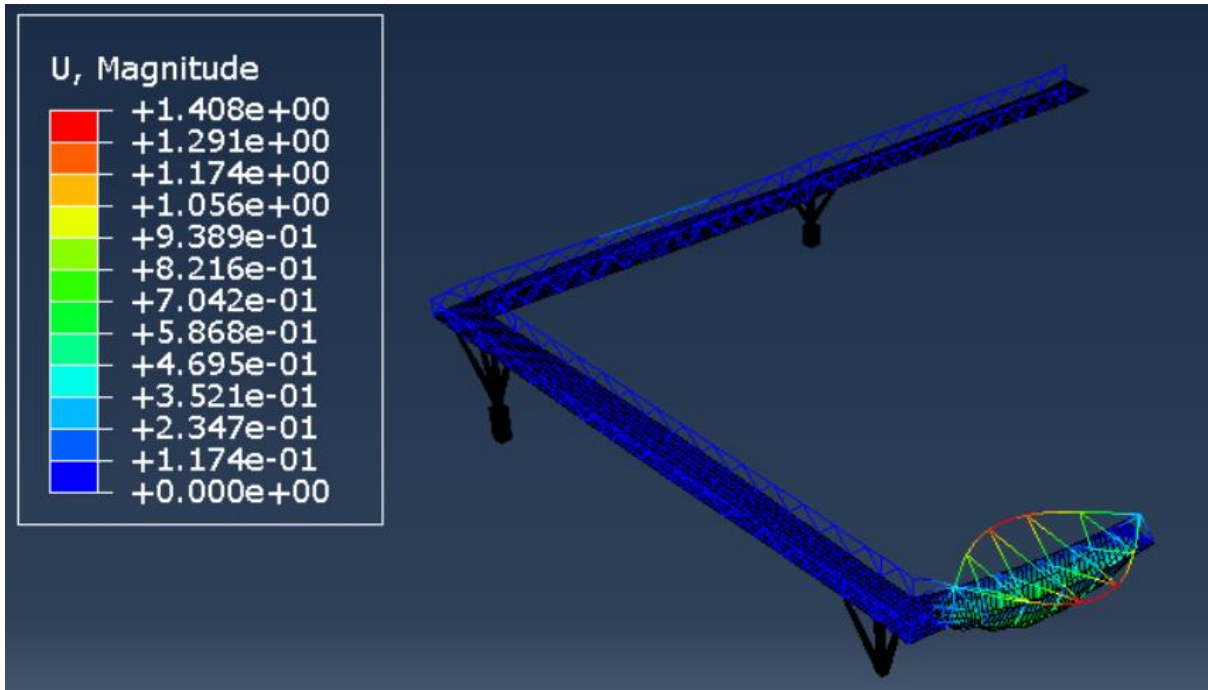


Imagen 46 – Modo de vibración 9, frecuencia 7,9 Hz. ‘no válido’

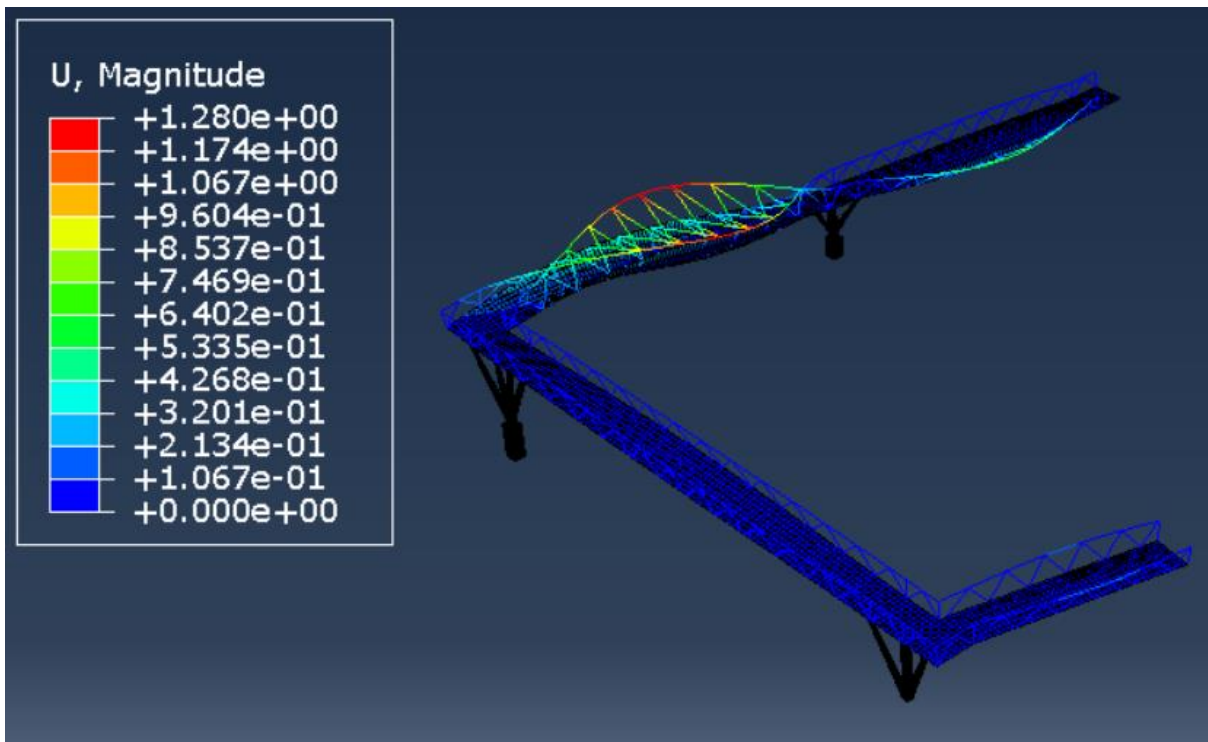


Imagen 47 – Modo de vibración 10, frecuencia 7,96 Hz. ‘no válido’

- Densidad del acero: 7850 kg/m³
- Densidad del hormigón: 2300 kg/m³
- Espesor de la chapa: 6 mm
- Módulo elástico del hormigón: 33620 MPa

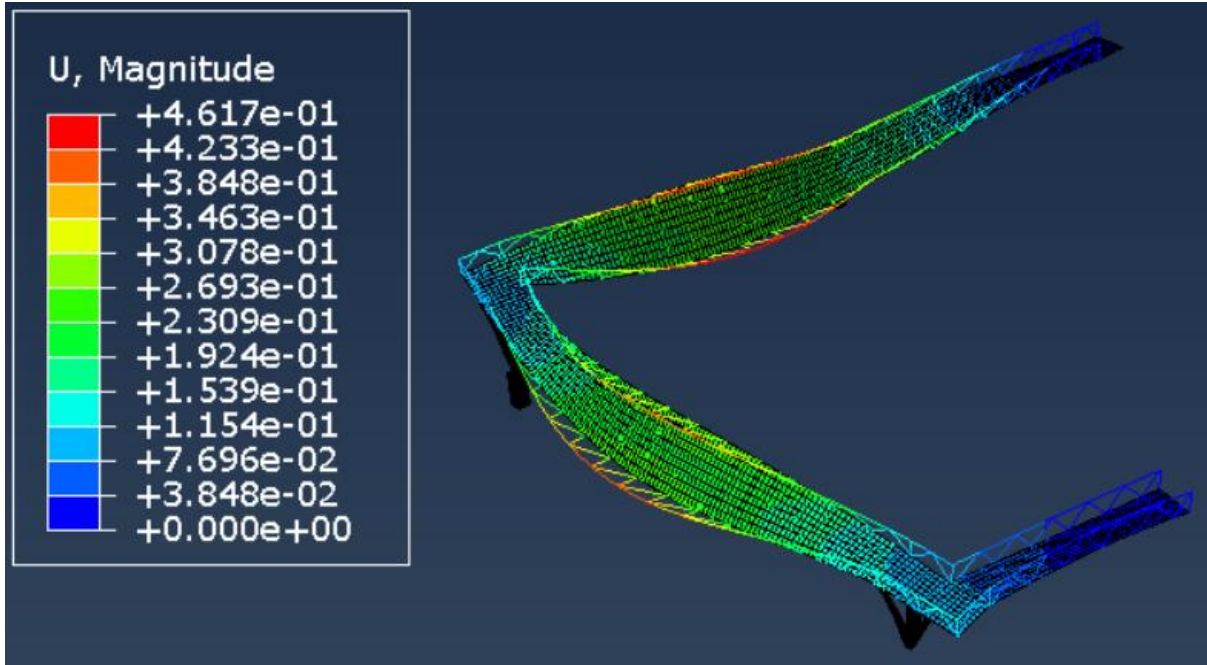


Imagen 48 – Modo de vibración 1, frecuencia 3,65 Hz.

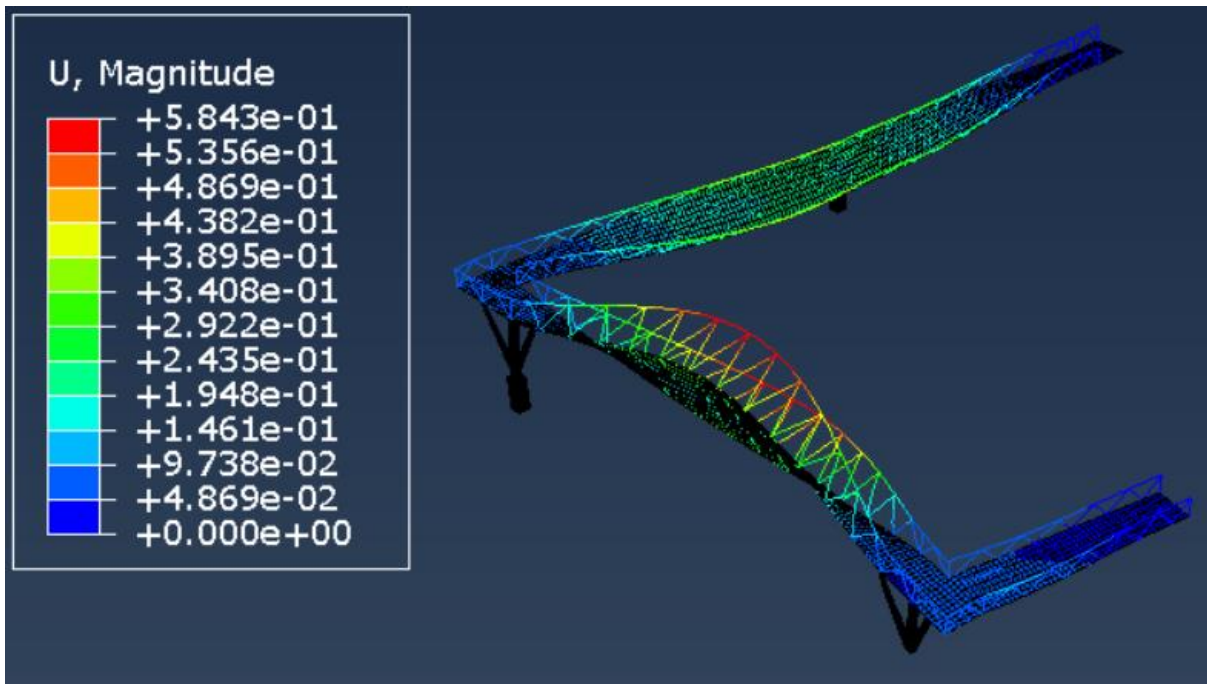


Imagen 49 – Modo de vibración 2, frecuencia 4,66 Hz.

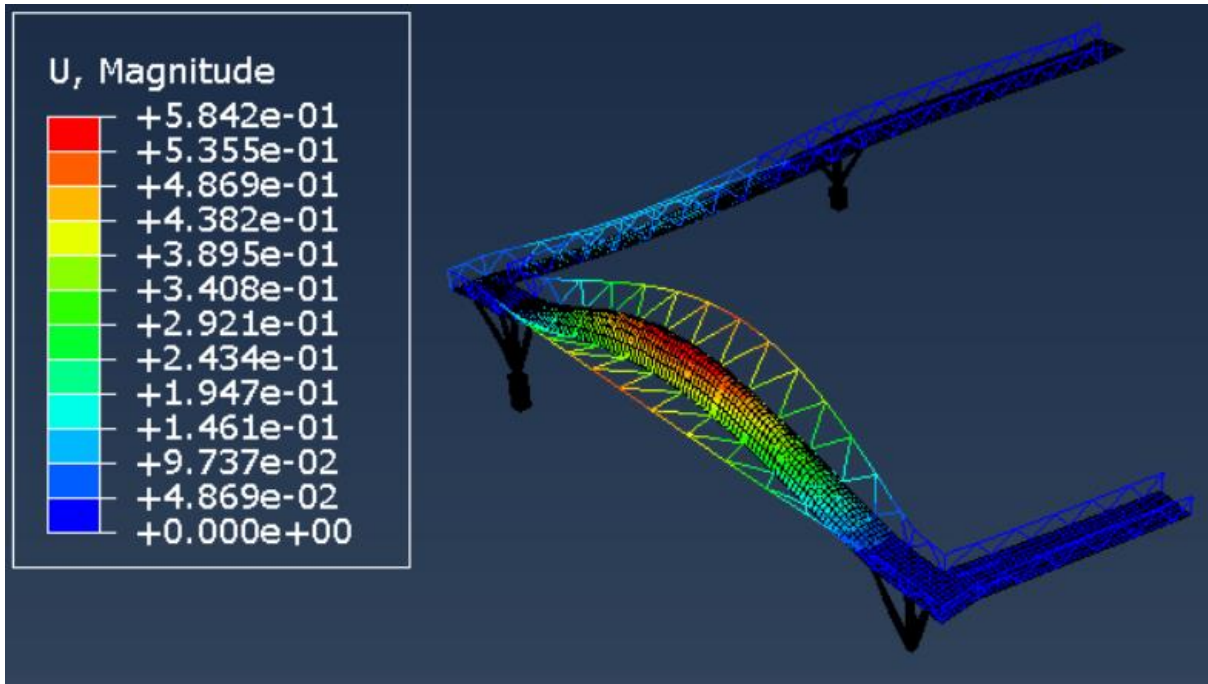


Imagen 50 – Modo de vibración 3, frecuencia 5,07 Hz.

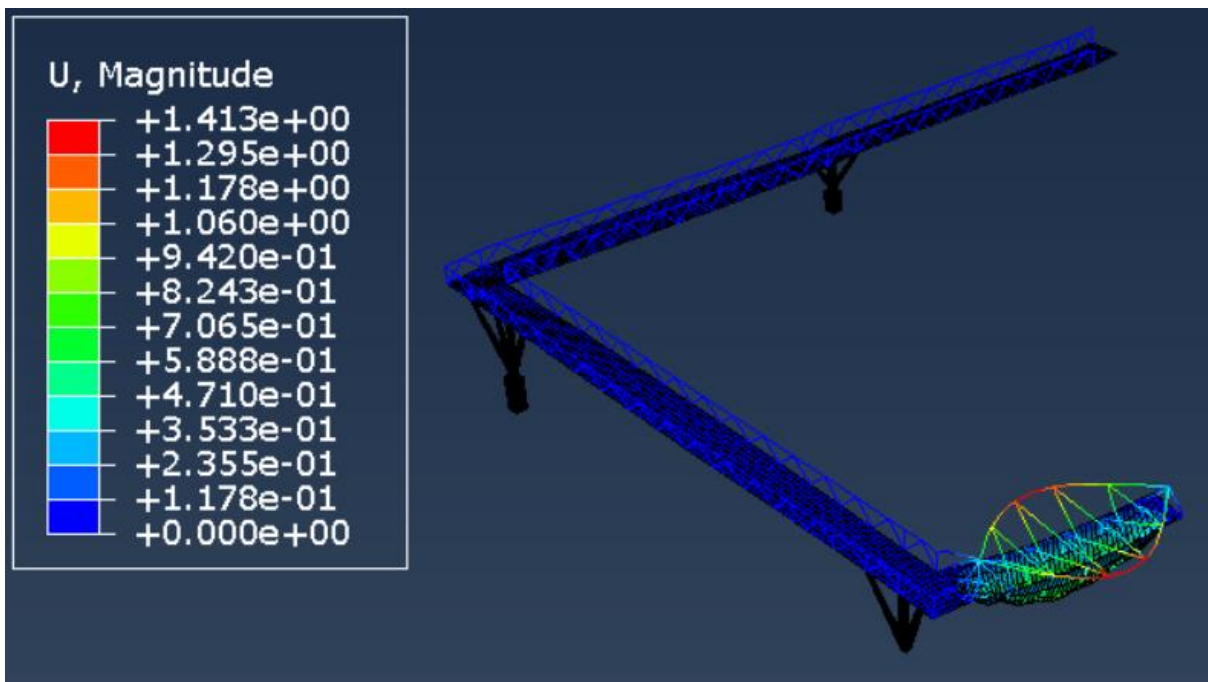


Imagen 51 – Modo de vibración 9, frecuencia 7,91 Hz. 'no válido'

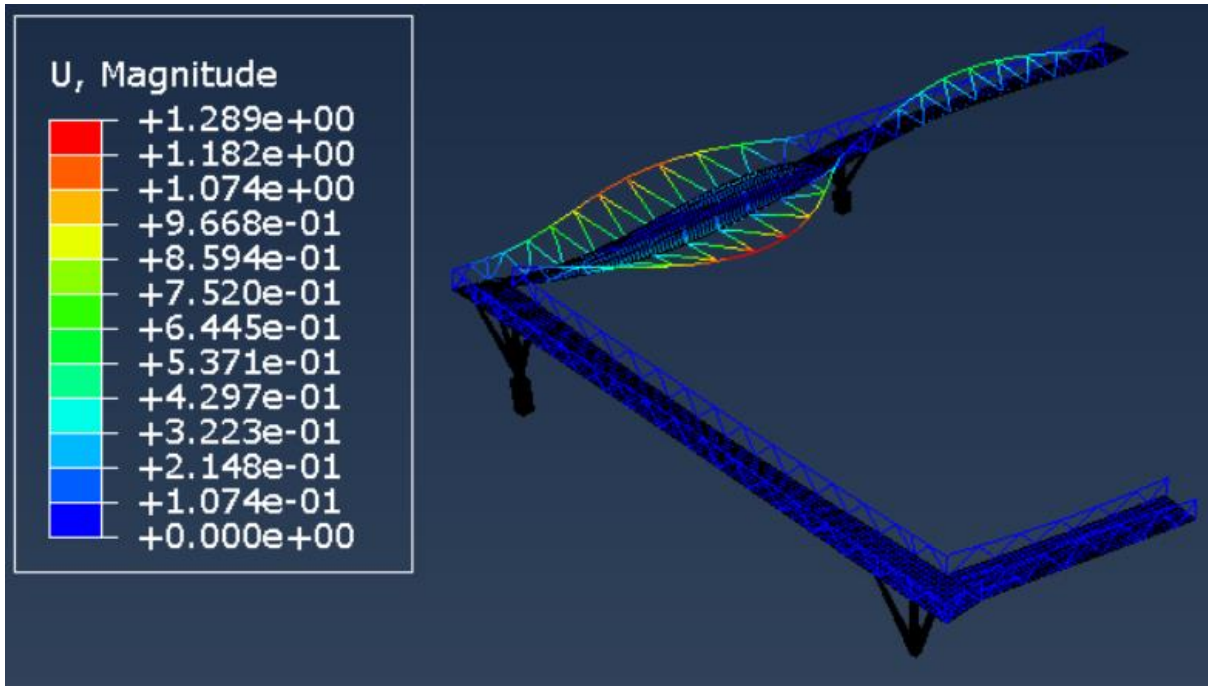


Imagen 52 – Modo de vibración 10, frecuencia 7,97 Hz. ‘no válido’

- Densidad del acero: 8635 kg/m³
- Densidad del hormigón: 2300 kg/m³
- Espesor de la chapa: 4 mm
- Módulo elástico del hormigón: 33620 MPa

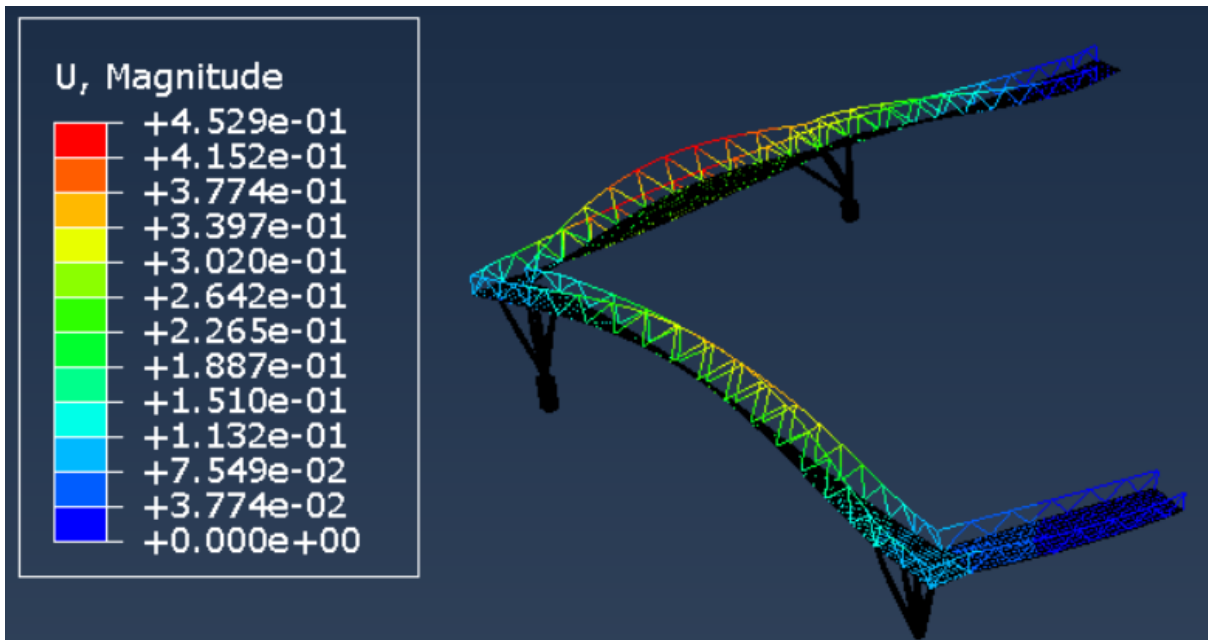


Imagen 53 – Modo de vibración 1, frecuencia 3,32 Hz.

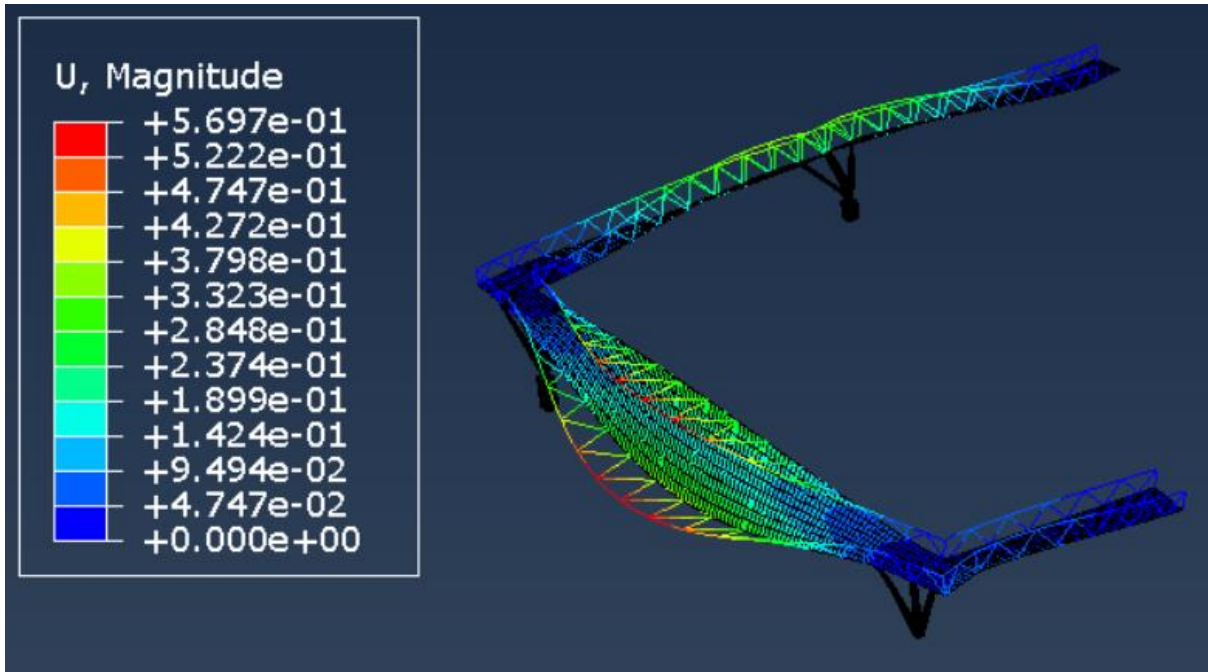


Imagen 54 – Modo de vibración 2, frecuencia 4,3 Hz.

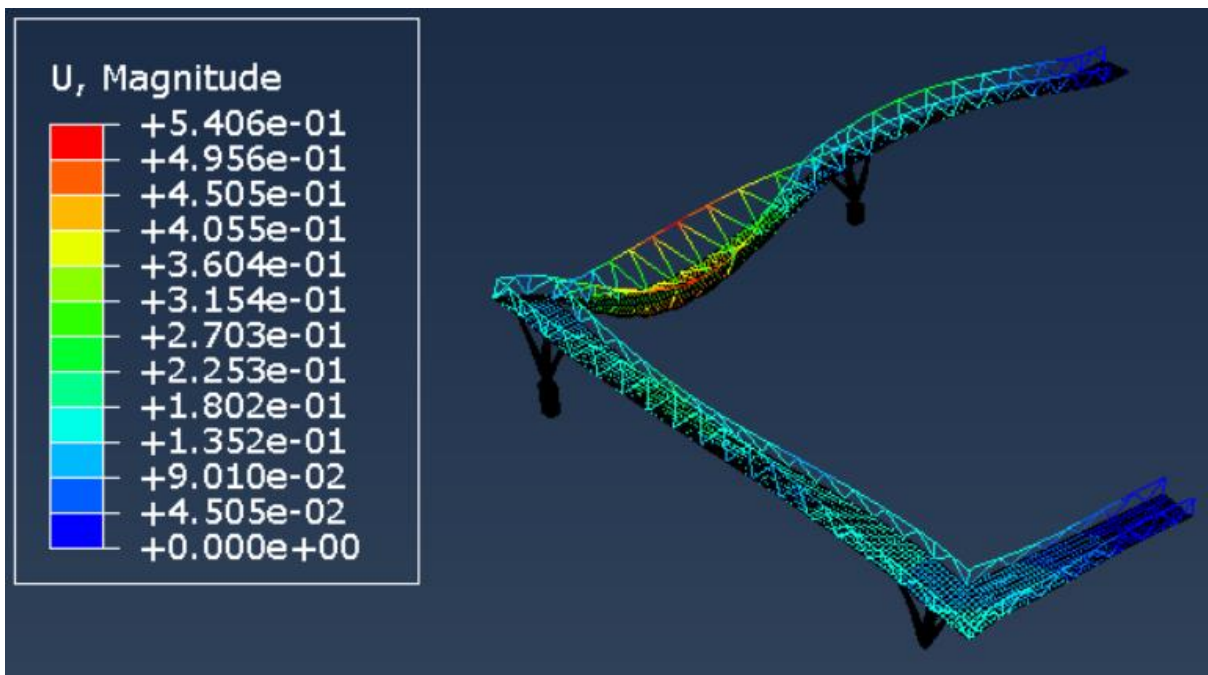


Imagen 55 – Modo de vibración 5, frecuencia 5,27 Hz.

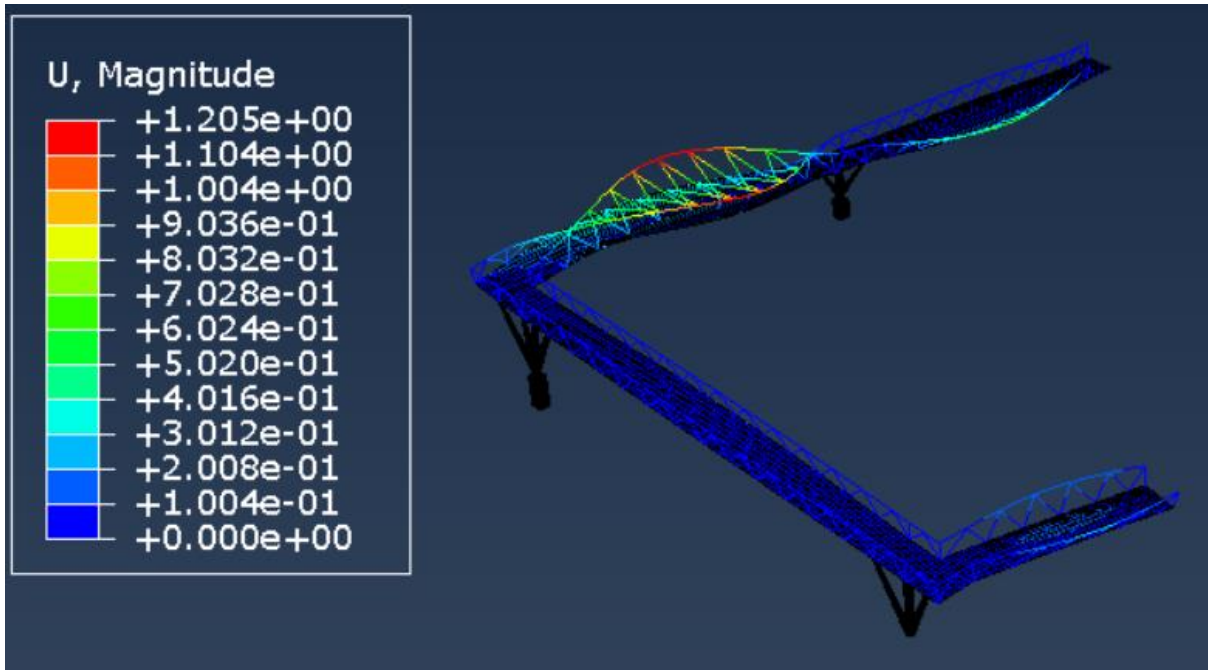


Imagen 56 – Modo de vibración 10, frecuencia 7,57 Hz. ‘no válido’

- Densidad del acero: 7065 kg/m³
- Densidad del hormigón: 2300 kg/m³
- Espesor de la chapa: 4 mm
- Módulo elástico del hormigón: 33620 MPa

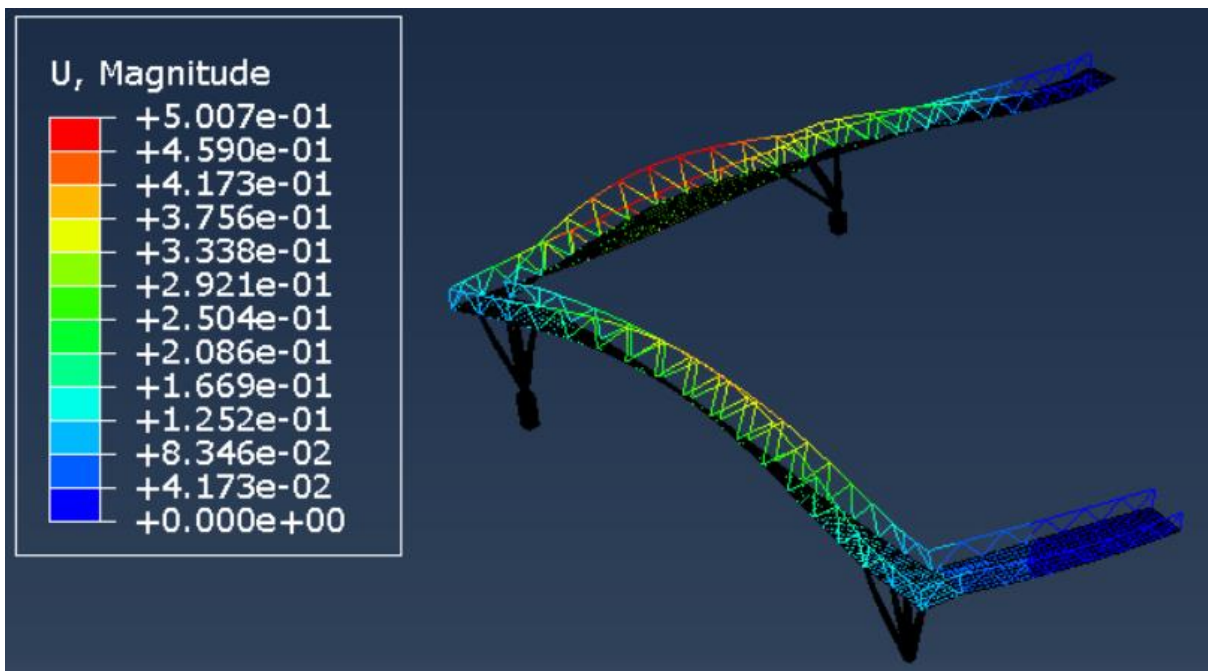


Imagen 57 – Modo de vibración 1, frecuencia 3,67 Hz.

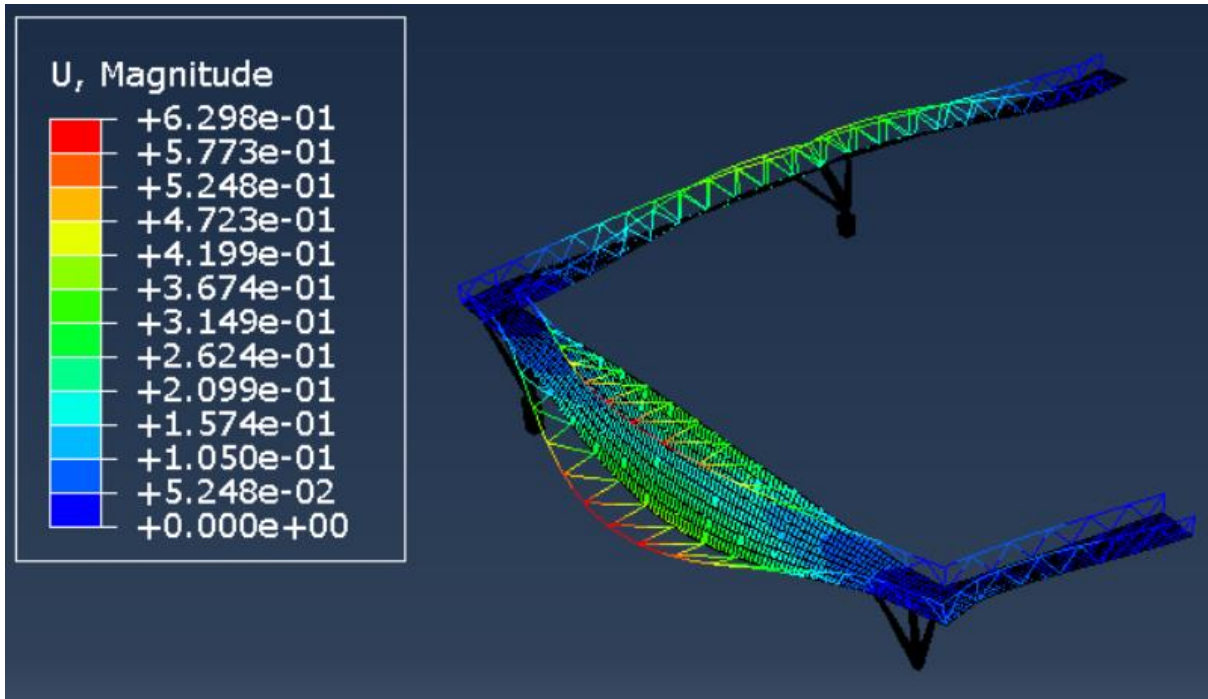


Imagen 58 – Modo de vibración 2, frecuencia 4,75 Hz.

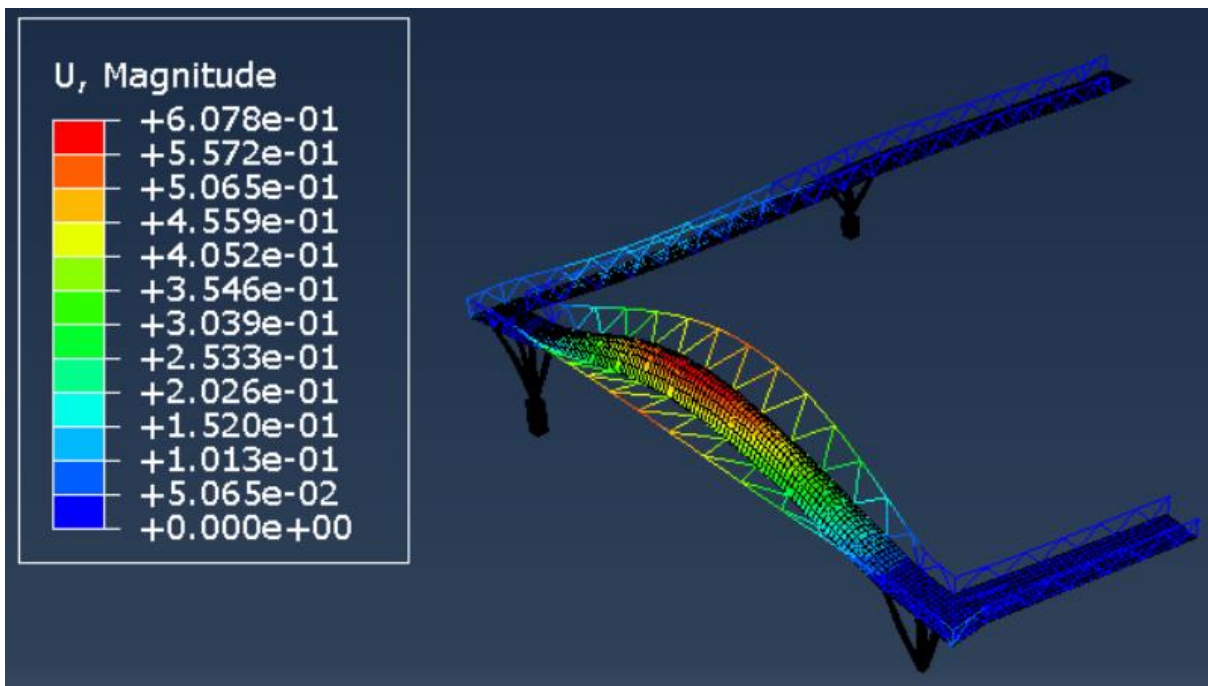


Imagen 59 – Modo de vibración 3, frecuencia 5,19 Hz.

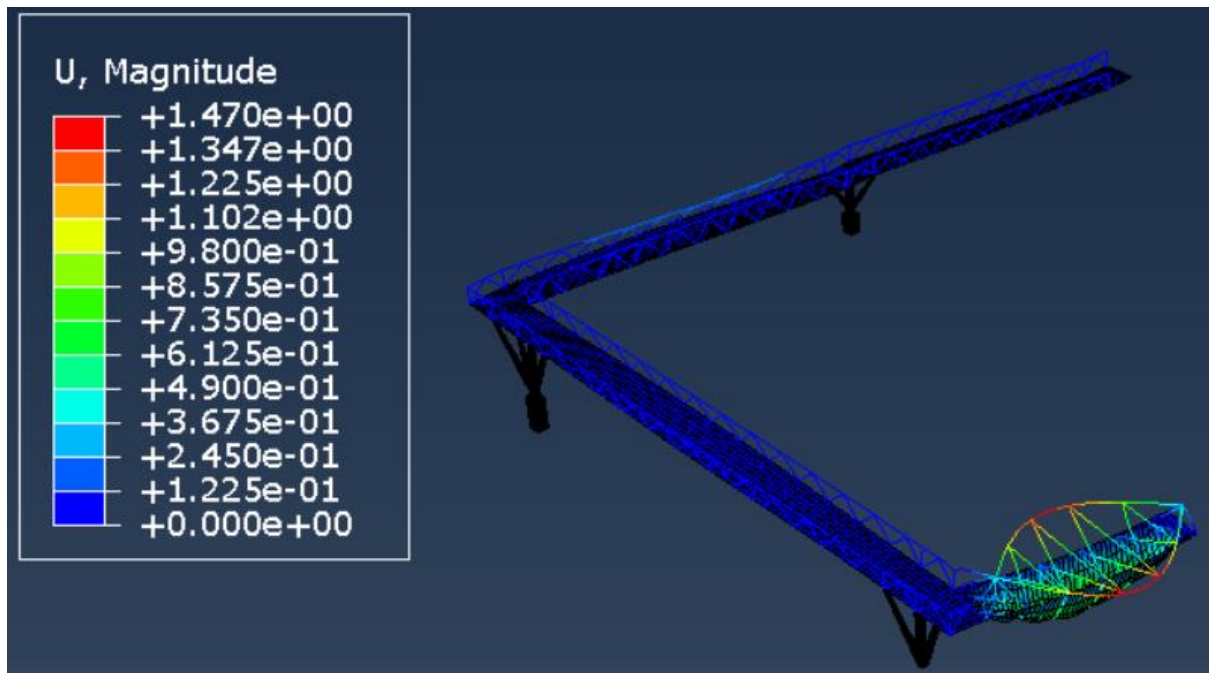


Imagen 60 – Modo de vibración 9, frecuencia 8,32 Hz. ‘no válido’

- Densidad del acero: 7850 kg/m³
- Densidad del hormigón: 2760 kg/m³
- Espesor de la chapa: 4 mm
- Módulo elástico del hormigón: 33620 MPa

Variar la densidad del hormigón prácticamente no tiene influencia en los valores de frecuencia. Por lo tanto, ya se puede afirmar que la influencia de este parámetro (densidad del hormigón) se puede despreciar sobre la respuesta dinámica.

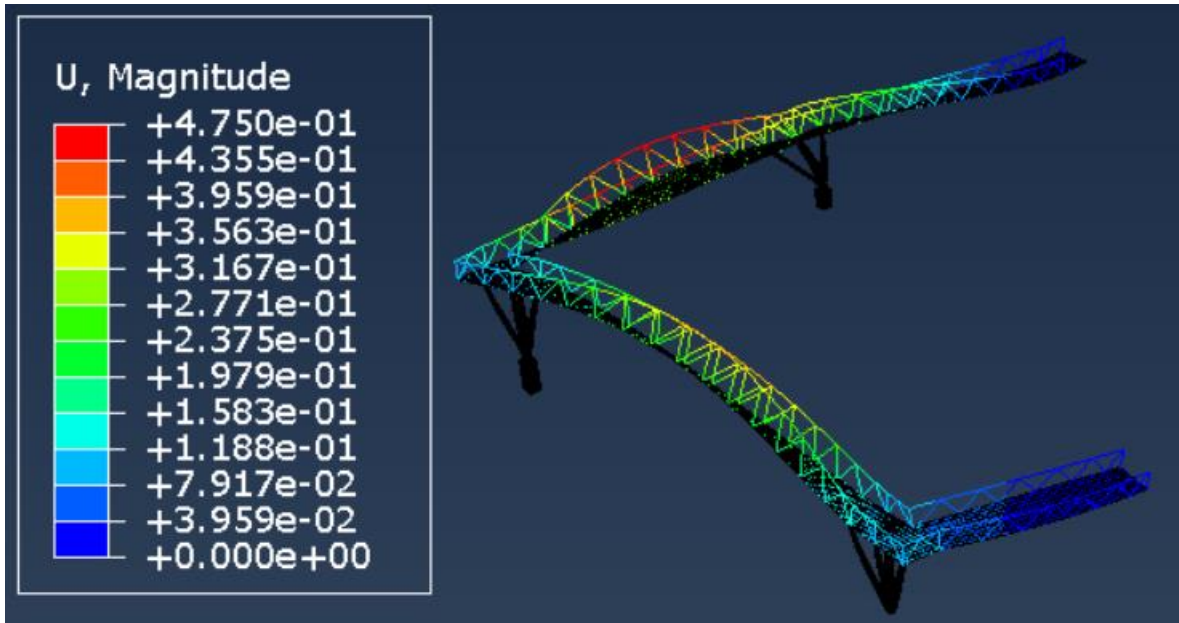


Imagen 61 – Modo de vibración 1, frecuencia 3,48 Hz.

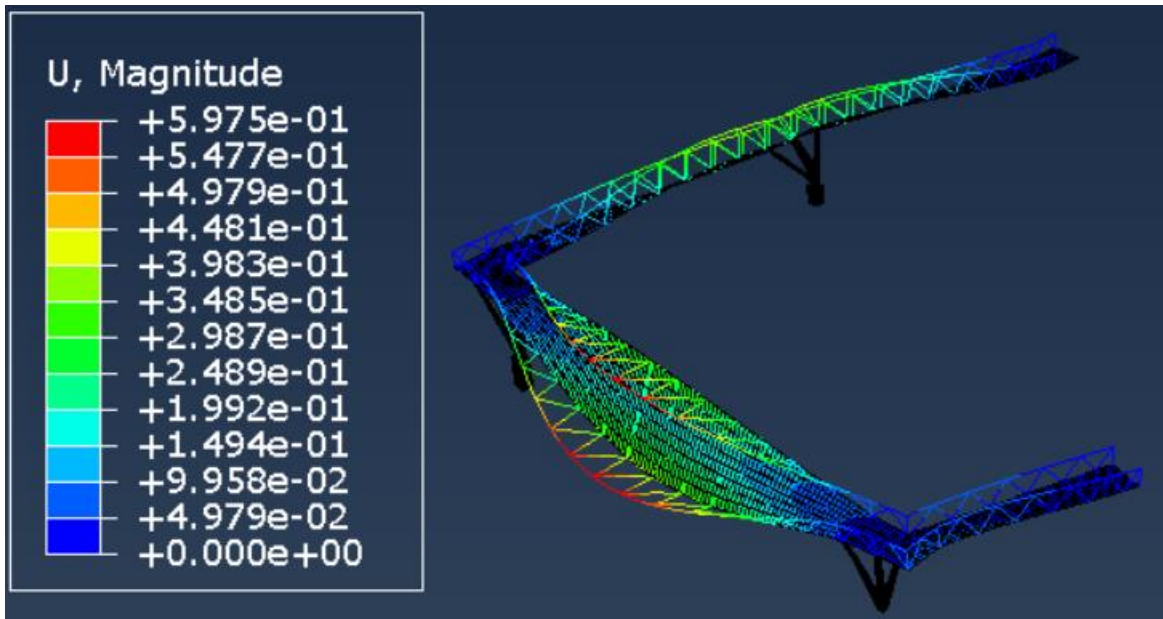


Imagen 62 – Modo de vibración 2, frecuencia 4,51 Hz

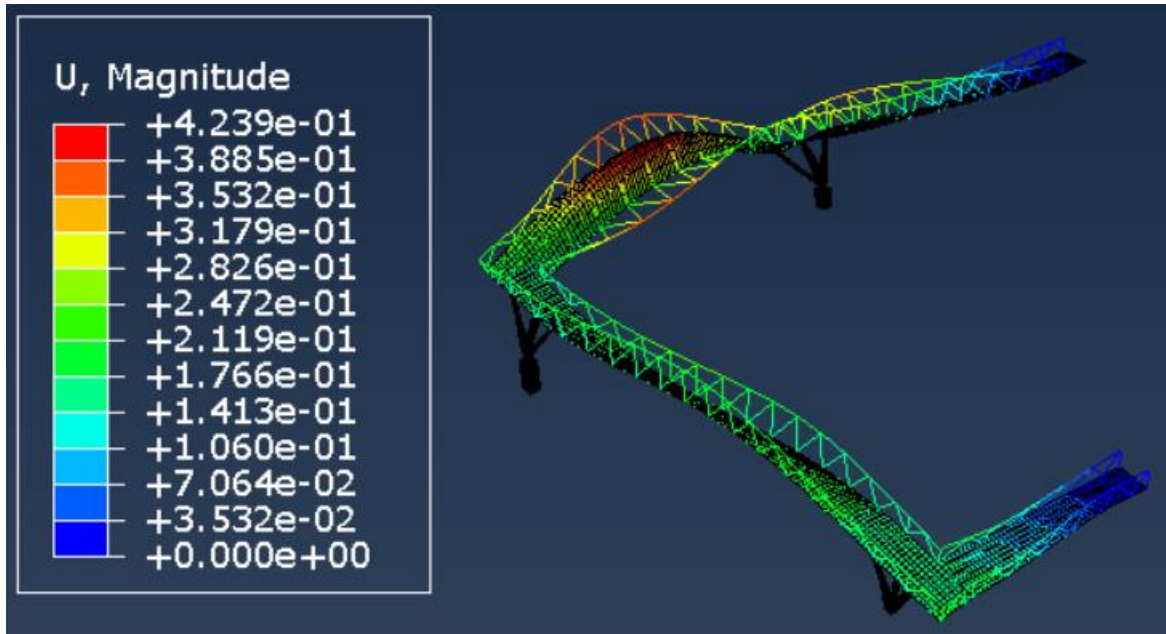


Imagen 63 – Modo de vibración 4, frecuencia 5,07 Hz.

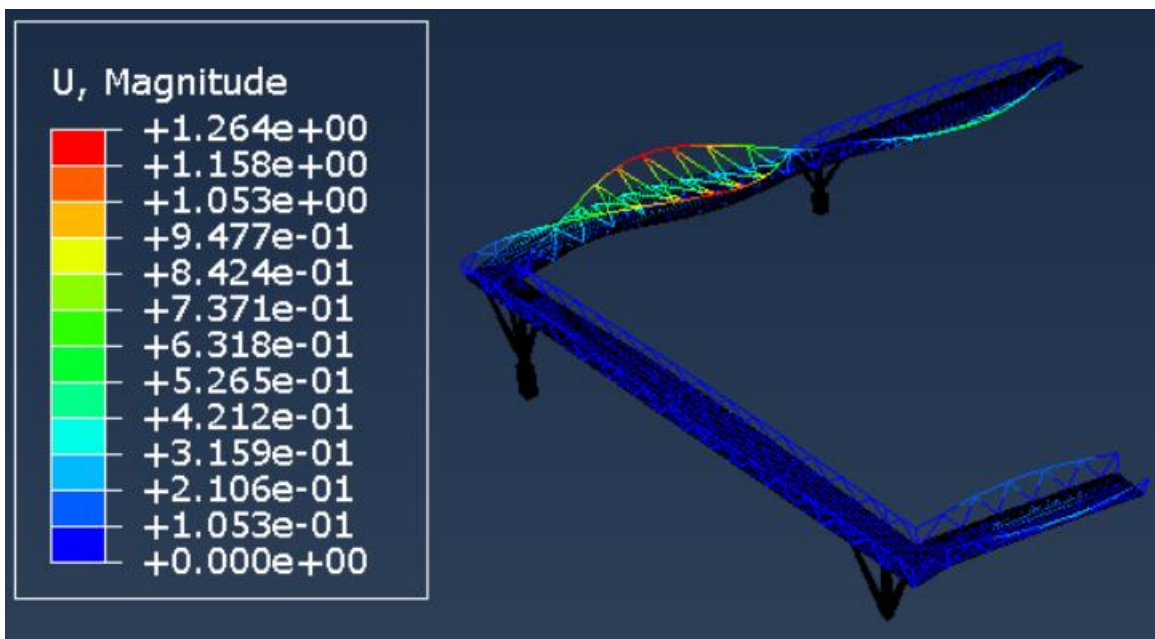


Imagen 64 – Modo de vibración 10, frecuencia 7,94 Hz. 'no válido'

- Densidad del acero: 7850 kg/m³
- Densidad del hormigón: 1840 kg/m³
- Espesor de la chapa: 4 mm
- Módulo elástico del hormigón: 33620 MPa

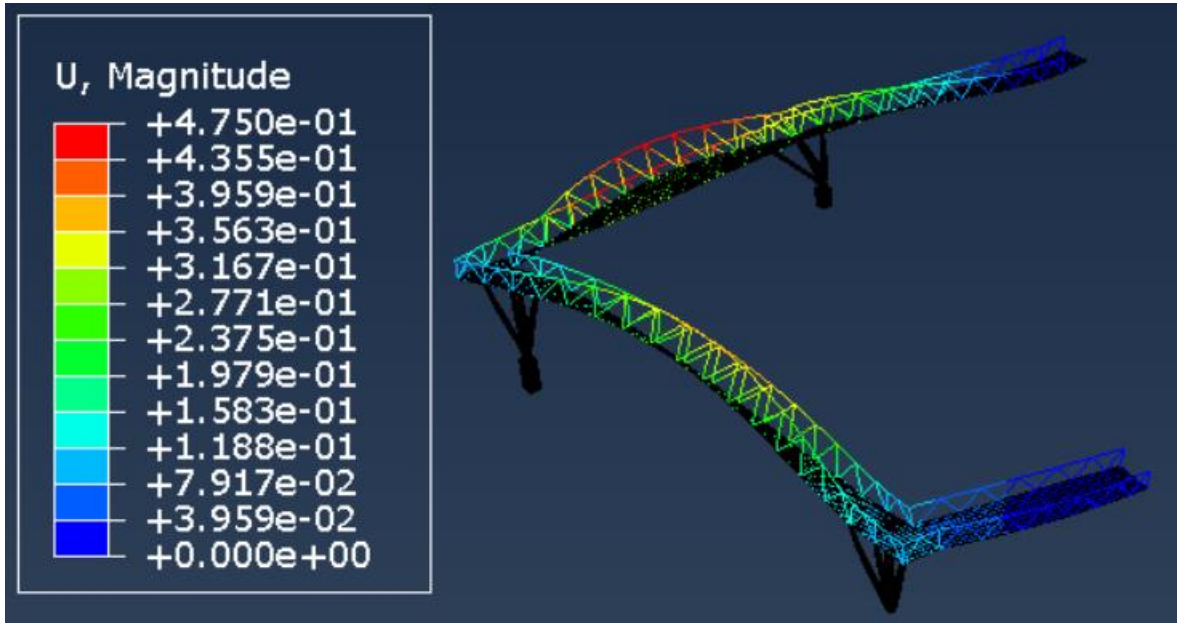


Imagen 65 – Modo de vibración 1, frecuencia 3,54 Hz.

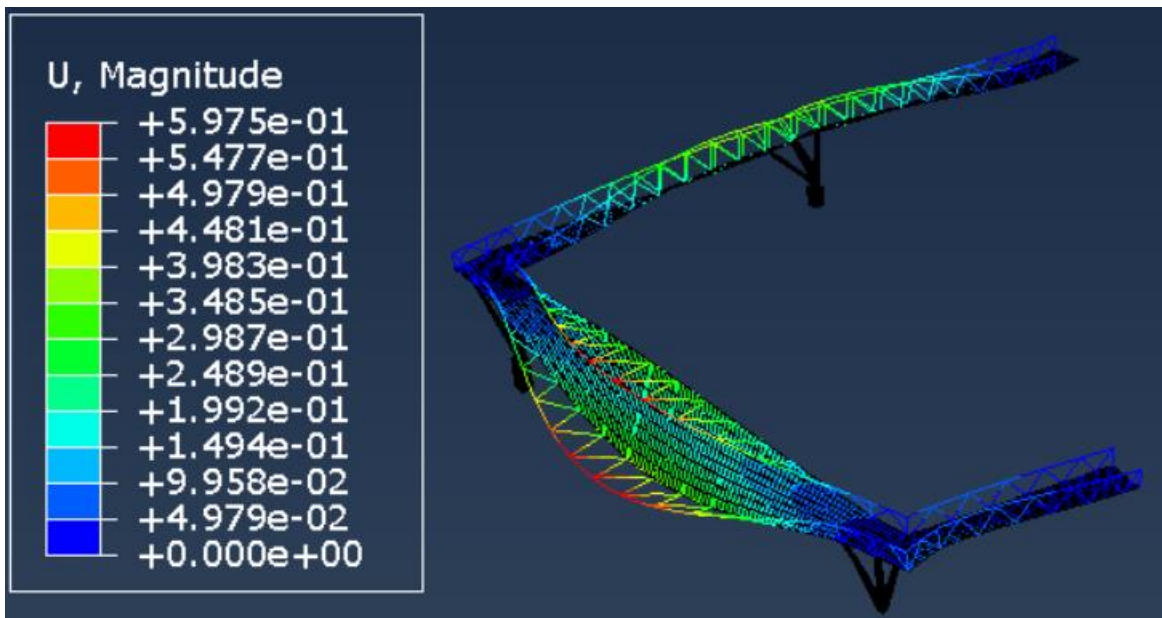


Imagen 66 – Modo de vibración 2, frecuencia 4,51 Hz.

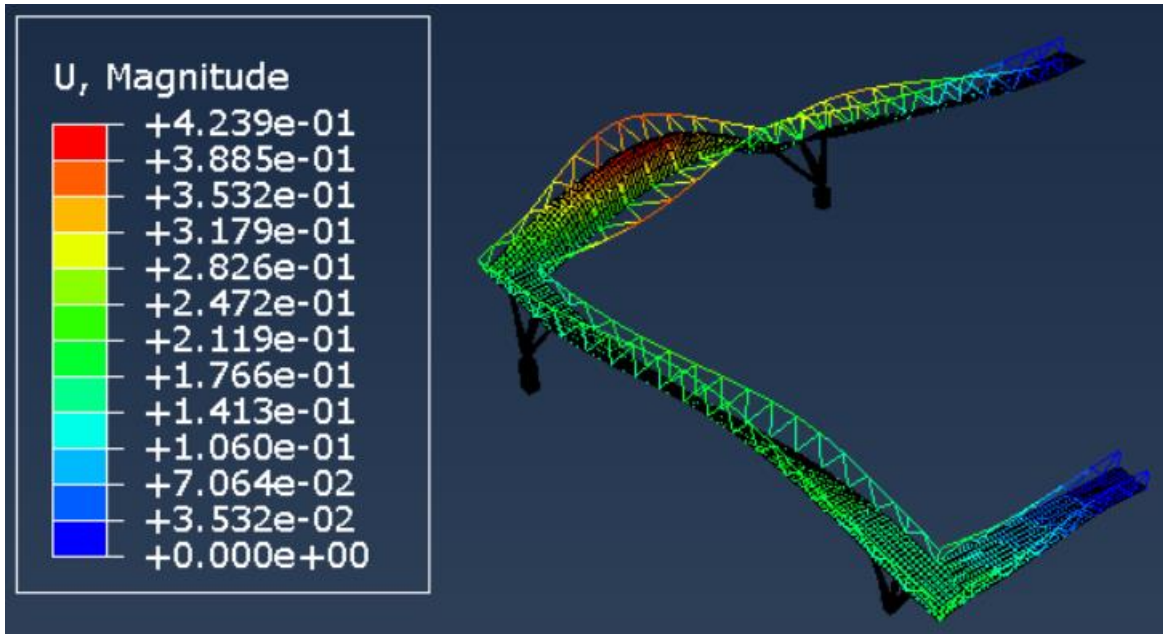


Imagen 67 – Modo de vibración 4, frecuencia 5,08 Hz.

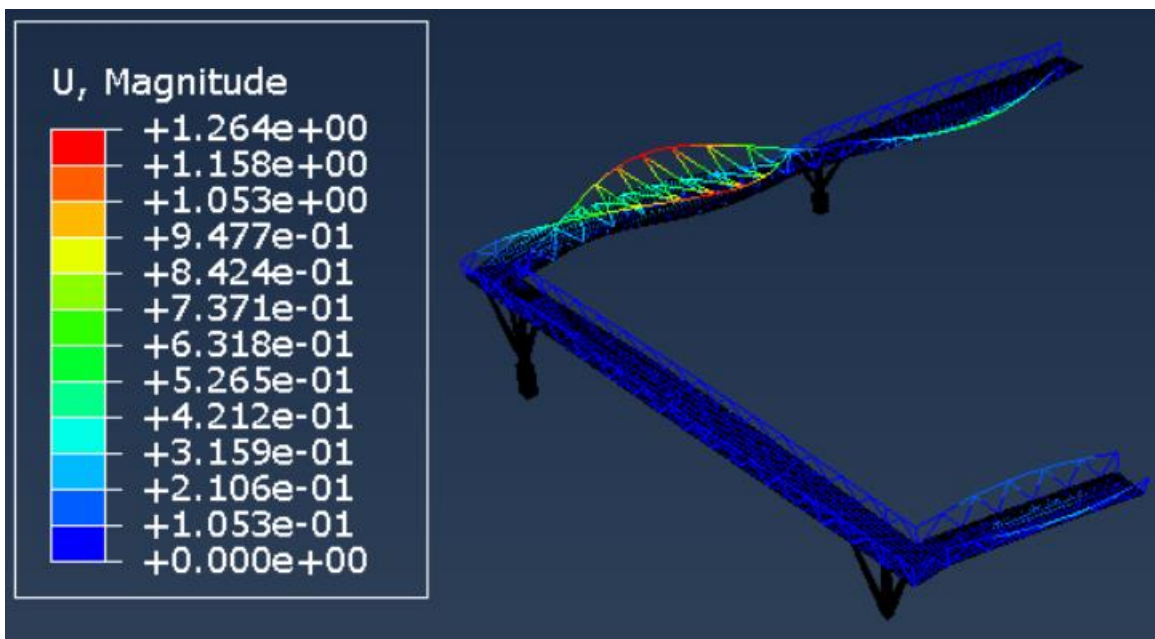


Imagen 68 – Modo de vibración 10, frecuencia 7,94 Hz. 'no válido'

- Densidad del acero: 7850 kg/m³
- Densidad del hormigón: 2300 kg/m³
- Espesor de la chapa: 4 mm
- Módulo elástico del hormigón: 40344 MPa

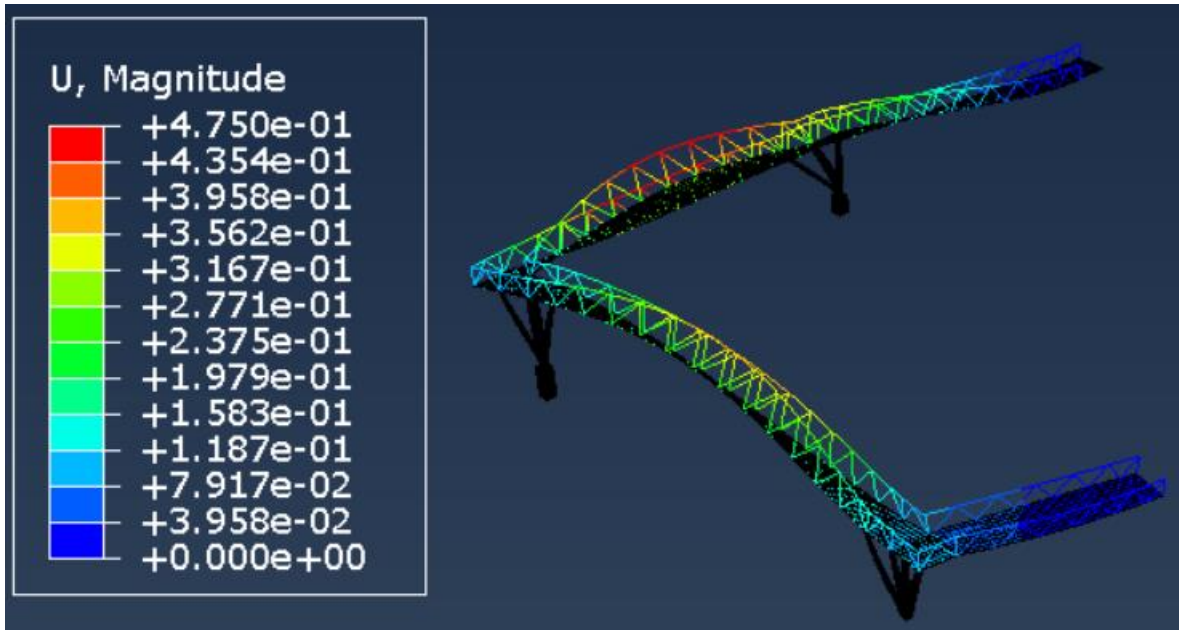


Imagen 69 – Modo de vibración 1, frecuencia 3,48 Hz.

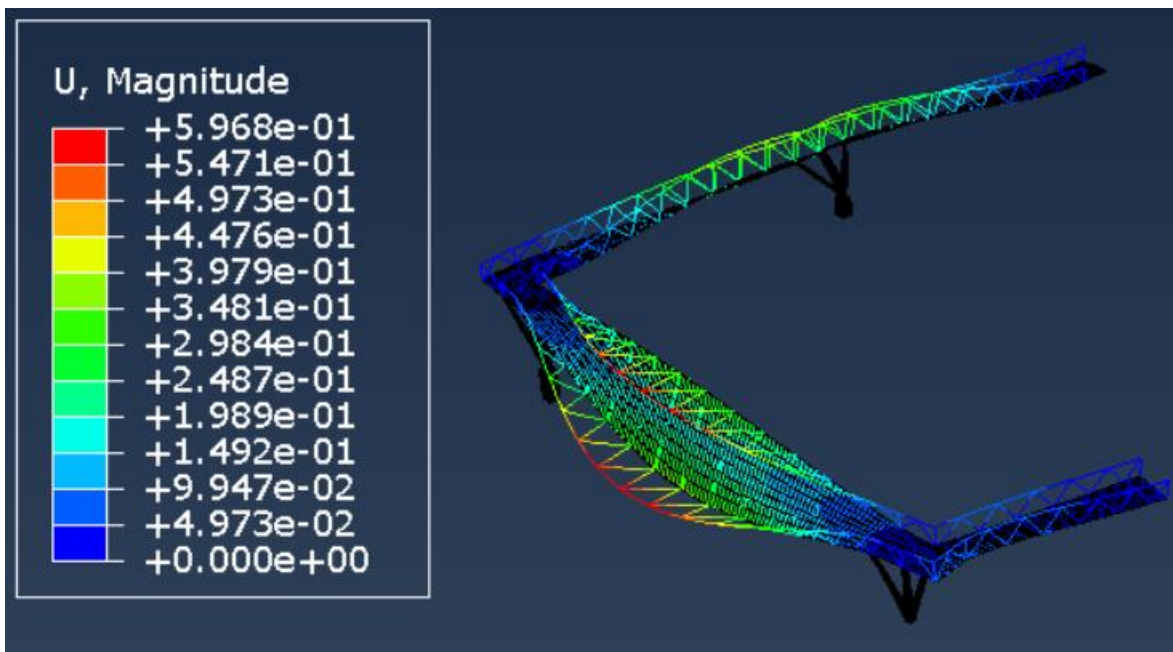


Imagen 70 – Modo de vibración 2, frecuencia 4,51 Hz.

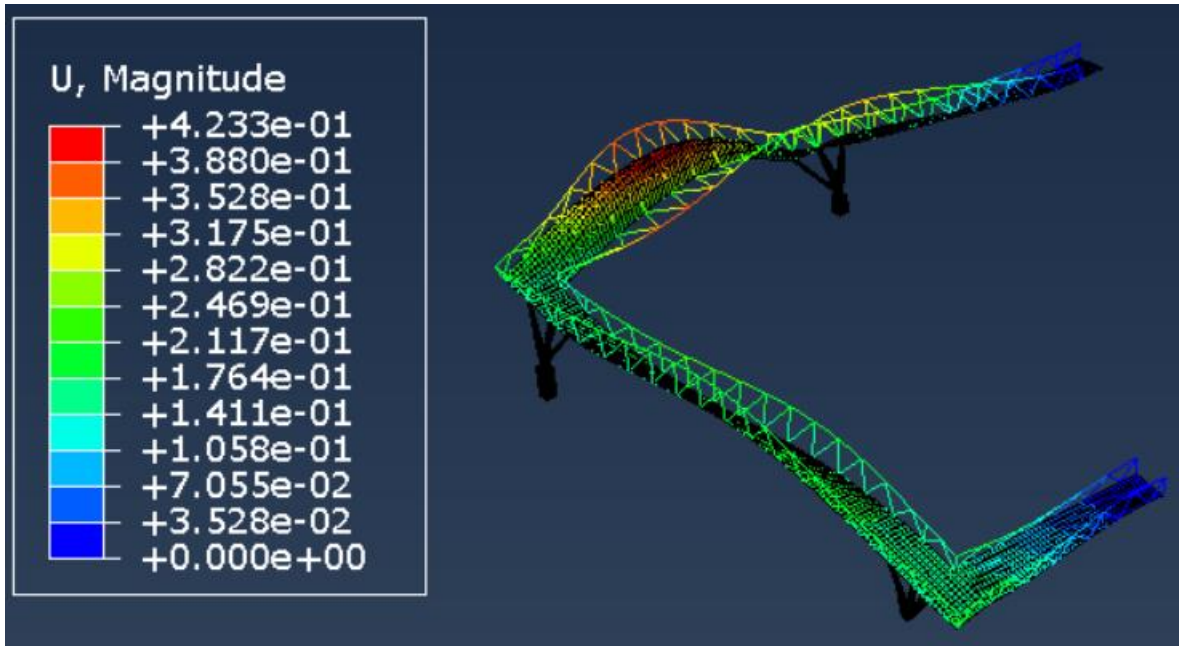


Imagen 71 – Modo de vibración 4 frecuencia 5,08 Hz.

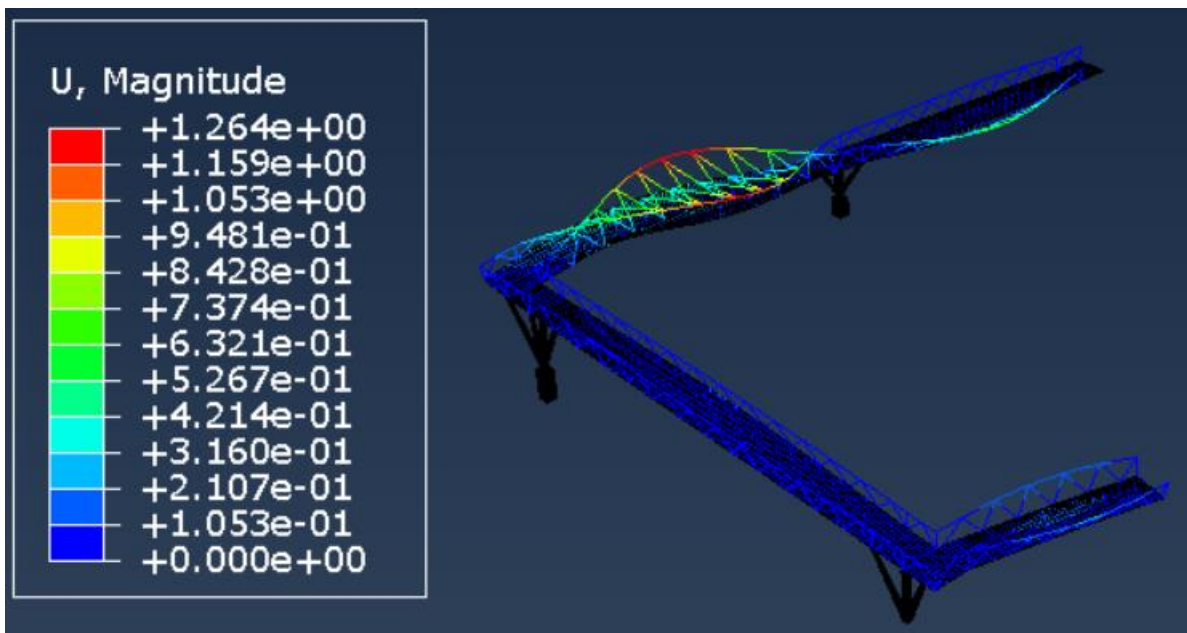


Imagen 72 – Modo de vibración 10, frecuencia 7,94 Hz. 'no válido'

- Densidad del acero: 7850 kg/m³
- Densidad del hormigón: 2300 kg/m³
- Espesor de la chapa: 4 mm
- Módulo elástico del hormigón: 26896 MPa

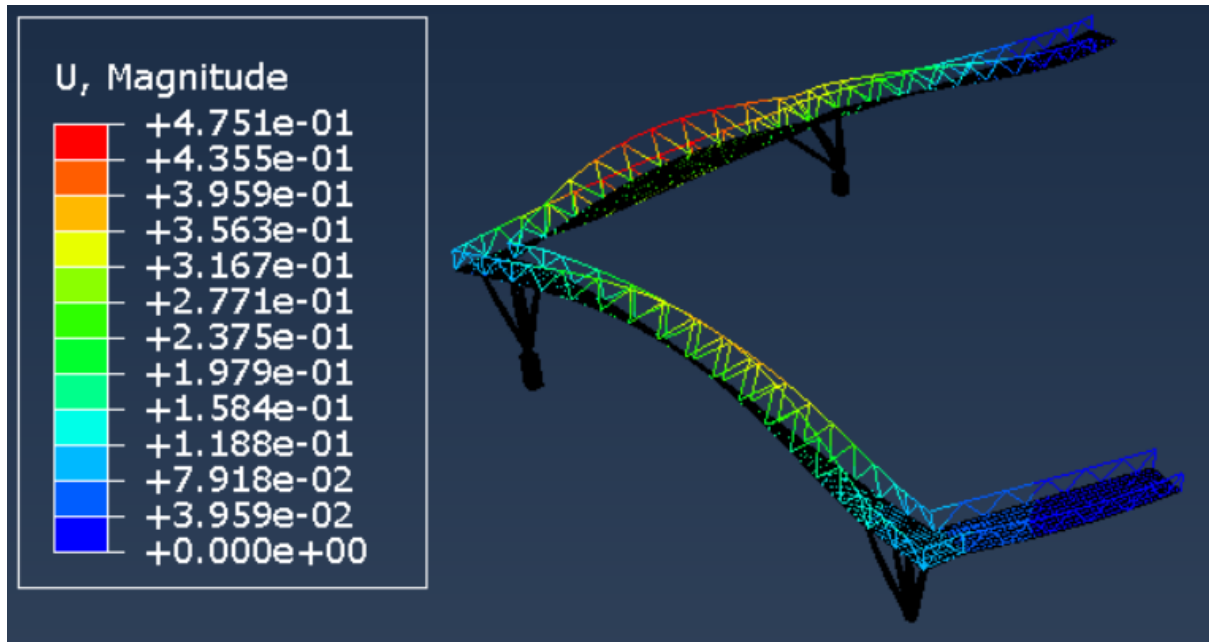


Imagen 73 – Modo de vibración 1, frecuencia 3,48 Hz.

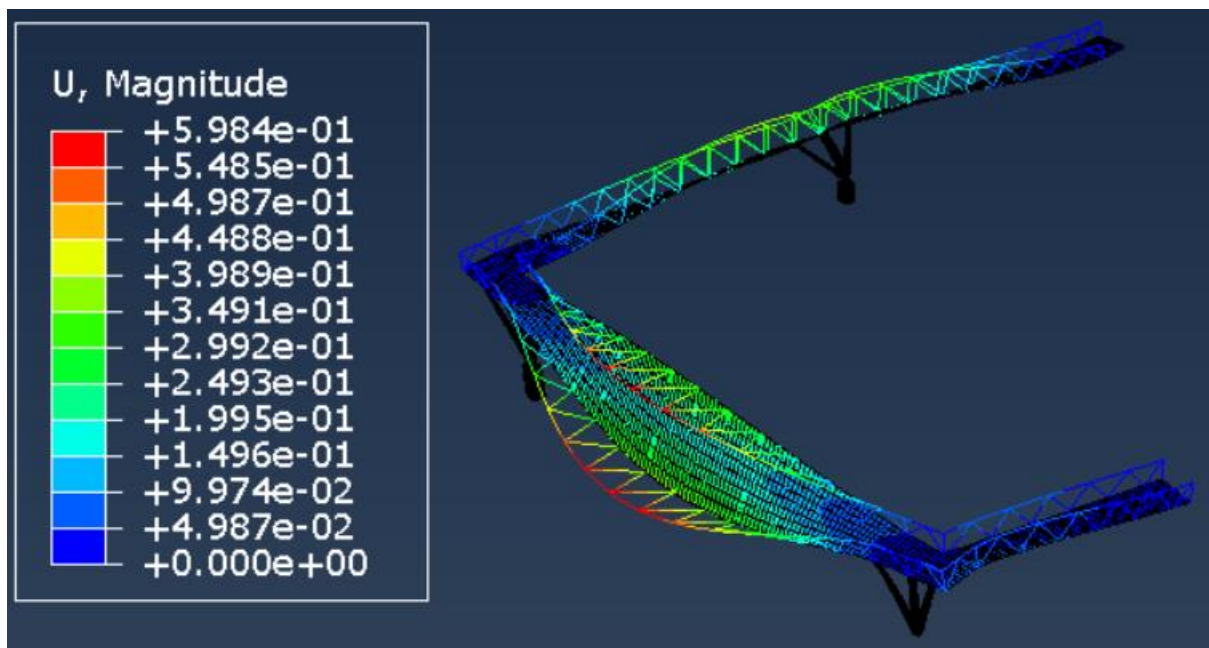


Imagen 74 – Modo de vibración 2, frecuencia 4,51 Hz.

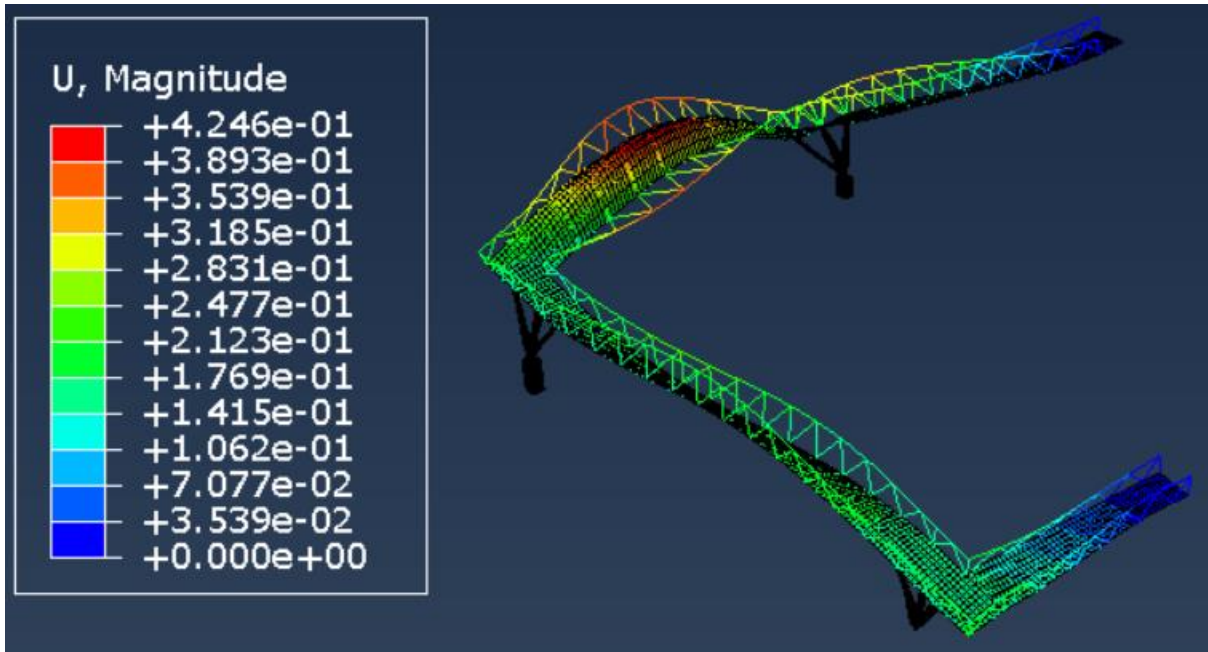


Imagen 75 – Modo de vibración 4, frecuencia 5,06 Hz.

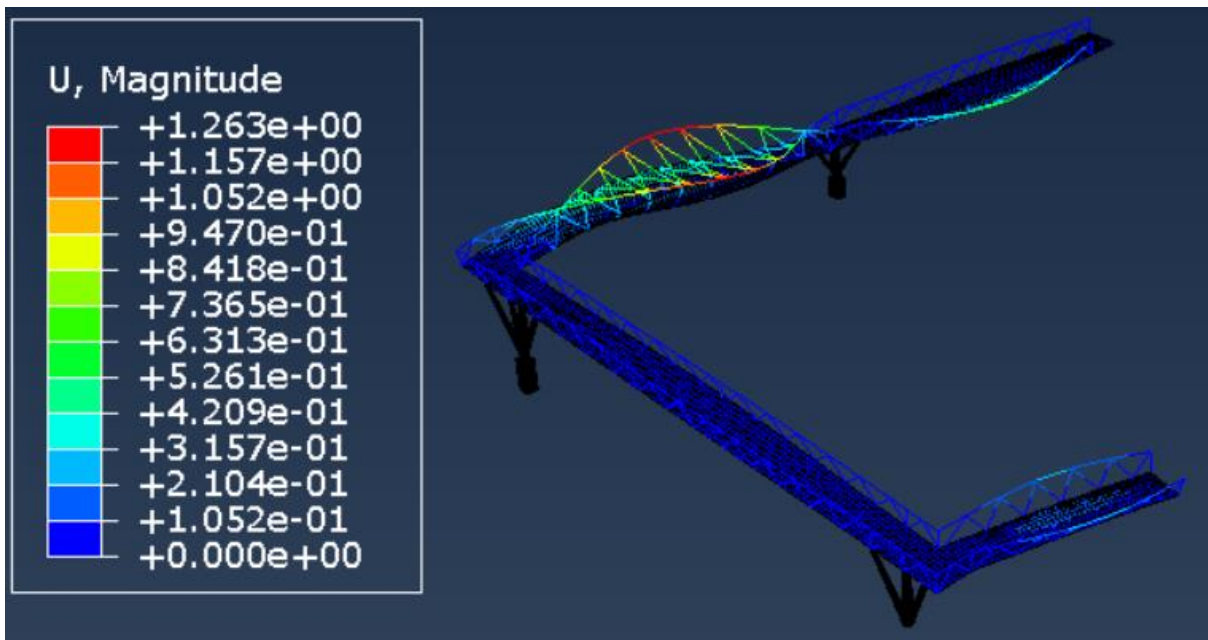
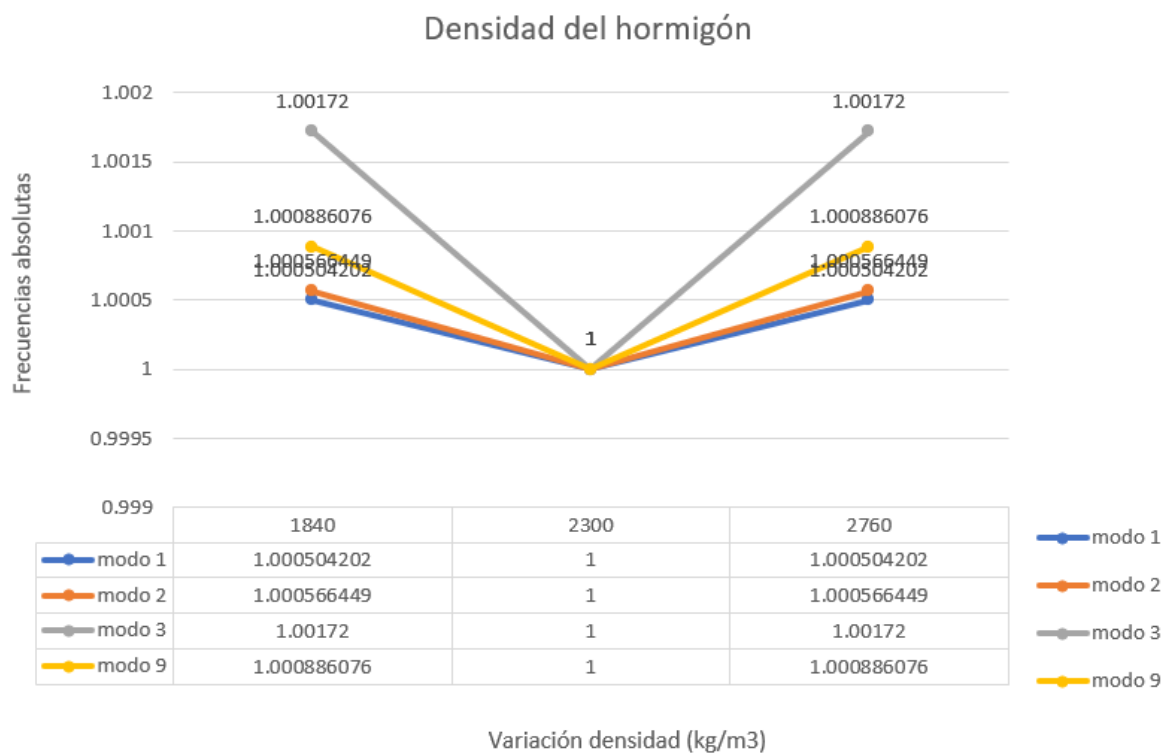


Imagen 76 – Modo de vibración 10, frecuencia 7,94 Hz. 'no válido'

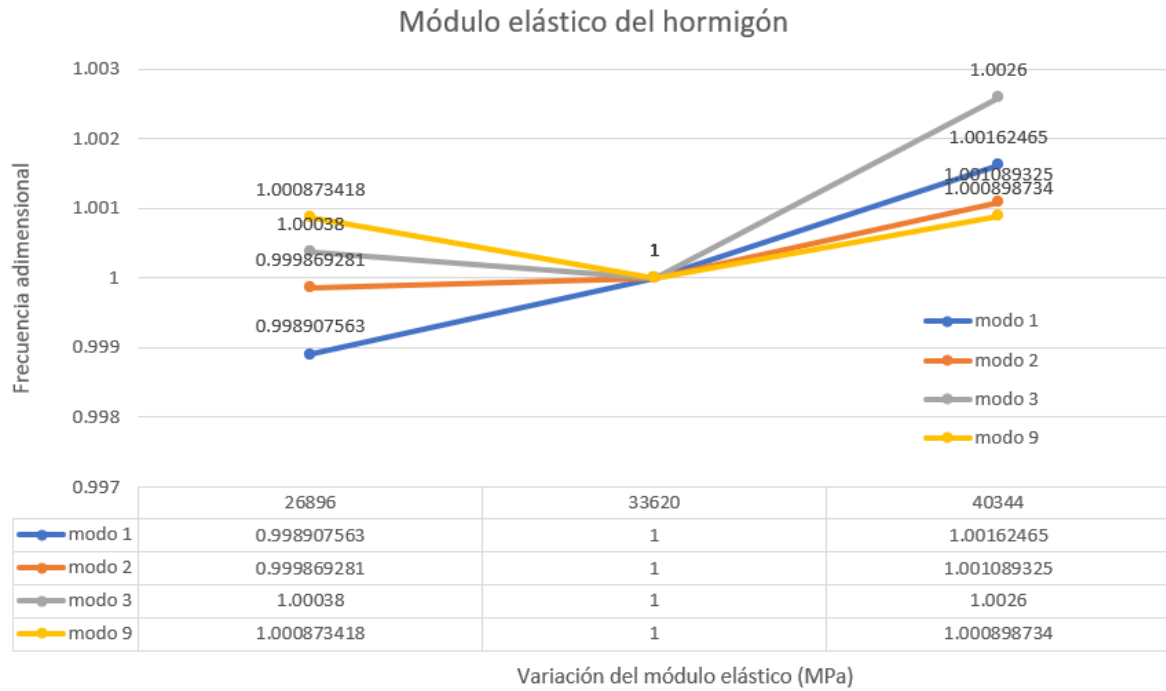
Finalmente, se añade a continuación unas gráficas donde se puede ver cómo evoluciona el parámetro en cuestión (densidad del acero, densidad del hormigón, módulo elástico del hormigón y espesor de la chapa) frente a la frecuencia adimensionalizada. Esta frecuencia adimensional es el resultado de dividir la frecuencia obtenida con el menor valor del parámetro obtenido entre las frecuencias nominales encontradas.



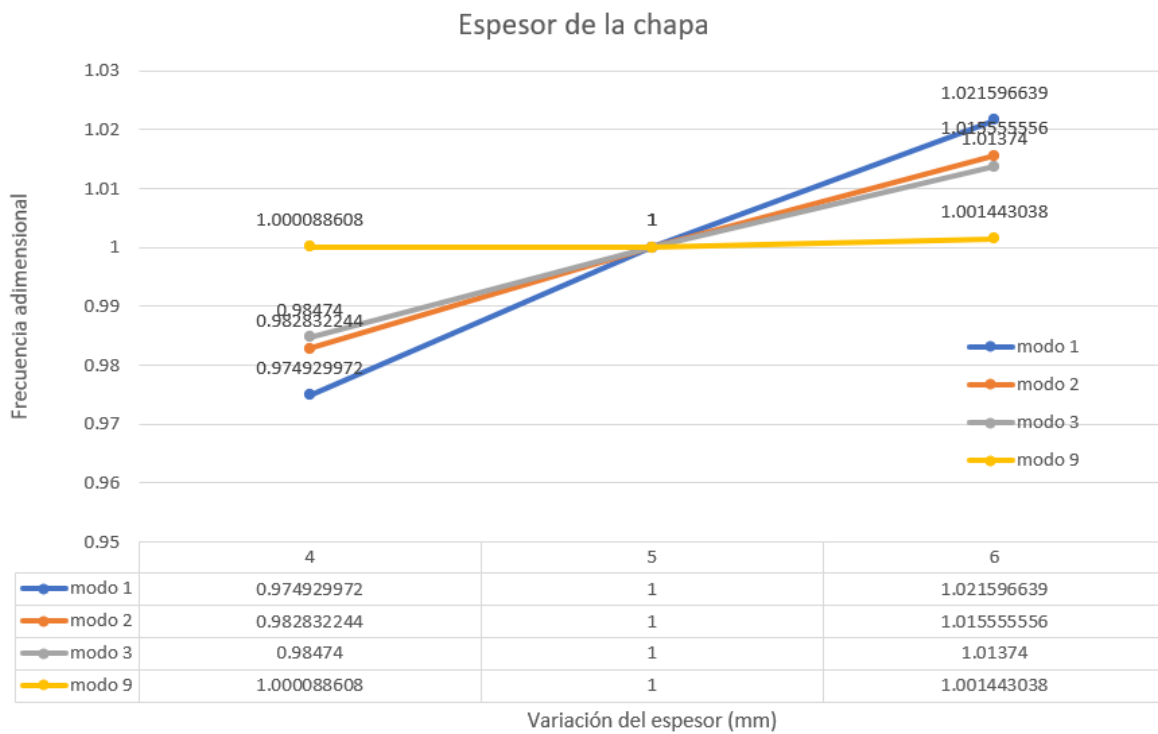
Gráfica 3 - Variación de la densidad del acero frente a la frecuencia.



Gráfica 4 - Variación de la densidad del hormigón frente a la frecuencia.



Gráfica 5 - Variación del módulo elástico del hormigón frente a la frecuencia.



Gráfica 6 - Variación del espesor de la chapa frente a la frecuencia.

6. Presupuesto

Se realiza un presupuesto de los costes que conllevaría realizar este proyecto:

Presupuesto

Partida 1 - Personal					
		Unidad	Cantidad	Importe unitario	Coste total
1,1	Ingeniero junior	horas	108	22,00	2.376,00
1,2	Personal de apoyo	horas	64	25,00	1.600,00
1,3	Preparación y revisión de material	horas	16	22,00	352,00
1,4	Ingeniero senior	horas	22	40,00	880,00
Total capítulo 1:					5.208,00 euros
Partida 2 - Materiales					
		Unidad	Cantidad	Importe unitario	Coste total
2,1	Martillo	Ud	2	5,15	10,30
2,2	Acelerómetros	Ud	8	1.040,00	8.320,00
2,3	Metro láser	Ud	1	25,75	25,75
2,4	Ordenador	Ud	1	824,95	824,95
2,5	Cableado y adaptadores	Ud	1	50,51	50,51
2,6	Imanes de neodimio	Ud	1	25,76	25,76
Total capítulo 2:					9.257,27 euros
Partida 3 - Licencias					
		Unidad	Cantidad	Importe unitario	Coste total
3,1	SolidWorks	Ud	1	5.148,97	5.148,97
3,2	MatLab	Ud	1	865,20	865,20
3,4	Excel	Ud	1	149,00	149,00
3,3	Abaqus	Ud	1	1.236,00	1.236,00
Total capítulo 3:					7.399,17 euros

A la partida de 2 y 3 solo se le cuenta un 15%

16.656,44	Total partidas 2 y 3
2.498,47	15% de partidas 2 y 3

PEM	7.706,47
Gastos generales	1.310,10
Beneficio industrial	539,45
PEC	9.556,02
IVA	2.006,76
Total obra	11.562,78

PEM	Presupuesto de Ejecución de Material	17%
PEC	Presupuesto de Ejecución por Contrata	7%
		21%

Cabe destacar en este apartado que el material y licencias (partidas 2 y 3) también se utilizará en otras investigaciones. Por lo que se aproxima que el coste total de ambas partidas será de un 15% como se indica.

Siendo el coste final de obra de once mil quinientos sesenta y dos euros con setenta y ocho céntimos.

7. Viabilidad técnica y económica

El proyecto es viable económicamente hablando ya que se dispone de financiación pública para llevarlo a cabo.

En referencia a la parte técnica, el proyecto es viable. Se cuenta con el conocimiento y personal necesario para su desarrollo, además de los dispositivos necesarios. Estos son comerciales y se encuentran disponibles en el área de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de las Estructuras.

8. Conclusiones

Para este proyecto de investigación, se considera conveniente diferenciar las conclusiones dependiendo del apartado del proyecto.

En referencia al apartado de mediciones experimentales, se puede destacar la importancia de la correcta calibración de los dispositivos, un marcado guión para realizar siempre los ensayos de la misma manera y evitar lo máximo posible el error humano, así como, también, el uso de unos correctos dispositivos de obtención de datos (acelerómetros y módulo de recepción)

En cuanto a la verificación de la normativa, como se menciona en el apartado correspondiente, esta pasarela peatonal se puede clasificar como clase 1 (la más cómoda de todas las clases) en el caso más 'simple', cuando tres peatones anduvieron libremente por la pasarela. En el resto de los ensayos, bajo la normativa con la que se compara, no se pueden clasificar en la clase más elevada. Es posible que, utilizando otra normativa que aplica en el territorio español, haya más ensayos que hagan que la pasarela peatonal sea de una clase superior.

Por otro lado, para la realización del modelo numérico, bajo mi punto de vista, lo más importante es la habilidad de los trabajadores a la hora de realizar el modelo numérico, ya que una pequeña diferencia con la realidad en el diseño puede suponer una gran diferencia en los resultados del análisis.

Por último, la obtención del modelo definitivo que más representa la realidad, viene en gran parte derivado de los resultados de los análisis del modelo numérico, siendo la mayor dificultad en este apartado saber leer e interpretar de manera óptima los resultados de los que dispones, ya que, debido a distintos factores, siempre existen limitaciones que son muy difíciles de superar todas ellas.

Y para acabar, como opinión personal, con este proyecto he descubierto un mundo completamente nuevo para mi hacia el que quiero encaminar mi futura carrera profesional, el mundo de la construcción y evaluación de distintas estructuras.

9. Bibliografía

<https://www.google.es/maps/@40.0318832,-0.0824878,3a,75y,290.81h,80.93t/data=!3m6!1e1!3m4!1sYP3DTZNGuUh2SA7CG8IS9A!2e0!7i13312!8i6656?hl=es> → referencia Google maps, localización de la pasarela [1]

https://es.wikipedia.org/wiki/Puente_peatonal → definición de pasarela peatonal [2]

https://es.wikipedia.org/wiki/Millennium_Bridge → imagen del Millennium Bridge [3]

<https://qubeingenieria.com/seccion/es/noticias/5/pasarelas-peatonales-frp/122> → imagen de pasarela hecha con materiales compuestos [4]

https://www.researchgate.net/publication/256455955_Human-induced_vibration_of_steel_structures_Hivoss → HIVOSS [5]

<http://www.projektering.nu/files/Footbridges.pdf> → SETRA [6]

<https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1990.2002.pdf> → EuroCódigos [7]

<https://www.aulacarreteras.com/iap-11-puentes-de-carretera/> → IAP-11 [8]

<https://es.wikipedia.org/wiki/Aceler%C3%B3metro> → definición de acelerómetro [9]

<https://www.pinterest.com.mx/pin/539165386634321257/> → imagen pasarela atirantada [10]

<http://www.imuntanya.com/es/blog-es/pasarelas-colgantes-y-turismo/> → imagen pasarela colgante [11]

<http://www.puentemania.com/607> → imagen pasarela arcos [12]

<http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/obras-civiles/pasarela-peatonal-en-palafolls> → imagen pasarela de metal [13]

<https://es.dreamstime.com/paso-elevado-de-un-puente-piedra-construido-en-arco-sobre-la-carretera-el-del-hecho-image194135381> → imagen pasarela de piedra [14]

<http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=4355&tip=4&xit=uso-de-prefabricados-de-hormigon-en-pasarelas-peatonales> → imagen pasarela hormigón prefabricado [15]

ANEXOS

Anexo 1. Códigos de Matlab empleados.

Anexo 1.1. Códigos de la campaña 0 para obtener modos de frecuencia

```
%% READ DATA
[file,path] = uigetfile('*.csv','Select a File');
file_path=[path,'/',file];
x=readtable(file_path,'Format','%f%f%f%f%f%f%f%f','Delimiter','comma','HeaderLines', 16,
'ReadVariableNames', false);
%
%% SORT DATA FROM table "t"
% Channel x.Var1 contains the time vector
% Channel x.Vari contain values from each of the 8 accelerometers
% Extract time data and establish domains
t_nontrimmed= x(:,1); % time data, non-trimmed
T = max(t_nontrimmed); % total time, non-trimmed
N = length(t_nontrimmed); % number of samples, non-trimmed
fs = N/T; % sampling frequency
delta_t = 1/fs; % time step in the time domain
delta_f = 1/T; % resolution in the frequency domain
% Sort data from the 8 accelerometers in Matrix "a" - unfiltered data
a_unfiltered_nontrimmed(:,1) = x(:,2);
a_unfiltered_nontrimmed(:,2) = x(:,3);
a_unfiltered_nontrimmed(:,3) = x(:,4);
a_unfiltered_nontrimmed(:,4) = x(:,5);
a_unfiltered_nontrimmed(:,5) = x(:,6);
a_unfiltered_nontrimmed(:,6) = x(:,7);
a_unfiltered_nontrimmed(:,7) = x(:,8);
a_unfiltered_nontrimmed(:,8) = -x(:,9); % sign shifted for A8
% Trim start & end (from plot)
% Plot data in time domain
fh=figure('Name','Original time domain data','NumberTitle','off');
fh.WindowState = 'maximized';
figure (1)
for i = 1:8
    AccelNumber = i;
    subplot(2,4,i), plot(t_nontrimmed,a_unfiltered_nontrimmed(:,i))
    xlabel('T [s]'), ylabel('acceleration [m/s^2]'), title(['A' num2str(AccelNumber) '- Time domain'])
    hold on
    xlim([0 T])
    grid on
end

uiwait(msgbox('Select a starting t-value from which to crop','modal'));
[trim_start ~] = ginput(1);
uiwait(msgbox('Select a final t-value to crop','modal'));
[trim_end ~] = ginput(1);
range_t=round(trim_start/delta_t)+1:round(trim_end/delta_t)+1;
t= t_nontrimmed(range_t,:); % time data, trimmed
T = max(t)-min(t); % total time, trimmed
N = length(t); % number of samples, trimmed
% Adjust number of samples to have a multiple of power of 2
npow2 = nextpow2(N);
```

```

T = delta_t*2^(npow2);
delta_f = 1/T; % resolution in the frequency domain
TimeDomain = (0:delta_t:T-delta_t); % time domain vector
FrequencyDomain = (0:delta_f:fs-delta_f); % frequency domain vector
% Filling with zeros the additional samples created
aux_data=zeros(2^npow2,8);
aux_data(1:size(range_t,2),:)=a_unfiltered_nontrimmed(range_t,:);

%% FILTER
fmax = 30; % cutoff frequency
fmin = 0.1; %
S = 2/N; % amplitude correction factor (for FFT)
filter_ = questdlg('Select the filter to be applied:', 'Filter selection', 'Chebyshev', 'Butterworth', 'Chebyshev');
if strcmp(filter_, 'Butterworth')
    % APPLICATION OF BUTTERWORTH LOW-PASS FILTER AND FFT OF FILTERED SIGNAL
    [B,A] = butter(2,[fmin fmax]/(0.5*fs), 'bandpass'); % Butterworth filter
    % Relevant accelerometers for this mode shape: A1, A2, A3, A4, A5, A6
    % Accel ref
    nref=4;
    for n = 1:8
        a_filtered(:,n) = filtfilt(B,A,aux_data(:,n)-mean(aux_data(:,n)));
    end
    for n=1:8
        [cro_fft(:,n),fc]=cpsd(a_filtered(:,n),a_filtered(:,nref),[],[],[],fs);
        delta_f=fc(2)-fc(1);
        CROFFT_SIGN(:,n) = cos(angle(cro_fft(:,n)))/abs(cos(angle(cro_fft(:,n))));
        CROFFT_amplitude(:,n) = S*abs(cro_fft(:,n));
    end
else
    %% APPLICATION OF CHEBYSHEV TYPE 1 FILTER AND FFT OF FILTERED SIGNAL
    ChebyOrder1=3; ChebyRipple1=0.1; ChebyFreq1=fmax; % Low-pass filter design
    [Bf1,Af1]=cheby1(ChebyOrder1,ChebyRipple1,ChebyFreq1/fs*2, 'low');
    ChebyOrder2=3; ChebyRipple2=0.1; ChebyFreq2=fmin; % High-pass filter design
    [Bf2,Af2]=cheby1(ChebyOrder2,ChebyRipple2,ChebyFreq2/fs*2, 'high');
    % Accel ref
    nref=4;
    for n = 1:8
        a_filtered(:,n)=filter(Bf2,Af2,aux_data(:,n)-mean(aux_data(:,n)),[],1); % Filtrado señal experimental
        a_filtered(:,n)=filter(Bf1,Af1,a_filtered(:,n),[],1); % Filtrado señal experimental
    end
    for n=1:8
        [cro_fft(:,n),fc]=cpsd(a_filtered(:,n),a_filtered(:,nref),[],[],[],fs);
        delta_f=fc(2)-fc(1);
        CROFFT_SIGN(:,n) = cos(angle(cro_fft(:,n)))/abs(cos(angle(cro_fft(:,n))));
        CROFFT_amplitude(:,n) = S*abs(cro_fft(:,n));
    end
end
end

%% PLOTS
% Plot data in frequency domain
fh=figure('Name','CPSD for relevant accelerometers. Ref Accel #4', 'NumberTitle','off');
fh.WindowState = 'maximized';
figure (2)
for i = 1:8
    AccelNumber = i;
    subplot(2,4,i), plot(fc,CROFFT_amplitude(:,i))
    xlabel('f [Hz]'), ylabel('acceleration [m/s^2]'), title(['A' num2str(AccelNumber) '- Frequency domain'])

```

```

    legend('CPSD Ref#4')
    %set(gca, 'YScale', 'log')
    xlim([0 fmax])
    grid on
end
fh=figure('Name','CPSD phase for relevant accelerometers. Ref Accel #4','NumberTitle','off');
fh.WindowState = 'maximized';
figure (3)
for i = 1:8
    AccelNumber = i;
    subplot(2,4,i), plot(fc,angle(cro_fft(:,i))*180/pi)
    xlabel('f [Hz]'), ylabel('phase [deg]'), title(['A' num2str(AccelNumber) '- Frequency domain'])
    legend('CPSD phase Ref#4')
    xlim([0 fmax])
    grid on
end
% Plot data in time domain
fh=figure('Name','Trimmed time domain data','NumberTitle','off');
fh.WindowState = 'maximized';
figure (4)
for i = 1:8
    AccelNumber = i;
    subplot(2,4,i), plot(TimeDomain,aux_data(:,i))
    xlabel('T [s]'), ylabel('acceleration [m/s^2]'), title(['A' num2str(AccelNumber) '- Time domain'])
    hold on
    plot(TimeDomain,a_filtered(:,i),'r')
    legend('Unfiltered','Filtered')
    xlim([0 T])
    grid on
end

Flag=1; % Flag used to obtain one more mode shape from the same input file
count=0; % Used to control de figure number
while Flag==1
    %% ANALYSIS OF MODE SHAPE
    % frequency of the peak
    figure(2)
    uiwait(msgbox('With the mouse, findout the freq peak value (use Data Tips), and then click Ok','Findout'));
    %uiwait(msgbox('Select a freq peak value to obtain the corresponding mode','modal'));
    freq_peak_str=inputdlg('Freq peak value to obtain the corresponding mode (Hz)');
    %[freq_peak ~] = ginput(1);
    freq_peak=str2num(freq_peak_str{1});
    n_peak=round(freq_peak/delta_f)+1;
    mode = CROFFT_amplitude(n_peak,:)/CROFFT_SIGN(n_peak,:);
    a_1st_vertical(:) = mode/max(abs(mode));
    % Plot mode shape
    % Accelerometer position on deck
    DeckWidth = 2.5; %[m]
    DeckSpan = 42.5; %[m]
    height = 1.5; %[m]
    points = [0 DeckWidth 0
        4*DeckWidth DeckWidth 0
        6*DeckWidth DeckWidth 0
        8*DeckWidth DeckWidth 0
        10*DeckWidth DeckWidth 0
        12*DeckWidth DeckWidth 0
        14*DeckWidth DeckWidth 0
    ]
end

```

```

DeckSpan DeckWidth 0
DeckSpan/2 DeckWidth height
DeckSpan/2 0 height
0 0 0
4*DeckWidth 0 0
6*DeckWidth 0 0
8*DeckWidth 0 0
10*DeckWidth 0 0
12*DeckWidth 0 0
14*DeckWidth 0 0
DeckSpan 0 0
DeckSpan/2 DeckWidth 0
DeckSpan/2 0 0];
bsplines = {[1,2,3,4,5,6,7,8]
[11,12,13,14,15,16,17,18]
[11,1]
[8,18]
[19,9]
[9,10]
[10,20]
[20,19]};
surfaces = {[3,1,4,2]};
model = funCreateModel(points, bsplines, surfaces);
fh=figure('Name', 'Mode shape & damping factor', 'NumberTitle', 'off');
fh.WindowState = 'maximized';
figure (5+count)
subplot(2,8,[1,2,3,4,9,10,11,12])
hold on
axis equal
view([45 45])
% Represent points
pointStyle.color = 'c'; %string -> y, m, c, r, g, b, w, k
pointStyle.marker = 'o'; %string -> o, +, *, ., x, _ , |, s, d, ^, v, >, <, p, h
pointStyle.MarkerFaceColor = 'b';
pointStyle.size = 2; %double [0,inf]
model.drawPoints(pointStyle);
% Represent bsplines
lineStyle.color = 'c'; %string ->y, m, c, r, g, b, w, k
lineStyle.style = '-'; %string ->-, --, :
lineStyle.width = 0.5; %double [0,inf]
model.drawBsplines(lineStyle);
% Represent surfaces
surfaceStyle.faceColor = 'none'; %string ->none, y, m, c, r, g, b, w, k
surfaceStyle.edgeColor = 'c'; %string ->none, y, m, c, r, g, b, w, k
surfaceStyle.lineStyle = '-'; %string ->-, --, :, -., none
surfaceStyle.lineWidth = 0.25; %double [0,inf]
model.drawSurfaces(surfaceStyle);
%model.drawPoints(); model.drawBsplines(); model.drawSurfaces();
pos_4=DeckWidth-a_1st_vertical(3);
pos_5=DeckWidth-a_1st_vertical(4);
pos_19=pos_4+(pos_5-pos_4)*(DeckSpan/2-8*DeckWidth)/(10*DeckWidth-8*DeckWidth);
pos_20=pos_19-DeckWidth;
points_ = [0 DeckWidth 0
4*DeckWidth DeckWidth-a_1st_vertical(1) 0
6*DeckWidth DeckWidth-a_1st_vertical(2) 0
8*DeckWidth DeckWidth-a_1st_vertical(3) 0
10*DeckWidth DeckWidth-a_1st_vertical(4) 0

```

```

12*DeckWidth DeckWidth-a_1st_vertical(5) 0
14*DeckWidth DeckWidth-a_1st_vertical(6) 0
DeckSpan DeckWidth 0
DeckSpan/2 DeckWidth-a_1st_vertical(7) height
DeckSpan/2 0-a_1st_vertical(8) height
0 0 0
4*DeckWidth 0-a_1st_vertical(1) 0
6*DeckWidth 0-a_1st_vertical(2) 0
8*DeckWidth 0-a_1st_vertical(3) 0
10*DeckWidth 0-a_1st_vertical(4) 0
12*DeckWidth 0-a_1st_vertical(5) 0
14*DeckWidth 0-a_1st_vertical(6) 0
DeckSpan 0 0
DeckSpan/2 pos_19 0
DeckSpan/2 pos_20 0];
bsplines_ = {[1,2,3,4,5,6,7,8]
[11,12,13,14,15,16,17,18]
[11,1]
[8,18]
[19,9]
[9,10]
[10,20]
[20,19]};
surfaces_ = {[3,1,4,2]};
model_ = funCreateModel(points_, bsplines_, surfaces_);
% Represent points
pointStyle.color = 'k'; %string -> y, m, c, r, g, b, w, k
pointStyle.marker = 'o'; %string -> o, +, *, ., x, _ , |, s, d, ^, v, >, <, p, h
pointStyle.MarkerFaceColor = 'b';
pointStyle.size = 5; %double [0,inf]
model_.drawPoints(pointStyle);
% Represent bsplines
lineStyle.color = 'k'; %string ->y, m, c, r, g, b, w, k
lineStyle.style = '-'; %string ->-, --, :
lineStyle.width = 2; %double [0,inf]
model_.drawBsplines(lineStyle);
% Represent surfaces
surfaceStyle.faceColor = 'none'; %string ->none, y, m, c, r, g, b, w, k
surfaceStyle.edgeColor = 'k'; %string ->none, y, m, c, r, g, b, w, k
surfaceStyle.lineStyle = '-'; %string ->-, --, :, -., none
surfaceStyle.lineWidth = 0.5; %double [0,inf]
model_.drawSurfaces(surfaceStyle);

%model_.drawPoints(); model_.drawBsplines(); model_.drawSurfaces();
plot3(points_(2:7,1),points_(2:7,2),points_(2:7,3),'ro', 'MarkerFaceColor', 'r')
plot3(points_(9:10,1),points_(9:10,2),points_(9:10,3),'ro', 'MarkerFaceColor', 'r')
legend(['Mode shape - F = ' num2str(round(fc(n_peak),2,"decimals")) 'Hz'],...
'Accelerometer','Location','northwest','FontSize',12)
xlabel('Span [m]','FontSize',8)
ax = gca;
ax.FontSize = 8;
%% Determine Damping Ratio
Eigenfrequencies = fc(n_peak);
for n = 1:6
    % Damping Ratio of raw sign
    % find peak
    [~,p_i] = findpeaks(CROFFT_amplitude(:,n)); % find peak indexes in FFT_amplitude

```

```

[~,n_peak] = min(abs(fc(p_i) - Eigenfrequencies)); % peak index nearest to Eigenfrequency
p_i = p_i(n_peak); % peak index nearest to Eigenfrequency
f_n = fc(p_i); % approx natural frequency (Hz)
% Half-Power points, raw signal
pl = p_i - find(CROFFT_amplitude((p_i-1:-1:1),n) < CROFFT_amplitude((p_i),n)/sqrt(2),1); % 1st point index
to the left < Rd/sqrt(2)
pr = p_i + find(CROFFT_amplitude((p_i+1:end),n) < CROFFT_amplitude((p_i),n)/sqrt(2),1); % 1st point index
to the right < Rd/sqrt(2)
% interpolate, left
f_l = fc(pl) + (fc(pl+1)-fc(pl))*(CROFFT_amplitude((p_i),n)/sqrt(2)...
- CROFFT_amplitude((pl),n))/(CROFFT_amplitude((pl+1),n)-CROFFT_amplitude((pl),n));
% interpolate, right
f_r = fc(pr) + (fc(pr-1)-fc(pr))*(CROFFT_amplitude((p_i),n)/sqrt(2)...
- CROFFT_amplitude((pr),n))/(CROFFT_amplitude((pr-1),n)-CROFFT_amplitude((pr),n));
Damping_Ratio_raw(n) = 100*(f_r - f_l)/(f_r + f_l); % estimated damping (%)
% Plot
AccelNumber = n;
if n<5
subplot(2,8,n+4), plot(fc,CROFFT_amplitude(:,n)), hold all
subplot(2,8,n+4), plot([f_l f_n f_r],[CROFFT_amplitude((p_i),n)/sqrt(2) CROFFT_amplitude((p_i),n),...
CROFFT_amplitude((p_i),n)/sqrt(2)],'kx','MarkerSize',8)
else
subplot(2,8,n+8), plot(fc,CROFFT_amplitude(:,n)), hold all
subplot(2,8,n+8), plot([f_l f_n f_r],[CROFFT_amplitude((p_i),n)/sqrt(2) CROFFT_amplitude((p_i),n),...
CROFFT_amplitude((p_i),n)/sqrt(2)],'kx','MarkerSize',8)
end
xlim([Eigenfrequencies-2 Eigenfrequencies+2])
xlabel('f [Hz]'), ylabel('FFT'), title(['A' num2str(AccelNumber) ' - \zeta = '
num2str(round(Damping_Ratio_raw(n)...
,2,"decimals")) '%'],'FontSize',12)
%legend('FFT','Fitted')
end
str = questdlg('Do you want to obtain the mode shape for another frequency?');
if strcmp(str, 'Yes')
Flag=1;
count=count+1;
else
Flag=0;
end
end
end

```

Anexo 1.2. Códigos de la campaña 1 para obtener las aceleraciones

```
%% READ DATA
[a_unfiltered_nontrimmed, t_nontrimmed]=read_data;
T = max(t_nontrimmed); % total time, non-trimmed
N = length(t_nontrimmed); % number of samples, non-trimmed
fs = N/T; % sampling frequency
delta_t = 1/fs; % time step in the time domain
delta_f = 1/T; % resolution in the frequency domain

%% TRIM DATA
% Plot data in time domain, to be trimmed
[t_trimmed,a_unfiltered_trimmed,FrequencyDomain]=trimdata(t_nontrimmed,a_unfiltered_nontrimmed,fs,delta_t,delta_f);

%% FILTER
fmax = 10; % cutoff frequency
fmin = 0.1; %
[a_filtered]=filterdata(a_unfiltered_trimmed,fs, fmin, fmax);

%% FFT
[FFT_amplitude,FFT_sign]=fftdata(a_filtered);
[FFT_amplitude_unf,FFT_sign_unf]=fftdata(a_unfiltered_trimmed);

%% CROSSED FFT
nref = 2;
[CROFFT_amplitude,CROFFT_sign,cro_fft,fc]= crofftdata(a_filtered,nref,fs);
[CROFFT_amplitude_unf,CROFFT_sign_unf,cro_fft_unf,fc_unf]=
crofftdata(a_unfiltered_trimmed,nref,fs);

%% PLOTS TIME DOMAIN
% Plot data in time domain
plotdata(t_trimmed,a_unfiltered_trimmed,a_filtered);

%% PLOTS FFT
% Plot data in frequency domain
plotfft(FrequencyDomain,FFT_amplitude,fmax,'filtered');
plotfft(FrequencyDomain,FFT_amplitude_unf,fmax,'unfiltered');

%% PLOTS CROSSED FFT
plotcrofft(fc,CROFFT_amplitude,nref,fmax,'filtered');
plotcrofft_s(fc,cro_fft,nref,fmax,'filtered');
plotcrofft(fc_unf,CROFFT_amplitude_unf,nref,fmax,'unfiltered');
plotcrofft_s(fc_unf,cro_fft_unf,nref,fmax,'unfiltered')

disp('amax (m/s2) en acelerómetros A1 a A8 de la señal temporal
filtrada:\n')
max(abs(a_filtered))
%
disp('Valor eficaz o rms (m/s2) en acelerómetros A1 a A8 de la señal
temporal filtrada:\n')
rms(a_filtered)
%

function [a_unfiltered_nontrimmed, t_nontrimmed]=read_data
%% READ DATA
[file,path] = uigetfile('*.csv','Select a File');
file_path=[path,'/',file];
```



```

x=readtable(file_path,'Format','%f%f%f%f%f%f%f%f','Delimiter','comma','HeaderLines',16,'ReadVariableNames',false);
%
%% SORT DATA FROM table "x"
% Channel x.Var1 contains the time vector
% Channel x.Vari contain values from each of the 8 accelerometers
% Extract time data and establish domains
t_nontrimmed= x(:,:).Var1; % time data, non-trimmed
% Sort data from the 8 accelerometers in Matrix "a" - unfiltered data
a_unfiltered_nontrimmed(:,1) = x(:,:).Var2;
a_unfiltered_nontrimmed(:,2) = x(:,:).Var3;
a_unfiltered_nontrimmed(:,3) = x(:,:).Var4;
a_unfiltered_nontrimmed(:,4) = x(:,:).Var5;
a_unfiltered_nontrimmed(:,5) = x(:,:).Var6;
a_unfiltered_nontrimmed(:,6) = x(:,:).Var7;
a_unfiltered_nontrimmed(:,7) = x(:,:).Var8;
a_unfiltered_nontrimmed(:,8) = x(:,:).Var9;
end
function
[t_trimmed,a_unfiltered_trimmed,FrequencyDomain]=trimdata(t_nontrimmed,a_unfiltered_nontrimmed,fs,delta_t,delta_f)
% Plot data in time domain
fh=figure('Name','Original time domain data','NumberTitle','off');
fh.WindowState = 'maximized';
for i = 1:8
    AccelNumber = i;
    subplot(2,4,i), plot(t_nontrimmed,a_unfiltered_nontrimmed(:,i))
    xlabel('t [s]'), ylabel('acceleration [m/s^2]'), title(['A'
num2str(AccelNumber) '- Time domain'])
    hold on
    T=max(t_nontrimmed);
    xlim([0 T])
    grid on
end
uiwait(msgbox('Select a starting t-value from which to crop','modal'));
[trim_start ~] = ginput(1);
uiwait(msgbox('Select a final t-value to crop','modal'));
[trim_end ~] = ginput(1);
range_t=round(trim_start/delta_t)+1:round(trim_end/delta_t)+1;
t= t_nontrimmed(range_t,:); % time data, trimmed
T = max(t)-min(t); % total time, trimmed
N = length(t); % number of samples, trimmed
% Adjust number of samples to have a multiple of power of 2
npow2 = nextpow2(N);
T = delta_t*2^(npow2);
delta_f = 1/T; % resolution in the frequency domain
t_trimmed = (0:delta_t:T-delta_t); % time domain vector
FrequencyDomain = (0:delta_f:fs-delta_f); % frequency domain vector
% Filling with zeros the additional samples created
a_unfiltered_trimmed=zeros(2^npow2,8);
a_unfiltered_trimmed(1:size(range_t,2),:)=a_unfiltered_nontrimmed(range_t,:);
);

end
function [a_filtered]=filterdata(a_unfiltered_trimmed,fs, fmin, fmax)
filter_ = questdlg('Select the filter to be applied:','Filter selection','Chebyshev','Butterworth','Chebyshev');
if strcmp(filter_,'Butterworth')
    % APPLICATION OF BUTTERWORTH LOW-PASS FILTER AND FFT OF FILTERED SIGNAL
    [B,A] = butter(2,[fmin fmax]/(0.5*fs),'bandpass'); % Butterworth filter
    for n = 1:8

```

```

        a_filtered(:,n) = filtfilt(B,A,a_unfiltered_trimmed(:,n)-
mean(a_unfiltered_trimmed(:,n)));
    end
else
    %% APPLICATION OF CHEBYSHEV TYPE 1 FILTER AND FFT OF FILTERED SIGNAL
    ChebyOrder1=3; ChebyRipple1=0.1; ChebyFreq1=fmax; % Low-pass filter
design
    [Bf1,Af1]=cheby1(ChebyOrder1,ChebyRipple1,ChebyFreq1/fs*2,'low');
    ChebyOrder2=3; ChebyRipple2=0.1; ChebyFreq2=fmin; % High-pass filter
design
    [Bf2,Af2]=cheby1(ChebyOrder2,ChebyRipple2,ChebyFreq2/fs*2,'high');
    for n = 1:8
        a_filtered(:,n)=filter(Bf2,Af2,a_unfiltered_trimmed(:,n)-
mean(a_unfiltered_trimmed(:,n)), [],1); % Filtrado señal experimental
        a_filtered(:,n)=filter(Bf1,Af1,a_filtered(:,n), [],1); % Filtrado
señal experimental
    end
end
end
function [FFT_amplitude,FFT_sign]=fftdata(a_filtered)
N=size(a_filtered,1);
S = 2/N; % amplitude correction factor (for FFT)
for n=1:8
    FFT_sign(:,n) =
cos(angle(fft(a_filtered(:,n)))) ./abs(cos(angle(fft(a_filtered(:,n)))));
    FFT_amplitude(:,n) = S*abs(fft(a_filtered(:,n)));
end
end
function [CROFFT_amplitude,CROFFT_sign,cro_fft,fc]=
crofftdata(a_filtered,nref,fs)
N=size(a_filtered,1);
S = 2/N; % amplitude correction factor (for FFT)
for n=1:8

[cro_fft(:,n),fc]=cpsd(a_filtered(:,n),a_filtered(:,nref), [], [], [], fs);
    delta_f=fc(2)-fc(1);
    CROFFT_sign(:,n) =
cos(angle(cro_fft(:,n))) ./abs(cos(angle(cro_fft(:,n))));
    CROFFT_amplitude(:,n) = S*abs(cro_fft(:,n));
end
end
function plotdata(t_trimmed,a_unfiltered_trimmed,a_filtered)
fh=figure('Name','Trimmed time domain data','NumberTitle','off');
fh.WindowState = 'maximized';
for i = 1:8
    AccelNumber = i;
    subplot(2,4,i), plot(t_trimmed,a_unfiltered_trimmed(:,i))
    xlabel('t [s]'), ylabel('acceleration [m/s^2]'), title(['A'
num2str(AccelNumber) '- Time domain'])
    hold on
    plot(t_trimmed,a_filtered(:,i),'r')
    legend('Unfiltered','Filtered')
    T=max(t_trimmed);
    xlim([0 T])
    grid on
end
end
function plotfft(FrequencyDomain,FFT_amplitude,fmax,text)
fh=figure('Name','FFT for acelerometers','NumberTitle','off');
fh.WindowState = 'maximized';
for i = 1:8

```

```

    AccelNumber = i;
    subplot(2,4,i), plot(FrequencyDomain,FFT_amplitude(:,i))
    xlabel('f [Hz]'), ylabel('acceleration [m/s^2]'), title(['A'
num2str(AccelNumber) '- Frequency domain'])
    legend(['FFT', ' ',text])
    xlim([0 fmax])
    grid on
end
end
function plotcrofft(fc,CROFFT_amplitude,nref,fmax,text)
fh=figure('Name',['CPSD for relevant accelerometers. Ref Accel
#',num2str(nref)],'NumberTitle','off');
fh.WindowState = 'maximized';
for i = 1:8
    AccelNumber = i;
    subplot(2,4,i), plot(fc,CROFFT_amplitude(:,i))
    xlabel('f [Hz]'), ylabel('acceleration [(m/s^2)^2/Hz]'), title(['A'
num2str(AccelNumber) '- Frequency domain'])
    legend(['CPSD Ref#',num2str(nref), ' ',text])
    xlim([0 fmax])
    grid on
end
end
function plotcrofft_s(FrequencyDomain,cro_fft,nref,fmax,text)
fh=figure('Name',['CPSD sign for relevant accelerometers. Ref Accel
#',num2str(nref)],'NumberTitle','off');
fh.WindowState = 'maximized';
for i = 1:8
    AccelNumber = i;
    subplot(2,4,i), plot(FrequencyDomain,angle(cro_fft(:,i))*180/pi)
    xlabel('f [Hz]'), ylabel('phase [deg]'), title(['A'
num2str(AccelNumber) '- Frequency domain'])
    legend(['CPSD Ref#',num2str(nref), ' ',text])
    xlim([0 fmax])
    grid on
end
end
end

```

Anexo 1.3. Códigos para obtener las frecuencias y los parámetros exactos de la pasarela

```
function varargout = ModifyAbaqusFile(varargin)
% MODIFYABAQUSFILE MATLAB code for ModifyAbaqusFile.fig
%     MODIFYABAQUSFILE, by itself, creates a new MODIFYABAQUSFILE or
raises the existing
%     singleton*.
%
%     H = MODIFYABAQUSFILE returns the handle to a new MODIFYABAQUSFILE or
the handle to
%     the existing singleton*.
%
%     MODIFYABAQUSFILE('CALLBACK', hObject,eventData,handles,...) calls the
local
%     function named CALLBACK in MODIFYABAQUSFILE.M with the given input
arguments.
%
%     MODIFYABAQUSFILE('Property','Value',...) creates a new
MODIFYABAQUSFILE or raises the
%     existing singleton*. Starting from the left, property value pairs
are
%     applied to the GUI before ModifyAbaqusFile_OpeningFcn gets called.
An
%     unrecognized property name or invalid value makes property
application
%     stop. All inputs are passed to ModifyAbaqusFile_OpeningFcn via
varargin.
%
%     *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help ModifyAbaqusFile

% Last Modified by GUIDE v2.5 08-Jun-2022 12:56:46

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @ModifyAbaqusFile_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @ModifyAbaqusFile_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT
```

```

% --- Executes just before ModifyAbaqusFile is made visible.
function ModifyAbaqusFile_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to ModifyAbaqusFile (see VARARGIN)

% Choose default command line output for ModifyAbaqusFile
handles.output = hObject;
handles.filePath = '';

clc

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes ModifyAbaqusFile wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function vararginout = ModifyAbaqusFile_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)
% vararginout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject     handle to figure
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in fileExplorer.
function fileExplorer_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject     handle to fileExplorer (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)
[fname, pname] = uigetfile('*.inp');
filepath = fullfile(pname, fname);
set(handles.fileTextName, 'String', filepath);
handles.filePath = filepath;
guidata(hObject, handles);

function steelDensityBox_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject     handle to steelDensityBox (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of steelDensityBox as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
steelDensityBox as a double

boxValue = get(handles.steelDensityBox, 'String');
columnPlateThickness = str2num(boxValue);
if isempty(columnPlateThickness) || columnPlateThickness <= 0
    set(handles.convertButton, 'Enable', 'off');
    set(handles.convertAndRunButton, 'Enable', 'off');
    set(handles.steelDensityBox, 'BackgroundColor', 'r');
else

```

```

    set(handles.convertButton, 'Enable', 'on');
    set(handles.convertAndRunButton, 'Enable', 'on');
    set(handles.steelDensityBox, 'BackgroundColor', 'w');
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function steelDensityBox_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to steelDensityBox (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function concreteDensityBox_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to concreteDensityBox (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject, 'String') returns contents of concreteDensityBox as
text
%         str2double(get(hObject, 'String')) returns contents of
concreteDensityBox as a double

boxValue = get(handles.concreteDensityBox, 'String');
concreteElasticity = str2num(boxValue);
if isempty(concreteElasticity) || concreteElasticity <= 0
    set(handles.convertButton, 'Enable', 'off');
    set(handles.convertAndRunButton, 'Enable', 'off');
    set(handles.concreteDensityBox, 'BackgroundColor', 'r');
else
    set(handles.convertButton, 'Enable', 'on');
    set(handles.convertAndRunButton, 'Enable', 'on');
    set(handles.concreteDensityBox, 'BackgroundColor', 'w');
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function concreteDensityBox_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to concreteDensityBox (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function concreteElasticityBox_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to concreteElasticityBox (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of concreteElasticityBox as
text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
concreteElasticityBox as a double

boxValue = get(handles.concreteElasticityBox, 'String');
concreteElasticity = str2num(boxValue);
if isempty(concreteElasticity) || concreteElasticity <= 0
    set(handles.convertButton, 'Enable', 'off');
    set(handles.convertAndRunButton, 'Enable', 'off');
    set(handles.concreteElasticityBox, 'BackgroundColor', 'r');
else
    set(handles.convertButton, 'Enable', 'on');
    set(handles.convertAndRunButton, 'Enable', 'on');
    set(handles.concreteElasticityBox, 'BackgroundColor', 'w');
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function concreteElasticityBox_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to concreteElasticityBox (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function columnPlateThicknessBox_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to columnPlateThicknessBox (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of columnPlateThicknessBox
as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
columnPlateThicknessBox as a double

boxValue = get(handles.columnPlateThicknessBox, 'String');
columnPlateThickness = str2num(boxValue);
if isempty(columnPlateThickness) || columnPlateThickness <= 0
    set(handles.convertButton, 'Enable', 'off');
    set(handles.convertAndRunButton, 'Enable', 'off');
    set(handles.columnPlateThicknessBox, 'BackgroundColor', 'r');
else
    set(handles.convertButton, 'Enable', 'on');
    set(handles.convertAndRunButton, 'Enable', 'on');
    set(handles.columnPlateThicknessBox, 'BackgroundColor', 'w');
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function columnPlateThicknessBox_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to columnPlateThicknessBox (see GCBO)

```

```

% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function fileTextName_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to fileTextName (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of fileTextName as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of fileTextName
as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function fileTextName_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to fileTextName (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in convertButton.
function convertButton_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to convertButton (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

inputFileName = handles.filePath;

if exist(inputFileName, 'file') == 2
    % File exists.
else
    f = errordlg('Input file not found','File Error');
    return;
end

outputFileName = [handles.filePath(1:end-4), '_modified.inp'];
steelDensity = str2num(get(handles.steelDensityBox, 'String'))*1e-12;
concreteYoung = str2num(get(handles.concreteElasticityBox, 'String'));
concreteDensity = str2num(get(handles.concreteDensityBox, 'String'))*1e-12;
columnPlateThickness = str2num(get(handles.columnPlateThicknessBox,
'String'));

funChangeParameters( inputFileName, outputFileName, steelDensity,
concreteYoung, concreteDensity, columnPlateThickness );

```



```

% --- Executes on button press in convertAndRunButton.
function convertAndRunButton_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to convertAndRunButton (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

inputFileName = handles.filePath;

if exist(inputFileName, 'file') == 2
    % File exists.
else
    f = errordlg('Input file not found','File Error');
    return;
end

steelDensity = str2num(get(handles.steelDensityBox, 'String'))*1e-12;
concreteYoung = str2num(get(handles.concreteElasticityBox, 'String'));
concreteDensity = str2num(get(handles.concreteDensityBox, 'String'))*1e-12;
columnPlateThickness = str2num(get(handles.columnPlateThicknessBox,
'String'));

funChangeParameters( inputFileName, 'newFile.inp', steelDensity,
concreteYoung, concreteDensity, columnPlateThickness );

command = 'abaqus job=newFile interactive';
[status,cmdout] = system(command);

delete newFile.com
delete newFile.dat
delete newFile.msg
delete newFile.prt
delete newFile.sim
delete newFile.sta

command = 'abaqus cae database=newFile.odb';
[status,cmdout] = system(command);

function funChangeParameters( inputFileName, outputFileName, steelDensity,
concreteYoung, concreteDensity, columnPlateThickness )

inp = fopen(inputFileName,'r');
out = fopen(outputFileName,'w');

while ~feof(inp)
    line = fgetl(inp);
    fprintf(out,'%s\n',line);

    if line(1) == '*'
        if strcmp(line,'*MATERIAL, NAME=MAT_STEEL')
            fprintf(out,'*ELASTIC\r\n');
            fprintf(out,'210000., 0.3\r\n');
            fprintf(out,'*DENSITY\r\n');
            fprintf(out,'%e,\r\n',steelDensity);
            fgetl(inp);
            fgetl(inp);
            fgetl(inp);
            fgetl(inp);
        end
    end
end

```

```

if strcmp(line, '*MATERIAL, NAME=MAT_CONCRETE')
    fprintf(out, '*ELASTIC\r\n');
    fprintf(out, '%f, 0.3\r\n', concreteYoung);
    fprintf(out, '*DENSITY\r\n');
    fprintf(out, '%e, \r\n', concreteDensity);
    fgetl(inp);
    fgetl(inp);
    fgetl(inp);
    fgetl(inp);
end

if strcmp(line, '*SHELL SECTION, ELSET=SHELL-COLUMNS,')
    fprintf(out, 'CONTROLS=REDUCED_INTEGRATION_FROMNASTRAN, \r\n');
    fprintf(out, 'MATERIAL=MAT_STEEL\r\n');
    fprintf(out, '%e, \r\n', columnPlateThickness);
    fgetl(inp);
    fgetl(inp);
    fgetl(inp);
end

end

fclose all

```

Anexo 2. Fichas de características de los equipos utilizados

Ficha de características de uno de los acelerómetros utilizados:

Calibration Chart for Delta Tron® Accelerometer Type 8340



Serial No.: 52731

Reference Sensitivity ¹⁾ at 159.2 Hz ($\omega = 1000 \text{ s}^{-1}$), 20 ms⁻² RMS, 4 mA supply current and 24.0 °C: 99.5, 2 mV/ms² (97.60 mV/g)
 Frequency Range: Amplitude ($\pm 10\%$): kHz
 Mounted Resonance Frequency: kHz

Transverse Sensitivity ²⁾: Maximum (at 30 Hz, 100 ms⁻²): < 1% re Reference Sensitivity

Calculated Values for TEDS ³⁾: Resonance frequency: 8.54 kHz
 Quality factor @ f_{res}: 9.49
 Amplitude slope: -2.1 % / decade
 High-pass cut-off frequency: 0.053 Hz
 Low-pass cut-off frequency: 2.4 kHz

Measuring Range: ± 4.9 ms⁻² peak (± 0.5 g peak)

Polarity of the signal is positive for an acceleration into the accelerometer mounting surface. For triaxial accelerometers and accelerometers with multiple mounting surfaces, the polarity of the signal is positive for an acceleration in the direction of the arrow on the drawing.

Electrical:

Bias Voltage: Operating Temperature: 10V to 14V
 Power Supply Requirements: Constant Current: + 2 to + 20 mA
 Unloaded Supply Voltage: + 24 V to + 30 V

Inherent Noise (RMS): Broadband (0.1 Hz to 1500 kHz): 25 µg

Spectral: 0.1 Hz: 1.5 µg/√Hz
 55 Hz: 1.5 µg/√Hz
 300 Hz: 0.05 µg/√Hz
 1500 Hz: 0.05 µg/√Hz

Insulation: Case Grounded

Recommended cables: see Product Data Sheet

Environmental:

Temperature Range: - 51 to + 74 °C (- 60 to + 11
 Temperature Coefficient of Sensitivity: + 0.25%
 Base-strain Sensitivity (at 250 µm in base plane): 0.0002 ms
 Max. Non-destructive Shock: 1 kms⁻² peak (100 g p

Mechanical:

Case Material: Stainless
 Sensing Element: Cer
 Construction: Annular
 Sealing: Her
 Weight: 775 gram (27.1
 Electrical Connector: MIL-C-1
 Mounting: 1/4"-28 UNF (Internal Thr
 Depth 6.35
 Mounting Torque: Max 5 Nm (44 lb
 Min 1.5 Nm (13.3 lb

¹⁾ This calibration is obtained on a modified Brüel & Kjær Calibration System Type 9610, System No.: 259457.1.4 and is traceable to the National Institute of Standards and Technology, USA and Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Germany. The expanded uncertainty is 1.0% determined in accordance with EAL-R2. A coverage factor k = 2 is used. This corresponds to a coverage probability of 95% for a normal distribution.

²⁾ The uncertainty is 0.3% of Reference Sensitivity.

³⁾ Transducer Electronic Data Sheet according to IEEE P1451.4. Built-in ID-information not included.

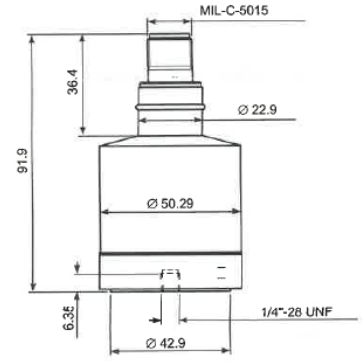
⁴⁾ Deviation from Reference Sensitivity.

For further information, please see <http://www.bkav.com> and Product Data Sheet BP 2083.

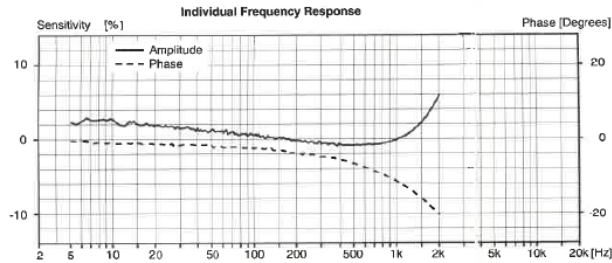


Mounting Technique:

Examine the mounting surface for cleanliness and smoothness. If necessary, machine surfaces as per drawing of recommended mounting surface. Fasten the accelerometer using the 1/4" - 28 stud. Take care not to exceed the max. recommended mounting torque and that the stud does not bottom in the mounting holes. A thin film of oil or grease on the mounting surface improves the mounting stiffness. For other types of mounting see Brüel & Kjær "piezoelectric Accelerometers and Vibration Preamplifiers" handbook.



All dimensions in mm 050005



Date 07 may 2021, 08:25 Operator PR

Specifications obtained in accordance with ANSIS2 11-1969 and parts of ISO 5347. All values are typical at 25 °C (77 °F) unless measurement uncertainty is specified.

BC 0383-11

PRODUCT DATA

Piezoelectric Accelerometer Seismic DeltaTron® Accelerometer — Type 8340

USES AND FEATURES

- Seismic measurements
- High sensitivity, 1 V/ms^{-2} (10 V/g)
- Low noise
- Low-impedance output
- Hermetically sealed stainless steel housing for outdoor environments
- Insulated base

Description

Type 8340 is a piezoelectric annular shear design accelerometer with integral electronics. The transducer features a MIL-C-5015, 2-pin top connector, case isolation and a hermetically sealed stainless steel housing to resist outdoor or humid environments. Type 8340 is mounted by means of a $\frac{1}{4}$ "-28 UNF tapped hole. A steel stud is supplied with the accelerometer.



Characteristics

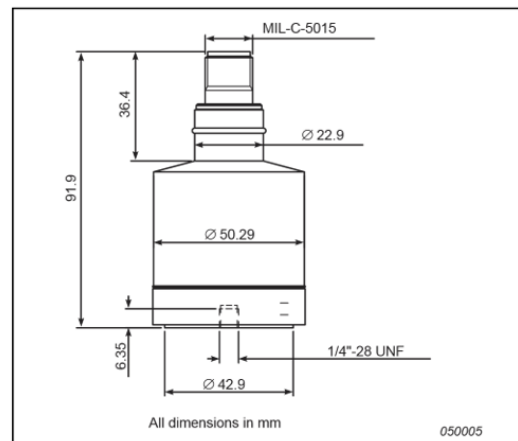
The transducer has been specifically designed with a high sensitivity and excellent signal-to-noise ratio for measurements on large structures at very low frequencies and measuring low-level seismic activity.

Calibration

Type 8340 is individually calibrated using state-of-the-art random FFT technology, providing an 800-point, high-resolution calibration (magnitude and phase), ultimately giving a unique characterisation and securing the integrity of the vibration measurement.

The sensitivity given on the calibration chart has been measured at 159.2 Hz with a 95% confidence level, using a coverage factor $k = 2$.

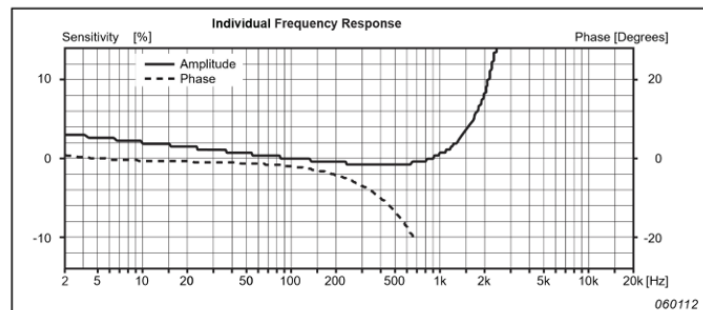
Type 8340 is calibrated in the frequency range from 5 Hz to 1500 Hz.



	Units	8340
Dynamic Characteristics		
Voltage Sensitivity (@ 159.2 Hz)	V/ms ⁻² (V/g)	1 +12/-8% (10 ±10%)
Measuring Range	ms ⁻² (g)	±4.9 (±0.5)
Frequency Response (typical)		See amplitude and phase response
Mounted Resonance Frequency	kHz	7
Amplitude Response ±10%	Hz	0.1 to 1500
Residual Noise, Broadband	µg	25
Residual Noise, Spectral @ 0.1 Hz	µg/√Hz	1.5
Residual Noise, Spectral @ 55 Hz	µg/√Hz	1.5
Residual Noise, Spectral @ 300 Hz	µg/√Hz	0.05
Residual Noise, Spectral @ 1000 Hz	µg/√Hz	0.05
Transverse Sensitivity	%	<1
Electrical Characteristics		
Output Impedance	Ω	<200
DC Output	At room temperature	V
Bias Voltage	In full temperature range	V
Power Supply		mA
Start-up Time		s
Grounding		Case Insulated
Environmental Characteristics		
Temperature Range	°C (°F)	-51 to +74 (-60 to +165)
Humidity		Hermetic
Max. Operational Sinusoidal Vibration (peak)	ms ⁻² (g) pk	±4.9 (±0.5)
Max. Shock (peak)	ms ⁻² (g) pk	980 (100)
Base Strain Sensitivity	Equiv. ms ⁻² /µ strain	0.0002
Coefficient of Thermal Sensitivity	Equiv. %/°C (%/°F)	0.25 (0.14)
Magnetic Sensitivity (50 Hz - 0.03 Tesla)	ms ⁻² /T (g/T)	0.7 (0.07)
Physical Characteristics		

Dimensions		See outline drawing
Weight	gram (oz.)	775 (22.3)
Case Material		Stainless steel
Connector		2-pin MIL-C-5015
Mounting		1/4"-28 UNF threaded hole
Max. Mounting Torque	Nm (lb. in.)	5 (44)

All values are typical at 25°C (77°F) unless measurement uncertainty is specified



TRADEMARKS

Tefzel is a registered trademark of E.I. du Pont de Nemours and Company

Brüel & Kjær reserves the right to change specifications and accessories without notice

HEADQUARTERS: DK-2850 Nærum · Denmark · Telephone: +45 4580 0500 · Fax: +45 4580 1405
www.bksv.com · info@bksv.com

COMPLIANCE WITH STANDARDS

CE Compliance with EMC Directive and Low Voltage Directive of the EU
CC Compliance with the EMC requirements of Australia and New Zealand

Ordering Information

Type 8340 includes the following accessories:

- Carrying box
- Calibration chart
- 1/4"-28 UNF Mounting Stud

OPTIONAL ACCESSORIES*

- AO-0608-D-050: Industrial grade cable, Tefzel[®] jacket, 2-pin MIL-C-5015 connector to BNC connector, 5 m, -40°C to +125°C
- AO-0612-D-050: Industrial grade cable, Tefzel jacket, 2-pin MIL-C-5015 to Open End, 5 m, -40°C to +125°C
- UA-2056: Set of 10 1/4"-28 UNF threaded mounting stud with flange, length 8.7 mm
- UA-2052: Set of 10 stud adaptors 1/4"-28 UNF to 10-32 UNF thread, length 7.4 mm
- UA-2054: Set of 20 bushing adaptors 1/4"-28 UNF to 10-32 UNF internal thread

SERVICE

- 8340-CAF: Seismic DeltaTron Accelerometer, Accredited Calibration
- 8340-CAI: Seismic DeltaTron Accelerometer, Accredited Calibration Performed as in-

itial

- 8340-CTF: Seismic DeltaTron Accelerometer, Traceable Calibration
- 8340-CTI: Seismic DeltaTron Accelerometer, Traceable Calibration Performed as in-
initial
- 8340-EW1: Seismic DeltaTron Accelerometer, Extended Warranty, one year extension

* Additional accessories and cables are available (see www.bksv.com)

Brüel & Kjær



Ficha de características del módulo utilizado:

PRODUCT DATA

CAN Bus Module LAN-XI 25.6 kHz Type 3058

CAN Bus Module Type 3058 is a versatile 8-channel 25.6 kHz LAN-XI data acquisition module with two independent CAN bus input channels ideal for automotive noise, vibration and harshness (NVH) applications both in the lab and in the field.

The eight dynamic input channels support CCLD transducers, transducers with TEDS (transducer electronic data sheet), and automotive tach signals. Four of the eight channels can be configured into two AES3 balanced input channels for digital signals – enabling connection to a head and torso simulator (HATS).

CAN Bus and digital input is supported by Sonoscout™ NVH Recorder BZ-5950 (product data: BP 2463). Therefore, Type 3058 can be used as a front end for recording NVH data along with vehicle parameters and HATS digital input.



Uses and Features

Uses

- NVH recording and analysis
- As a measurement front end (NVH Simulator, Sonoscout, BK Connect™)
- Monitoring vehicle parameters
- Providing sound quality metrics (loudness, sharpness, articulation index)
- General sound and vibration measurements

Features

- DC to 25.6 kHz input range (sampling rate 65.5 kHz)
- Built-in constant current line drive (CCLD) to power sensors
- 30 V input range, for automotive tach signals
- AES3-balanced input channels – supports digital HATS
- CAN bus
 - High-speed CAN: ISO 11898-2. CAN 2.0 A/B up to 1 Mbit/s
 - Low-speed CAN (fault tolerant): ISO 11898-3
 - Support for J-1939 and OBD-II via CAN
- Micro SD card, for stand-alone recording
- LAN interface – keeps setup local
- LED indicators on each channel (conditioning, cable break)
- Power: Mains, DC, battery or PoE (IEEE 802.3af)
- Robust casing

Description

CAN Bus Module Type 3058 is a low-noise data acquisition unit with eight input channels and two CAN bus input channels. It is designed specifically for automotive testing applications: recording vehicle parameters, together with signals from mounted sensors and/or HATS.

Eight Input Channels

The eight analogue dynamic input channels cover signals with frequencies from DC to 25 kHz, which is ideal for most NVH applications. The input channels support direct voltage signals and provide conditioning for CCLD transducers such as microphones, accelerometers, binaural recording headsets and Sound Quality HATS.

Four of the input channels can be configured as two balanced input channels for digital signals according to AES3 (channels 3 + 7, and/or 4 + 8). This enables connectivity to 2-channel digital audio signals systems such as digital artificial heads.

The input channels also have a special 'vehicle tach' input range (30 V) that allows tachometer pulses from, for example, flywheel sensors on the vehicle to be input directly into the module.

Two CAN Bus Channels

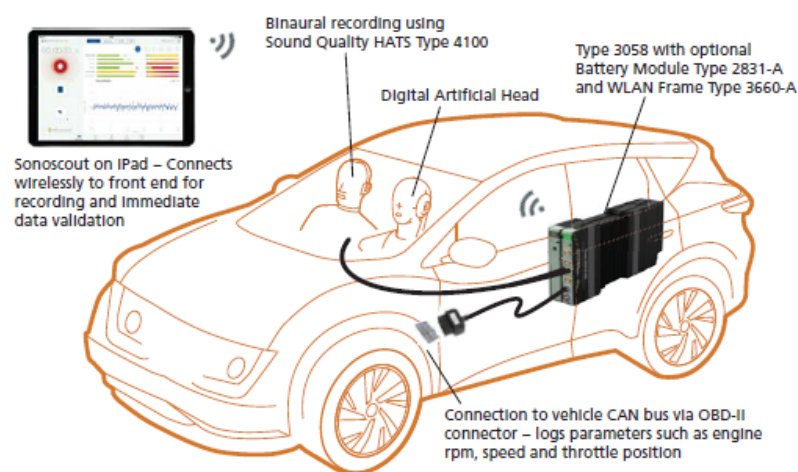
The two independent CAN bus channels enable connectivity to both the vehicle CAN and another CAN device, for example, high-precision GPS equipment. The module supports both high-speed and low-speed CAN, as well as OBD-II via CAN.

Configurable Hardware

Type 3058 is part of the family of Brüel & Kjær LAN-XI data acquisition hardware – a versatile system of modular hardware that can be configured and reconfigured in different setups.


When combined with Wireless LAN Frame Type 3660-A and Battery Module Type 2831-A*, Type 3058 becomes a wireless, portable front end with more than seven hours of battery life, data acquisition channels and a CAN bus interface. Use this configuration as the front end in your Sonoscout system for a comprehensive NVH solution, see Fig. 1.

Fig. 1
Type 3058 used in a Sonoscout system



* Types 3660-A and 2831-A are part of the LAN-XI hardware family, see Product Data BP 2215 for more information

Compliance with Standards

	<p>The CE marking is the manufacturer's declaration that the product meets the requirements of the applicable EU directives</p> <p>RCM mark indicates compliance with applicable ACMA technical standards – that is, for telecommunications, radio communications, EMC and EME</p> <p>China RoHS mark indicates compliance with administrative measures on the control of pollution caused by electronic information products according to the Ministry of Information Industries of the People's Republic of China</p> <p>WEEE mark indicates compliance with the EU WEEE Directive</p>
Safety	EN/IEC 61010–1 and ANSI/UL 61010–1: Safety requirements for electrical equipment for measurement, control and laboratory use
EMC Emission	EN/IEC 61000–6–3: Generic emission standard for residential, commercial, and light-industrial environments CISPR 22: Radio disturbance characteristics of information technology equipment. Class B Limits
EMC Immunity	EN/IEC 61000–6–1: Generic standards – Immunity for residential, commercial and light industrial environments EN/IEC 61000–6–2: Generic standards – Immunity for industrial environments EN/IEC 61326: Electrical equipment for measurement, control and laboratory use – EMC requirements Note: The above is only guaranteed using accessories listed in this Product Data
Temperature	IEC 60068–2–1 & IEC 60068–2–2: Environmental Testing. Cold and Dry Heat Ambient Operating Temperature: –10 to +55 °C (14 to 131 °F) Storage Temperature: –25 to +70 °C (–13 to +158 °F)
Humidity	IEC 60068–2–78: Damp Heat: 93% RH (non-condensing at 40 °C (104 °F))
Mechanical (non-operating)	IEC 60068–2–6: Vibration: 0.3 mm, 2 g, 10 – 500 Hz IEC 60068–2–27: Shock: 100 g IEC 60068–2–29: Bump: 1000 bumps at 25 g
Enclosure	IEC 60529: Protection provided by enclosures: IP 31

EFFECT OF RADIATED AND CONDUCTED RF, MAGNETIC FIELD AND VIBRATION

Radiated RF: 80–2700 MHz, 80% AM 1 kHz, 10 V/m
Conducted RF: 0.15–80 MHz, 80% AM 1 kHz, 10 V

Magnetic Field: 30 A/m, 50 Hz

Vibration: 5–500 Hz, 12.7 mm, 15 m/s²

Specifications – LAN Interface

CONNECTOR

Modules: RJ 45 (10baseT/100baseTX) connector complying with IEEE 802.3 100baseX

Frames: When used with Types 3660-C-100 and -D-100, the use of a ruggedized RJ45 data connector (Neutrik® NE8MC-1) can be used to screw the cable to the frame

Cable type: Types 3660-C-100 and -D-100 communicate at 1000 Mbit/s. Shielded cables of type 'CAT 5e' or better should be used. Individual modules communicate at 100 Mbit/s.

All LAN connectors support MDIX, which means that cables may be 'crossed' or not.

For stand-alone modules, PoE is also supported (IEEE 802.3af). PoE requires screened shielded twisted pair (S/STP or S/FTP) CAT 6 LAN cables

PROTOCOL

The following standard protocols are used:

- TCP
- DHCP (incl. auto-IP)
- DNS (on top of UDP)
- IEEE 1588–2002 (on top of UDP)
- IP
- Ethernet

ACQUISITION PERFORMANCE

Each module generates data at almost 20 Mbit/s when measuring 8 + 2 CAN channels at 25.6 kHz bandwidth.

In a frame, the modules are capable of handling their own maximum traffic while the built-in switch on the frame's backplate has more than sufficient capacity. This means that bottlenecks can only occur outside these, for example in:

- External switches
- PC

PTP PERFORMANCE

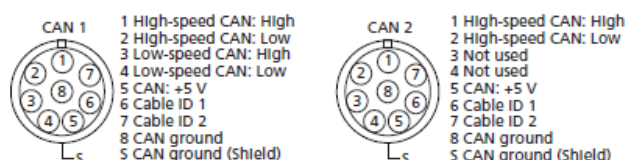
PTP Synchronization (with 1 Gigabit LAN Switch):

Typical sample synchronization better than 200 ns (approximately ±0.07° @ 1 kHz, ±2° @ 25.6 kHz)

Better performance can be expected with a dedicated PTP switch:

- UL-0265: 10-port Gigabit Managed Switch with PTPv2 and PoE (8 ports). This is a dedicated PTP switch, preconfigured for optimal use with LAN-XI

Fig. 1 Pinouts for CAN 1 and CAN 2 connectors on LAN-XI Front Panel UA-3101-080 (see specifications on next page)



170081/1

Specifications – LAN-XI CAN Bus Module Type 3058-B-080

POWER REQUIREMENTS

DC Input: 10 – 32 V DC
Connector: LEMO coax., FFA.00.113, ground on shield

Power Consumption:

DC Input: < 15 W

Typical Operating Time on Battery Type 2831-A:

> 7 hours with single module

> 40 minutes in Type 3660-D frame (up to two batteries in Type 3660-D)

Supply via PoE: According to IEEE 802.3af, max. cable length 50 m

Temperature Protection:

Temperature sensor limits module's internal temperature to 80 °C (176 °F). If temperature exceeds limit, system will automatically enable fan in LAN-XI frame, or shut down module outside frame

DIMENSIONS AND WEIGHT

Height: 132.6 mm (5.22")

Width: 27.5 mm (1.08")

Depth: 250 mm (9.84")

Weight: 750 g (1.65 lb)

Specifications – CAN Interface

CONNECTOR

8-pin LEMO type, see Fig. 1
(with special key to stop you using it with other non-CAN LEMO connectors)

PROTOCOL

- High-speed CAN ISO 11898-2. CAN 2.0 A/B up to 1 Mbit/s
- Low-speed CAN (fault tolerant) ISO 11898-3
- J-1939 and OBD-II via CAN supported

Specifications – AES3

AES3 inputs for digital audio interface (two 2.0 stereo channel).

The following refers to the front panel UA-3101-080. AES3 is a balanced digital signal and requires two connections per stereo channel with this front panel:

- Digital channel 1, L + R: Connect to channel 3 + 7
- Digital channel 2, L + R: Connect to channel 4 + 8

The two input connectors in each digital channel may be switched. This does not change audio properties or channel configuration.

SMB connectors: Centre: Input, Shield: Ground

Supported sampling frequencies: 32, 44.1, 48, 88.2, and 96 kHz

Specifications – Analogue Input Channels

Frequency Range	DC to 25.6 kHz or any range defined by high-pass filters and by software decimation set under 'frequency span'				
Sampling Rate	65.5 k samples/s				
A/D Conversion	24 bit				
Data Transfer	24 bit				
Input Voltage Ranges	1 V _{peak} 10 V _{peak} 30 V _{peak} (Tacho Range)				
Input Signal Coupling	Differential	Signal Ground is 'Floating' (1 MΩ re chassis)			
	Single-ended	Signal ground is connected to chassis ('Grounded')			
Input Impedance	Direct: 1 MΩ <300 pF CCLD: >100 kΩ <300 pF				
Absolute Maximum Input	±60 V _{peak} without damage				
High-pass Filters	-0.1 dB *		-10% @ **	-3 dB @ **	Slope
* Defined as the lower frequency, f _L , for guaranteed fulfilment of -0.1 dB accuracy	0.1 Hz -10% digital high-pass filter	0.5 Hz	0.1 Hz	0.05 Hz	-20 dB/dec.
	0.7 Hz -0.1 dB digital high-pass filter	0.7 Hz	0.15 Hz	0.073 Hz	
** Defined as the nominal -10%/-3 dB filter frequency	1 Hz -10% analogue high-pass filter	5 Hz	1.0 Hz	0.5 Hz	-20 dB/dec.
	7 Hz -0.1 dB digital high-pass filter	7 Hz	1.45 Hz	0.707 Hz	
*** Single analogue pole and 2nd order digital filter section	22.4 Hz -0.1 dB analogue*** high-pass filter	22.4 Hz	14.64 Hz	11.5 Hz	-60 dB/dec.
Absolute Amplitude Precision, 1 kHz, 1 V _{input}	±0.05 dB, typ. ±0.01 dB				
Amplitude Linearity	0 to 60 dB below full scale		±0.1 dB, typ. ±0.01 dB		
(linearity in one range)	60 to 80 dB below full scale		±0.2 dB, typ. ±0.02 dB		
	80 to 100 dB below full scale		typ. ±0.05 dB		

Overall Frequency Response re 1 kHz, from lower limit f_L to upper limit f_U f_L is defined as the lower frequency for guaranteed fulfilment of -0.1 dB accuracy (see under High-pass Filters) f_U is defined as the chosen frequency span		± 0.1 dB	
Noise: Measured lin. 10 Hz to 25.6 kHz (Input terminated by 50 Ω or less)	Input Range	Guaranteed	Typical
	1 V_{peak}	$< 7.5 \mu V_{rms}$ ($< 47 nV_{rms}/\sqrt{Hz}$ @ 1 kHz)	$< 5.5 \mu V_{rms}$ ($< 35 nV_{rms}/\sqrt{Hz}$ @ 1 kHz)
	10 V_{peak}	$< 75 \mu V_{rms}$ ($< 470 nV_{rms}/\sqrt{Hz}$ @ 1 kHz)	$< 55 \mu V_{rms}$ ($< 350 nV_{rms}/\sqrt{Hz}$ @ 1 kHz)
Spurious-free Dynamic Range re full-scale input (Input terminated by 50 Ω or less) Spurious-free dynamic range is defined as the ratio of the rms full-scale amplitude to the rms value of the peak non-harmonic spectral component	Input Range	Typical	
	1 V_{peak}	130 dB	
	10 V_{peak}	130 dB 120 dB with DC coupling	
DC Offset re Full Scale Measured after automatic DC compensation at current temperature when changing from AC to DC coupling or changing input range when DC coupled		Guaranteed	Typical
		< -80 dB	< -90 dB
Harmonic Distortion (all harmonics)		Guaranteed	Typical
		-80 dB in 1 V range -75 dB in 10 V range	-100 dB @ 1 kHz
Crosstalk: Between any two channels of a module or between any two channels in different modules	Frequency Range	Guaranteed	Typical
	0 – 25.6 kHz	< -80 dB	-100 dB
Channel-to-Channel Match (10 V_{peak} and 1 V_{peak} input ranges)		Guaranteed	Typical
Maximum Gain Difference f_L is defined as the -0.1 dB frequency		0.1 dB from lower frequency limit, f_L , to 25.6 kHz (0.4 dB at -10% filter frequency)	± 0.01 dB

Maximum Phase Difference (within one frame) f_L is defined as the -0.1 dB filter frequency	
---	--

Sound Intensity Phase Match	Not relevant				
Common Mode Rejection		Guaranteed		Typical	
		10 V range	1 V range	10 V range	1 V range
	0.1 – 120 Hz	60 dB	80 dB	65 dB	85 dB
	120 Hz – 1 kHz	50 dB	70 dB	55 dB	75 dB
	1 kHz – 25.6 kHz	30 dB	50 dB	40 dB	60 dB
Absolute Max. Common Mode Voltage	$\pm 28 V_{peak}$ without damage				
	$\pm 3 V_{peak}$ without clipping If common mode voltage exceeds the max. value, care must be taken to limit the signal ground current in order to prevent damage. Maximum is 100 mA. The instrument will limit the voltage to the stated max. 'without damage' common mode value				
Anti-aliasing Filter At least 90 dB attenuation of those frequencies that can cause aliasing	Filter Type	3rd order Butterworth			
	-0.1 dB @	25.6 kHz			
	-3 dB @	64 kHz			
	Slope	-18 dB/octave			
Supply for Microphone Preamplifiers	Not available				
Supply for Microphone Polarization	Not available				
Supply for CCLD	3.6 mA from 24 V source				
	If any CCLD-coupled channel is paralleled with another channel, this must also be CCLD-coupled. Otherwise the signal might be clipped by the paralleled channel				
Tacho Supply	CCLD for Type 2981 (Power supply for legacy types MM-0012 and MM-0024 not available)				

Analogue Special Functions	Transducers: Supports IEEE 1451.4-capable transducers with standardized TEDS
Overload Detection	Signal Overload: Detection level in 1 V range: $\pm 1 V_{peak}$ In 10 V range: $\pm 10 V_{peak}$ (in CCLD mode $\pm 7 V_{peak}$) CCLD Overload: Detection of cable break or short-circuit + detection of CCLD transducer working point fault. Detection level: $+ 2 V/20 V$ Common Mode Voltage Overload: Detection level: $\pm 3 V$
Protection	If signal input level exceeds the measuring range significantly, the input will go into protection mode until the signal goes beyond the detection level again – but at least for 0.5 s. While in protection mode, the input is partly switched off and the input impedance is strongly increased. (The measured value will be strongly attenuated but still detectable) Direct mode detection level: $\pm 33 V_{peak}$ CCLD mode detection level: $+27/-2 V_{peak}$

Ordering Information

Type 3058-B-080 LAN-XI 8-ch. Input + 2-ch. CAN Bus Module 25.6 kHz

Includes the following accessories:

- UA-3101-080: LAN-XI detachable front panel with 8 × SMB input connectors and 2 × LEMO 8-pin CAN bus connectors
- ZG-0426: Power supply via mains (100 – 240 V)
- AO-1450: LAN Cable, shielded CAT 6, RJ 45 (M), 2 m (6.5 ft)
- ZH-0717: CAN Cable, high-/low-speed CAN with LED indication and power, LEMO 8-pin to D-sub 9-pin, 3 m (10 ft)
- ZH-0718: CAN Breakout Adapter, EMC hood, D-sub 9-pin to wireable terminal blocks
- AO-0791: CAN Cable, LEMO 8-pin to ODB-II 16-pin

Sonoscout Configuration using Type 3058-B-080

Type 3663-x-080*	8-channel CAN Sonoscout Kit (includes Type 3058-B-080)
AO-0795-D-010	CAN Cable, J-1939-13 Type 2 9-pin to D-sub 9-pin, 1 m (3.3 ft)
AO-0788-D-030	HATS Cable, 2 × SMB (AES3) to XLR 3-pin (HATS), 3 m (10 ft)
AO-0823-D-004	CAN Cable, OBD-II 16-pin (M) Type B (for 24 V trucks) to OBD-II 16-pin (F), 0.4 m (1.3 ft)

For more information on Sonoscout Kit Type 3663-B-080, see Sonoscout NVH Recorder BZ-5950 product data: BP 2463.

Calibration Services for LAN-XI Analyzers

ANA-LNXI-CAF	Accredited Calibration
ANA-LNXI-CAI	Initial Accredited Calibration
ANA-LNXI-CTF	Traceable Calibration
ANA-LNXI-TCF	Conformance Test with Certificate

* x = B or J

Type 3663-B-080: for use internationally (except Japan)
Type 3663-J-080: for use in Japan

Supported Brüel & Kjær Products

SENSORS

A wide range of Brüel & Kjær accelerometers, microphones, preamplifiers and sound intensity probes is available for use with a LAN-XI system. The system supports IEEE 1451.4-capable transducers with standardized TEDS. Visit bksv.com/transducers for more information

CABLING AND ADAPTERS

WA-1705	Adapter, SMB (F) to Microdot (F), for LAN-XI and array microphones
AO-0723	Adapter, SMB to BNC, for using cables with BNC connectors
AO-0725	Cable, SMB to SMB, for tachometer probe
AO-0691	Cable, SMB to 10 – 32, for accelerometers
AO-0699	Cable (high temp.), SMB to 10 – 32, for accelerometers
AO-0698	Cable, SMB to M3, for mini-accelerometers
AO-0690	Cable, 3 × SMB to 4-pin Microtech, for triaxial accel.
AO-0587	Cable, SMB to BNC, for Preamplifier Type 2671
AO-0528	Cable, 4-pin Microtech connectors, for triaxial accel.

CONDITIONING

WB-1497	20 dB Attenuator
---------	------------------

LAN-XI HARDWARE

Type 2831-A	Battery Module
Type 3660-A-20x†	Wireless LAN Frame
Type 3660-C-100	5-module LAN-XI Front-end Frame with GPS
Type 3660-D-100	11-module LAN-XI Front-end Frame with GPS
ZG-0858	DC Power Charger, car utility connector to Type 2831-A
AO-0546	DC Power Cable, car utility connector to single module
AO-1489	DC Power Cable, car utility connector to 11-module frame (Type 3660-D-100)
UL-0265	10-port Gigabit Managed Switch with PTP and PoE (8 ports)

SOFTWARE

Brüel & Kjær's analysis software supports LAN-XI hardware. Visit bksv.com for more information on our range of software applications

† x = 0 or 1

Type 3660-A-200: for use internationally (except Japan)
Type 3660-A-201: for use in Japan

© Brüel & Kjær. All rights reserved. 2018-04
BP 2566 – 12



Brüel & Kjær and all other trademarks, service marks, trade names, logos and product names are the property of Brüel & Kjær or a third-party company.

Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S
DK-2850 Nærum · Denmark · Telephone: +45 77 41 20 00 · Fax: +45 45 80 14 05
www.bksv.com · info@bksv.com
Local representatives and service organizations worldwide

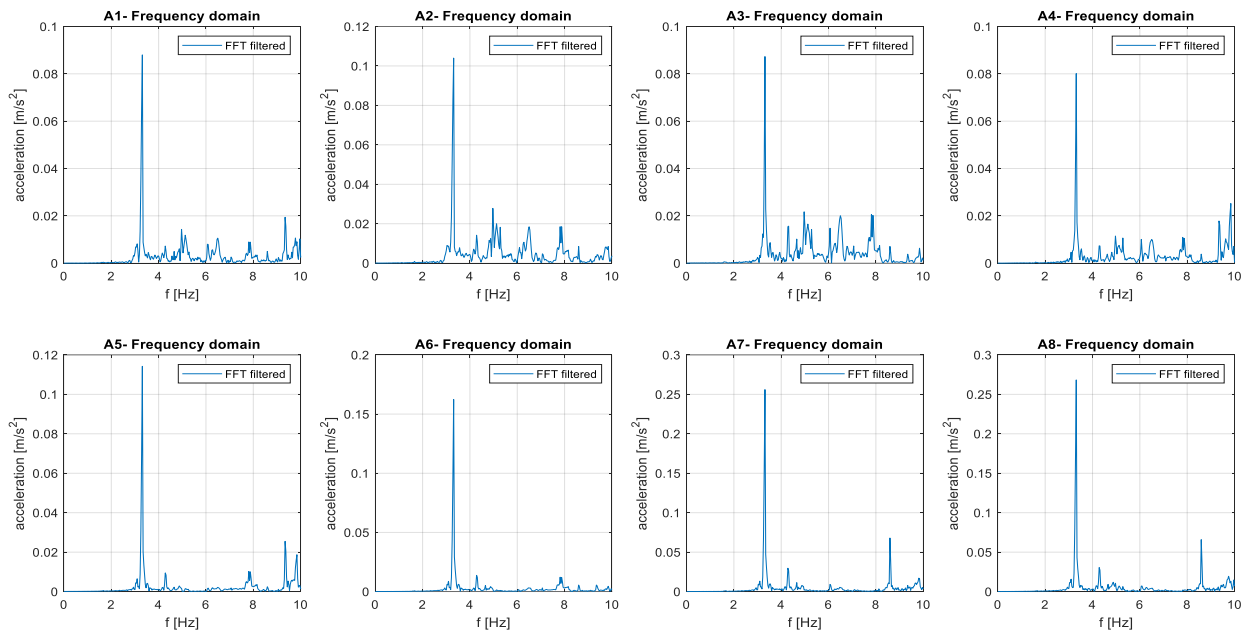
Although reasonable care has been taken to ensure the information in this document is accurate, nothing herein can be construed to imply representation or warranty as to its accuracy, currency or completeness, nor is it intended to form the basis of any contract. Content is subject to change without notice – contact Brüel & Kjær for the latest version of this document.

Brüel & Kjær 

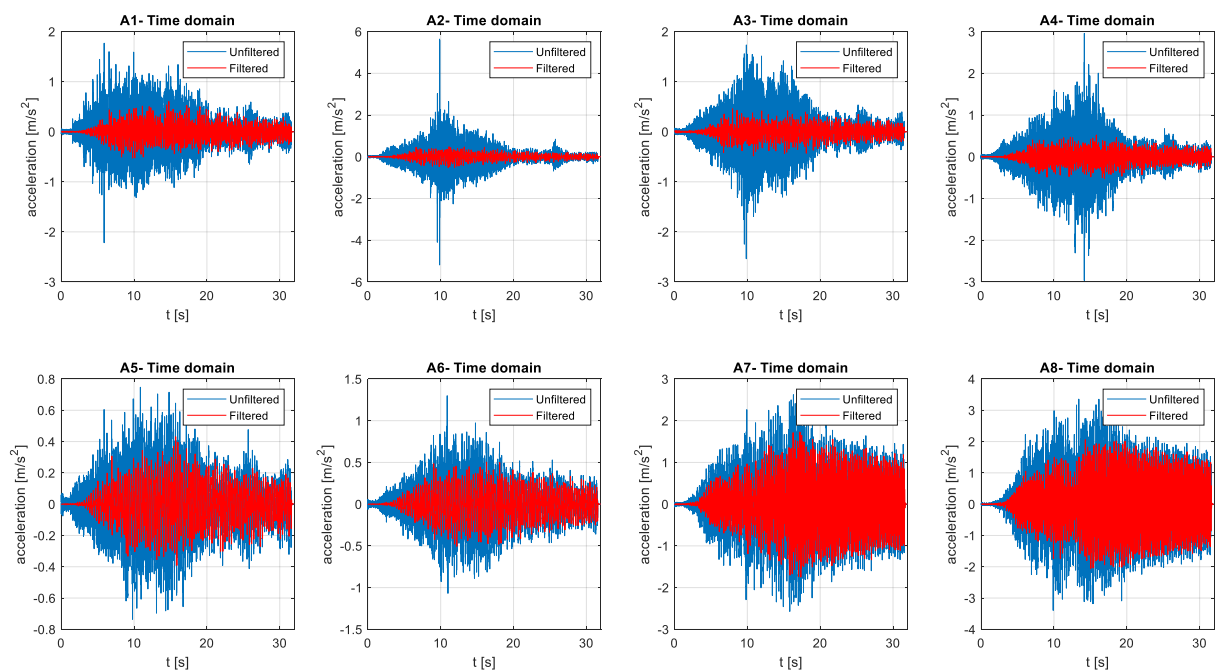
Anexo 3. Resultados de la campaña 1

Anexo 3.1. Gráficas de resultados de la campaña 1

Archivo 'people_1': Un peatón andando a una velocidad concreta, a una frecuencia de 195 bpm cruzando la pasarela de extremo a extremo, primer armónico.

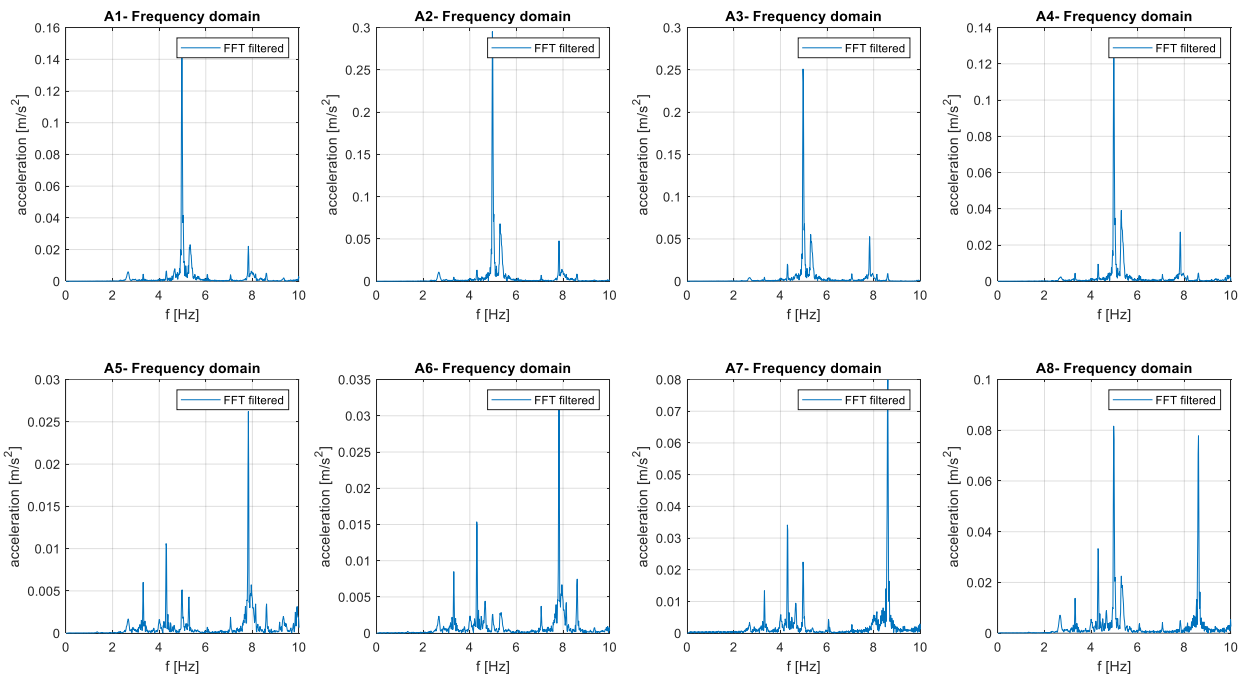


(dominio de la frecuencia)

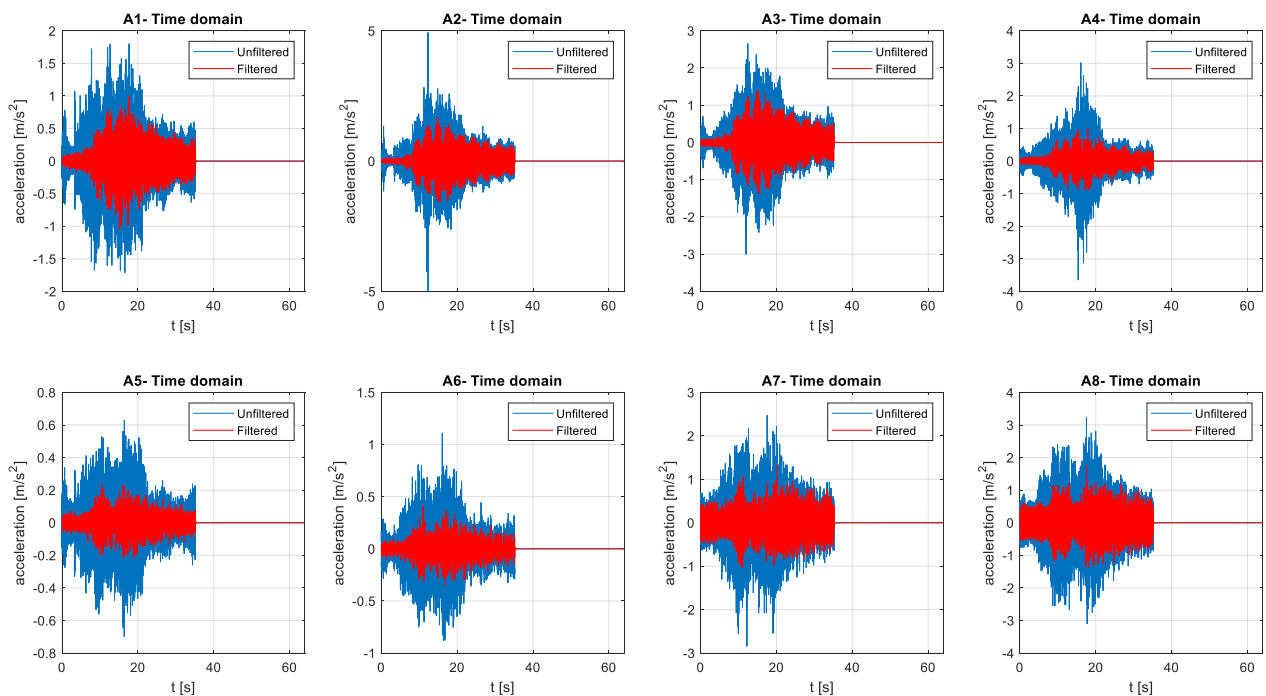


(dominio del tiempo)

Archivo 'people_2': Un peatón andando a una velocidad concreta (160 bpm) cruzando la pasarela de extremo a extremo, tercer armónico.

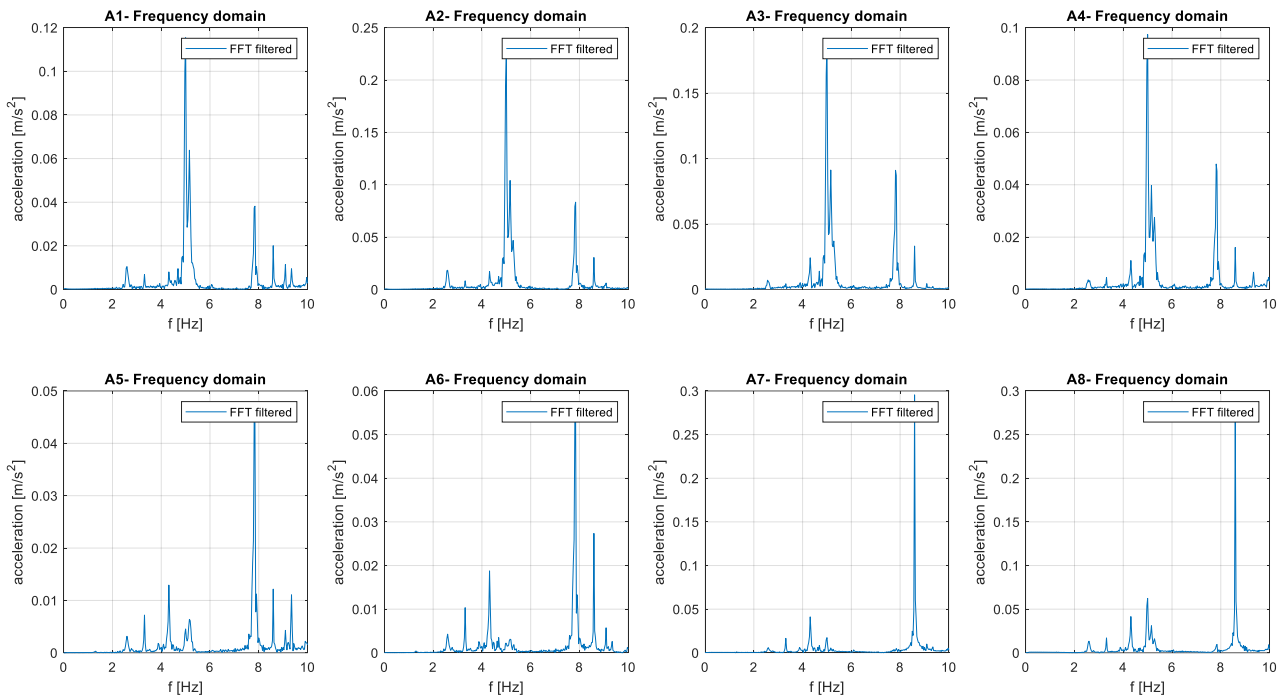


(dominio de la frecuencia)

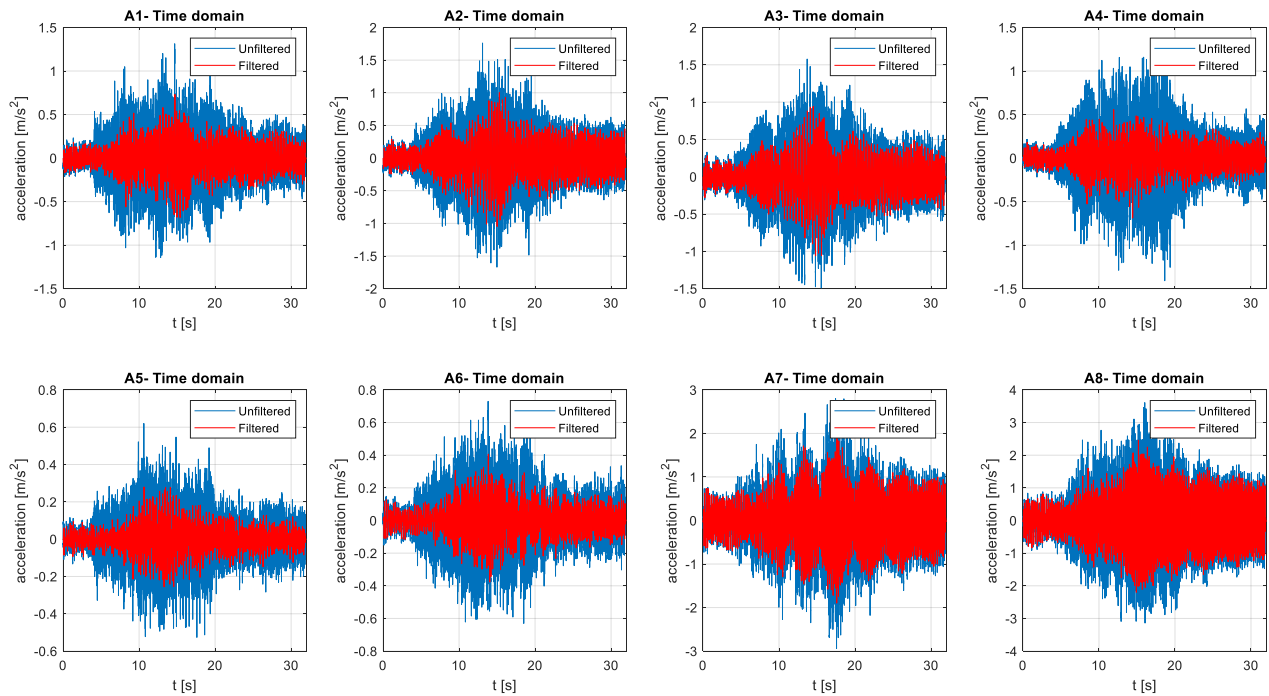


(dominio del tiempo)

Archivo 'people_3': Un peatón andando a una velocidad concreta (155 bpm) cruzando la pasarela de extremo a extremo, tercer armónico.

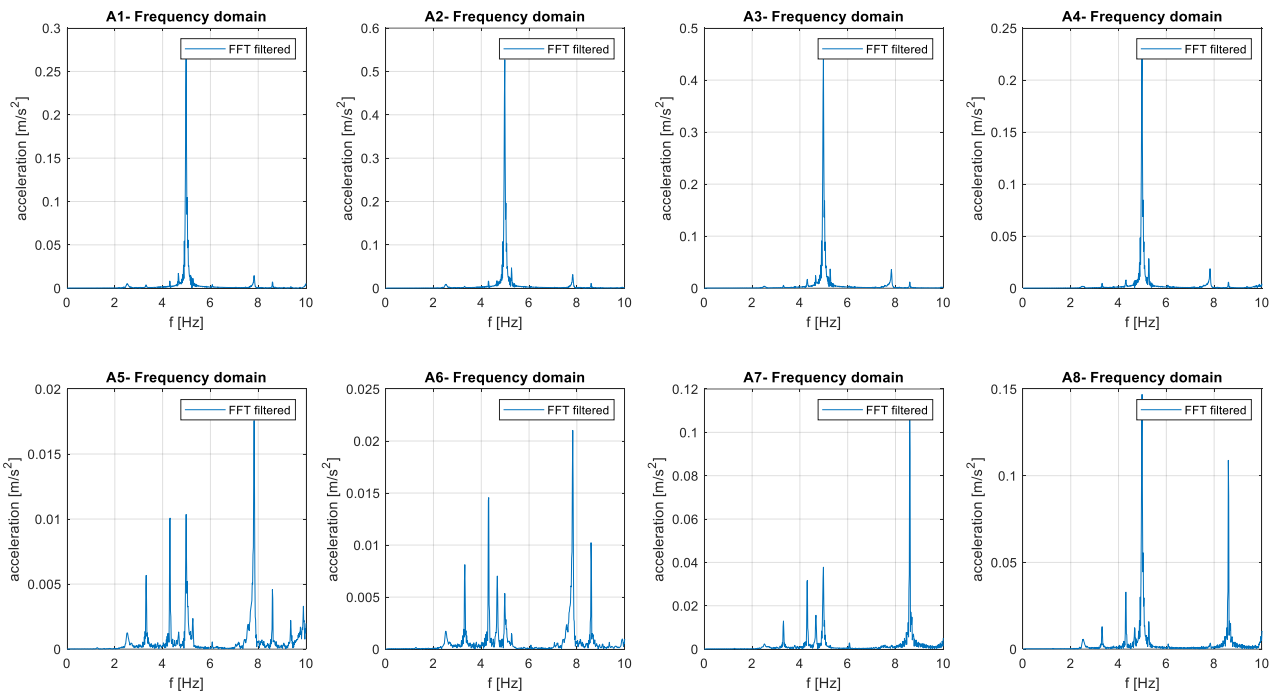


(dominio de la frecuencia)

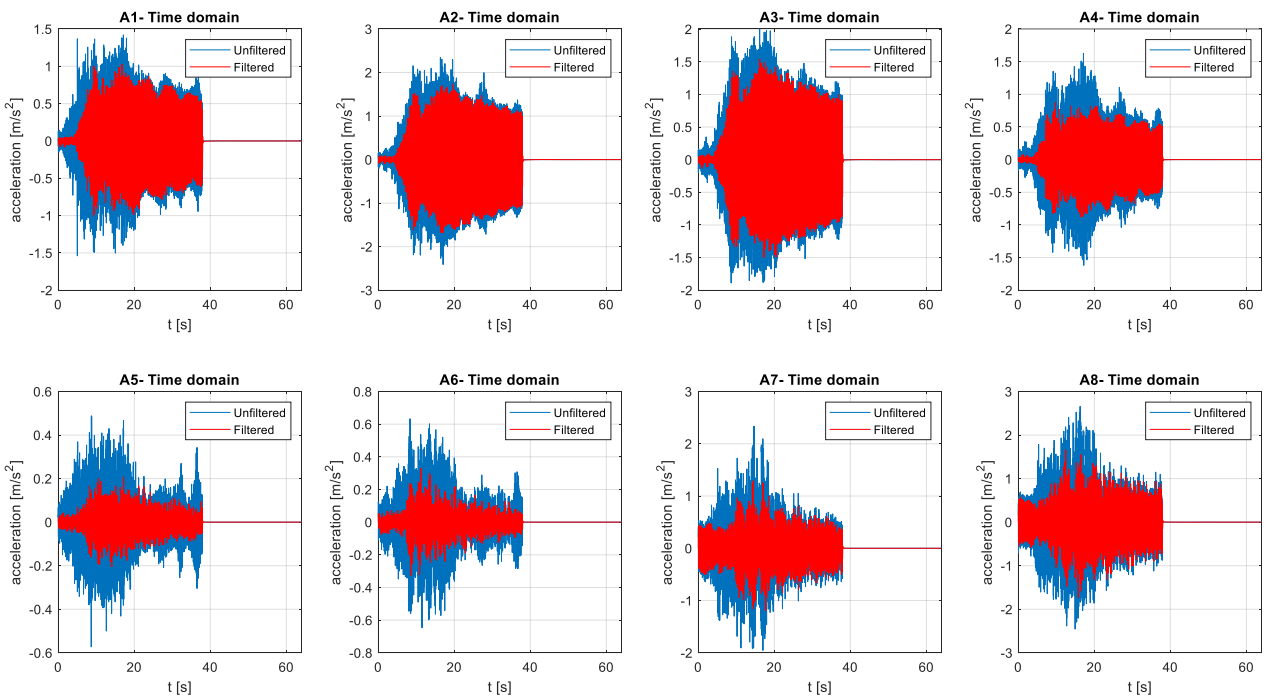


(dominio del tiempo)

Archivo 'people_4': Un peatón andando a una velocidad concreta (150 bpm) cruzando la pasarela de extremo a extremo, tercer armónico.

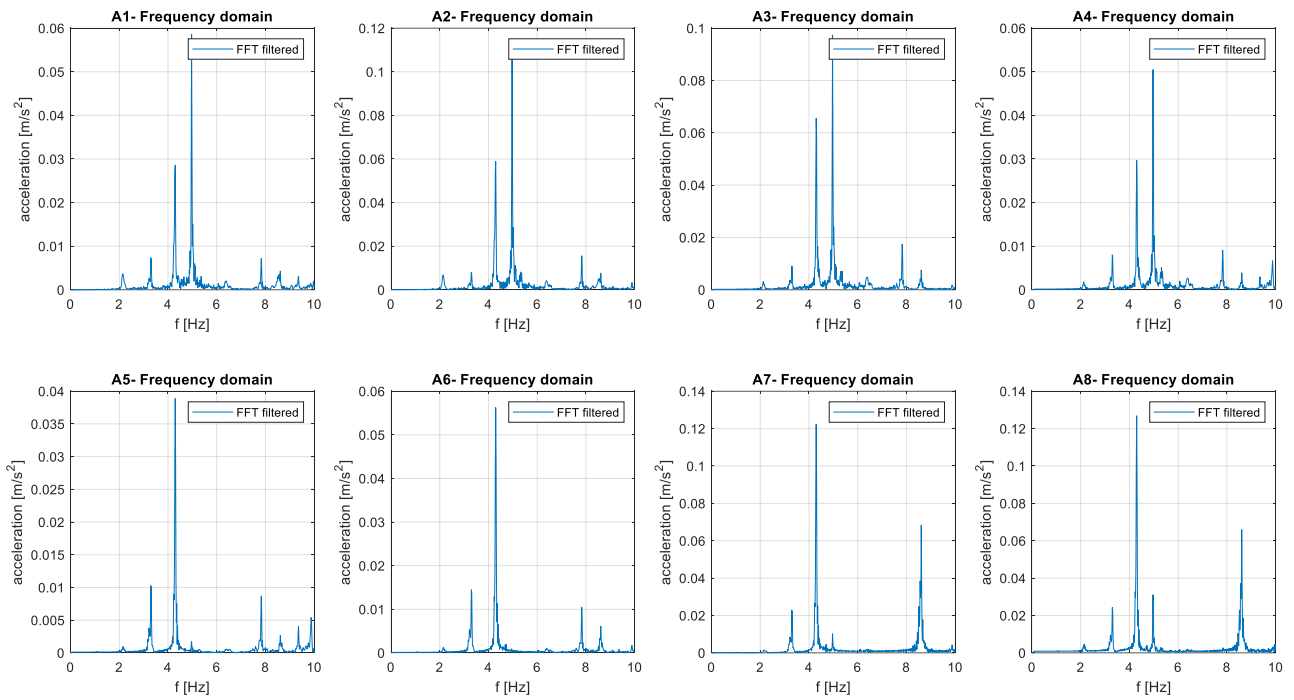


(dominio de la frecuencia)

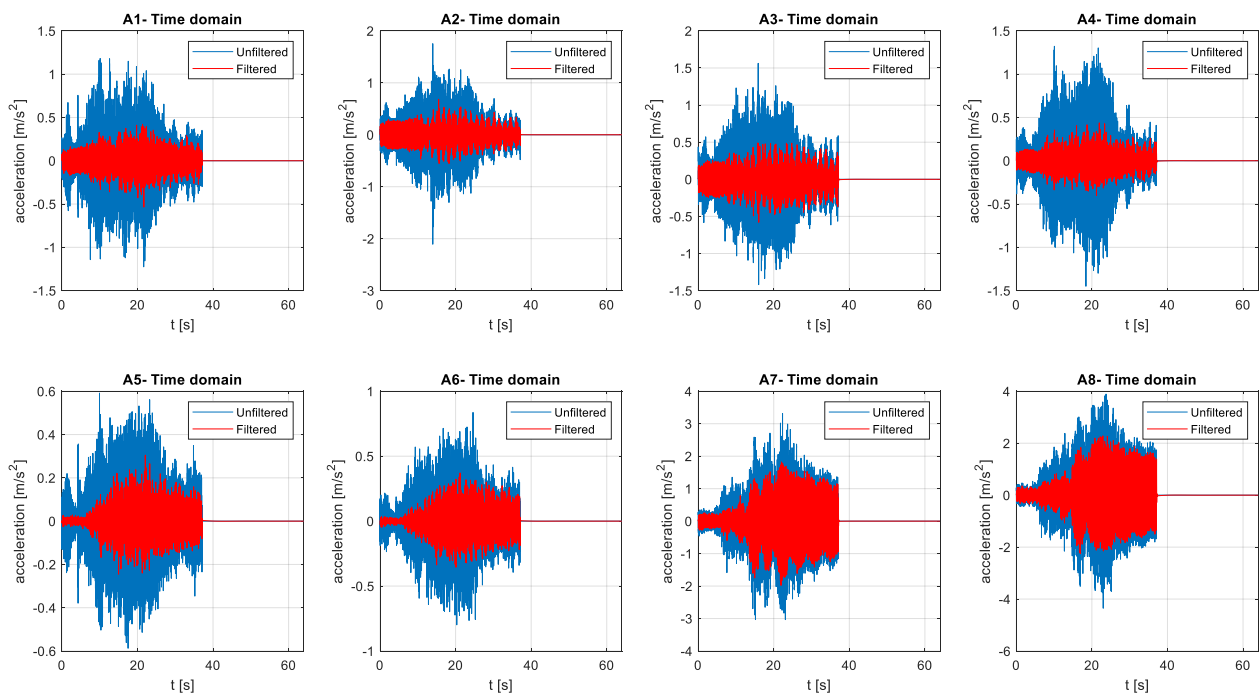


(dominio del tiempo)

Archivo 'people_5': Un peatón andando a una velocidad concreta (128 bpm) cruzando la pasarela de extremo a extremo, segundo armónico.

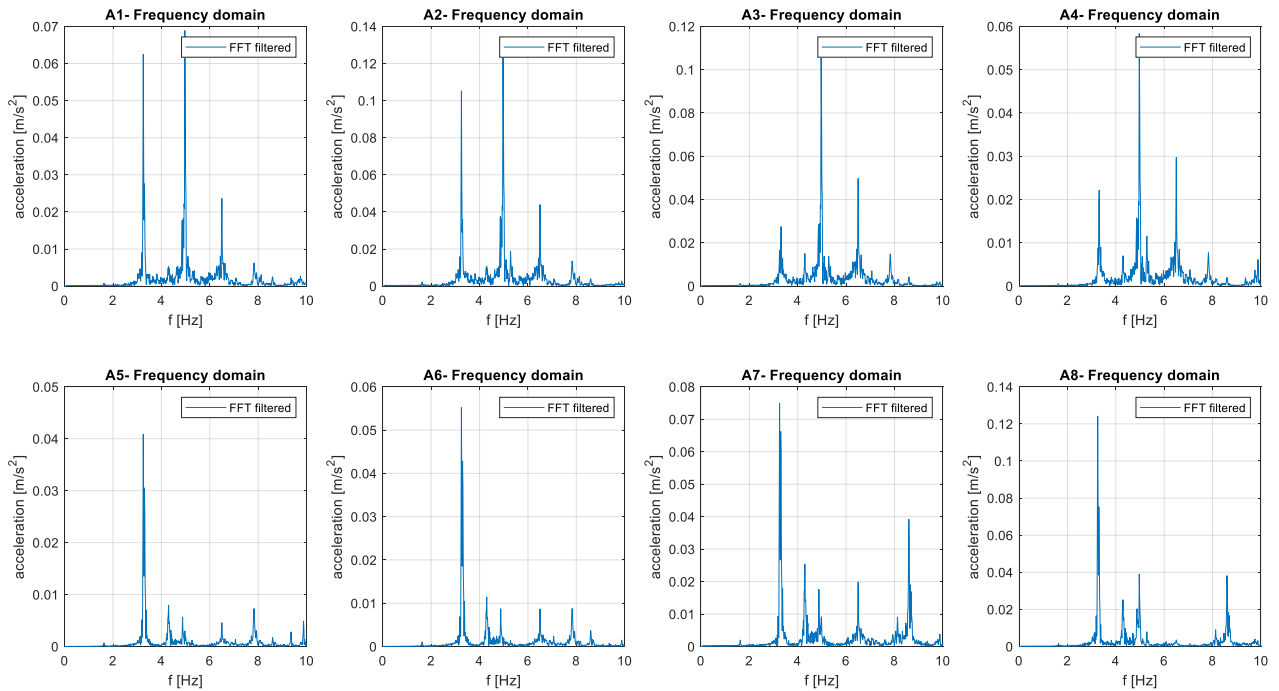


(dominio de la frecuencia)

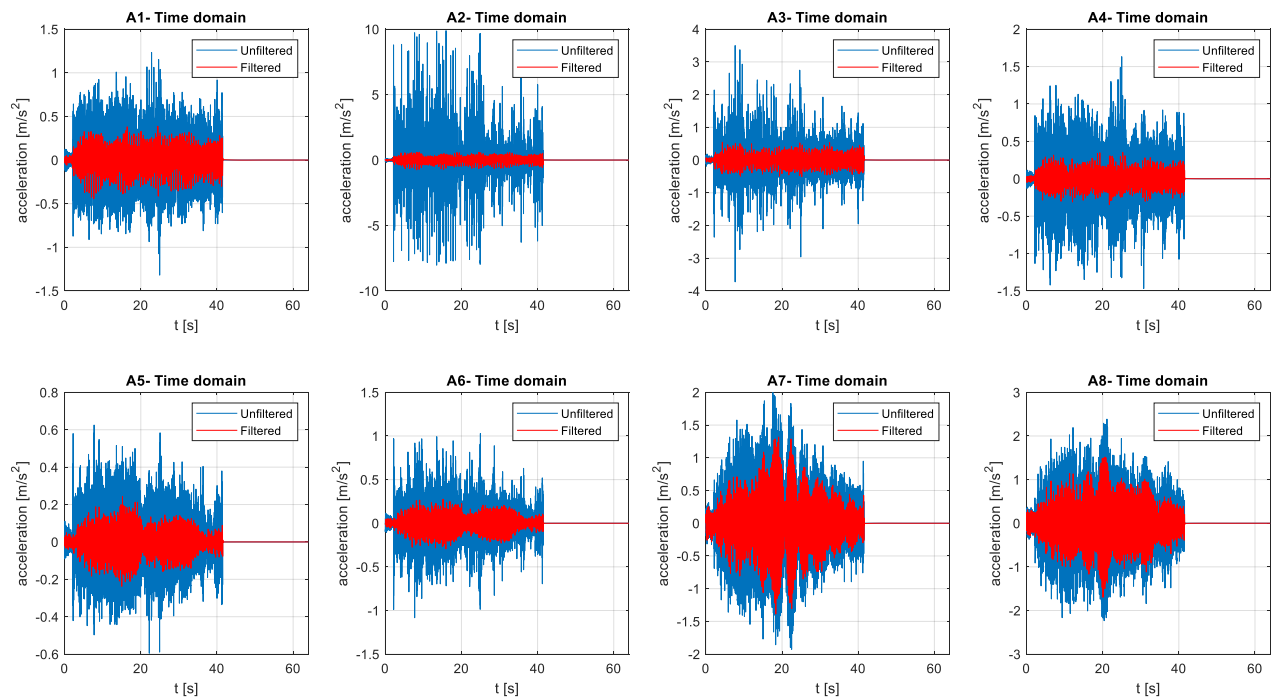


(dominio del tiempo)

Archivo 'people_6': Un peatón en el centro de vano de la pasarela haciendo 'skipping' durante 40 segundos a una frecuencia de 195 bpm (primer armónico).

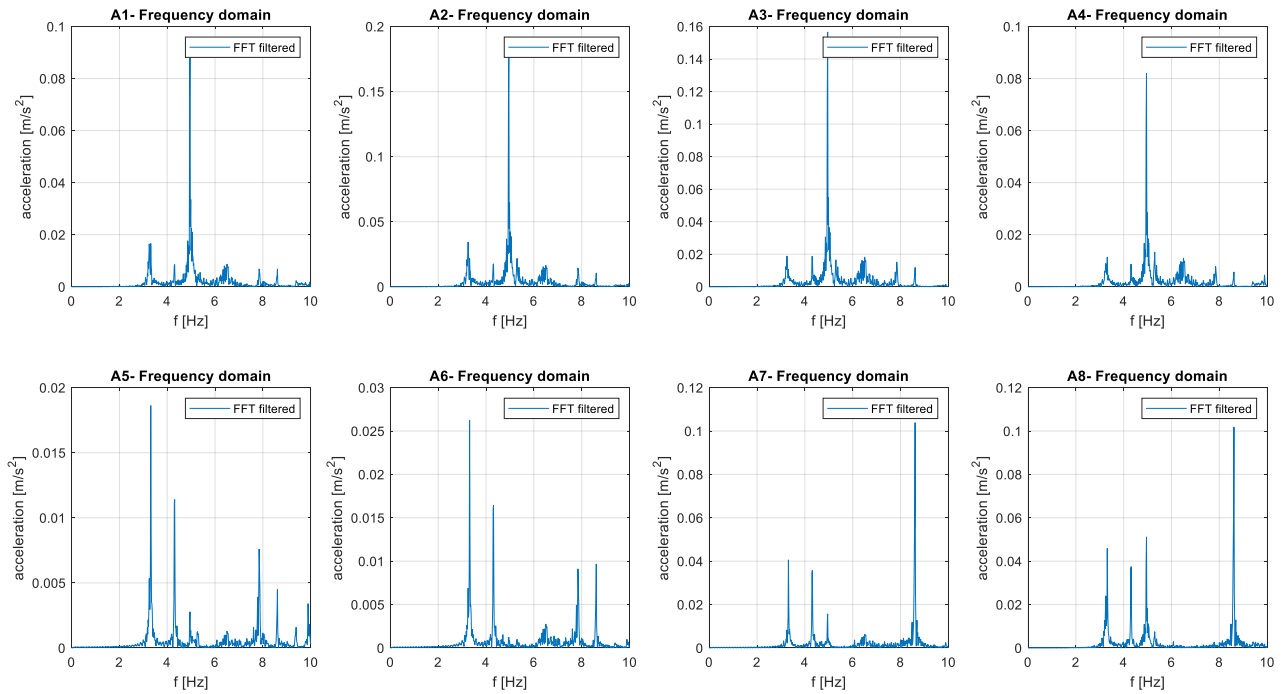


(dominio de la frecuencia)

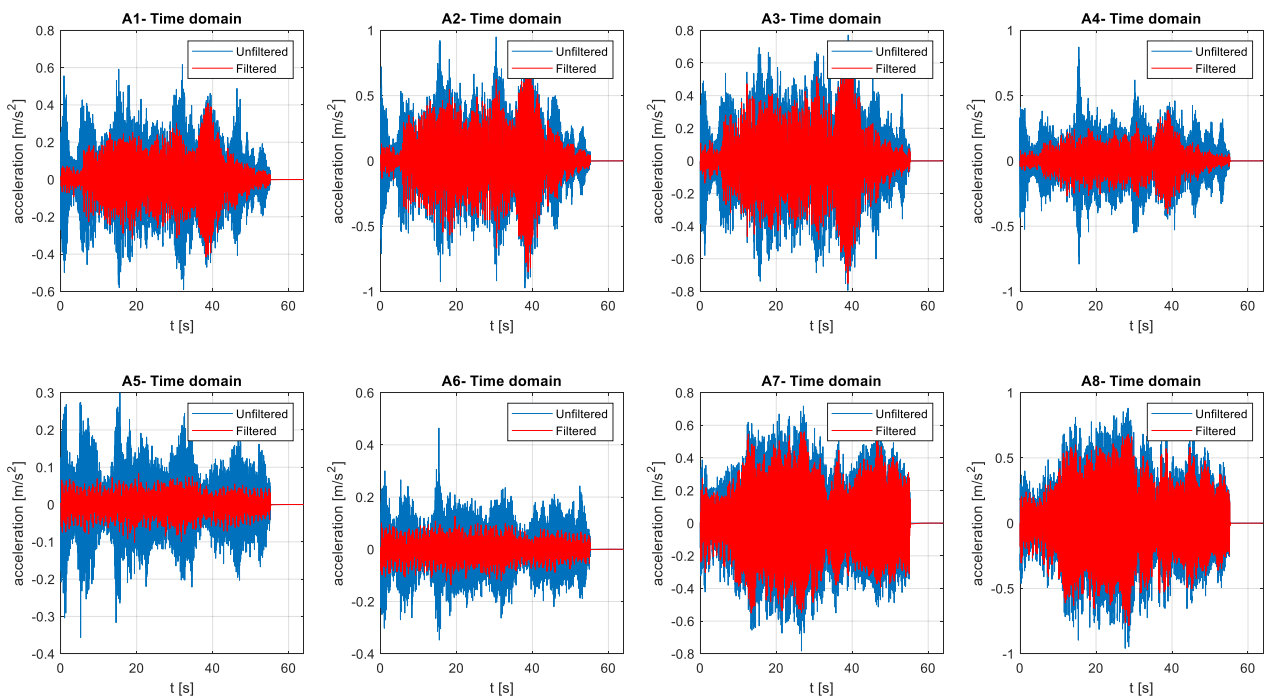


(dominio del tiempo)

Archivo 'people_7': Un peatón en el centro de vano de la pasarela haciendo 'bouncing' durante 40 segundos a una frecuencia de 195 bpm (primer armónico).

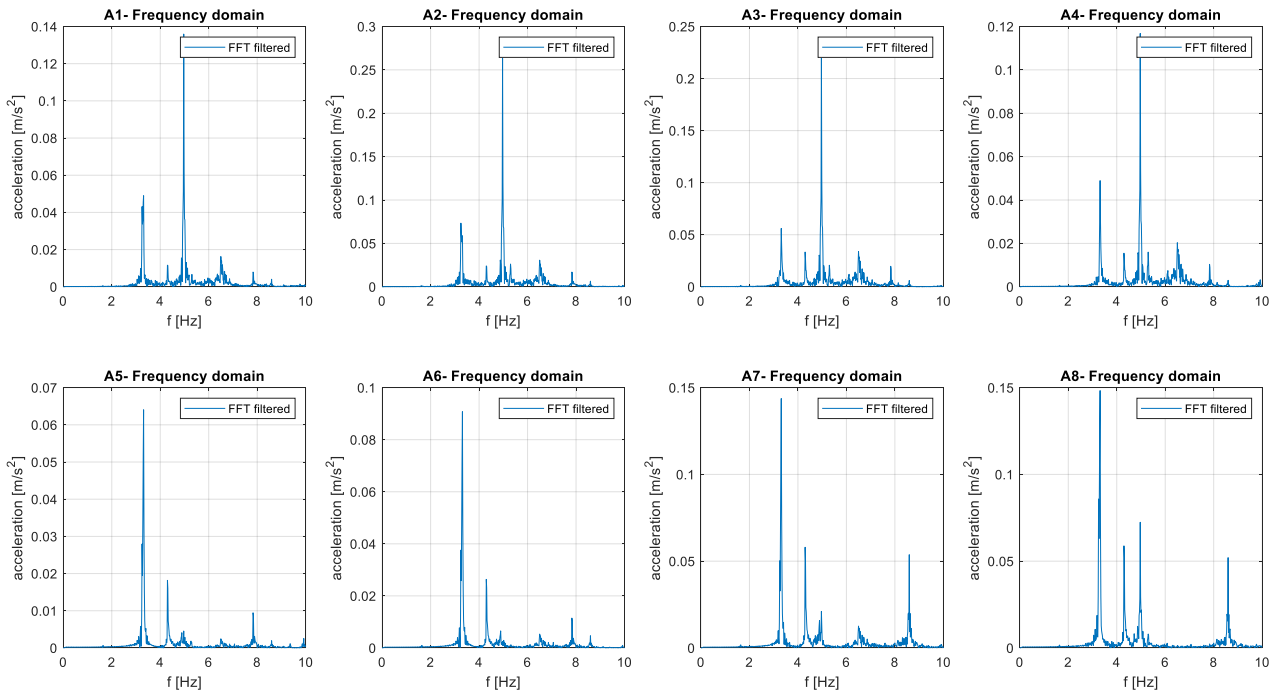


(dominio de la frecuencia)

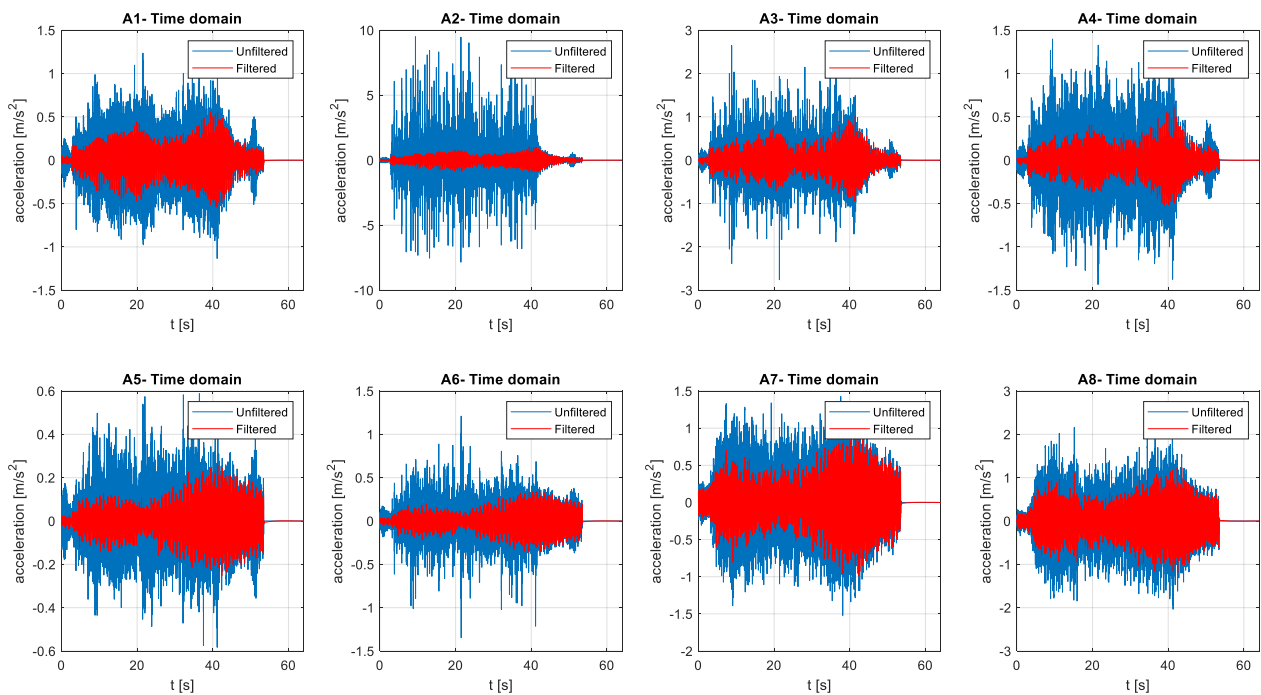


(dominio del tiempo)

Archivo 'people_8': Un peatón en el centro de vano de la pasarela haciendo 'skipping' durante 40 segundos a una frecuencia de 195 bpm (primer armónico).

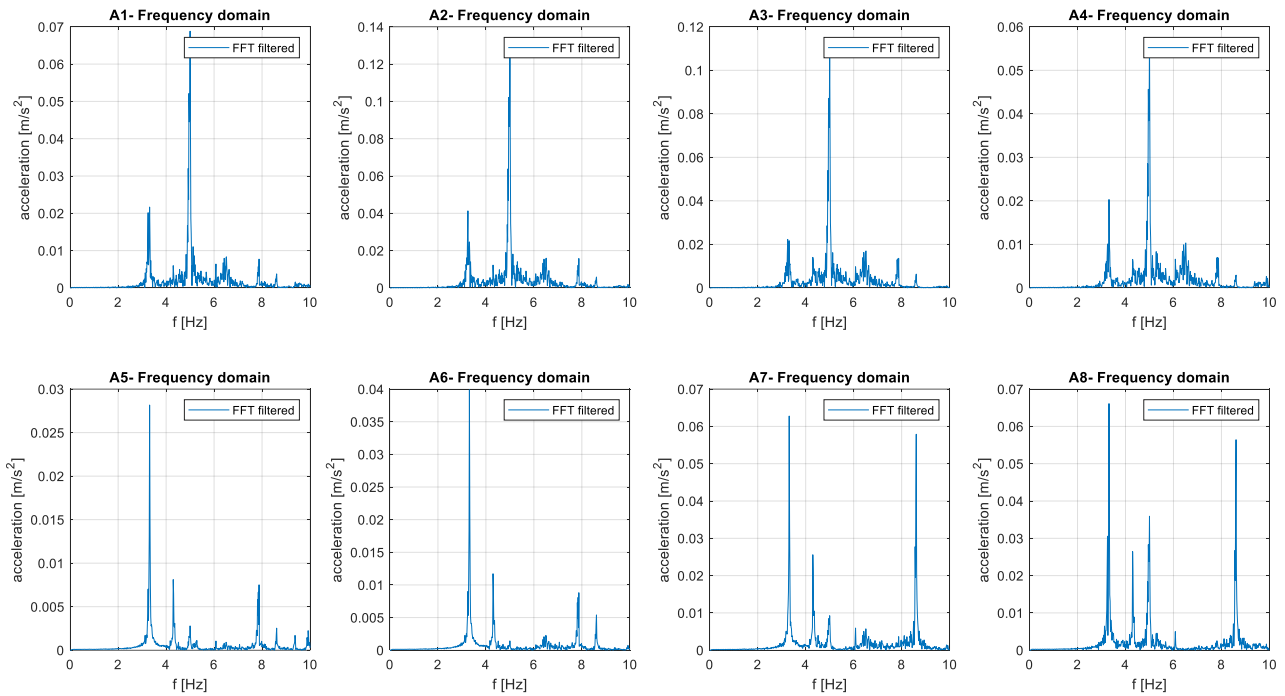


(dominio de la frecuencia)

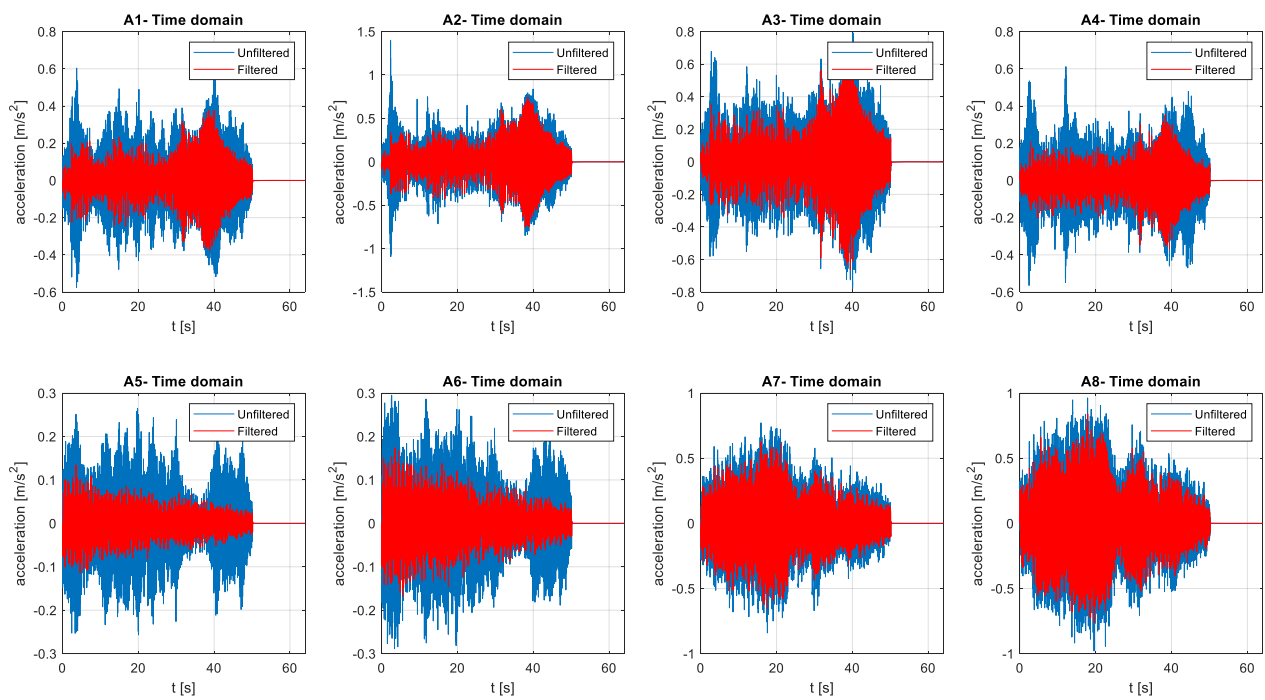


(dominio del tiempo)

Archivo 'people_9': Un peatón en el centro de vano de la pasarela haciendo 'bouncing' durante 40 segundos a una frecuencia de 195 bpm (primer armónico).

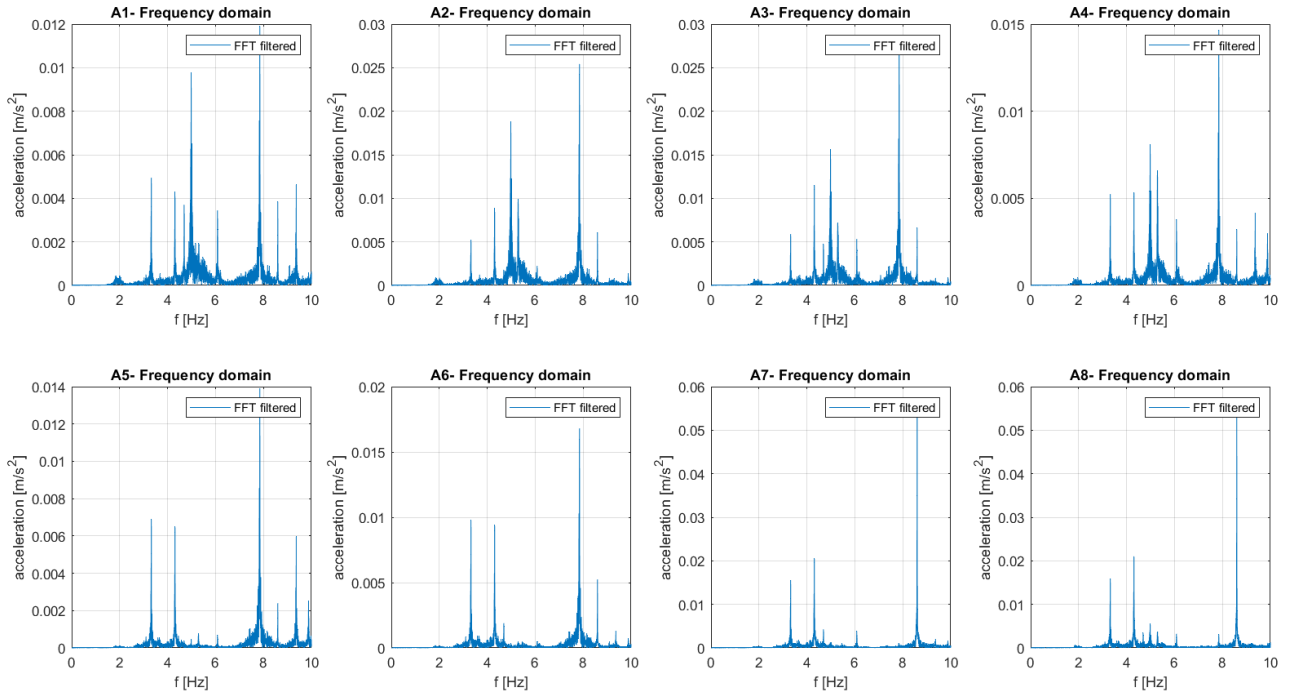


(dominio de la frecuencia)

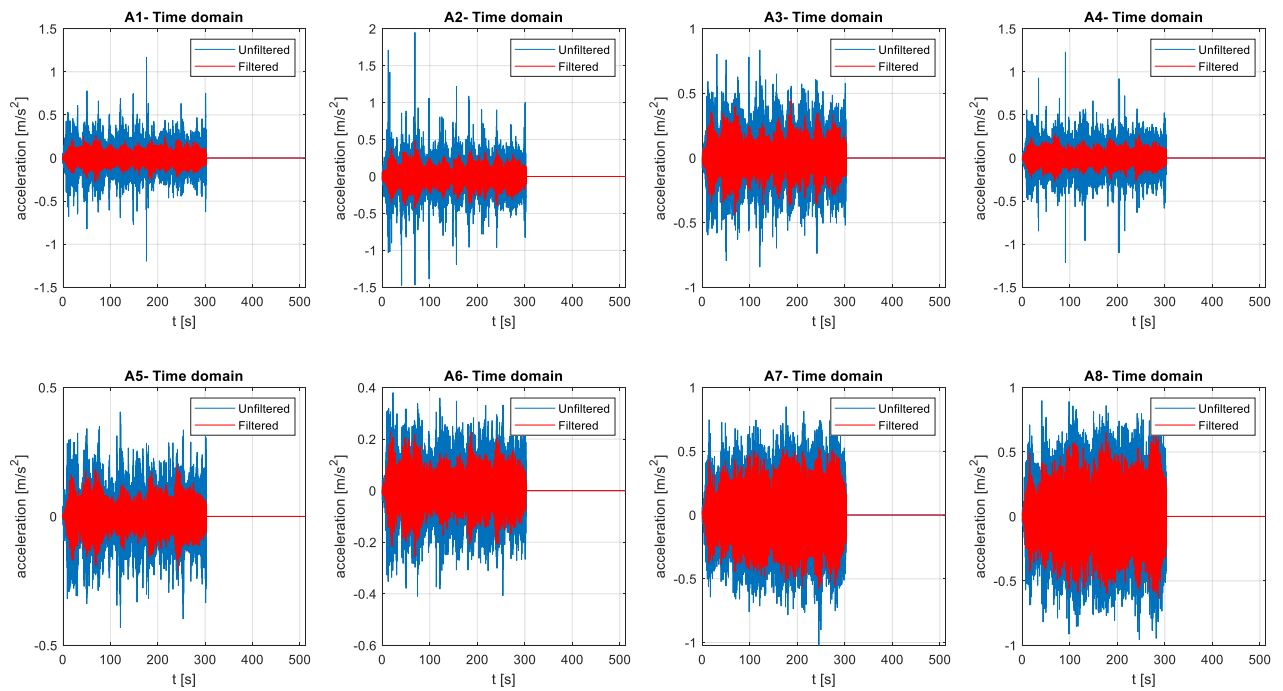


(dominio del tiempo)

Archivo 'people_10': Tres peatones andando en círculos sobre la pasarela libremente durante 5 minutos.

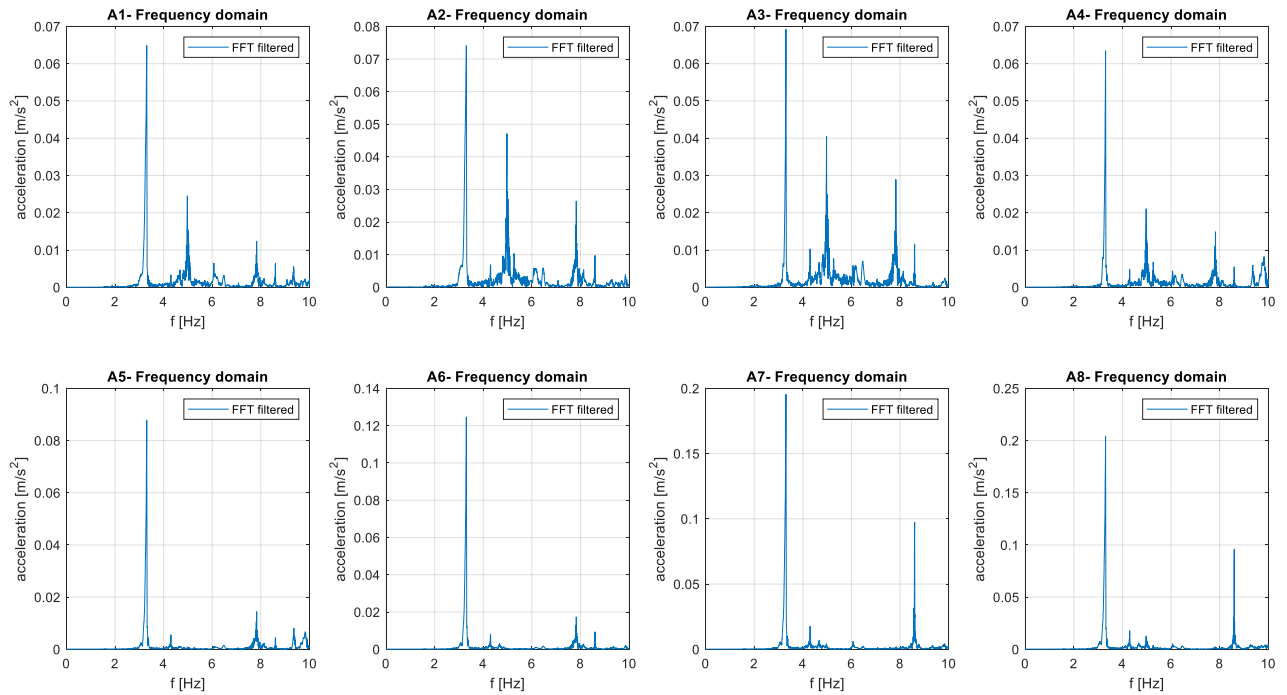


(dominio de la frecuencia)

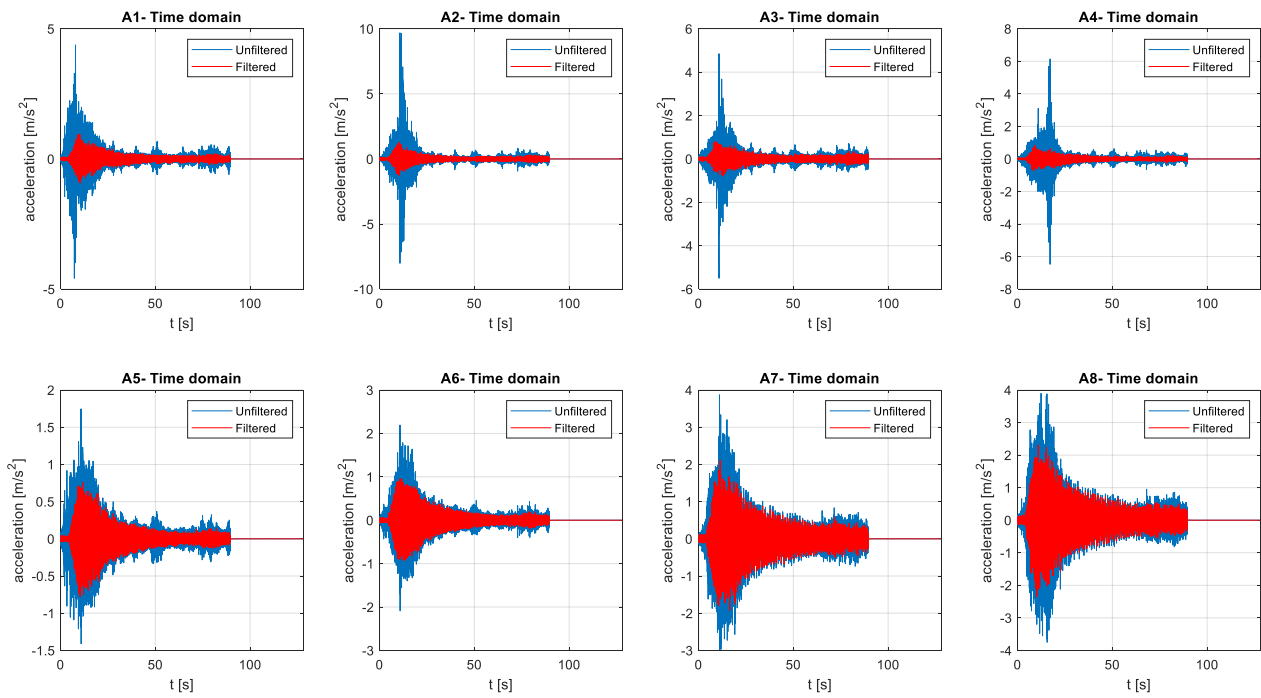


(dominio del tiempo)

Archivo 'people_11': Tres peatones andando a una velocidad concreta cruzando la pasarela de extremo a extremo siempre por el lado derecho a una frecuencia de 195 bpm, primer armónico.

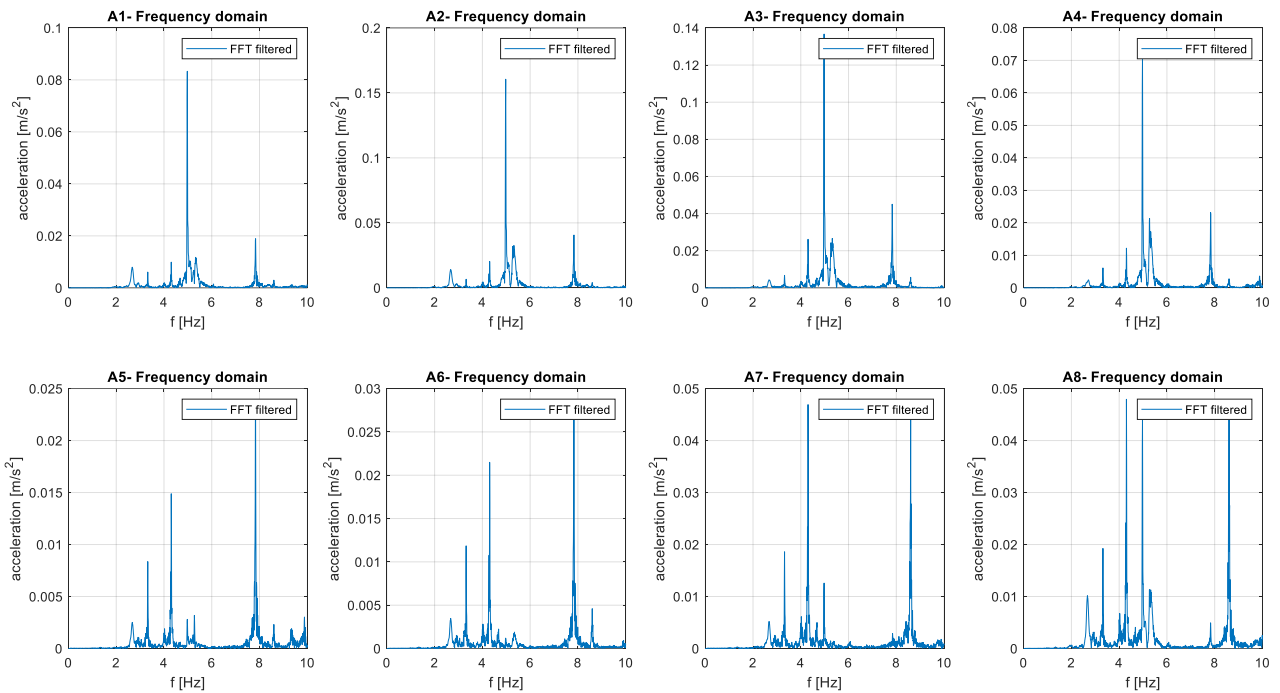


(dominio de la frecuencia)

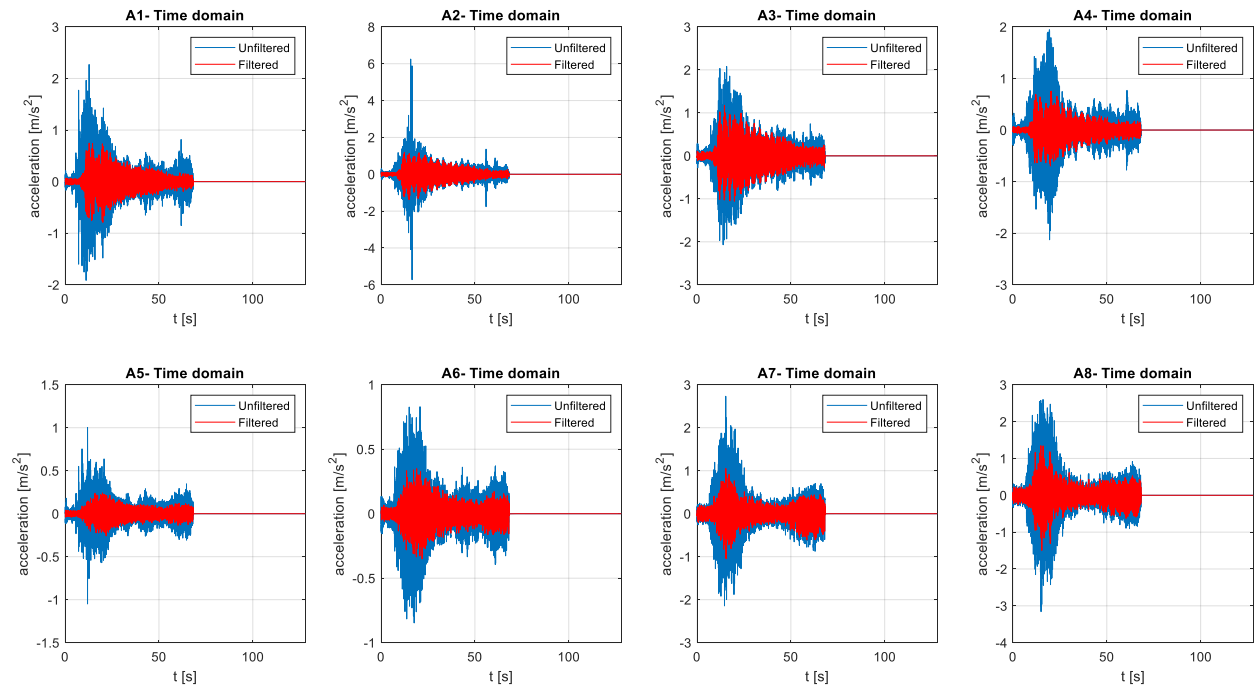


(dominio del tiempo)

Archivo 'people_12': Tres peatones andando a una velocidad concreta cruzando la pasarela de extremo a extremo siempre por el lado derecho a una frecuencia de 160 bpm, tercer armónico.

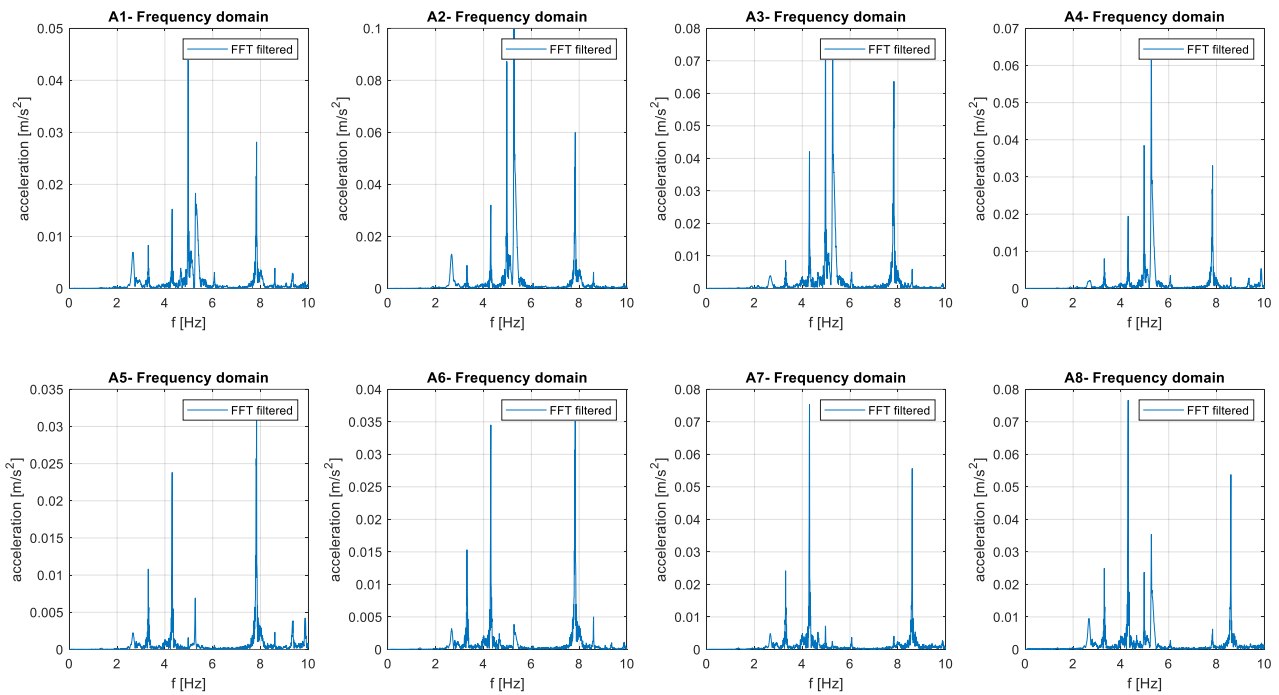


(dominio de la frecuencia)

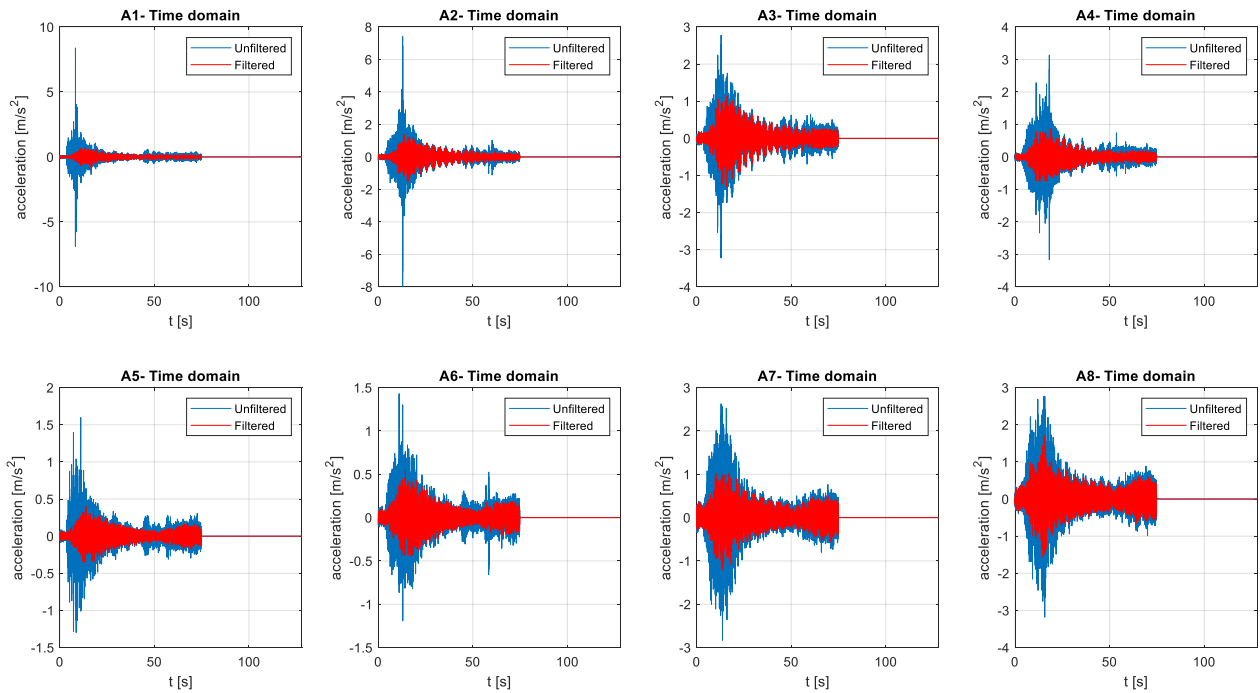


(dominio del tiempo)

Archivo 'people_13': Tres peatones andando a una velocidad concreta cruzando la pasarela de extremo a extremo siempre por el lado derecho a una frecuencia de 160 bpm, tercer armónico.

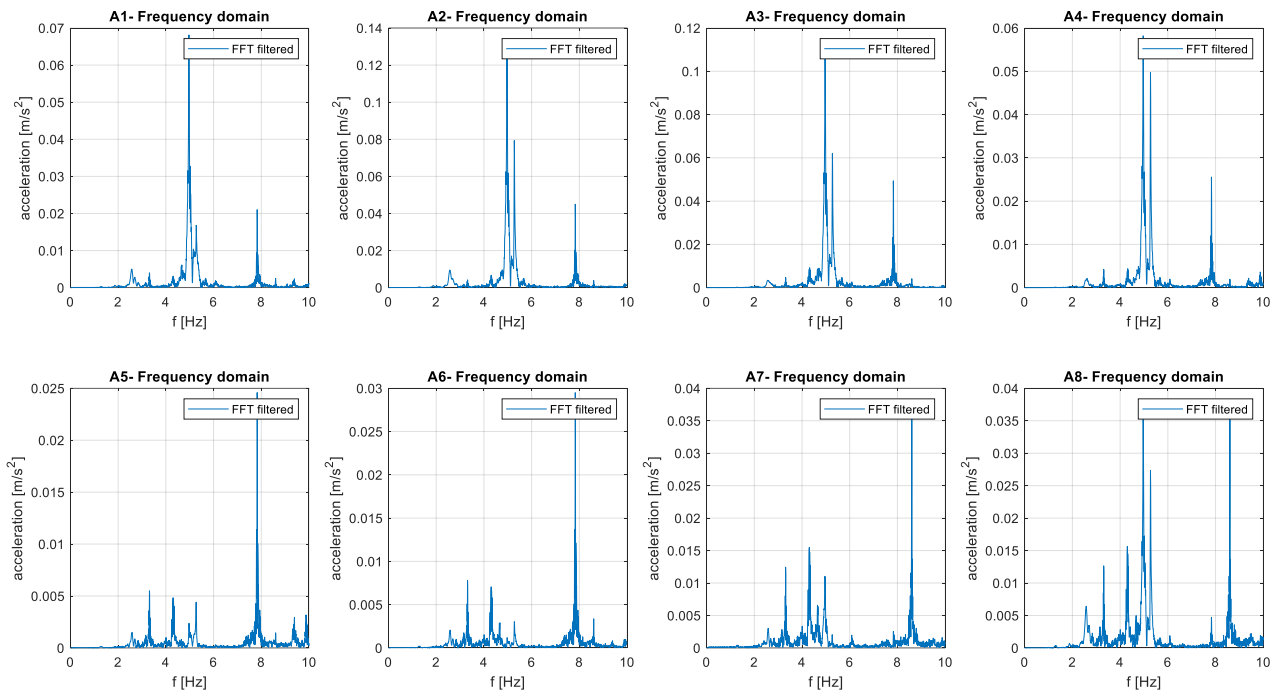


(dominio de la frecuencia)

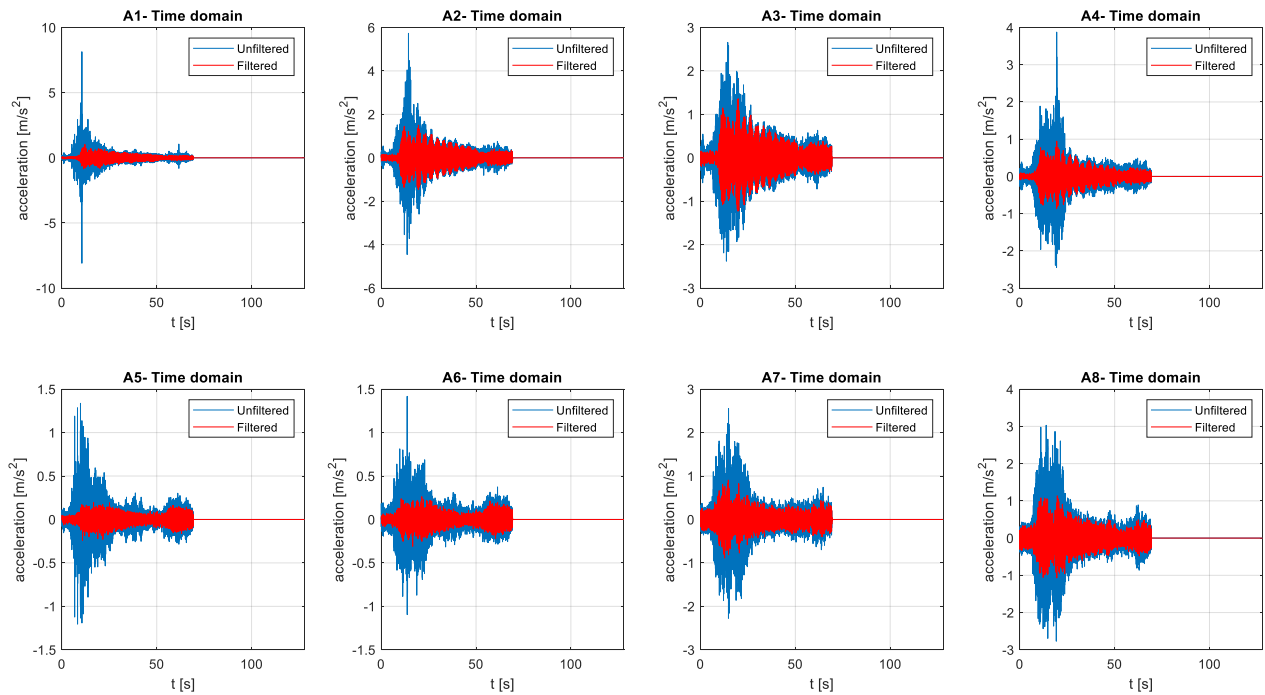


(dominio del tiempo)

Archivo 'people_14': Tres peatones andando a una velocidad concreta cruzando la pasarela de extremo a extremo siempre por el lado derecho a una frecuencia de 155 bpm, tercer armónico.

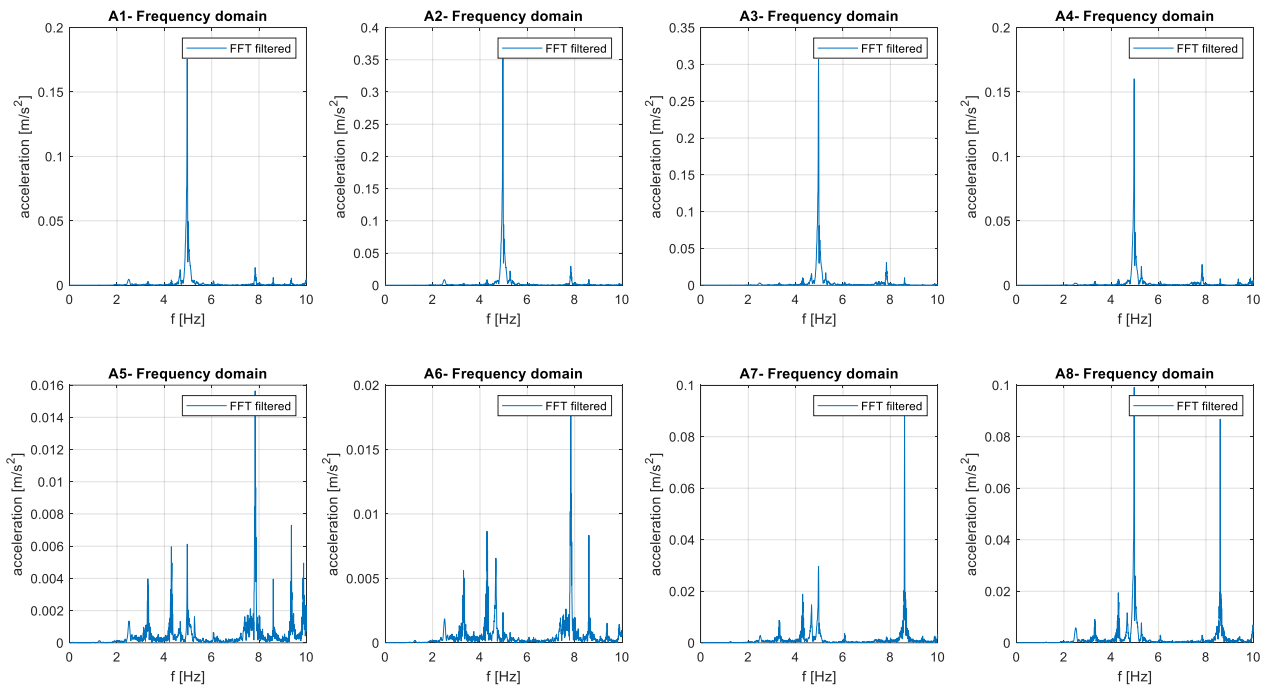


(dominio de la frecuencia)

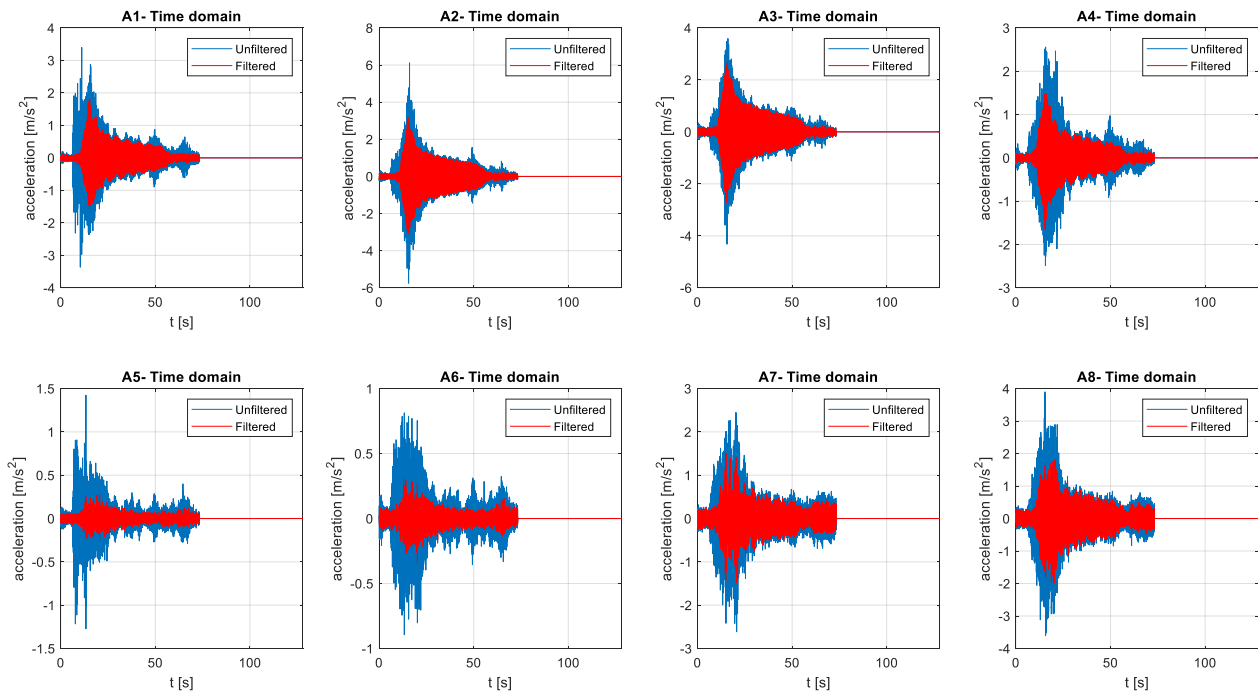


(dominio del tiempo)

Archivo 'people_15': Tres peatones andando a una velocidad concreta cruzando la pasarela de extremo a extremo siempre por el lado derecho a una frecuencia de 150 bpm, segundo armónico.

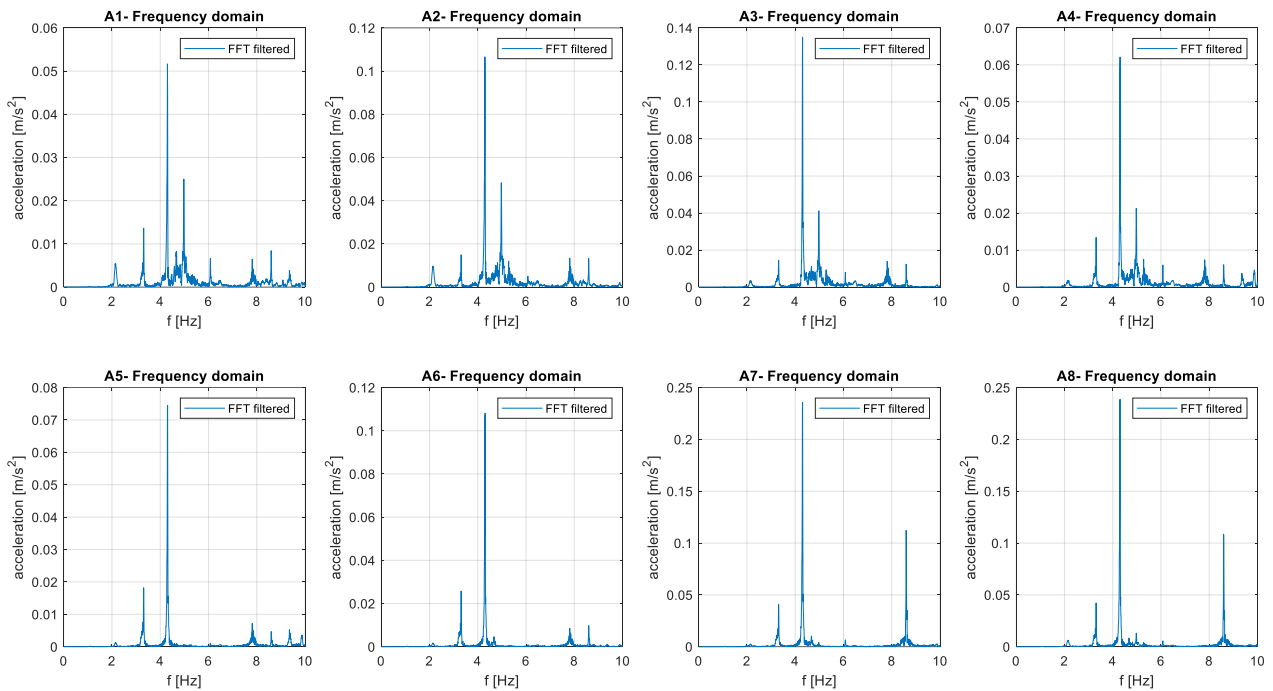


(dominio de la frecuencia)

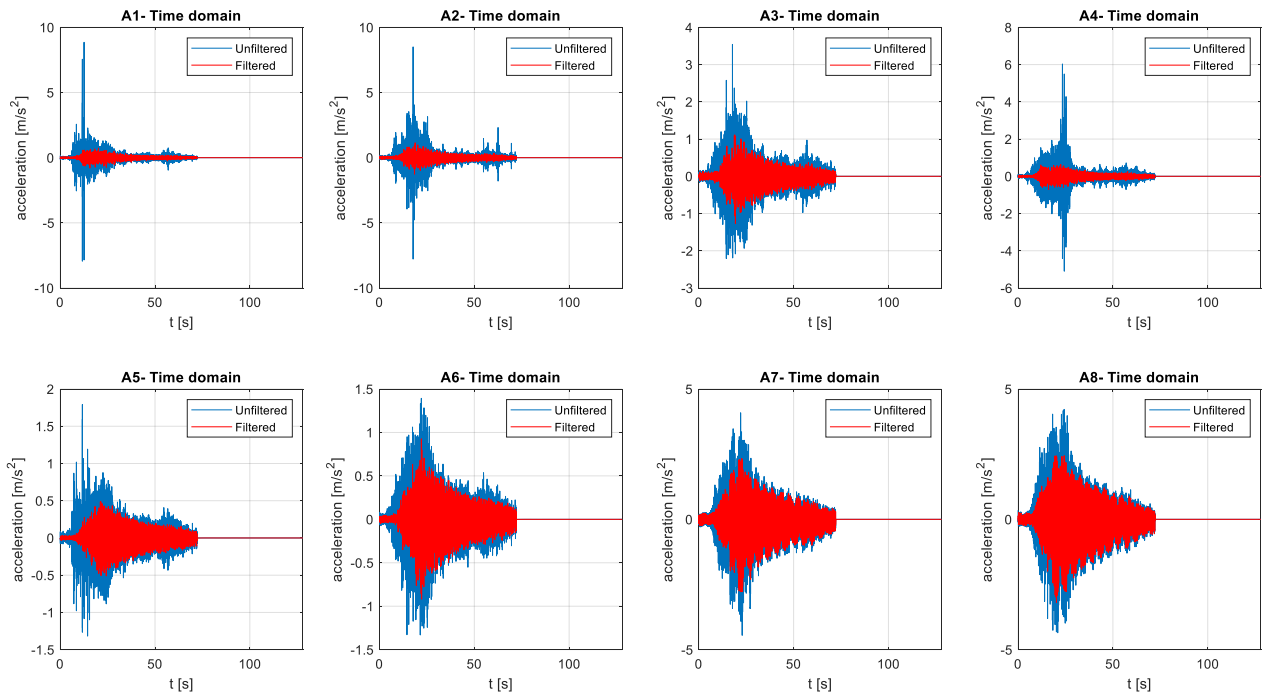


(dominio del tiempo)

Archivo 'people_16': Tres peatones andando a una velocidad concreta cruzando la pasarela de extremo a extremo siempre por el lado derecho a una frecuencia de 128 bpm, segundo armónico.

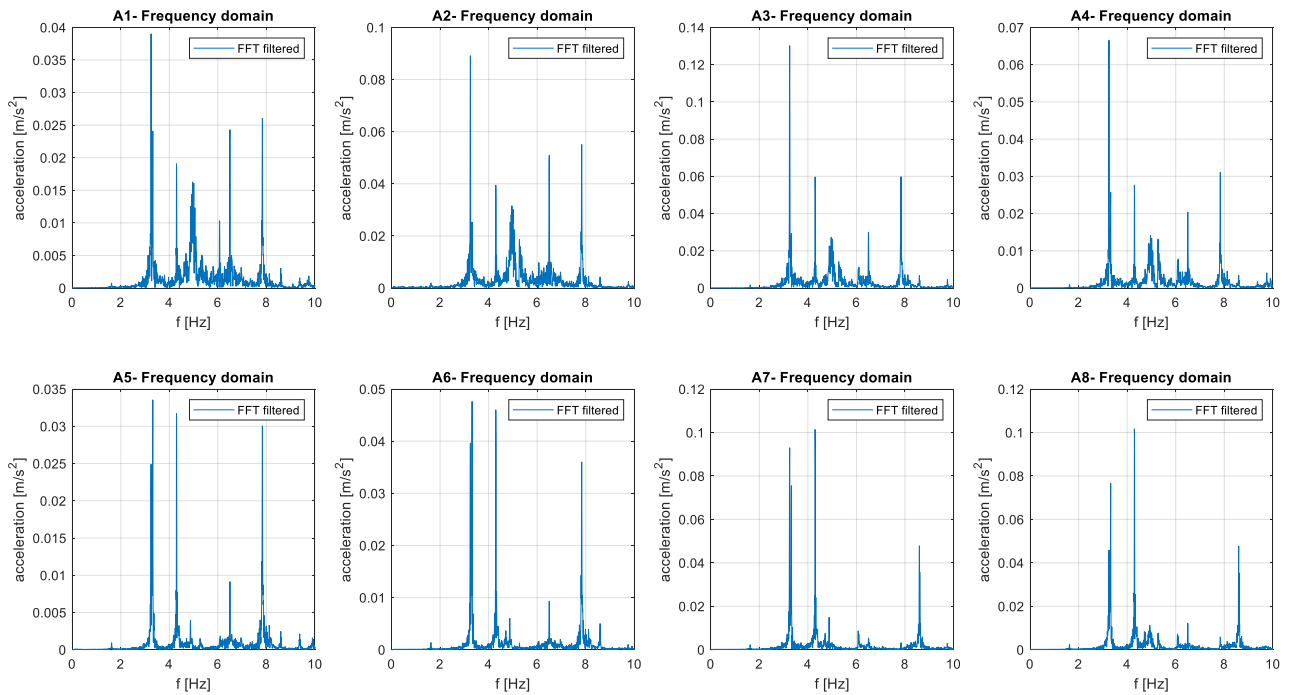


(dominio de la frecuencia)

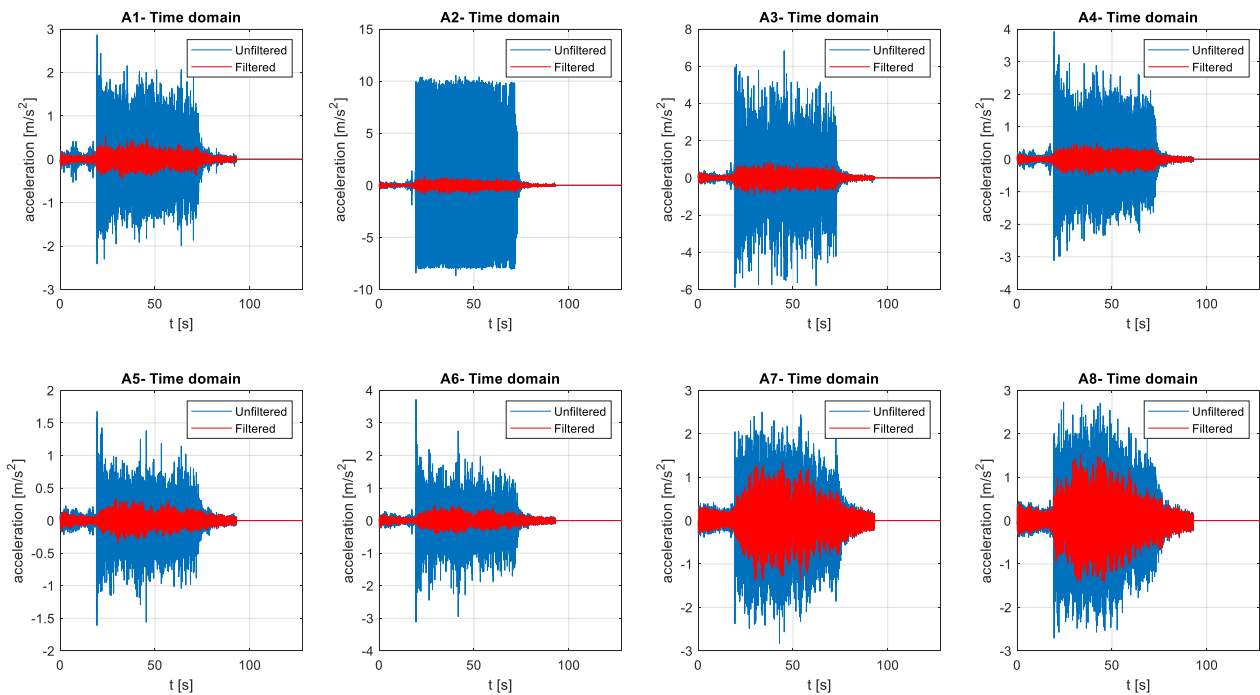


(dominio del tiempo)

Archivo 'people_17': Tres peatones haciendo 'skipping' en el centro de vano excitando la pasarela a una frecuencia de 195 bpm durante 40 segundos, primer armónico.

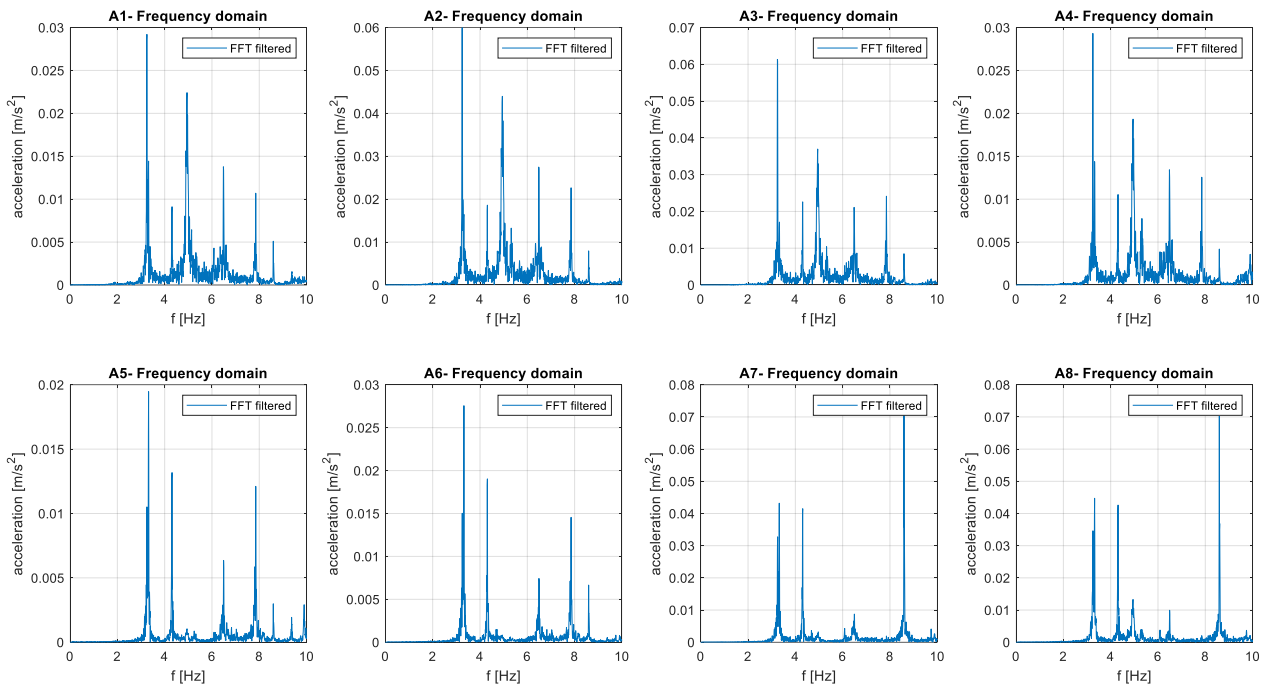


(dominio de la frecuencia)

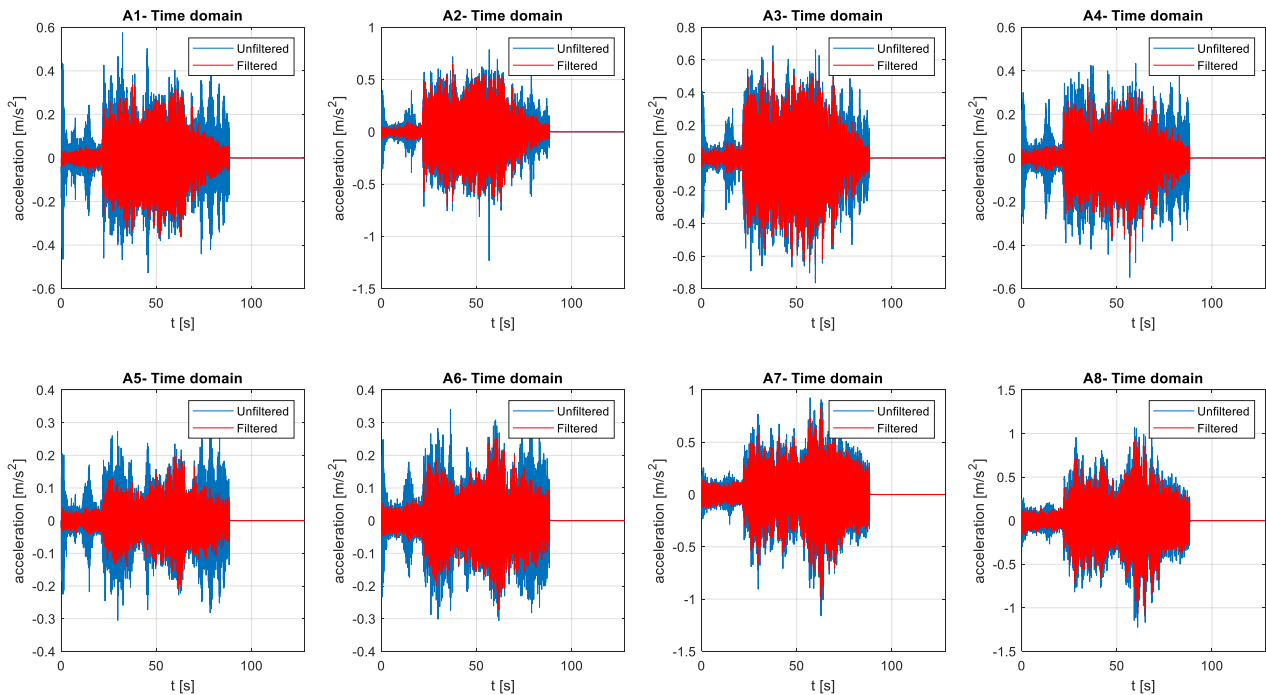


(dominio del tiempo)

Archivo 'people_18': Tres peatones haciendo 'bouncing' en el centro de vano excitando la pasarela a una frecuencia de 195 bpm durante 40 segundos, primer armónico.

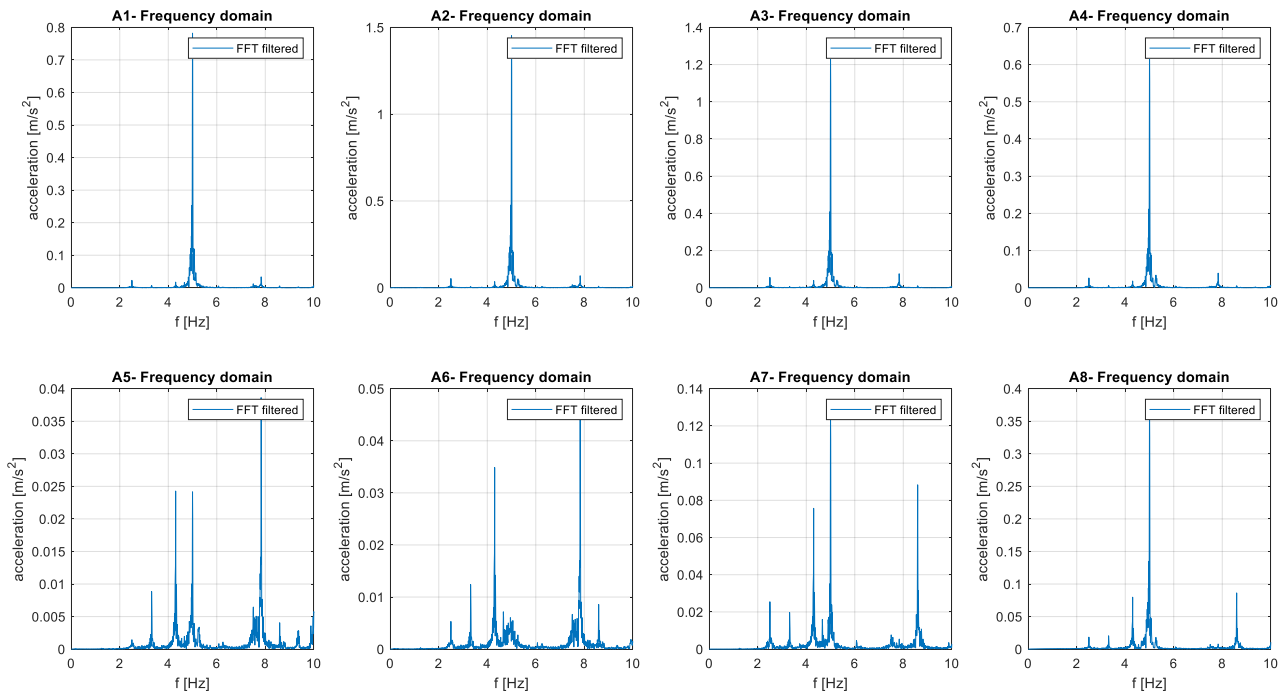


(dominio de la frecuencia)

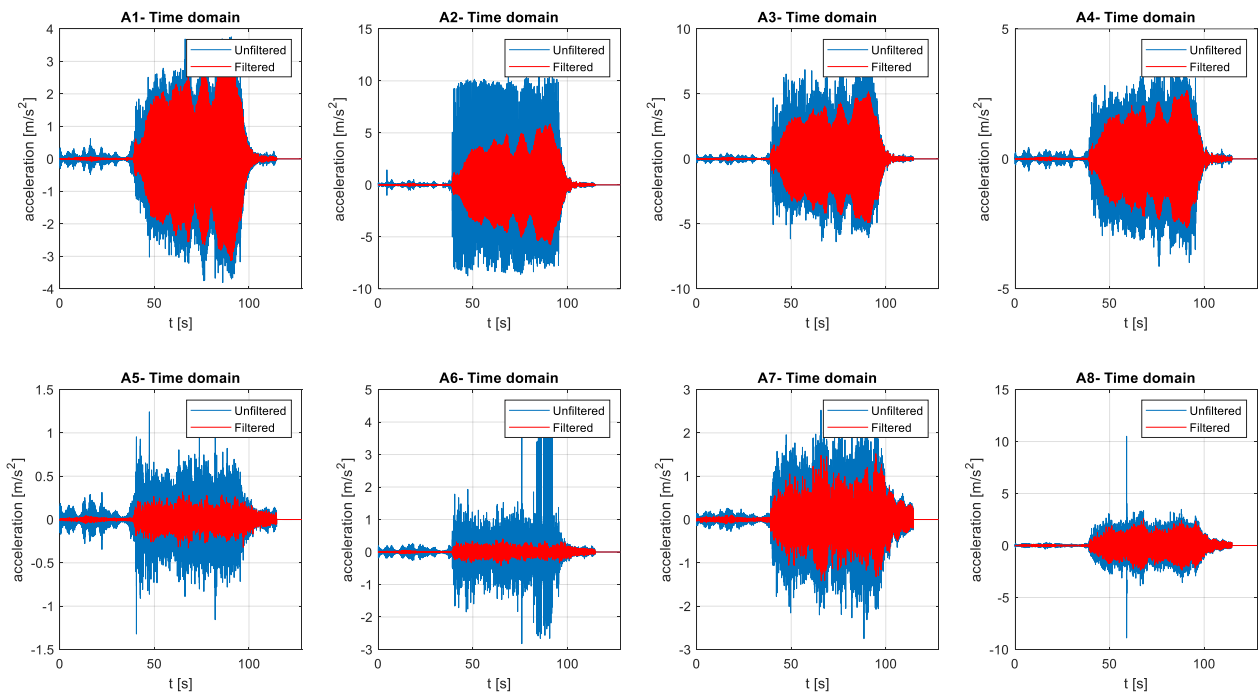


(dominio del tiempo)

Archivo 'people_19': Tres peatones haciendo 'skipping' en el centro de vano excitando la pasarela a una frecuencia de 150 bpm durante 40 segundos, segundo armónico.











(dominio de la frecuencia)




(dominio del tiempo)

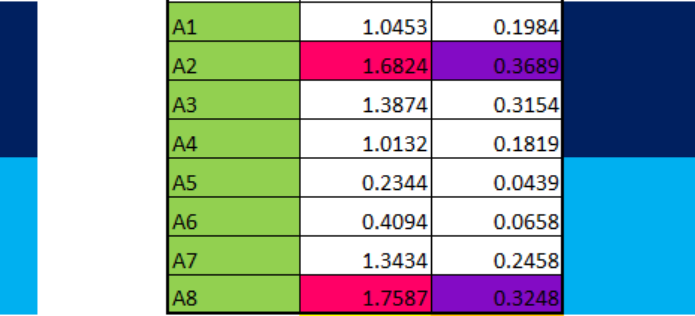
Anexo 3.2. Tablas de resultados de la campaña 2

Se añade una imagen en la que se puede observar el código de colores utilizado:

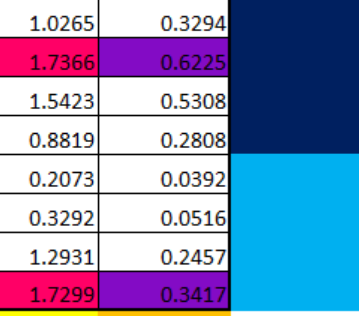
	media de aceleración máxima (acelerómetros sin saturar)
	media valores RMS (acelerómetros sin saturar)
	Acelerómetro midiendo en el eje Z, vertical (1, 2, 3, 4)
	Acelerómetro midiendo en el eje Y, lateral (5, 6, 7, 8)
	Valor máximo de aceleracion en ese ensayo
	Valor máximo de RMS en ese ensayo
	No satura
	Satura

Se añaden todas las tablas de cada registro:

Registro		1	
	acel. max.	RMS	
A1	0.6035	0.1069	
A2	0.5224	0.0974	
A3	0.4834	0.0867	
A4	0.5227	0.1008	
A5	0.4309	0.0841	
A6	0.5052	0.1152	
A7	1.7473	0.4123	
A8	2.0593	0.5575	
		0.8593375	0.1951125

Registro		2	
	acel. max.	RMS	
A1	1.0453	0.1984	
A2	1.6824	0.3689	
A3	1.3874	0.3154	
A4	1.0132	0.1819	
A5	0.2344	0.0439	
A6	0.4094	0.0658	
A7	1.3434	0.2458	
A8	1.7587	0.3248	
		1.109275	0.2181125

Registro		3	
	acel. max.	RMS	
A1	0.7308	0.1761	
A2	1.0471	0.2893	
A3	1.0605	0.2614	
A4	0.689	0.1557	
A5	0.2796	0.069	
A6	0.4064	0.0919	
A7	1.9125	0.5683	
A8	2.4598	0.7494	
		1.0732125	0.2951375

Registro		4	
	acel. max.	RMS	
A1	1.0265	0.3294	
A2	1.7366	0.6225	
A3	1.5423	0.5308	
A4	0.8819	0.2808	
A5	0.2073	0.0392	
A6	0.3292	0.0516	
A7	1.2931	0.2457	
A8	1.7299	0.3417	
		1.09335	0.3052125

Registro 5

	acel. max.	RMS
A1	0.5355	0.0921
A2	0.6829	0.1392
A3	0.5794	0.1332
A4	0.4374	0.0845
A5	0.3046	0.0552
A6	0.3714	0.0816
A7	1.9795	0.4613
A8	2.2814	0.6083
	0.8965125	0.206925

Registro 6

	acel. max.	RMS
A1	0.4426	0.1093
A2	0.7479	0.1932
A3	0.5457	0.1506
A4	0.3525	0.0884
A5	0.2425	0.0564
A6	0.2937	0.0764
A7	1.3879	0.2802
A8	1.6972	0.3358
	0.70887143	0.15672857

Registro 7

	acel. max.	RMS
A1	0.4151	0.1046
A2	0.8498	0.2042
A3	0.7504	0.1743
A4	0.404	0.0938
A5	0.1012	0.0256
A6	0.1363	0.0358
A7	0.5597	0.1684
A8	0.7839	0.206
	0.50005	0.1265875

Registro 8

	acel. max.	RMS
A1	0.5603	0.1513
A2	1.0396	0.2767
A3	1.0254	0.235
A4	0.6106	0.132
A5	0.2592	0.0778
A6	0.3582	0.1099
A7	1.03	0.2423
A8	1.232	0.3053
	0.7251	0.17908571

Registro 9

	acel. max.	RMS
A1	0.3778	0.1004
A2	0.75	0.1908
A3	0.6621	0.1636
A4	0.3708	0.0879
A5	0.1348	0.0315
A6	0.1742	0.0445
A7	0.6539	0.1568
A8	0.8385	0.204
	0.4952625	0.1224375

Registro 10

	acel. max.	RMS
A1	0.2802	0.043
A2	0.487	0.0741
A3	0.4508	0.0741
A4	0.2829	0.0467
A5	0.2109	0.0343
A6	0.2547	0.0429
A7	0.5775	0.1246
A8	0.6465	0.1398
	0.3988125	0.0724375

Registro 11

	acel. max.	RMS
A1	0.9464	0.1305
A2	1.2801	0.1647
A3	0.7973	0.1273
A4	0.8338	0.1115
A5	0.775	0.1354
A6	0.9551	0.1885
A7	2.1154	0.339
A8	2.3454	0.3815
	1.2560625	0.1973

Registro 12

	acel. max.	RMS
A1	0.7882	0.1239
A2	1.3789	0.2315
A3	1.1708	0.1998
A4	0.7536	0.1164
A5	0.259	0.0422
A6	0.3502	0.0562
A7	1.0504	0.1363
A8	1.4952	0.1743
	0.9057875	0.135075

Registro 13

	acel. max.	RMS
A1	0.8559	0.0969
A2	1.4922	0.2168
A3	1.3122	0.1879
A4	0.8758	0.1285
A5	0.4009	0.0581
A6	0.5492	0.0766
A7	1.2026	0.1774
A8	1.7061	0.2143
	1.0493625	0.1445625

Registro 14

	acel. max.	RMS
A1	1.0273	0.1431
A2	1.5014	0.2771
A3	1.3595	0.2373
A4	0.9461	0.1411
A5	0.2395	0.0399
A6	0.3086	0.0497
A7	0.907	0.1303
A8	1.1341	0.1806
	0.9279375	0.1498875

Registro 15

	acel. max.	RMS
A1	1.8013	0.2666
A2	3.1346	0.509
A3	2.7094	0.4358
A4	1.6387	0.2309
A5	0.2725	0.0368
A6	0.3431	0.0421
A7	1.5059	0.1956
A8	1.9949	0.2739
	1.67505	0.2488375

Registro 16

	acel. max.	RMS
A1	0.7951	0.1026
A2	1.2625	0.1671
A3	1.2681	0.1874
A4	0.7046	0.1049
A5	0.5103	0.101
A6	0.9264	0.1473
A7	2.7801	0.427
A8	3.1838	0.4958
	1.4288625	0.2166375

Registro 17

	acel. max.	RMS
A1	0.522	0.09
A2	0.9302	0.1758
A3	0.8964	0.202
A4	0.5127	0.1112
A5	0.3611	0.0691
A6	0.4618	0.0966
A7	1.3724	0.2889
A8	1.5334	0.324
	0.7939	0.1633

Registro 18

	acel. max.	RMS
A1	0.3637	0.0745
A2	0.7525	0.1433
A3	0.6396	0.1304
A4	0.4345	0.071
A5	0.2115	0.0381
A6	0.2724	0.0518
A7	1.0294	0.1527
A8	1.0723	0.1718
	0.5969875	0.1042

Registro 19

	acel. max.	RMS
A1	3.1339	0.9352
A2	5.8554	1.7365
A3	5.1562	1.4981
A4	2.6477	0.7688
A5	0.328	0.0691
A6	0.4244	0.0822
A7	1.5191	0.3047
A8	2.5875	0.5681
	1.77343333	0.45468333

(Unidades en m/s²)

PLIEGO DE CONDICIONES

El pliego de condiciones sirve como guía para llevar a cabo un proyecto. Define los objetos y especificaciones a utilizar para realizar un proyecto:

“Análisis numérico y experimental del comportamiento vibratorio de una pasarela peatonal: identificación de propiedades dinámicas y valoración del Estado Límite de Servicio”

El trabajo realizado se descompone en varias fases: realización de mediciones experimentales, verificación de la normativa, realización del modelo numérico y obtención de modelo definitivo.

Realización de mediciones experimentales.

Las mediciones se realizan sobre la misma pasarela, mediante un sistema de ocho acelerómetros. Destacar que previamente, antes de tomar las medidas se realizan varias mediciones para así calibrar los acelerómetros, y su correspondiente módulo de recepción. Estos acelerómetros se han dispuesto en diversas configuraciones, como se ha explicado en el punto que corresponde. Ha sido realizado de esta manera para poder obtener los mejores resultados. Se realizan varios tipos de ensayos cambiando el tipo de excitación, además de con un número distinto de personas como se ha explicado.

En general se obtienen aceleraciones verticales y horizontales que después han sido utilizadas con distintos objetivos.

Verificación de la normativa.

Una vez se obtienen las aceleraciones exactas en los distintos ejes, se procede a compararla con la distinta normativa. En este proyecto se ha comparado con el la IAP-11 clasificando la pasarela peatonal en una clase u otra dependiendo de la aceleración máxima obtenida en la excitación.

Realización del modelo numérico.

Se ha hecho uso de programas informáticos como el SolidWorks ® y el Abaqus ®, ambos programas capaces de realizar cálculos de estructuras por elementos finitos. Este modelo numérico realizado ha servido para obtener frecuencias y después compararlas con las obtenidas de manera experimental y de esta forma, poder estudiar la semejanza entre ellas, así como la repercusión que pueden tener los distintos modos de vibración sobre la pasarela si llega a ser excitada bajo ciertas frecuencias.

Obtención del modelo definitivo.

Mediante el software informático de MatLab se obtienen diversos parámetros que, interpretándolos y siguiendo los pasos que se detallan en el apartado correspondiente, se consiguen obtener los valores de las propiedades ideales para el modelo numérico. Con ello se pueden realizar distintas pruebas e investigaciones con los valores exactos de propiedades como espesores de chapa, densidades e incluso límites elásticos.

PRESUPUESTO

Se realiza un presupuesto de los costes que conllevaría realizar este proyecto:

Presupuesto

Partida 1 - Personal					
		Unidad	Cantidad	Importe unitario	Coste total
1,1	Ingeniero junior	horas	108	22,00	2.376,00
1,2	Personal de apoyo	horas	64	25,00	1.600,00
1,3	Preparación y revisión de material	horas	16	22,00	352,00
1,4	Ingeniero senior	horas	22	40,00	880,00
Total capítulo 1:					5.208,00 euros
Partida 2 - Materiales					
		Unidad	Cantidad	Importe unitario	Coste total
2,1	Martillo	Ud	2	5,15	10,30
2,2	Acelerómetros	Ud	8	1.040,00	8.320,00
2,3	Metro láser	Ud	1	25,75	25,75
2,4	Ordenador	Ud	1	824,95	824,95
2,5	Cableado y adaptadores	Ud	1	50,51	50,51
2,6	Imanes de neodimio	Ud	1	25,76	25,76
Total capítulo 2:					9.257,27 euros
Partida 3 - Licencias					
		Unidad	Cantidad	Importe unitario	Coste total
3,1	SolidWorks	Ud	1	5.148,97	5.148,97
3,2	MatLab	Ud	1	865,20	865,20
3,4	Excel	Ud	1	149,00	149,00
3,3	Abaqus	Ud	1	1.236,00	1.236,00
Total capítulo 3:					7.399,17 euros

A la partida de 2 y 3 solo se le cuenta un 15%

16.656,44	Total partidas 2 y 3
2.498,47	15% de partidas 2 y 3

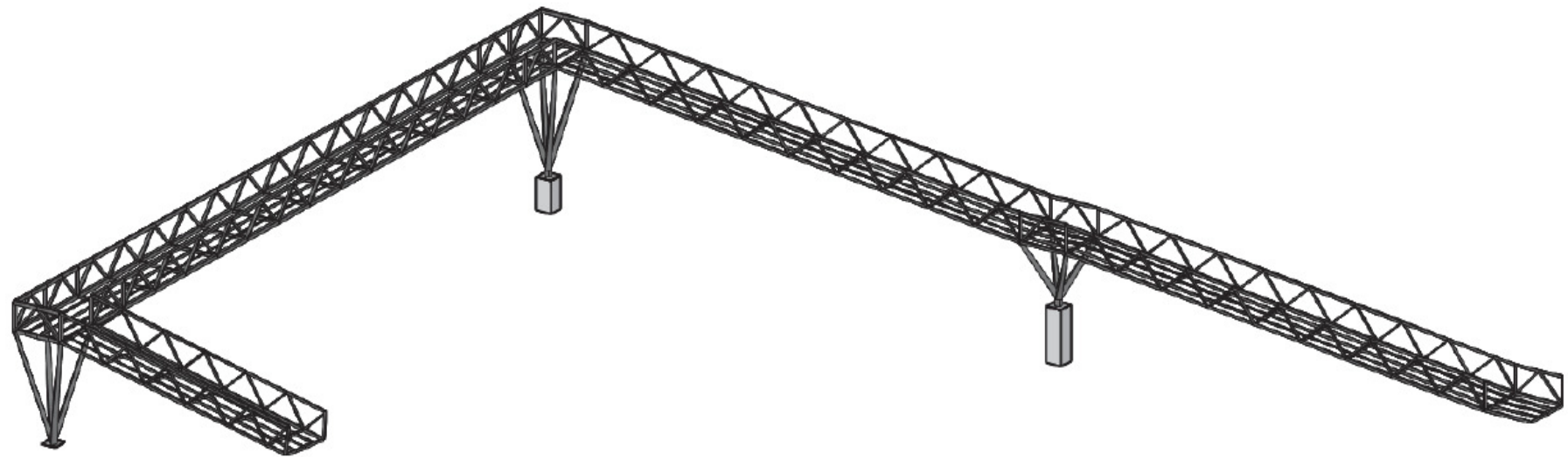
PEM	7.706,47
Gastos generales	1.310,10
Beneficio industrial	539,45
PEC	9.556,02
IVA	2.006,76
Total obra	11.562,78

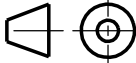

PEM	Presupuesto de Ejecución de Material	17%
		7%
PEC	Presupuesto de Ejecución por Contrata	21%

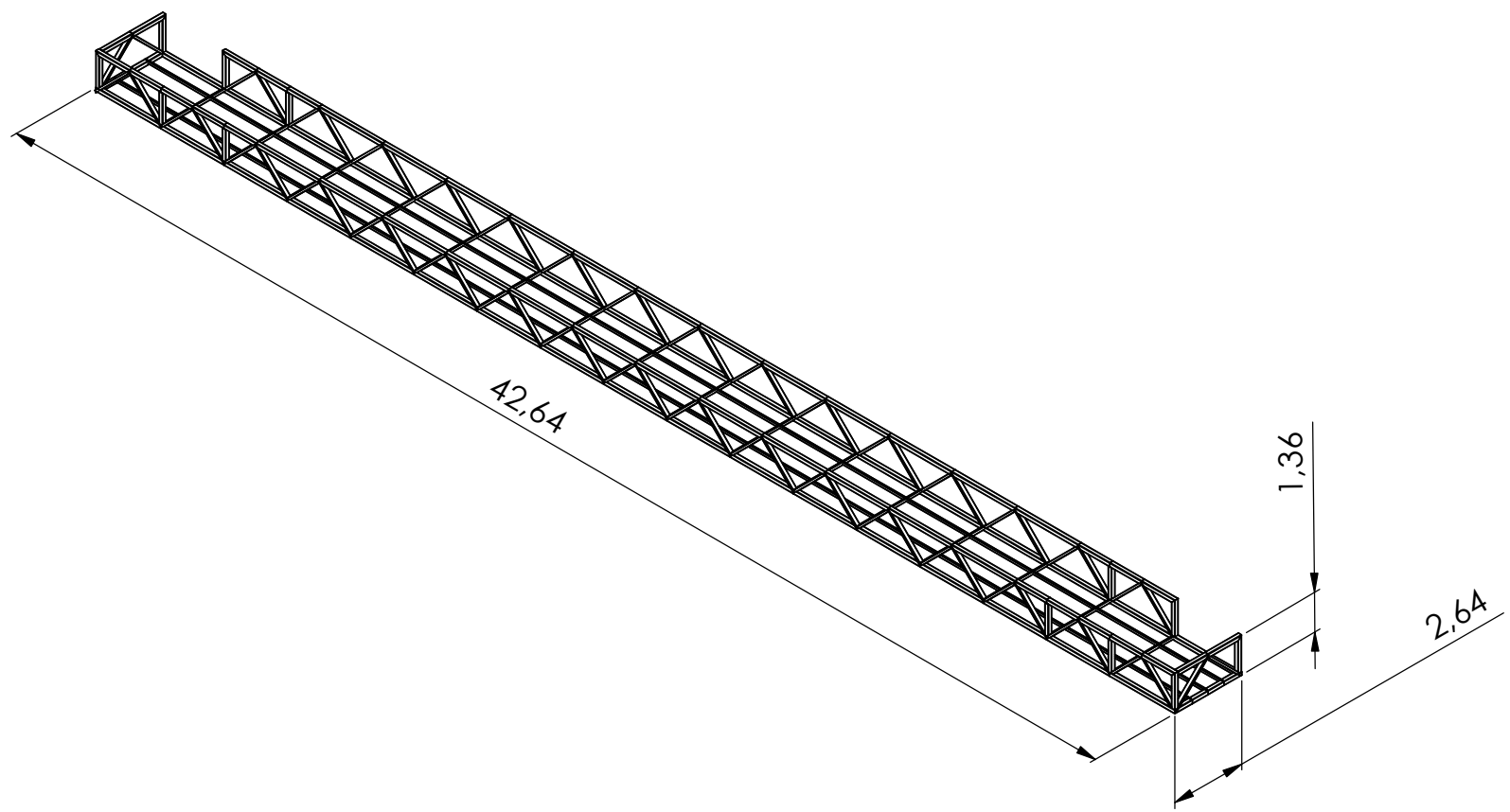
Cabe destacar en este apartado que el material y licencias (partidas 2 y 3) también se utilizará en otras investigaciones. Por lo que se aproxima que el coste total de ambas partidas será de un 15% como se indica.

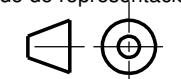

Siendo el coste final de obra de once mil quinientos sesenta y dos euros con setenta y ocho céntimos.

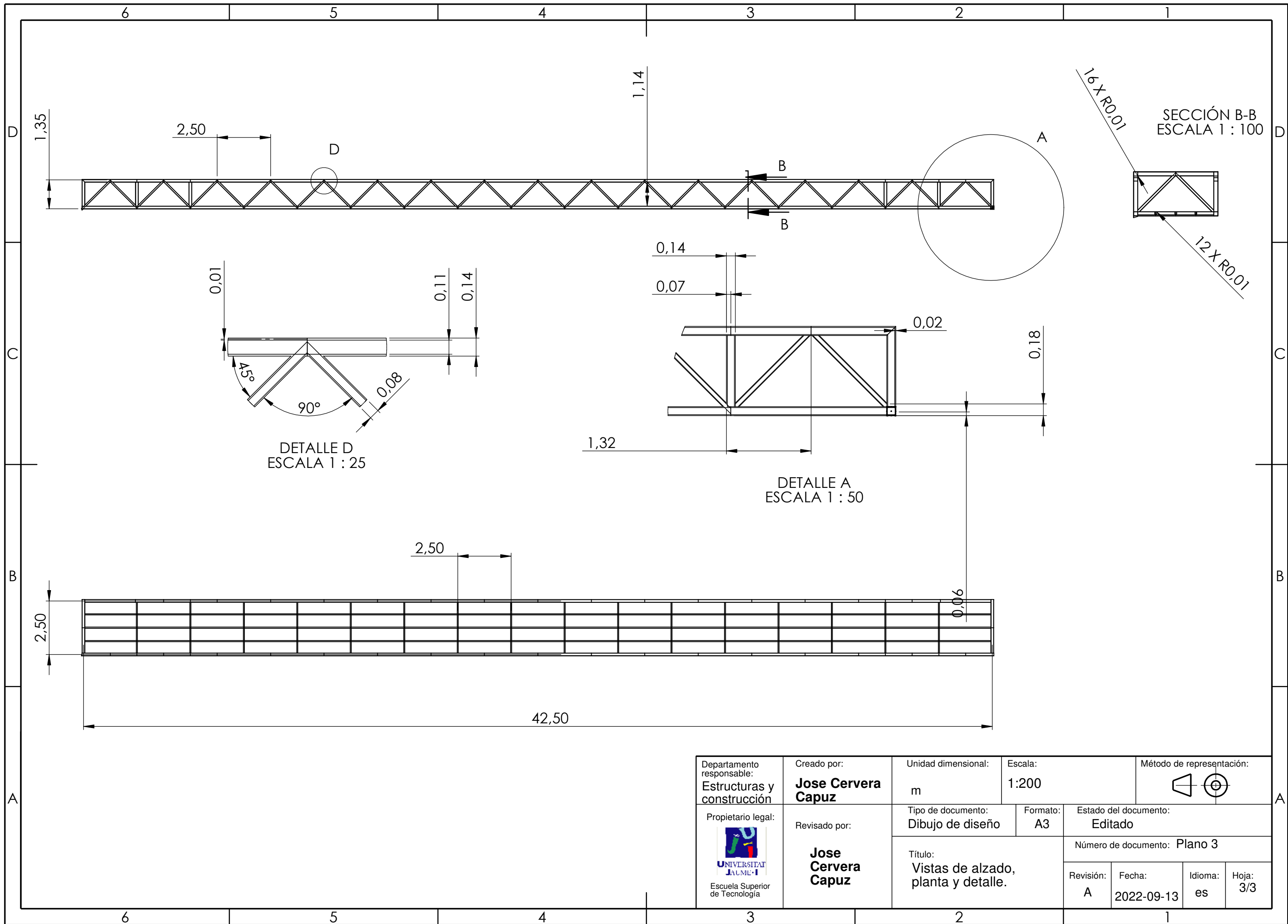
PLANOS



Departamento responsable: Estructuras y construcción	Creado por: Jose Cervera Capuz	Unidad dimensional: m	Escala: 1:200	Método de representación: 		
Propietario legal:  Escuela Superior de Tecnología	Revisado por: Jose Cervera Capuz	Tipo de documento: Dibujo de diseño	Formato: A4	Estado del documento: Editado		
Título: Estructura completa		Número de documento: Plano 1				
		Revisión: A	Fecha: 2022-09-13	Idioma: es	Hoja: 1/3	



Departamento responsable: Estructuras y construcción	Creado por: Jose Cervera Capuz	Unidad dimensional: m	Escala: 1:200	Método de representación: 
Propietario legal:  UNIVERSITAT JAUME I Escuela Superior de Tecnología	Revisado por: Jose Cervera Capuz	Tipo de documento: Dibujo de diseño	Formato: A4	Estado del documento: Editado
		Título: Vista general del vano principal	Número de documento: Plano 2	
		Revisión: A	Fecha: 2022-09-13	Idioma: es
				Hoja: 2/3



Departamento responsable: Estructuras y construcción	Creado por: Jose Cervera Capuz	Unidad dimensional: m	Escala: 1:200	Método de representación:
Propietario legal: 	Revisado por: Jose Cervera Capuz	Tipo de documento: Dibujo de diseño	Formato: A3	Estado del documento: Editado
		Título: Vistas de alzado, planta y detalle.		Número de documento: Plano 3
		Revisión: A	Fecha: 2022-09-13	Idioma: es
				Hoja: 3/3