

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante: Mg. Ing. Alexander Opazo V.

Profesores Comisión: Mg. Ing. Gilda Espinoza V.

Mg. Ing. Ángela Salina B.

ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE VIBRACIONES EN SISTEMA DE PISO DE MADERA

PROYECTO DE TÍTULO PRESENTADO EN CONFORMIDAD A LOS REQUISITOS PARA
OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

JOSÉ MIGUEL ROJAS SANDOVAL

CONCEPCIÓN, MARZO 2015

Dedicatoria

**“Dedico este logro a quienes
siempre creyeron en mí,
me apoyaron y me guiaron,
mi familia”**

Agradecimientos

A Dios quien me entrego fortaleza en los momentos más complicados. El desarrollo de esta tesis no habría sido posible sin la ayuda de él.

A mi familia, por darme todo su apoyo, quererme y entenderme por sobre todas las cosas.

A mi pareja por darme su amor y apoyo incondicionalmente durante todos estos años.

A todos mis profesores quienes me han enseñado a ser mejor en la vida y a realizarme profesionalmente.

Un agradecimiento especial a mí a profesor guía **Mg. Ing. Alexander Opazo Vega** por hacer posible esta memoria, permitiéndome conducir esta investigación de manera adecuada. Gracias por su tiempo, orientación académica, calidad humana y profesional.

A mis compañeros de clases quienes me acompañaron en esta trayectoria de aprendizaje y conocimientos.

Gracias.

NOMENCLATURA.

BS: British standard.

ISO: International organization for standardization.

Nch: Norma chilena.

VDV: Valor de dosis de vibración en unidades $[m/s^{1.75}]$.

Fp: Frecuencia de pasos de caminatas.

Wb: Función ponderadora de frecuencia acuerdo a BS.6472.

eVDV: Valor de dosis de vibración de la jornada completa $[m/s^{1.75}]$ ponderado por Wb.

rVDV: Valor representativo de VDV de un modelo de piso $[m/s^{1.75}]$.

fn: Frecuencia natural [Hz].

C24: Calidad mecánica de la madera aserrada de pino Radiata

SCI: The Steel Construction Institute

FFT: Transformada Rápida de Fourier.

IFFt: Inversa de la Transformada Rapida de Fourier.

Hz: Hertz, unidad de medida de frecuencia del sistema internacional.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	3
1.1	Identificación y justificación del problema	3
1.2	Alcances de la investigación	4
1.3	Objetivos de la investigación	4
1.3.1	Objetivo general	4
1.3.2	Objetivos específicos	4
1.4	Metodología de Trabajo	4
1.5	Organización de la Tesis	5
2	TEORÍA DE VIBRACIONES VERTICALES EN SISTEMAS DE PISO	6
2.1	Cargas Dinámicas Inducidas por el Caminar de las Personas	6
2.2	Respuesta del sistema de pisos a vibraciones verticales inducidas por caminatas	8
2.3	Evaluación de la serviciabilidad dinámica de sistemas de piso	9
2.3.1	Funciones ponderaciones de frecuencia.....	10
2.3.2	Indicadores de desempeño vibratorio	11
2.3.3	Criterio de evaluación del desempeño vibratorio de sistemas de piso	12
3	PROCEDIMIENTO REALIZADO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO VIBRATORIO.....	14
3.1	Caracterización del sistema de piso evaluado	14
3.2	Registro de aceleración	15
3.3	Ambientes de ocupación evaluados	16
3.4	Propiedades dinámicas del sistema de piso	17
3.5	Frecuencias de pasos y masas corporales de los caminantes	19
3.6	Procedimiento para la obtención del indicador de desempeño VDV	20
3.7	Evaluación del desempeño vibratorio del sistema de piso	22

4	RESULTADOS DE LAS EVALUACIONES EN TERRENO	23
4.1	Propiedades dinámicas de los ambientes evaluados	23
4.2	Indicadores de desempeño VDV	25
4.3	Evaluación de la serviciabilidad vibratoria	27
5	CONCLUSIONES Y COMENTARIOS	29
6	REFERENCIAS	32

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Esquema de carga vertical inducida por un paso (ISO 10137, 2007).	6
Figura 2.	Cargas verticales modeladas para distintas frecuencias de paso (Waarts et al, 2006)...	7
Figura 3.	Funciones ponderadoras de frecuencias W_b, W_g, W_d (Peña, 2014).	10
Figura 4.	Fotografía del sistema de piso construido.	14
Figura 5.	Vista en planta de la ubicación de los acelerómetros en la estructura (elaboración Propia).	16
Figura 6.	Fotografía de la representación del ambiente living.	16
Figura 7.	Fotografía de la representación del ambiente dormitorio.	17
Figura 8.	Señal filtrada de aceleración en dominio de la frecuencia. Caminata N°1. Ambientes sin mobiliario.	18
Figura 9.	Señal de Aceleración vertical del sistema de piso, inducida por una caminata con frecuencia de paso $f_p=1.40$ [Hz].	20
Figura 10 .	Señal de aceleración vertical sin ponderar y señal de aceleración filtrada-ponderada, ambas en el dominio del tiempo.	21
Figura 11.	Frecuencias fundamentales del piso para los 3 ambientes evaluados.	23
Figura 12.	Razones de amortiguamiento del piso para los 3 ambientes evaluados.	24
Figura 13.	Indicadores VDV para diferentes masas corporales del género Femenino, agrupados en función de la frecuencia de paso, ambiente sin mobiliario.	25
Figura 14.	Indicadores VDV para diferentes masas corporales del género Masculino, agrupados en función de la frecuencia de paso, ambiente sin mobiliario.	25
Figura 15.	Indicadores eVDV jornada noche y jornada día, en un contexto residencial, para los 3 ambientes evaluados, en un escenario de ocupación tranquilo.	27

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Frecuencias medias obtenidas por diversos Autores (Kobayashi, 2011) 7

Tabla 2. Rangos de valores del indicador VDV[**ms1.75**] para distintos desempeños vibratorios.
..... 12

ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE VIBRACIONES EN SISTEMA DE PISO DE MADERA

Autor: José Miguel Rojas Sandoval

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo Electrónico: jmrojas@alumnos.ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Alexander Opazo Vega.

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo Electrónico: aopazove@ubiobio.cl

RESUMEN

En sistemas de pisos de maderas, es común que se presenten problemas de serviciabilidad producto de las vibraciones que son causadas por los propios usuarios en sus actividades cotidianas. Estos problemas se traducen en molestias que pueden provocar una sensación de inseguridad e incomodidad en los residentes. En Chile, este problema ha sido considerado en el diseño de pisos de madera de forma indirecta, limitando las deflexiones verticales provocadas por sobrecargas uniformes. Sin embargo, la aplicación de estas exigencias no ha logrado evitar que surjan estos tipos de problemas en las viviendas de nuestro país.

La presente investigación tiene el objetivo de analizar y evaluar el desempeño vibratorio de un sistema de piso de madera, frente a las vibraciones verticales inducidas por el caminar humano, según criterios de serviciabilidad vibratoria propuestos por las normas internacionales BS.6472.2008 y la ISO.10137.2007

Para el desarrollo de los efectos antes mencionados se efectuaron mediciones de las aceleraciones inducidas por las caminatas de 5 personas, sobre un sistema de piso de madera de carácter experimental, representativo de las estructuras existentes en nuestro país, considerando tres ambientes de ocupación dentro de un contexto residencial. En base a las mediciones obtenidas se determinó el indicador de desempeño que permite evaluar su nivel de servicio vibratorio según las normas antes mencionadas.

De esta manera, se determinó que el sistema de piso evaluado, presenta un desempeño vibratorio deficiente dentro de un contexto residencial, demostrándose la necesidad de incorporar nuevas exigencias normativas en esta problemática.

Palabras Claves: Vibraciones, Sistema de pisos de maderas, Serviabilidad, Mediciones in situ.

7730 Palabras Texto + 17 Figuras/Tablas*250 = 11980 Palabras

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF VIBRATION WOOD FLOOR SYSTEM

Author: José Miguel Rojas Sandoval

Department of Civil and Environmental Engineering, University of the Bío-Bío

Email: jmrojas@alumnos.ubiobio.cl

Teacher Guide: Alexander Opazo Vega.

Department of Civil and Environmental Engineering, University of the Bío-Bío

Email: aopazove@ubiobio.cl

ABSTRACT

In wood floor systems, it is common product serviceability problems vibrations that are caused by the users in their daily activities occur. These problems are a nuisance that can cause a feeling of insecurity and discomfort residents. In Chile, this problem has been considered in the design of wooden floors indirectly limiting vertical deflections caused by overloads uniforms. However, implementation of these requirements has failed to prevent these types of problems arise in homes of our country.

This research aims to analyze and evaluate the vibratory system performance wood floor, facing vertical vibrations induced by human walking, vibration serviceability criteria as proposed by international standards BS.6472.2008 and ISO.10137.2007.

For the development of the above effects measurements of accelerations induced by 5 people walking on a wooden floor system experimental, representative of the structures in our country, considering three main occupation took place in a context residential. Based on the measurements obtained the performance indicator that assesses the level of vibratory service according to the above standards was determined.

Thus, it was determined that the floor system evaluated, has poor vibration performance within a residential context, demonstrating the need for new regulatory requirements on this issue.

Keywords: Vibration, system of wood flooring, Serviceability, in situ measurements.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Identificación y justificación del problema

La madera es el material de construcción más antiguo que se conoce, valorado en todas partes del mundo y presente en todo tipo de construcciones. Esto se debe a los múltiples beneficios que brinda este material; económico, amigable con el medio ambiente, en términos constructivos es muy material de un rápido montaje, el cual entrega un sobresaliente nivel de habitabilidad en la estructura. Este material es muy utilizado en la construcción de sistemas de piso y a pesar de que se ha utilizado durante tantos años, hasta el día de hoy presenta algunos inconvenientes que afectan la serviciabilidad de la estructura.

Las vibraciones en los sistemas de piso pueden provenir de muchas fuentes, algunas externas a la estructura como el tráfico vehicular, trabajos de construcción, maquinarias etc. Mientras que otras fuentes internas pueden deberse a las actividades de los propios usuarios, actividades tales como la danza, aeróbica o caminar, sin embargo es esta última actividad la fuente más común de carga dinámica que genera vibraciones, debido a que esta acción es la que se genera con mayor frecuencia dentro de la estructura.

En la mayoría de los casos, estas vibraciones inducidas por parte de las personas en los sistemas de piso, no presentan una mayor relevancia desde el punto de vista estructural. Sin embargo debido a que los sistemas de pisos se encuentran en contacto directo con los usuarios, estos tienden a percibir las vibraciones, lo que produce incomodidades y molestias, afectando su calidad de vida. En estructuras donde se utilizan equipos de precisión, como es el caso de laboratorios y hospitales, estas vibraciones pueden afectar el funcionamiento y la eficiencia del trabajo.

En Chile actualmente no existe una normativa de diseño que nos permita controlar las vibraciones, este problema ha sido considerado en el diseño de pisos de madera de una manera indirecta, limitando los desplazamientos verticales provocados por sobrecargas uniformes, sin embargo no ha sido abordado de una forma extensa, existiendo muy poca investigación al respecto. Es por ello que se justifica la necesidad de investigaciones que permitan conocer la naturaleza, y el nivel desempeño vibratorio de los sistemas de pisos de madera que se están construyendo en las diferentes estructuras de nuestro país.

Se espera que investigación sirva como un peldaño más para poder lograr que algún día la normativa en Chile contemple esta problemática, logrando así, evitar las molestias generadas por las vibraciones en los hogares de los chilenos.

1.2 Alcances de la investigación

Esta investigación contempla la evaluación in situ de vibraciones verticales inducidas por el desplazamiento de las personas sobre un piso de madera experimental. La evaluación se realiza en base a los criterios de serviciabilidad propuestos por las normas internacionales BS.6472.2008 y la ISO.10137.2007.

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

- Evaluar y analizar el desempeño vibratorio de un sistema de piso de madera frente a las vibraciones verticales, inducidas por el caminar humano.

1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar y construir un sistema de piso de madera, representativo de las construcciones existentes en nuestro país.
- Implementar un método de medición en terreno de las vibraciones verticales inducidas por las personas.
- Medir las vibraciones y las principales variables que afectan la serviciabilidad vibratoria de un sistema de piso.
- Realizar una evaluación del desempeño vibratorio en base a normativas extranjeras existentes.

1.4 Metodología de Trabajo

El desarrollo de la investigación comenzó con una revisión bibliográfica, sobre la teoría de las vibraciones verticales inducidas por el caminar humano sobre un sistema de piso,

determinando sus principales variables; la naturaleza de la carga impuesta, las propiedades dinámicas de la estructura y los criterios existentes para la evaluación del desempeño vibratorio. Se prosiguió con la construcción de un sistema piso experimental de madera representativo de las construcciones que existe en nuestro país, cumpliendo con los requisitos establecidos por la norma chilena NCh. 1198.

Posteriormente se realizaron mediciones en terreno, de las aceleraciones generadas por el caminar de las personas a diferentes frecuencias de paso, por sobre la estructura construida, determinando las propiedades dinámicas de dicha estructura y el nivel de vibraciones generado. Estas mediciones se registraron mediante el uso de 4 acelerómetros ubicados en el sistema de piso construido.

Con dichas mediciones se categorizó el nivel de desempeño vibratorio de la estructura según los criterios de serviciabilidad expuesto de las normas BS.6472.2008 e ISO.10137.2007

1.5 Organización de la Tesis

La presente tesis se estructuró en 5 capítulos, además de los anexos correspondientes.

En el capítulo 1, se presenta la justificación de la investigación, además se establecen los distintos objetivos y la metodología de trabajo empleada.

En el capítulo 2, se expone un resumen de la revisión bibliográfica realizada, que brinda la información necesaria para comprender el fenómeno de las vibraciones. Se contemplan las características de las cargas dinámicas aplicadas a la estructura, las propiedades dinámicas que gobiernan la respuesta del sistema de piso y los indicadores que permiten la clasificación del desempeño vibratorio del sistema.

En el capítulo 3, se explica el método ejecutado in situ para la cuantificación de las vibraciones. Se expone la materialidad del sistema de piso evaluado, los diferentes escenarios de caminatas realizados, la medición de las propiedades dinámicas de la estructura y por último la elección de un indicador de desempeño y su método pertinente para la clasificación del nivel de vibraciones.

En el capítulo 4 se exponen los resultados más importantes obtenidos a través del procedimiento mencionado anteriormente; frecuencia fundamental, la razón de amortiguamiento, indicadores VDV, y la evaluación del desempeño vibratorio del sistema de piso. Para posteriormente ser analizados.

En el capítulo 5, se exponen las diferentes conclusiones de la investigación, comentarios y futuras líneas de investigación.

2 TEORÍA DE VIBRACIONES VERTICALES EN SISTEMAS DE PISO

En el presente capítulo, se expone el resumen de la revisión bibliográfica realizada, que brinda la información necesaria para comprender el fenómeno de las vibraciones. Para ello se hace necesario entender la naturaleza de la carga inducida, las propiedades dinámicas de estructura y los criterios de serviciabilidad vibratoria presentes en las normativas existentes.

2.1 Cargas dinámicas inducidas por el caminar de las personas

Una de las fuentes de vibraciones más común en los sistemas de piso, es el tránsito de personas. Al caminar, los individuos inducen cargas verticales, transversales y longitudinales al sistema de piso por el cual transitan, siendo la componente vertical la de mayor relevancia para el estudio de diafragmas de piso. (Racic et al, 2009)

La carga vertical se genera producto que el centro de masa del individuo se desplaza verticalmente cerca de 5 [cm], produciendo una aceleración vertical en el cuerpo humano (Glisovic et al, 2010), la cual se transmite a la losa generando vibraciones en el sistema de piso. En la Figura 1 se da un ejemplo de la forma típica de la carga vertical para un solo paso, donde la fuerza Q representa la carga estática de la persona.

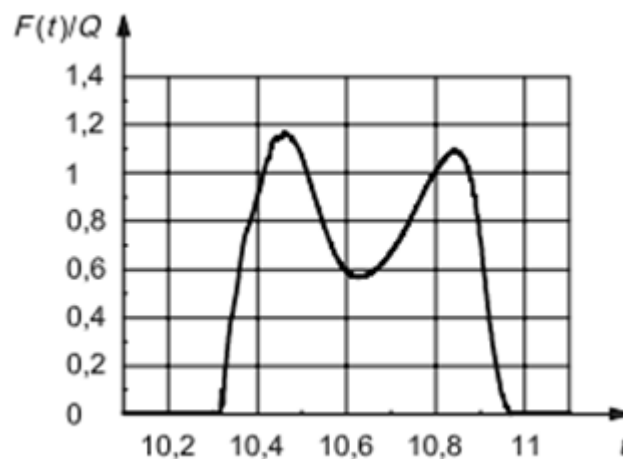


Figura 1. Esquema de carga vertical inducida por un paso (ISO 10137, 2007).

En la Figura 1, se aprecia que existen dos máximos en la amplitud de la carga vertical, el primero correspondiente al contacto inicial de talón y el segundo al despegue del pie del piso. Para un caminata normal, la carga máxima es de alrededor de 1.2 a 1.5 veces la carga estática, y tiene una duración de entre 0,5 [s] y 0,8 [s]. (Glisovic et al, 2010)

Según (Racic et al, 2009), los parámetros claves para la modelación y diseño de cargas inducidas por caminantes son: la frecuencia de paso, la velocidad de caminata, la longitud del paso y la amplitud de la fuerza provocada por el peso del individuo. Sin embargo, la frecuencia de paso ha sido la variable más estudiada por su importancia.

La frecuencia de paso es definida como el número de pasos generados por un individuo en un segundo, medida en unidad de frecuencia [Hz] y su importancia radica en que determina la forma y la amplitud de la carga vertical generada, al aumentar la frecuencia de paso los picos se comienzan a fusionar y la amplitud de la carga tiende a aumentar, como se aprecia en la Figura 2.

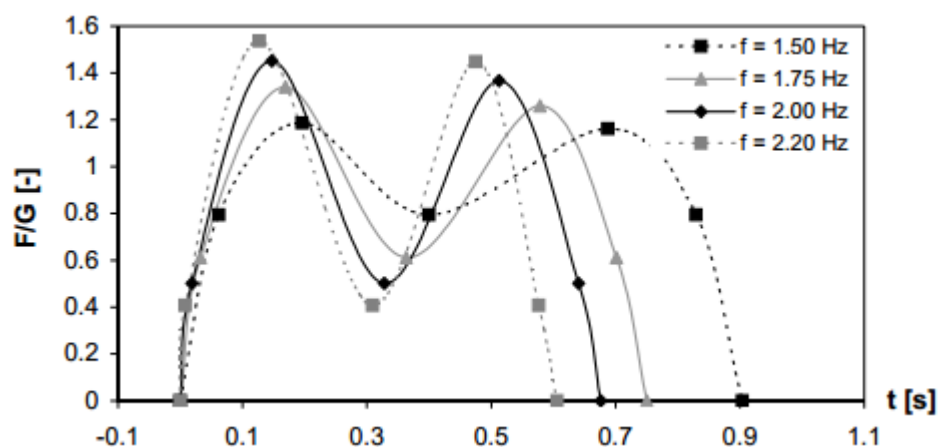


Figura 2. Cargas verticales modeladas para distintas frecuencias de paso (Waarts et al, 2006)

El Instituto del Concreto y Acero (SCI, 2009) propone rangos de frecuencias de pasos entre los 1.6 y 3.2 [Hz] según diferentes actividades (caminar despacio-correr rápido), considerando una caminata normal con un valor de 2 [Hz]. Sin embargo distintos autores proponen diferentes valores de frecuencias, estableciendo que esta cambia entre personas y que depende de distintos factores como étnicos, culturales y espaciales. En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos por diversos autores, especificando las frecuencias medias (μ_{fp}), la desviación estándar (σ_{fp}) y el tamaño de la muestra.

Tabla 1. Frecuencias medias obtenidas por diversos Autores (Kobayashi, 2011)

Autor	N	μ_{fp} [Hz]	σ_{fp} [Hz]
Matsumoto, 1972	505	1.99	0.173
Kerr y Bishop,2001	40	1.9	
Zivanovic et al., 2005	1976	1.87	0.186
Pachi and Ji,2005	200	1.86	0.11
Ingólfsson, 2006	19	1.83	0.104

En nuestro país Ríos (2013) estudio el caminar de un grupo de 100 personas de la ciudad de Concepción, determinando que la frecuencia de paso promedio es de 1.81 [Hz] y posee una desviación estándar de 0.196[Hz]. Estos valores obtenidos son similares a los resultados de otros investigadores como se apreció en la tabla anterior.

2.2 Respuesta del sistema de pisos a vibraciones verticales inducidas por caminatas

Para el análisis de las vibraciones, es importante conocer la frecuencia natural y la razón de amortiguamiento, ya que estas propiedades determinan respuesta vibratoria de la estructura.

La razón de amortiguamiento es una medida de la rapidez con que decae la respuesta de vibración en el sistema (Glisovic et al., 2010). Esta razón depende de los materiales empleados, detalles de construcción, y la presencia de componentes no estructurales, tales como revestimientos de pisos, techos, equipo mecánico y divisiones. (ISO, 2007). En general, la razón de amortiguamiento no se puede calcular o predecir de forma fiable.

La frecuencia fundamental de una estructura es la frecuencia de oscilación libre sin estar excitada continuamente por un agente excitador (Leiva, 2013) y depende principalmente de la masa y la rigidez de la estructura (Hamm et al, 2010). Basándonos en esta propiedad dinámica, se distinguen dos categorías de pisos: de baja frecuencia y de alta frecuencia.

Un piso se denomina de baja frecuencia cuando su frecuencia fundamental de vibración vertical es menor al rango de frecuencias ubicadas entre 7 a 10 [Hz] (BSI, 2008). En denominados sistemas de pisos, es posible que se generen problemas de resonancias debido a que la vibración generada por un paso es reforzada por la respuesta de los pasos siguientes.

En cambio los sistemas de piso de alta frecuencia, que poseen frecuencias naturales de vibración superiores al rango entre 7 a 10 [Hz], no se ven involucrados a este posible problema, dado a que la respuesta de un paso se disipará antes de que se dé el siguiente paso, según el nivel de razón de amortiguamiento del sistema de piso.

Algunos ejemplos típicos de sistemas de piso de "baja frecuencia" son sistemas de piso de acero, hormigón de grandes luces y pisos de hormigón armado. Sistemas de piso de "alta frecuencia" son algunos sistemas de piso con vanos relativamente cortos y pisos con envigados de madera. (BSI, 2008)

2.3 Evaluación de la serviciabilidad dinámica de sistemas de piso

Para realizar una evaluación de la serviciabilidad dinámica de un sistema de piso, se dispone de gran número de documentos en forma de normas, instrucciones, guías y recomendaciones, prácticamente todas ellas internacionales.

El Eurocódigo 5 establece algunas reglas de diseño con respecto a la capacidad de servicio de vibración de estructuras de madera. Estas recomendaciones esta fundadas en parámetros de la deflexión estática debido a una carga puntual de 1 [kN] en el centro de la luz de la viga, la frecuencia fundamental de la estructura y el uso de la respuesta debido a un “impulso efectivo” de 1[N·s], (Zhang et al, 2013). Estos criterios varían de un país a otro y su implementación no es 100% obligatoria.

Actualmente las normativas más utilizadas para la evaluación de las vibraciones inducidas por las personas son las publicadas por la International Standard Organization (ISO) las cuales en varias ediciones contemplan esta problemática.

La normativa ISO 2631-1 (ISO, 1989) ha sido cancelada y reemplazada por las normas más actuales, sin embargo en esta edición se presentan límites de vibración provisionales en forma de curvas de base para la evaluación del desempeño vibratorio. La normativa ISO 2631-1 (ISO, 1997), se centra en la vibración transmitida a todo el cuerpo humano. En esta norma se definen los métodos generales para la evaluación de la exposición humana frente a vibraciones. La norma ISO 2631-2 (ISO, 2003), incluye la evaluación de la exposición humana a las vibraciones en edificios, en rangos de frecuencia entre 1 a 80 [Hz]. Estas dos últimas normativas establecen la utilización de parámetros denominados velocidad ponderada media ($v_{rms}[m/s]$) y aceleración ponderada media ($a_{rms}[m/s^2]$) para medir la magnitud de la vibración.

Para el desarrollo de esta investigación se consideraron principalmente las normas ISO 10137 (ISO, 2007), que contiene las bases para el diseño serviciabilidad de edificios y pasarelas peatonales sometidas a vibraciones y la BS 6472-1 (BSI, 2008), que guía el proceso de evaluación de la exposición humana a vibraciones en edificios, para rangos de frecuencias entre 1 a 80 Hz. Ambas normativas evalúan el efecto de las vibraciones de cuerpo completo en los residentes a través de un criterio basado en la probabilidad de comentarios adversos, y utilizan el indicador de desempeño(VDV) “valor de dosis de vibración” (value-dosis-vibration) para determinar el nivel de vibración. Además de este indicador, la norma ISO.10137 incorpora el criterio de la aceleración ponderada media, al igual que las versiones anteriores.

2.3.1 Funciones ponderaciones de frecuencia

La manera en cómo las personas detectan las vibraciones dependen del tipo de vibración (continua o intermitente), la dirección de la vibración (vertical u horizontal), la jornada (día o noche), el lugar de ocurrencia (oficinas, residencia, talleres) entre otras variables, es por ello que estas normativas anteriormente presentadas, asumen ciertas funciones ponderadoras de frecuencia, que deben ser aplicadas a las señales vibratorias que han sido medidas experimentalmente.

El objetivo de estas funciones ponderadoras es darle mayor importancia a las frecuencias que afectan en mayor medida al confort humano y atenuar aquellas frecuencias que son de menor importancia, debido a que el cuerpo humano es más sensible a ciertas frecuencias de vibración que a otras.

Las normas BS.6472-1 e ISO.10137 recomiendan el uso de funciones ponderadoras de frecuencia (w_b , w_g , w_d), para evaluar la respuesta humana a las vibraciones, de manera que los niveles generales de respuesta puedan ser interpretadas en términos de percepción, comodidad o comentario adverso. En la Figura 3 se muestran las funciones ponderadoras de frecuencia utilizadas por las normativas mencionadas.

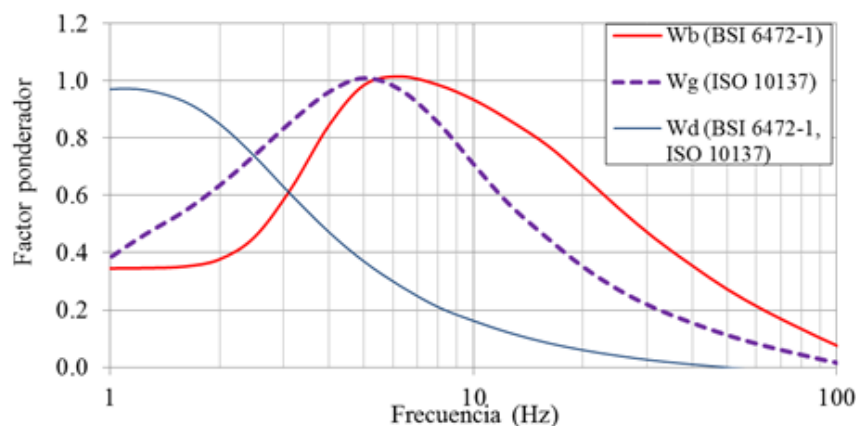


Figura 3. Funciones ponderadoras de frecuencias w_b, w_g, w_d (Peña, 2014).

La norma BS.6472-1 establece la función w_b para la evaluación de vibraciones verticales, esta función posee una sensibilidad máxima a la aceleración vertical en el rango de frecuencia de 4-12,5 [Hz] y es aplicable a frecuencias entre el rango 0.5-80 [Hz].

La norma ISO.10137 establece la función w_g para la evaluar las vibraciones verticales, esta función posee una sensibilidad máxima a la aceleración vertical en el rango de frecuencia de 3.15-8.0 [Hz] y es aplicable a frecuencia entre rango de 1-80 [Hz].

El Instituto del Concreto y Acero (SCI, 2009) recomienda el uso de la función W_g para evaluar las vibraciones verticales en actividades de trabajos delicados como quirófanos de hospital o laboratorios de precisión. Además recomienda el uso de la función W_b para la evaluación de las vibraciones en residencias, oficinas, salas, laboratorios generales, consultoría habitaciones, etc. Por último las normas ISO.10137 y BS.6472-1 definen la función W_d para evaluar las vibraciones horizontales, esta función es sensible a frecuencias entre 1-2 [Hz] y es aplicable a frecuencias entre el rango 0.5-80 [Hz]

2.3.2 Indicadores de desempeño vibratorio

Para evaluar el desempeño vibratorio de sistemas de piso debido a caminatas de personas, es necesario la utilización de indicadores representativos de los niveles de percepción de vibración por parte de los usuarios. Las normas ISO 10137 y BSI 6472-1 recomiendan la utilización del indicador VDV (vibration dose value) que se traduce como “valor dosis de vibración” el cual estima la probabilidad de existan comentarios adversos por parte de los seres humanos que experimentan la vibración en la estructura. El conocimiento actual muestra que las vibraciones generadas por caminatas se evalúan de mejor manera con el valor de la dosis de vibración (VDV). (BSI, 6472)

Este indicador de desempeño presenta una mayor sensibilidad a la magnitud de vibración que a la duración de esta. El doble de la magnitud de una vibración, es equivalente a un aumento de la duración de la exposición de dieciséis veces.

Según la norma BSI 6472-1, el indicador de desempeño vibratorio VDV produce una coherente relación entre los distintos tipos de vibraciones (continuas, intermitentes, ocasionales e impulsivas) con las respuestas subjetivas de las personas. Este indicador se define matemáticamente según lo indicado en la Ecuación 1.

$$VDV_{w,dia/noche} = \left(\int_0^T a(t)^4 dt \right)^{0.25} \quad \text{Ec. (1)}$$

Dónde:

$VDV_{w,dia/noche}$: Es el valor de dosis de vibración de la jornada [$m/s^{1.75}$]

$a(t)$: Aceleración de frecuencia ponderada usando W_b , W_g o W_d , según corresponda.

T : Periodo total día o noche [s] durante el cual se produce la vibración

El VDV debe determinarse a partir de una medición obtenida de la exposición total de vibraciones ya sea jornada día o jornada noche. Si esto no es posible de realizar, para obtener el VDV de la jornada (día o noche), la norma BS.6472-1 define dos ecuaciones.

1. Cuando las condiciones de vibración son constantes o repetidas regularmente, sólo una muestra representativa, de t segundos de duración, es necesaria medir. De esta forma el indicador VDV de la exposición total se puede calcular con la siguiente Ecuación 2:

$$VDV_{w,dia/noche} = \left(\frac{t_{dia/noche}}{t_t} \right)^{0.25} \cdot VDV_t \quad \text{Ec. (2)}$$

Dónde:

$t_{dia/noche}$: Duración total del tiempo de exposición en la jornada día o noche [s].

t_t : Tiempo de duración de la medición representativa repetitiva [s].

VDV_t : Indicador vibratorio calculado en la medición representativa repetitiva.

2. Cuando la exposición de la vibración consiste en dos o más periodos “n”, de diferentes magnitudes, el valor de dosis de vibración para la jornada día o noche se puede calcular con la siguiente Ecuación 3.

$$VDV_{w,dia/noche} = \left(\sum_{n=1}^{n=N} VDV_n^4 \right)^{0.25} \quad \text{Ec. (3)}$$

2.3.3 Criterio de evaluación del desempeño vibratorio de sistemas de piso

En la siguiente tabla se muestran los criterios de evaluación de la serviciabilidad vibratoria de sistemas de piso en base a indicadores VDV, para las normas ISO.10137 y BSI.6472-1.

Tabla 2. Rangos de valores del indicador VDV [$m/s^{1.75}$] para distintos desempeños vibratorios.

Ambiente o Lugar	Baja probabilidad de comentarios adversos	Posibles comentarios adversos	Probables comentarios adversos	Norma
Residencias (exposición 16 horas, jornada día)	0.2 a 0.4	0.4 a 0.8	0.8 a 1.6	ISO 10137
				BS 6472-1
Residencias (exposición 8 horas, jornada noche)	0.13 0.1 a 0.2	0.26 0.2 a 0.4	0.51 0.4 a 0.8	ISO 10137
				BS 6472-1

Nota: Para oficinas y talleres, factores de 2 y 4 respectivamente deberían ser aplicados sobre los rangos de VDV para 16Hrs día.

Los criterios de desempeño toman en cuenta distintas probabilidades de comentarios adversos por parte de los usuarios, con respecto a la presencia de vibraciones verticales.

Se observa que los criterios están presentados en intervalos y no datos continuos, esto se debe a que los diferentes miembros de la población tienen diferentes expectativas del nivel de vibración.

Además se diferencian el contexto y la jornada de exposición de la vibración, debido a que la sensación personal de falta confort o bienestar, se percibe a diferentes niveles en distintas situaciones y diferentes horarios.

3 PROCEDIMIENTO REALIZADO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO VIBRATORIO

En este capítulo se presentan las características del sistema de piso y los procedimientos utilizados para poder realizar el análisis y la evaluación de las vibraciones verticales en la estructura, para posteriormente calificar su desempeño vibratorio bajo los criterios de serviciabilidad expuestos en el capítulo anterior.

3.1 Caracterización del sistema de piso evaluado

La estructura construida para la investigación, es un sistema de piso tradicional tipo plataforma. El diseño corresponde a lo estipulado en el Manual de Ingeniería y Construcción en madera 2º Edición, Arauco.2012, cumpliendo con las normativas vigentes en nuestro país.

El sistema de piso de madera construido presenta vigas y cadenas de madera tipo MSD ESTRUCTURAL de grado mecánico C24, arriostradas en su borde superior con placas de terciado ARAUCO ESTRUCTURAL con un espesor de 15 [mm]. Las vigas presentan una separación de 41 [cm] entre cada una, y una distancia de apoyo longitudinal de 3[m]. Las cadenas se encuentran ubicadas a 122[cm] del borde de la estructura en la zona central, el ancho y largo del piso presentan unas longitudes de 3.1 [m] y de 4 [m] respectivamente.

Las características consideradas en la estructura son las típicas de proyectos normales de viviendas unifamiliares de uno o dos pisos (Arauco, 2012), y su diseño corresponde al mostrado en la figura 4.



Figura 4.Fotografía del sistema de piso construido.

La estructura fue diseñada para cumplir con los requisitos propuestos en la norma chilena NCh.1198:

- Resistir una combinación de cargas de peso propio más sobrecarga de uso de $2.1[kN/m^2]$
- No presentar desplazamientos verticales superiores a $L/300$ para la acción simultánea de las cargas de peso propio y sobrecarga.
- No presentar desplazamientos verticales superiores a $L/360$ para la acción exclusiva de sobrecargas de servicio $1.5[kN/m^2]$

Además se ha agregado la restricción de la norma BS 5268-2,:

- deformación absoluta del sistema de piso debe ser menor que $14 [mm]$

3.2 Registro de aceleración

Existen diferentes parámetros de vibración que pueden ser medidos y analizados como los desplazamientos, velocidades y aceleraciones. La elección de que parámetro será medido depende del indicador de desempeño utilizado y su criterio de evaluación correspondiente, en esta investigación se registró el parámetro de la aceleración.

Para el registro de la señal de aceleración, se utilizó un módulo adquisición de señal dinámica *National Instruments* de 4 canales de entrada, que digitalizaban las señales simultáneamente, con un tiempo de adquisición de 15 segundos y una frecuencia de muestreo de $1651.68 [Hz]$.

La disposición de estos 4 acelerómetros fue determinada por la recomendación de la BSI.6472-1, que indica que los acelerómetros deben ubicarse en la zona donde son percibidas las vibraciones. Rara vez es posible identificar una posición única, por lo tanto es más razonable medir en un lugar donde se presenten los más altos niveles de vibración, esto ocurre preferentemente en la parte central dentro de un tercio y dos tercios del ancho / largo de la estructura. En la Figura 5 se muestra la ubicación donde se instalaron los acelerómetros en el sistema de piso.

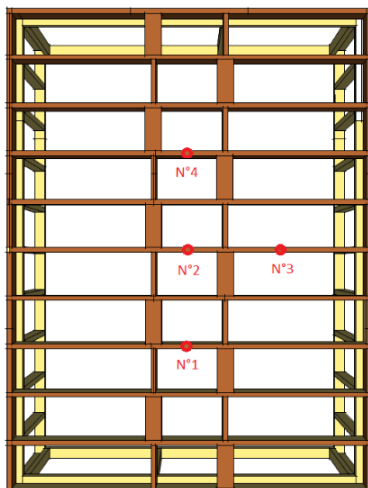


Figura 5. Vista en planta de la ubicación de los acelerómetros en la estructura (elaboración Propia).

3.3 Ambientes de ocupación evaluados

Se procedió a representar 3 ambientes de ocupación distintos para ser evaluados, los ambientes escogidos fueron; ambiente N°1 sin mobiliario, ambiente N°2 living y ambiente N°3 Dormitorio. Estos ambientes fueron escogidos debido a que son los más utilizados en los segundos pisos de las viviendas de nuestro país.

El ambiente N°2 representó un living o sala de estar típico de las viviendas unifamiliares, para su representación se utilizaron dos sillones, un mueble con su respectivo televisor, una mesa de centro y un escritorio. Este mobiliario en total aporta una carga de 95.8 [kg] sobre la estructura. En la figura 6 se muestran dos fotografías del ambiente y el mobiliario utilizado para su representación.



Figura 6. Fotografías de la representación del ambiente living.

En el ambiente N°3 se representó un dormitorio típico de una vivienda unifamiliar, el cual se amuebla con una cama, un velador y un escritorio, todos ellos con sus respectivos artículos. Este mobiliario en total aporta una carga de 88.98 [kg] sobre la estructura. En la figura 7 se muestra una fotografía del ambiente y el mobiliario utilizado para su representación.



Figura 7. Fotografía de la representación del ambiente dormitorio.

La configuración espacial y la carga aportante de cada mueble se pueden apreciar en el anexo A. El propósito de estos 3 ambientes es poder investigar la variación de la respuesta vibratoria del sistema de piso bajo situaciones de carga real, debido a que estos escenarios de carga cambian las propiedades dinámicas de la estructura, reduciendo las frecuencias naturales del piso, al aumentar las masas modales (Nguyen et al,2014) y variando la razón de amortiguamiento por la presencia de mobiliario.

3.4 Propiedades dinámicas del sistema de piso

Para poder clasificar el tipo de respuesta vibratoria de la losa, es necesario conocer su frecuencia fundamental de vibración vertical. Para obtener mencionada frecuencia, se procesaron las señales registradas de 10 caminatas realizadas por un individuo de masa corporal de 65 [kg] en cada uno de los ambientes. Las señales procesadas fueron las captadas por el acelerómetro N°2, debido a que su ubicación en el sistema de piso permite captar el modo de vibrar fundamental de la estructura.

Se procesaron las 10 señales mediante la implementación de programación en Matlab (Anexo C). Lo primero que se realizó fue filtrar los registros obtenidos, con el fin de eliminar cualquier interferencia y ruido ajeno a la medición. Luego por medio de la Transformada Rápida de Fourier (FFT) se procede a cambiar los registros en el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia.

En la Figura 8 se muestra un ejemplo de la señal de aceleración en dominio de la frecuencia.

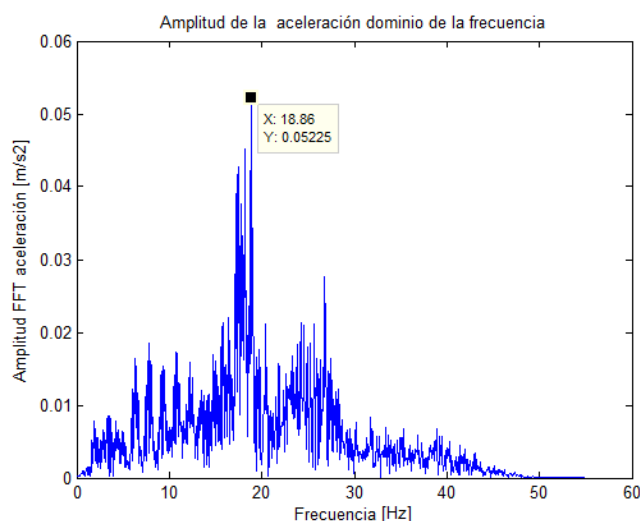


Figura 8. Señal filtrada de aceleración en dominio de la frecuencia. Caminata N°1. Ambientes sin mobiliario.

La frecuencia de vibración buscada, corresponde a la que genera el valor peak de la amplitud de la FFT de la señal (Brandt, 2011). En el caso mostrado en la Figura 8 la frecuencia fundamental de la losa es de 18,86 [Hz], clasificando a la estructura como pisos de alta frecuencia.

De forma complementaria y en el mismo código Matlab, se determinó la razón de amortiguamiento asociada a la frecuencia fundamental de vibración, a través del método de ancho de banda media potencia. Para razones de amortiguamiento menores a un 10%, la Ecuación 4 que define esta propiedad se puede aproximar de la siguiente manera (Brandt, 2011).

$$\xi = \frac{f_u - f_l}{2 f_n} \quad \text{Ec. (4)}$$

Dónde:

ξ : Razón de amortiguamiento

f_n : frecuencia natural de vibración.

f_u, f_l : frecuencias superior e inferior que definen el ancho de banda de media potencia.

Los resultados de estas propiedades dinámicas para las 10 caminatas y las señales de aceleración, se pueden apreciar en el anexo B y en los archivos digitales.

3.5 Frecuencias de pasos y masas corporales de los caminantes

Para evaluar el desempeño vibratorio del sistema de piso, se ejecutaron caminatas individuales sincronizadas en la losa. Las vibraciones causadas por un paso dependen tanto de la losa y la persona que camina sobre ella, sobre todo, su peso, su frecuencia de paso y su tipo de calzado (Waarp, Van diun 2006). Es por ello que las variables que permitieron determinar las distintas respuestas de servicio vibratorio del sistema fueron, la frecuencia de paso y las masas corporales de los caminantes. El calzado utilizado fue calzado zapatilla tipo normal para todos los caminantes, con fin de disminuir la variabilidad de los resultados.

El Instituto del Concreto y Acero (SCI, 2009) recomienda que para evaluar pisos de alta frecuencia, se utilice un rango de 5 frecuencias de excitación distintas y si es posible, más de un individuo de prueba el cual deberá repetir al menos dos veces la caminata.

Para la elección de las 5 frecuencias de paso, se utilizó el estudio realizado por Ríos (2013), el cual determino frecuencias de paso de personas de la ciudad de Concepción, obteniendo una media de 1,81 [Hz] y una desviación estándar de 0,196 [Hz] para las mediciones realizadas.

Para la elección de las masas corporales de los caminantes, se utilizó el registro estadístico presentados en el estudio Autopercepción del estado nutricional en adultos de Santiago (Atalah et al,2004). Este informe indica que la masa corporal promedio de la población masculina adulta es 75,8 [kg] con una desviación estándar de 10,7[kg] y para la población adulta femenina es de 65,8 [kg] con una desviación estándar de 10,4[kg].

Conforme a lo anterior, las caminatas ejecutadas se realizaron a 5 frecuencias de paso distintas: 1.4, 1.6, 1.8, 2.0, y 2.2 [Hz] repitiendo cada caminata dos veces. Con 6 diferentes masa corporales, 3 hombres de; 65, 76, y 87[kg] y 3 mujeres de 56 [kg] 66[kg] y 76[kg] en los 3 ambientes representados, los que nos da un total de 180 caminatas realizadas.

El objetivo de la elección de estas frecuencias de paso y masa corporales es lograr una muestra representativa del grupo étnico existentes en nuestro país.

Se evitaron la realización de caminatas grupales debido a que en el estudio realizado por (Glisovic et al., 2010) se concluyó que la excitación individual representa un modelo adecuado para el desarrollo de criterios de servicio vibratorio.

3.6 Procedimiento para la obtención del indicador de desempeño VDV

El indicador de desempeño escogido para determinar el nivel de servicio vibratorio de la estructura fue el indicador VDV, propuesto por las normas ISO 10137 y BSI 6472-1. Para ello se registró la señal de aceleración vertical generada por las caminatas realizadas, durante un período de tiempo $t=15$ [s]. En la figura 9 se presenta una señal de aceleración registrada por el acelerómetro N°2.

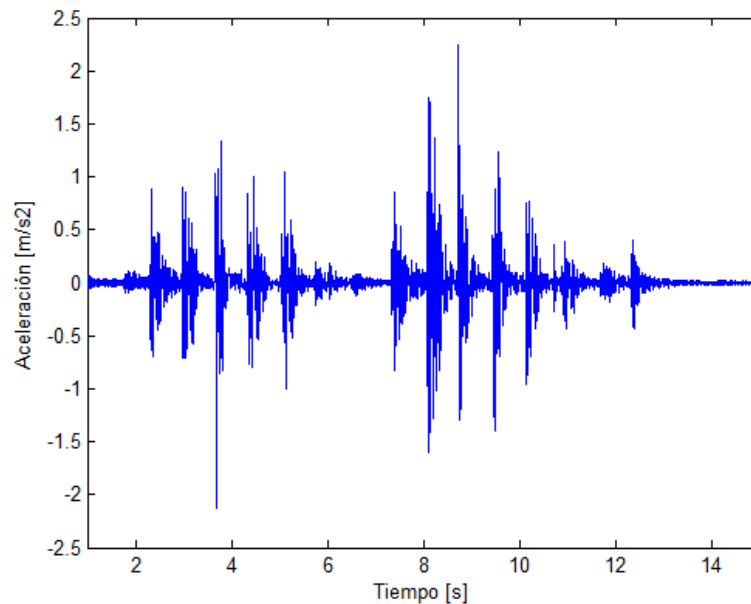


Figura 9. Señal de Aceleración vertical del sistema de piso, inducida por una caminata con frecuencia de paso $f_p=1.40$ [Hz].

Los registros de aceleración se procesaron mediante la implementación de programación en Matlab (Anexo C). Primero la señal de aceleración fue filtrada por un filtro Butterworth pasabaja, con el propósito de eliminar cualquier interferencia y ruido ajeno a la señal. Luego por medio de la Transformada Rápida de Fourier (FFT) se procede a cambiar los registros en el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia (figura 8), en esta condición la señal es ponderada por la función ponderadora w_b . Una vez que la señal de aceleraciones es ponderada, se vuelve a transformar al dominio del tiempo con la inversa de la transformada de Fourier (IFFT). En la figura 10 se muestra una comparación entre la señal de aceleración inicial sin ponderar (señal de color azul) y la señal de aceleración final, filtrada y ponderada (señal de color verde) para la señal mostrada anteriormente. Las demás registros de aceleración se presentan en el Anexo D y en los archivos digitales.

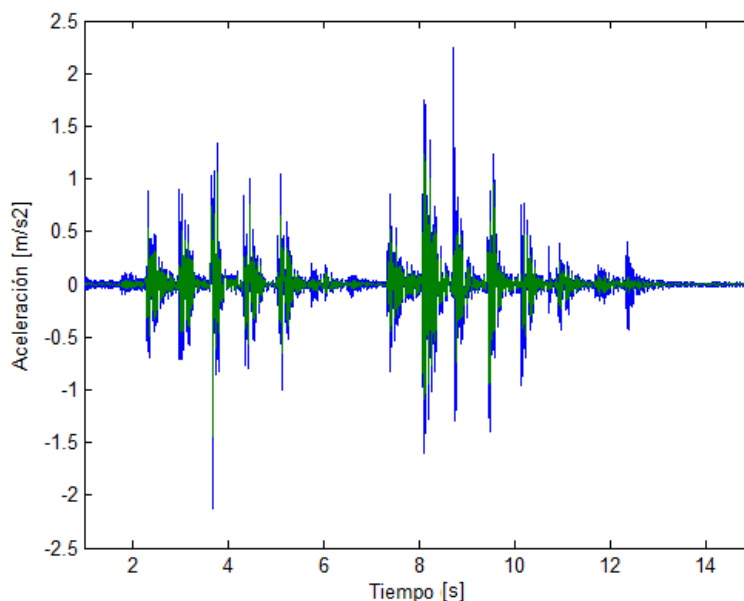


Figura 10 . Señal de aceleración vertical sin ponderar y señal de aceleración vertical filtrada-ponderada, ambas en el dominio del tiempo.

Por último con la señal de aceleración final, filtrada y ponderada, se procede a obtener el indicador VDV para las 180 caminatas realizadas mediante lo expresado en la Ecuación (1).

Sin embargo para cada ambiente (sin mobiliario, living y dormitorio) se debe obtener un solo valor de VDV que sea representativo de las 60 caminatas realizadas en él. Para ello, Ellis (2001) propone calcular este indicador a partir de la Ecuación 5:

$$rVDV = \left[\frac{(\sum_{n=1}^{240} VDV_n^4)^{0.25}}{(240)^{0.25} \cdot VDV_{max}} \right] \cdot VDV_{max} \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde rVDV es el valor representativo para cada ambiente evaluado y VDVmax es el máximo valor VDV registrado de las 60 caminatas realizadas en cada ambiente. Cabe mencionar que este que este valor rVDV es representativo del sistema de piso completo, por ende para su cálculo se incluye el registro percibido por los 4 acelerómetros, lo que genera un total 240 señales de aceleración originadas por las 60 caminatas realizadas en cada ambiente.

Según Ellis (2001) es importante para las evaluaciones de serviciabilidad vibratoria calcular este valor VDV representativo, que refleja el rango total de frecuencias de paso en lugar de enfocarse solamente en la respuesta máxima.

Los criterios para evaluar el desempeño vibratorio del sistema, expuestos en la tabla 2, están definidos para jornadas de exposición día y noche, por ello es necesario obtener el parámetro

eVDV correspondiente a la jornada total de exposición a vibraciones. Se determina este indicador a partir de la siguiente Ecuación (6)

$$eVDV_{b,dia/noche} = \left(\frac{t_{jorn}}{t}\right)^{0.25} \cdot rVDV \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde se asume que rVDV corresponde a una medición representativa de t=15 segundos, y que se repetirá “n” cantidad de veces durante el tiempo total de exposición en la jornada considerada.

Para estimar la cantidad de veces que ocurre la vibración representativa, se utiliza nuevamente el procedimiento propuesto por Ellis (2001). Este autor recomienda definir 3 ambientes de ocupación de un piso: tranquilo, lleno y extremadamente lleno.

En el ambiente tranquilo se considera que la caminata representativa se repite dos veces en una hora, el ambiente lleno considera que la caminata se repite cada dos minutos y el ambiente extremadamente lleno considera que la caminata se repite de manera continua a lo largo de toda la jornada.

3.7 Evaluación del desempeño vibratorio del sistema de piso

Para la evaluación de la dosis de vibración de la jornada completa, 16 horas para la jornada día y 8 horas para la jornada noche, se asumió el escenario de servicio tranquilo, suponiendo que el evento representativo se repite 2 veces por hora ya que refleja de manera lógica lo que ocurre en un contexto residencial normal. Es decir, durante la jornada día el evento vibratorio (de 15 segundos de duración) ocurre 32 veces y durante la jornada noche ocurre 16 veces. De esta forma, se obtienen las siguientes Ecuación 7 y Ecuación 8:

$$eVDV_{b,dia} = \left(\frac{2 \cdot 16 \cdot 15}{15}\right)^{0.25} \cdot rVDV = (32)^{0.25} \cdot rVDV = 2.38 \cdot rVDV \quad \text{Ec. (7)}$$

$$eVDV_{b,noche} = \left(\frac{2 \cdot 8 \cdot 15}{15}\right)^{0.25} \cdot rVDV = (16)^{0.25} \cdot rVDV = 2 \cdot rVDV \quad \text{Ec. (8)}$$

Para evaluar el nivel de desempeño vibratorio se compara la dosis de vibración de la jornada (eVDV), con la siguiente ecuación 9:

$$eVDV_{b,dia} \leq 0.8 \quad eVDV_{b,noche} \leq 0.4 \quad \text{Ec. (9)}$$

Estos valores presentados en la Ecuación (8) corresponden al valor máximo del rango más desfavorable mostrado en la tabla 2. La cual nos indica “probables comentarios adversos” en un entorno residencial.

4 RESULTADOS DE LAS EVALUACIONES EN TERRENO

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos de las mediciones realizadas, siguiendo el procedimiento descrito en el capítulo anterior.

4.1 Propiedades dinámicas de los ambientes evaluados

Se exponen los resultados de las propiedades dinámicas obtenidas para los 3 ambientes; frecuencias fundamentales y razones de amortiguamiento. Cabe recordar que para determinar las propiedades dinámicas de la estructura solo se consideró la señal de aceleración registradas por el acelerómetro N°2.

En la Figura 11 se muestran los valores de las frecuencias fundamentales obtenidos para cada escenario evaluado. Los puntos estadísticamente atípicos (mostrados en rojo y calculados según el método del cuartil) no se eliminaron debido a la variabilidad asociada a la mano de obra empleada en la construcción.

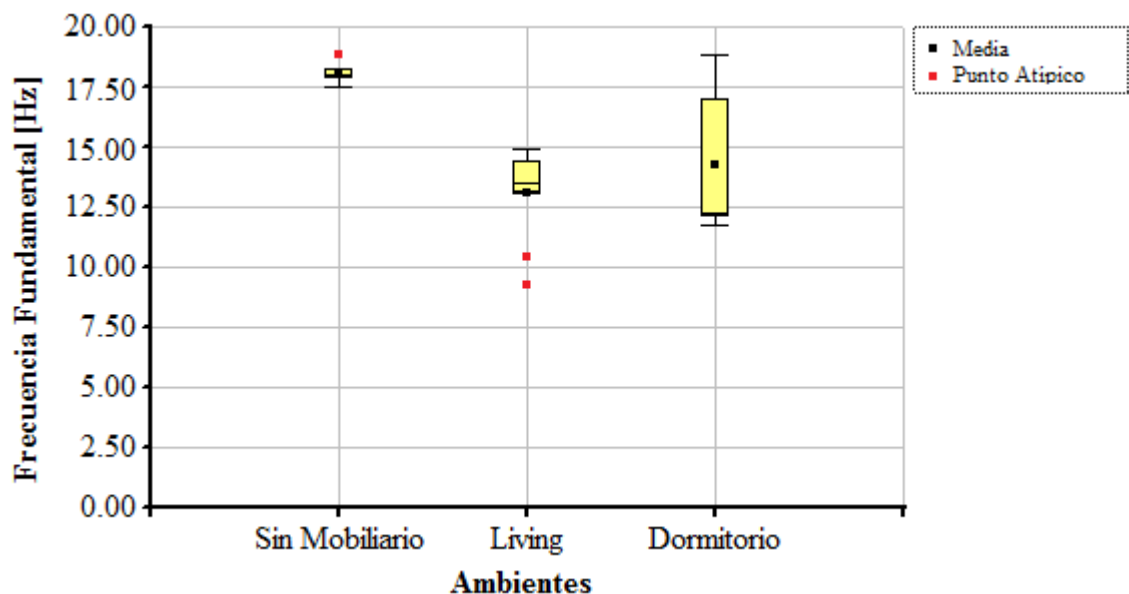


Figura 11. Frecuencias fundamentales del piso para los 3 ambientes evaluados.

Las frecuencias naturales fundamentales obtenidas, presentaron una de media de 18.07 [Hz], 13.11 [Hz] y 14.26 [Hz] para los ambientes sin mobiliario, living y dormitorio respectivamente, todos estos valores se encuentran dentro del rango esperado para sistema de piso de madera. Además estos resultados muestran que todos de los ambientes evaluados se pueden categorizar como pisos de alta frecuencia, ya que sus frecuencias naturales son mayores a los 10 [Hz].

Se aprecia que la frecuencia fundamental promedio se vio afectada por el aumento de la masa debido al uso de mobiliario. Los ambientes living y dormitorio, presentan una frecuencia natural 27% y 21% respectivamente más baja que el ambiente sin mobiliario. Esta disminución en la frecuencia natural del sistema de piso, debería producir una disminución en el desempeño vibratorio de la estructura.

En la Figura 12 se muestran los valores de las razones de amortiguamiento obtenidas para cada escenario evaluado.

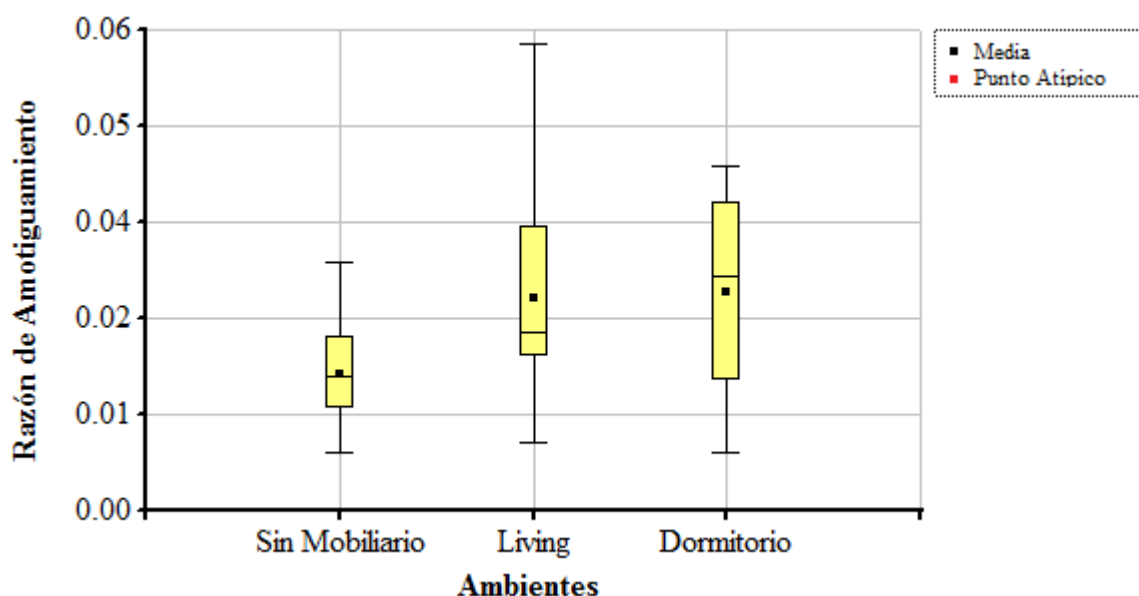


Figura 12. Razones de amortiguamiento del piso para los 3 ambientes evaluados.

Las razones de amortiguamiento promedio fueron 1.7%, 2.64% y 2.73%, para los ambientes sin mobiliario, living y dormitorio respectivamente. Los valores obtenidos están dentro del rango típico que corresponden a pisos de vigas de madera $\xi\%$ [1.5, 5.0] (Table B.2, ISO 10137-2007).

Se observa que la presencia de mobiliario provocó una variación en la media de la razón de amortiguamiento, los ambientes living y el dormitorio presentan una razón de amortiguamiento 57% y 60% respectivamente más alta que el ambiente sin mobiliario. Este aumento en la razón de amortiguamiento, debería producir un aumento en el nivel de desempeño vibratorio de la estructura.

4.2 Indicadores de desempeño VDV

En las Figura 13 y Figura 14 se muestran los indicadores VDV obtenidos de las mediciones realizadas en el ambiente sin mobiliario, los resultados para los distintos ambientes se presentan en el anexo E. Cada combinación de carga frecuencia de paso-masa corporal, presenta 8 valores de VDV distintos, estos 8 valores se generan producto de las dos caminatas realizadas por la misma persona a una misma frecuencia de paso, registradas por los 4 acelerómetros dispuesto en la estructura.

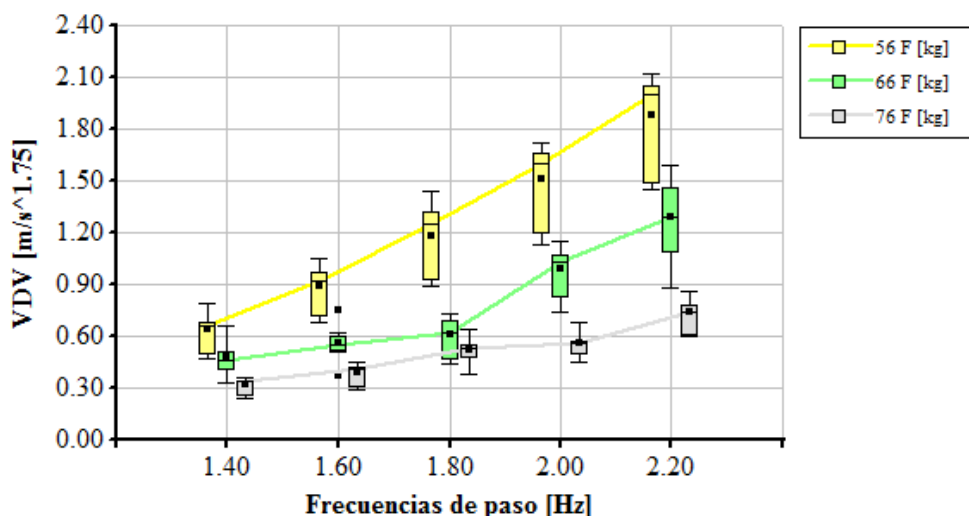


Figura 13. Indicadores VDV para diferentes masas corporales del género Femenino, agrupados en función de la frecuencia de paso, ambiente sin mobiliario.

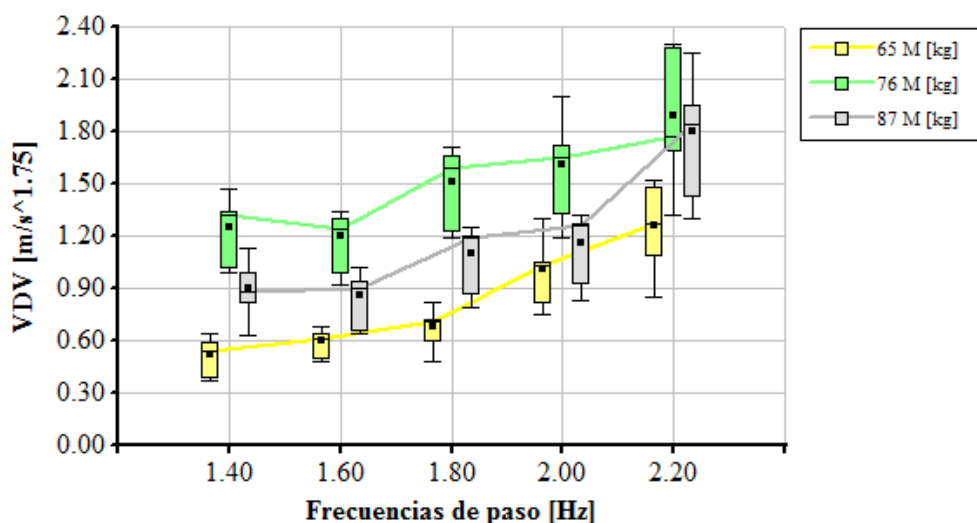


Figura 14. Indicadores VDV para diferentes masas corporales del género Masculino, agrupados en función de la frecuencia de paso, ambiente sin mobiliario.

De las Figura 13 y Figura 14 presentadas anteriormente se puede inferir que:

- Una misma configuración de carga dinámica (Masa corporal y frecuencia de paso) generan distintos niveles de vibración, esta dispersión en los resultados se debe a que no todos los acelerómetros registran el mismo nivel de vibración, debido a la ubicación que estos presentan en el sistema de piso, además una caminata nunca será igual que otra. Se aprecia que la frecuencia de paso de 2.2 [Hz] es en donde ocurre la mayor variabilidad en los resultados.
- De la fuente generadora de vibraciones (caminantes), la frecuencia de paso es la variable más influyente en el nivel de vibraciones presente en la estructura, se aprecia la relación que a mayor frecuencia de paso, independiente de la masa corporal o el ambiente, mayor es el VDV. Por ejemplo para el caminante 56 F [kg] al aumentar su frecuencia de paso de 1.4 a 2.2 [Hz], provocó un aumento promedio de los valores VDV en 3,34 veces.
- En ambos géneros los valores más alto de VDV se generaron a una frecuencia de paso de 2.2 [Hz], análogamente los valores más bajos se presentaron en la frecuencia de paso 1.4 [Hz]. En el género femenino los valores VDV más altos fueron generados por la caminante que posee una masa corporal de 56 [Kg], y en el género masculino por fueron generados por el caminante que posee una masa corporal de 76[kg], en ambos caso no son los caminantes de mayor masa del género.
- No se aprecia una relación directa entre la masa y los valores resultantes VDV, curiosamente los indicadores VDV más alto (2.3) y más bajo (0.24) presentados en la estructura, se obtienen para la misma masa corporal 76[Kg] pero para diferente sexo. Lo que reafirma que la masa corporal no es determinante en el nivel de vibraciones generadas en la estructura.
- Esta esta variación en el VDV resultante para la misma masa corporal 76[Kg], misma frecuencia de paso pero diferente géneros, infiere que posiblemente la forma de caminar, medidas antropométricas, longitud de paso entre otras, son variables influyentes en la generación de vibraciones.

4.3 Evaluación de la serviciabilidad vibratoria

En la Figura 15 se muestran los valores obtenidos para los indicadores eVDV en los 3 ambientes evaluados, tanto para la jornada día como la jornada noche, dentro de un contexto residencial. También se muestra en el gráfico dos líneas horizontales que representan el valor eVDV límite normativo para cada jornada, en azul para la jornada noche y amarillo para la jornada día.

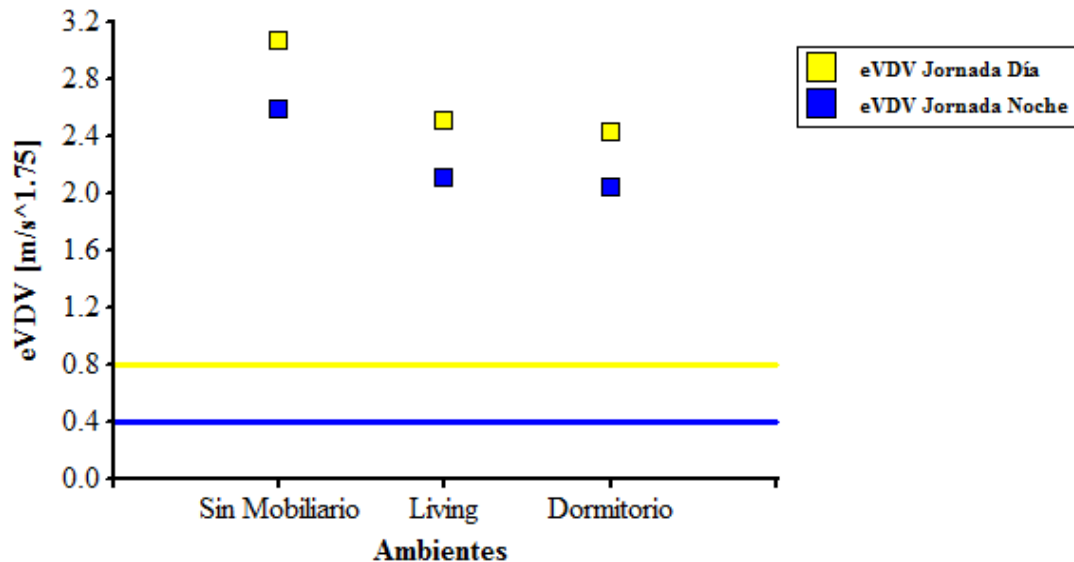


Figura 15. Indicadores eVDV jornada noche y jornada día, en un contexto residencial, para los 3 ambientes evaluados, en un escenario de ocupación tranquilo.

De la Figura 15 presentada anteriormente se puede inferir que:

- Los valores eVDV para la jornada día obtenidos fueron 3.07, 2.51 y 2.42 para los ambientes sin mobiliario, living y dormitorio respectivamente. Todos ellos por encima del límite normativo establecido para la jornada día: 0.8
- Los valores eVDV para la jornada noche obtenidos fueron 2.58, 2.11 y 2.04 para los ambientes sin mobiliario, living y dormitorio respectivamente. Todos ellos por encima del límite normativo establecido para la jornada noche: 0.4
- Lo anterior que indica que existe una alta probabilidad de comentarios adversos por parte de los posibles usuarios de la estructura, en todos los ambientes evaluados tanto para la jornada noche como para la jornada día.

- Se aprecia que los eVDV para la jornada noche son más bajo que los de jornada día, sin embargo estos valores en promedio están 5.6 veces por sobre lo establecido, en cambio los de jornada día están en promedio 3.33 veces por sobre el límite, esto se debe a la los criterios de evaluación son más exigentes para la jornada noche que para la jornada día, como es de esperarse.
- El ambiente que presenta el peor desempeño vibratorio, es el ambiente sin mobiliario durante la jornada noche, el cual presenta un valor eVDV 6.45 veces el límite establecido.
- El ambiente que presenta el mejor desempeño vibratorio es el ambiente dormitorio durante jornada día, el cual presenta un valor eVDV 3,05 veces el límite establecido.
- El desempeño vibratorio tiende a mejorar con la implementación de mobiliarios, los ambientes con presencia de este, living y dormitorio para la jornada día, presentan respectivamente un desempeño vibratorio 70% y 80% mejor que el ambiente sin mobiliario. Para la jornada noche el desempeño vibratorio aumenta en 122 y 132% para living y dormitorio respectivamente.

5 CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

En la investigación se logró diseñar y construir un sistema de piso de madera representativo de los existentes en viviendas unifamiliares de nuestro país. En el cual se logró implementar con éxito un método de medición y evaluación en condiciones de laboratorio de las vibraciones verticales inducidas por el caminar humano, permitiendo realizar la clasificación de su desempeño vibratorio.

Los datos obtenidos indican que el sistema de piso evaluado, presenta un desempeño vibratorio deficiente dentro de un contexto residencial, ya que no satisface los criterios de serviciabilidad vibratoria propuestos en las normativas BS.6472.2008 e ISO.10137.2007.

La estructura estudiada se clasifica en la categoría de pisos de alta frecuencia, ya que los valores obtenidos de su frecuencia fundamental están por los sobre los 10[Hz]. (15.14 [hz] en promedio). Esto fue corroborado posteriormente por la forma de las señales de aceleraciones registradas de las 180 caminatas realizadas. Las señales de aceleraciones siempre correspondieron a una serie de peak que decayeron antes de que ocurriera el siguiente paso, lo que se ajusta a una señal de aceleración de un piso de alta frecuencia.

De la fuente generadora de vibraciones (caminantes), la frecuencia de paso es la variable más influyente en el nivel de vibraciones presente en la estructura, se aprecia la relación que a mayor frecuencia de paso, independiente de la masa corporal o el ambiente, mayor es el VDV. Por ejemplo para el caminante 56 F [kg] al aumentar su frecuencia de paso de 1.4 a 2.2 [Hz], provocó un aumento promedio de los valores VDV en 3,34 veces.

La masa corporal de los caminantes no adquiere una mayor influencia en el nivel de vibraciones presentes en la estructura, ya que no se aprecia tendencia alguna en los resultados de los VDV para las diferentes masas corporales. Curiosamente los indicadores VDV más alto (2.3) y más bajo (0.24) presentados en la estructura para el ambiente sin mobiliario, se obtienen para la misma masa corporal 76[Kg] pero de diferentes géneros.

El rango de valores eVDV obtenidos (2.04 a 3.07) permiten determinar que independiente del ambiente de ocupación para la que se destine la estructura (living, dormitorio), esta presentara un desempeño vibratorio defectuoso tanto para la jornada día como para jornada noche. Lo cual nos indica que existe una alta probabilidad de comentarios adversos por parte de los posibles usuarios.

La implementación de mobiliario provoco una variación en las propiedades dinámicas de la estructura, disminuyendo su frecuencia natural en promedio un 27 % y 21% para los ambientes living y dormitorio respectivamente, volviendo su desempeño vibratorio menos adecuado. Contrario a la frecuencia natural, las razones amortiguamiento aumentaron en promedio un 57% y 60% para los ambientes living y dormitorio respectivamente por lo que el desempeño vibratorio del piso mejora. Ambos efectos señalados tienden a cancelarse mutuamente, sin embargo esta implementación de mobiliarios afecto de manera positiva el desempeño vibratorio de la estructura, los ambientes con presencia de este, living y dormitorio para la jornada día, presentan respectivamente un desempeño vibratorio 70% y 80% mejor que el ambiente sin mobiliario. Para la jornada noche el desempeño vibratorio aumenta en 122% y 132% para living y dormitorio respectivamente. Por lo que se concluye que el aumento en la razón de amortiguamiento es más influyente que el efecto provocado por la disminución de la frecuencia natural.

La utilización de este tipo de mobiliario (mobiliario residencial) provoca un efecto positivo en la respuesta de la losa, sin embargo no se puede generalizar ni garantizar que todo tipo de mobiliario afecte de la misma manera el desempeño vibratorio de una estructura.

Como conclusión final se dice que los criterios limitantes de tensiones y deformaciones (deflexiones) admisibles existentes en la normativa de nuestro país, no son suficiente para asegurar un adecuado desempeño vibratorio en los sistemas de piso de madera. Por lo que se hace necesaria la inclusión de criterios de diseño dinámicos en las normativas vigentes, con el fin de minimizar en lo posible las vibraciones verticales, mejorando a la calidad de vida de los usuarios.

Algunos comentarios y recomendaciones para estudios futuros que se consideren en la misma línea de investigación:

- Es recomendable que el parámetro de vibración medido (desplazamiento, velocidad, aceleración etc.) sea el parámetro utilizado por el indicador de desempeño escogido, ya que traspasar el registro medido de un parámetro a otro, puede traer consigo ciertos errores en cálculo del indicador de desempeño.
- La metodología utilizada para esta investigación, fue adecuada para sistemas de piso de alta frecuencia, por lo cual la misma metodología no se puede plantear de igual forma, para la evaluación de pisos de baja frecuencias.
- Para la construcción de sistema de pisos de carácter experimental, es recomendable aconsejarse por algún experto en el tema de la construcción, con el fin de evitar detalles constructivos debido a la inexperiencia que afecten los resultados de la investigación.

Por último se plantean las siguientes líneas de investigación que sirven para profundizar y complementar esta investigación:

- Estudiar el nivel de servicio vibratorio de varios sistemas de pisos de madera que presenten diferentes propiedades dinámicas, con el fin de evaluar y determinar que propiedades dinámicas influyen de mayor manera, en nivel de servicio vibratorio de la estructura.
- Evaluar el desempeño vibratorio de una estructura diseñada y construida según las recomendaciones establecidas por el Eurocodigo 5, para poder realizar una comparación de los resultados, y analizar si existe una mejora en el nivel de desempeño vibratorio de la estructura, debido a la utilización de estas recomendaciones.
- Correlacionar los resultados obtenidos del desempeño vibratorio con encuestas de opinión por parte de los usuarios, para estudiar la validez de las funciones ponderadoras de frecuencias, indicadores de desempeño y los respectivos escenarios de ocupación propuesto para la evaluación del desempeño vibratorio.

6 REFERENCIAS

- 1) Arauco. (2014). Manual de Ingeniería y Construcción en madera 2° Edición, Arauco.Chile
- 2) Arrienta, J. (2009). MEASUREMENTS OF VIBRATIONS IN WOODEN FLOORS INDUCED BY WALKING. Memoria de título Ingeniero Acustico, Lund University. Sweden, Suecia.
- 3) Atalah S, Urteaga C., Rebolledo A. (2004). **Autopercepción del estado nutricional en adultos de Santiago**. Departamento de nutrición. Universidad de Chile. Chile
- 4) Brandt, A. (2011). **Noise and Vibration Analysis: Signal Analysis and Experimental Procedures**. John Wiley & Sons, Ltd.
- 5) BSI (2008). **Guide to evaluation of human exposure to vibration in buildings Part 1: Vibration sources other than blasting**. British Standards Institution, BS 6472-1:2008
- 6) Ellis, B.R. (2001). Serviceability evaluation of floor vibration induced by walking loads. **The Structural Engineer**. **79(21)**. 30-36
- 7) Glisovic, I., Stevanovic, B. (2010). **Vibrational behaviour of timber floors**, s.l.: WCTE.
- 8) Hamm, P., Richter, A., Winter, S. (2010) Floor vibrations – new results s.l.: WCTE.
- 9) ISO (2007). **Bases for design of structures — Serviceability of buildings and walkways against vibrations**. International Organization for Standardization. ISO 10137:2007
- 10) **Kobayashi, M. (2011)**. Prediction and control of pedestrian induced vibration on an interior Footbridge. Master's Thesis. Department of Civil Engineering. Technical University of Denmark. Lyngby. Dinamarca.

- 11) Nguyen, T., Gad, E., Haritos, N., Wilson, J. (2014) **Effect of fir-out and construction type on dynamic properties of floor systems unde human excitations**. Department of Civil and Construction Engineering, Swinburne University of Technology. Australia.
- 12) Opazo, A., Donoso, D., Benedetti, f. (2014) **Evaluacion de la serviciabilidad vibratoria de pisos de madera en viviendas de interés social**. Depto. de Ingeniería Civil y Ambiental., Universidad del Bio Bio, Chile.
- 13) Racic, V., Pavic, A., y Brownjohn, J. M. W. (2009). Experimental identification and analytical modelling of human walking forces: Literature review. **Journal of Sound and Vibration**, 326(1-2), 1–49
- 14) Ríos, R. (2013). **Análisis y evaluación de vibraciones generadas por el tránsito de multitudes en pasarelas peatonales**. Memoria de Titulo Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad del Bio Bio. Concepción
- 15) SCI (2009). **Design of Floors for Vibration: A New Approach. SCI P354**. The SteelConstruction Institute. Inglaterra
- 16) Waarts, P.H. , Van Duin F. (2006) **Assessment procedure for floor vibrations due to walking**. . Nederlandse Organisatie voor Toegepast. Delft. Holanda.
- 17) Zhang Zhang, B., Rasmussen, B., Jorissen, A. & Harte, A., 2013. **Comparison of vibrational comfort assessment criteria for design of timber floors among the European countries**. *Elsevier*, Issue Engineering Structures 52, p. 592–607

ANEXOS.

INDICE GENERAL DE ANEXO

Anexo A: Características de la estructura y ambientes evaluados.....	39
Anexo B: Propiedades dinámicas de la estructura.....	44
Anexo C: Código Matlab.....	47
Anexo D: Acelerogramas de las caminatas realizadas.....	52
Anexo E: Indicadores de desempeño VDV.....	67

INDICE DE FIGURAS

Figura A 1. Vista en planta de la estructura, con sus respectivas dimensiones.	40
Figura A 2. Vista longitudinal de la estructura, con sus respectivas dimensiones	40
Figura A 3. Representación arquitectónica del ambiente living	41
Figura A 4. Fotografías del ambiente Living.....	41
Figura A 5. Representación arquitectónica del ambiente Dormitorio.....	42
Figura A 6. Fotografía de la representación del ambiente dormitorio.	42
Figura B 1. Señal filtrada de aceleración en dominio de la frecuencia. Caminata N°1.	45
Figura B 2. Señal filtrada de aceleración en dominio de la frecuencia. Caminata N°2.	45
Figura B 3. Señal filtrada de aceleración en dominio de la frecuencia. Caminata N°3.	45
Figura B 4. Señal filtrada de aceleración en dominio de la frecuencia. Caminata N°4.	45
Figura B 5. Señal filtrada de aceleración en dominio de la frecuencia. Caminata N°5.	45
Figura B 6. Señal filtrada de aceleración en dominio de la frecuencia. Caminata N°6.	45
Figura B 7. Señal filtrada de aceleración en dominio de la frecuencia. Caminata N°7.	46
Figura B 8. Señal filtrada de aceleración en dominio de la frecuencia. Caminata N°8.	46
Figura B 9. Señal filtrada de aceleración en dominio de la frecuencia. Caminata N°9.	46
Figura B 10. Señal filtrada de aceleración en dominio de la frecuencia. Caminata N°10.....	46
Figura D 1. Femenino 56[kg], Fp: 1.4 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.	57
Figura D 2. Femenino 56[kg], Fp: 1.4 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.	53
Figura D 3. Femenino 56[kg], Fp: 1.4 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.	53
Figura D 4. Femenino 56[kg], Fp: 1.4 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.	53
Figura D 5. Femenino 56[kg], Fp: 1.4 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.	53
Figura D 6. Femenino 56[kg], Fp: 1.4 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.	53

Figura D 7. Femenino 56[kg], Fp: 1.4 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.	54
Figura D 8. Femenino 56[kg], Fp: 1.4 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.	54
Figura D 9. Femenino 56[kg], Fp: 1.6 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.	54
Figura D 10. Femenino 56[kg], Fp: 1.6 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.	54
Figura D 11. Femenino 56[kg], Fp: 1.6 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.	54
Figura D 12. Femenino 56[kg], Fp: 1.6 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.	54
Figura D 13. Femenino 56[kg], Fp: 1.6 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.	55
Figura D 14. Femenino 56[kg], Fp: 1.6 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.	55
Figura D 15. Femenino 56[kg], Fp: 1.6 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.	55
Figura D 16. Femenino 56[kg], Fp: 1.6 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.	55
Figura D 17. Femenino 56[kg], Fp: 1.8 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.	55
Figura D 18. Femenino 56[kg], Fp: 1.8 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.	55
Figura D 19. Femenino 56[kg], Fp: 1.8 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.	56
Figura D 20. Femenino 56[kg], Fp: 1.8 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.	56
Figura D 21. Femenino 56[kg], Fp: 1.8 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.	56
Figura D 22. Femenino 56[kg], Fp: 1.8 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.	56
Figura D 23. Femenino 56[kg], Fp: 1.8 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.	56
Figura D 24. Femenino 56[kg], Fp: 1.8 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.	56
Figura D 25. Femenino 56[kg], Fp: 2.0 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.	57
Figura D 26. Femenino 56[kg], Fp: 2.0 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.	57
Figura D 27. Femenino 56[kg], Fp: 2.0 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.	57
Figura D 28. Femenino 56[kg], Fp: 2.0 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.	57
Figura D 29. Femenino 56[kg], Fp: 2.0 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.	57
Figura D 30. Femenino 56[kg], Fp: 2.0 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.	57
Figura D 31. Femenino 56[kg], Fp: 2.0 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.	58
Figura D 32. Femenino 56[kg], Fp: 2.0 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.	58
Figura D 33. Femenino 56[kg], Fp: 2.2 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.	58
Figura D 34. Femenino 56[kg], Fp: 2.2 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.	58
Figura D 35. Femenino 56[kg], Fp: 2.2 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.	58
Figura D 36. Femenino 56[kg], Fp: 2.2 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.	58
Figura D 37. Femenino 56[kg], Fp: 2.2 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.	59
Figura D 38. Femenino 56[kg], Fp: 2.2 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.	59
Figura D 39. Femenino 56[kg], Fp: 2.2 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.	59
Figura D 40. Femenino 56[kg], Fp: 2.2 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.	59
Figura D 41. Masculino 65[kg], Fp: 1.4 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.	60

Figura D 42. Masculino 65[kg], Fp: 1.4 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.....	60
Figura D 43. Masculino 65[kg], Fp: 1.4 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.....	60
Figura D 44. Masculino 65[kg], Fp: 1.4 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.....	60
Figura D 45. Masculino 65[kg], Fp: 1.4 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.....	60
Figura D 46. Masculino 65[kg], Fp: 1.4 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.....	60
Figura D 47. Masculino 65[kg], Fp: 1.4 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.....	61
Figura D 48. Masculino 65[kg], Fp: 1.4 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.....	61
Figura D 49. Masculino 65[kg], Fp: 1.6 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.....	61
Figura D 50. Masculino 65[kg], Fp: 1.6 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.....	61
Figura D 51. Masculino 65[kg], Fp: 1.6 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.....	61
Figura D 52. Masculino 65[kg], Fp: 1.6 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.....	61
Figura D 53. Masculino 65[kg], Fp: 1.6 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.....	62
Figura D 54. Masculino 65[kg], Fp: 1.6 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.....	62
Figura D 55. Masculino 65[kg], Fp: 1.6 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.....	62
Figura D 56. Masculino 65[kg], Fp: 1.6 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.....	62
Figura D 57. Masculino 65[kg], Fp: 1.8 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.....	62
Figura D 58. Masculino 65[kg], Fp: 1.8 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.....	62
Figura D 59. Masculino 65[kg], Fp: 1.8 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.....	63
Figura D 60. Masculino 65[kg], Fp: 1.8 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.....	63
Figura D 61. Masculino 65[kg], Fp: 1.8 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.....	63
Figura D 62. Masculino 65[kg], Fp: 1.8 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.....	63
Figura D 63. Masculino 65[kg], Fp: 1.8 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.....	63
Figura D 64. Masculino 65[kg], Fp: 1.8 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.....	63
Figura D 65. Masculino 65[kg], Fp: 2.0 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.....	64
Figura D 66. Masculino 65[kg], Fp: 2.0 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.....	64
Figura D 67. Masculino 65[kg], Fp: 2.0 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.....	64
Figura D 68. Masculino 65[kg], Fp: 2.0 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.....	64
Figura D 69. Masculino 65[kg], Fp: 2.0 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.....	64
Figura D 70. Masculino 65[kg], Fp: 2.0 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.....	64
Figura D 71. Masculino 65[kg], Fp: 2.0 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.....	65
Figura D 72. Masculino 65[kg], Fp: 2.0 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.....	65
Figura D 73. Masculino 65[kg], Fp: 2.2 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.....	65
Figura D 74. Masculino 65[kg], Fp: 2.2 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.....	65
Figura D 75. Masculino 65[kg], Fp: 2.2 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.....	65
Figura D 76. Masculino 65[kg], Fp: 2.2 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.....	65

Figura D 77. Masculino 65[kg], Fp: 2.2 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.....66

Figura D 78. Masculino 65[kg], Fp: 2.2 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.....66

Figura D 79. Masculino 65[kg], Fp: 2.2 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.....66

Figura D 80. Masculino 65[kg], Fp: 2.2 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.....66

Figura E 1. Indicadores VDV para diferentes masas corporales del género Femenino, agrupados en función de la frecuencia de paso, ambiente sin mobiliario.....71

Figura E 2. Indicadores VDV para diferentes masas corporales del género Masculino, agrupados en función de la frecuencia de paso, ambiente sin mobiliario.71

Figura E 3. Indicadores VDV para diferentes masas corporales del género Femenino, agrupados en función de la frecuencia de paso, ambiente living.72

Figura E 4. Indicadores VDV para diferentes masas corporales del género Masculino, agrupados en función de la frecuencia de paso, ambiente living.72

Figura E 5. Indicadores VDV para diferentes masas corporales del género Femenino, agrupados en función de la frecuencia de paso, ambiente dormitorio.....73

Figura E 6. Indicadores VDV para diferentes masas corporales del género Masculino, agrupados en función de la frecuencia de paso, ambiente dormitorio.73

INDICE DE TABLAS

Tabla A 1. Masa de los muebles presentes en el ambiente living.41

Tabla A 2. Masa de los muebles presentes en el ambiente living.42

Tabla B 1. Resultados de las propiedades dinámicas44

Tabla E 1. Indicadores VDV para ambiente sin mobiliario.68

Tabla E 2. Indicadores VDV para ambiente living.....69

Tabla E 3. Indicadores VDV para ambiente dormitorio.70

Anexo A: Características de la estructura y ambientes evaluados

En el Anexo A, detalla el tipo, masa y configuración espacial del mobiliario presente en los 3 ambientes.

Ambiente N°1 Sin mobiliario:

El ambiente N°1 sin mobiliario, no presenta el mobiliario alguno, y su configuración es a la estructura de piso construida:

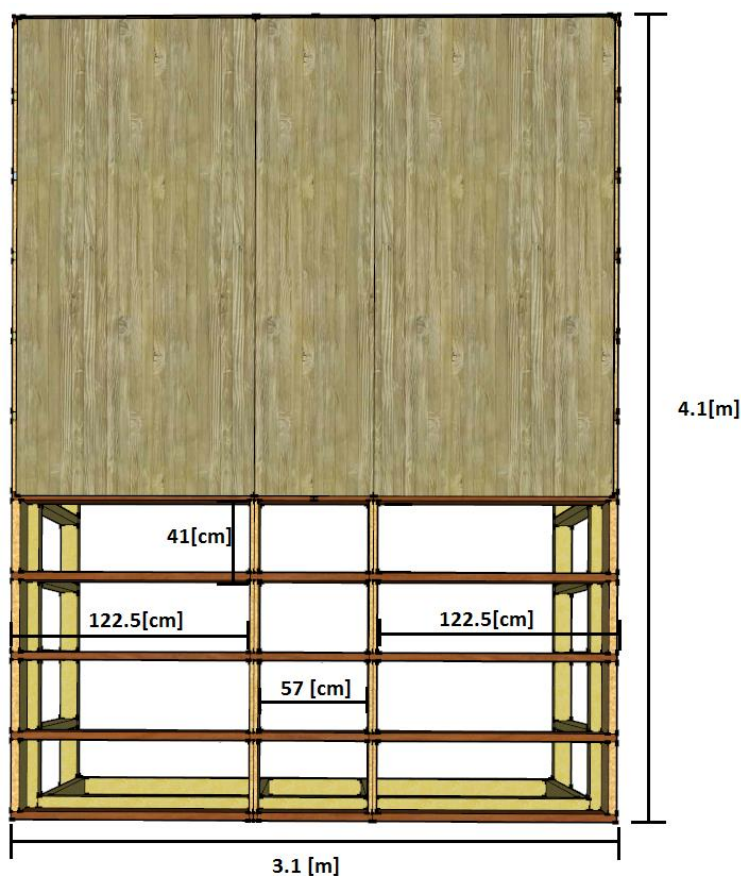


Figura A 1. Vista en planta de la estructura, con sus respectivas dimensiones.

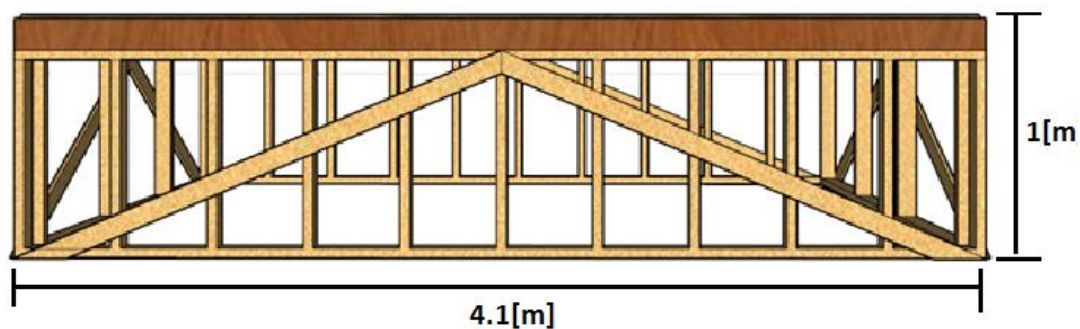


Figura A 2. Vista longitudinal de la estructura, con sus respectivas dimensiones

Ambiente N°2 Living:

El ambiente N°2 living, presenta el mobiliario que se describe en la tabla A1.1

Tabla A 1. Masa de los muebles presentes en el ambiente living.

Ambiente N°2 Living.	
Mobiliario	Peso [Kg]
Sillón 2 personas	24
Sillón Individual	8.5
Televisor	11.3
Mueble	8
Escritorio mas articulos	39.2
Mesa de centro	4.8
total	95.8

La configuración espacial del mobiliario se presenta en las Figura A 3 y Figura A 4

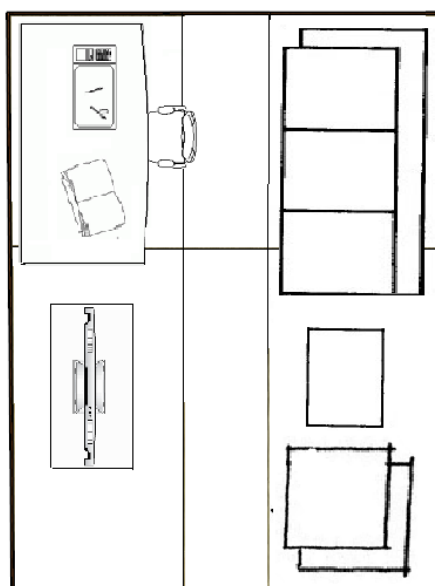


Figura A 3. Representación arquitectónica del ambiente living



Figura A 4. Fotografías del ambiente Living.

Ambiente N°3 Dormitorio:

El ambiente N°3 dormitorio, presenta el mobiliario que se describe en la tabla A.2

Tabla A 2. Masa de los muebles presentes en el ambiente living.

Ambiente N°3 Dormitorio	
Mobiliario	Peso [Kg]
Cama	36.76
Velador	13.02
Escritorio mas artículos	39.2
total	88.98

La configuración espacial del mobiliario se presenta en las Figura A 5 y Figura A 6

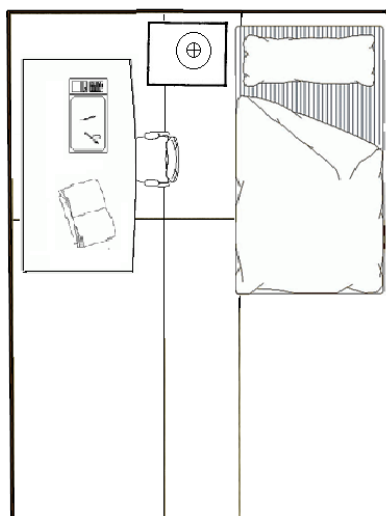


Figura A 5. Representación arquitectónica del ambiente Dormitorio.



Figura A 6. Fotografía de la representación del ambiente dormitorio.

Anexo B: Propiedades dinámicas de la estructura.

Resultados de las frecuencias dinámicas de la estructura, para las 10 caminatas realizadas en cada ambiente.

Para determinar las propiedades dinámicas solo se consideró el registro de señal de captada por acelerómetro N°2 el cual se encuentra en el centro de la estructura.

Tabla B 1. Resultados de las propiedades dinámicas

Caminatas hombre 65[kg]	Frecuencias naturales			Razones de amortiguamiento		
	Sin mobiliario	Living	Dormitorio	Sin mobiliario	Living	Dormitorio
Caminata N°1	18.858297	9.21447421	18.3959216	0.012655	0.021061	0.038399
Caminata N°2	17.867493	10.40343862	17.0087965	0.017056	0.035583	0.016133
Caminata N°3	17.999600	13.30979608	16.1501	0.022343	0.025544	0.009051
Caminata N°4	17.471172	13.70611755	18.7922431	0.008562	0.058171	0.007208
Caminata N°5	18.263814	13.37584966	11.7245102	0.016466	0.008567	0.035785
Caminata N°6	17.933547	14.43270692	12.1868852	0.021753	0.013236	0.042881
Caminata N°7	18.263814	14.69692123	12.0547781	0.031011	0.022683	0.033497
Caminata N°8	17.867493	13.90427829	11.7245102	0.015088	0.019275	0.043007
Caminata N°9	18.131707	14.89508197	12.2529388	0.017691	0.021623	0.022434
Caminata N°10	17.999600	13.11163535	12.3189924	0.007267	0.038729	0.024817

A continuación se presentan los registros de la señal de aceleración transformada al dominio de la frecuencia rápida de Fourier (FFT), para el ambiente te sin mobiliario, para los demás ambiente se presentan en los archivo digitales.

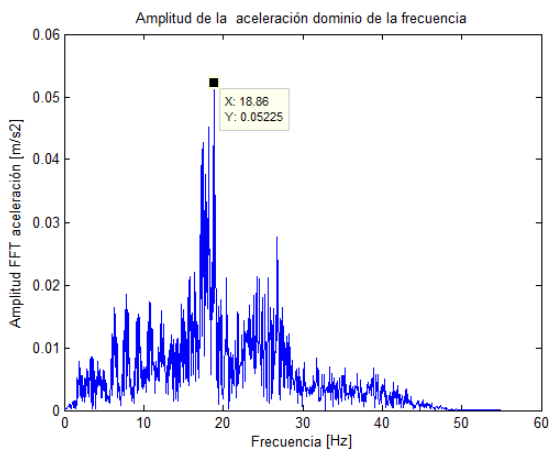


Figura B 1. Señal filtrada de aceleración en dominio de la frecuencia. Caminata N°1.

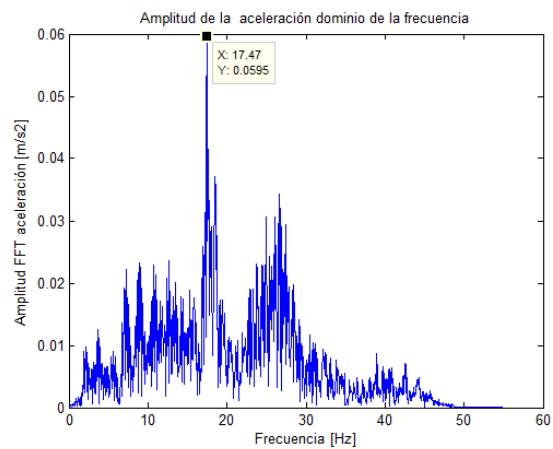


Figura B 4. Señal filtrada de aceleración en dominio de la frecuencia. Caminata N°4.

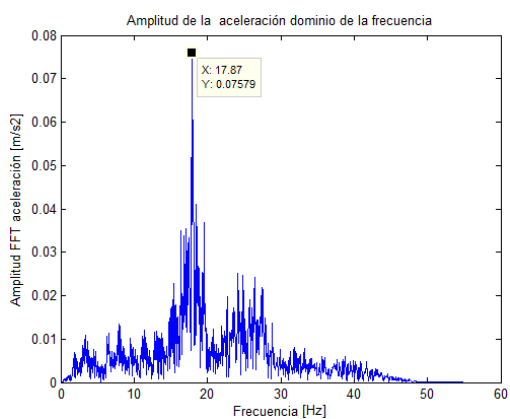


Figura B 2. Señal filtrada de aceleración en dominio de la frecuencia. Caminata N°2.

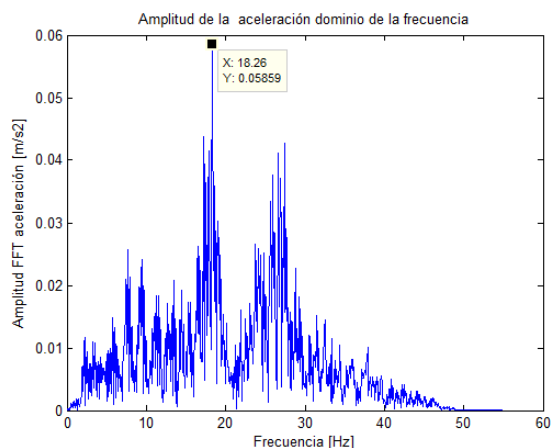


Figura B 5. Señal filtrada de aceleración en dominio de la frecuencia. Caminata N°5.

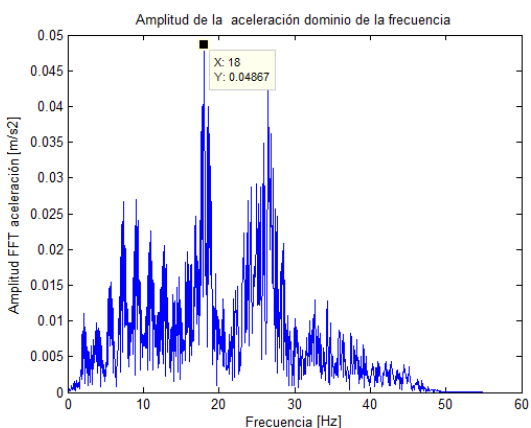


Figura B 3. Señal filtrada de aceleración en dominio de la frecuencia. Caminata N°3.

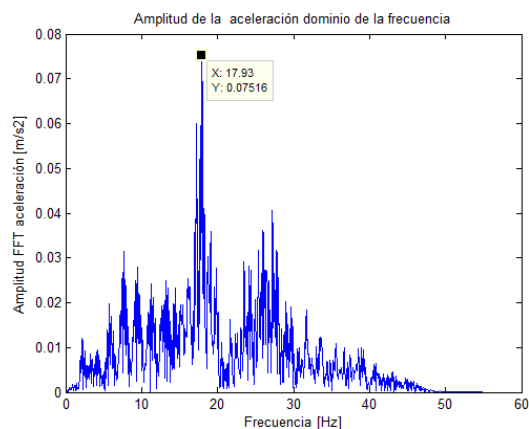


Figura B 6. Señal filtrada de aceleración en dominio de la frecuencia. Caminata N°6.

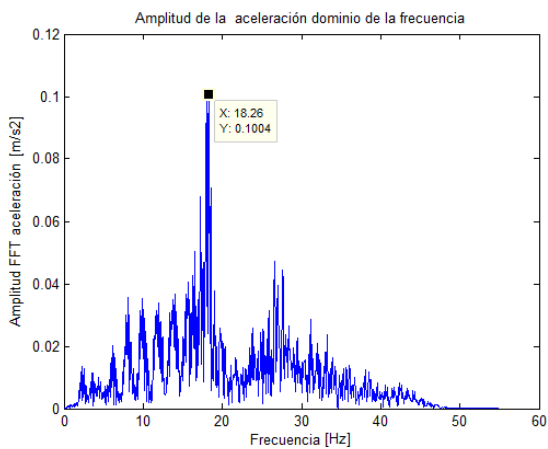


Figura B 7. Señal filtrada de aceleración en dominio de la frecuencia. Caminata N°7.

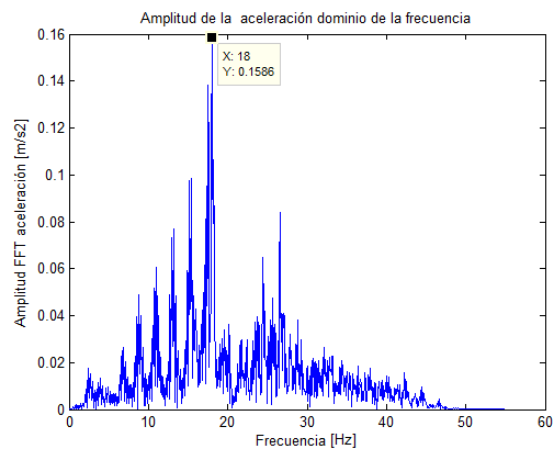


Figura B 10. Señal filtrada de aceleración en dominio de la frecuencia. Caminata N°10.

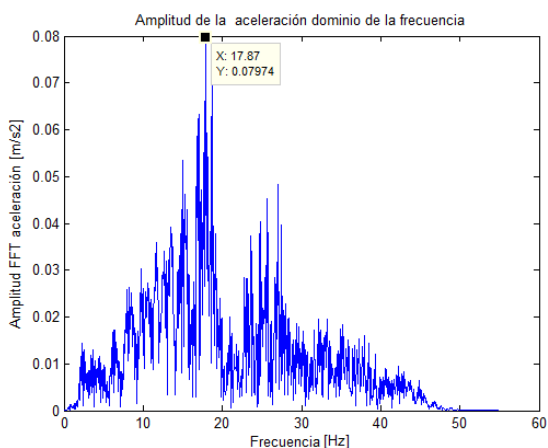


Figura B 8. Señal filtrada de aceleración en dominio de la frecuencia. Caminata N°8.

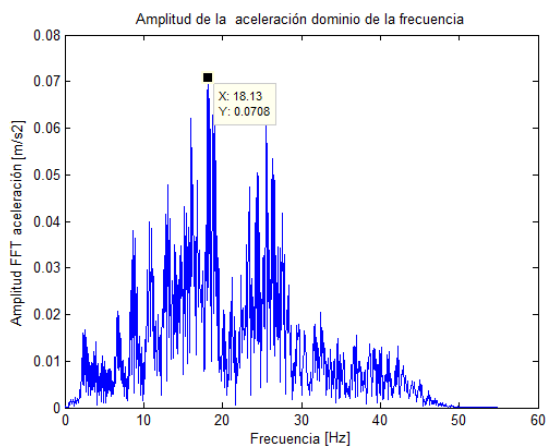


Figura B 9. Señal filtrada de aceleración en dominio de la frecuencia. Caminata N°9.

Anexo C: Código Matlab

Se presenta el código en MATLAB con el cual se obtuvieron las propiedades dinámicas de la estructura y el indicado de desempeño Vibratorio VDV.

```

%Algoritmo para calcular las propiedades dinámicas e indicador VDV
tic; clear; clc; close all
%Lectura de aceleraciones desde Excel
n_aceler=40; %nro de acelerogramas por piso
factor_g=9.81; %colocar 9.81 si esta el acelerograma esta en g (m/s2)
nro_pisos=1;
a_brut_piso=zeros(25000,n_aceler,nro_pisos);
a_brut_piso(:, :,1)=factor_g*xlsread('f56smob.xls','Hoja1','B7: A025006');

%Lectura de la función Wb desde Excel.
fw=xlsread('factoresW.xls','W','A3:A42');
wb=xlsread('factoresW.xls','W','D3:D42');
%plot(fw,[wk wm wb wg])
propdin=zeros(2,n_aceler,nro_pisos);
mtvv=zeros(10,n_aceler,nro_pisos);

for piso=1:nro_pisos
    %Parámetros comunes para todas los acelerogramas en las casas.
    a_brut=a_brut_piso(:, :,piso);
    fs1=1652;
    dt1=1/fs1;
    np1=length(a_brut(:,1));
    t1=dt1*(0:np1-1)';
    N=length(t1)+10;
    ff=1/dt1*((-(N-1)/2):(N-1)/2)/N;
    if length(ff)/2==ceil(length(ff)/2)
        Numer=ceil(length(ff)/2+1);
    else
        Numer=ceil(length(ff)/2);
    end
    ff2=ff(Numer:length(ff));
    wbtot=zeros(length(ff2),1);
    cuenta=1;

    for ff2int=ff2

```

```

        wbtot(cuenta,1)=interp1(fw,wb,ff2int);
        cuenta=cuenta+1;
end
% figure
% plot(t,a_brut)

a0=zeros(1,n_aceler);
a_brut_cent=zeros(length(t1),n_aceler);
a_cent_filt=zeros(length(t1),n_aceler);
acel_pon2=zeros(length(t1),n_aceler,2);
for i=1:n_aceler

%Centrado de señal
a0(i)=mean(a_brut(:,i));
a_brut_cent(:,i)=a_brut(:,i)-a0(i)*ones(np1,1);
% figure
% plot(t,[a_brut(:,i),a_brut_cent(:,i)])

%Filtrado de señal
Fnyquist1=(1/dt1)/2;
Wp1=40/Fnyquist1;Ws1=50/Fnyquist1;
Rp1=0.4;Rs1=15;
[Nn1,Wn1]=buttord(Wp1,Ws1,Rp1,Rs1);
[b1,a1]=butter(Nn1,Wn1);
% figure
% freqz(b,a,512,fs)

%Señal filtrada
a_cent_filt(:,i)=filtfilt(b1,a1,a_brut_cent(:,i));
% figure
% plot(t1,a_cent_filt(:,i))
% grid on
% xlabel('Tiempo (s)')
% ylabel('Aceleración (m/s2)')
%plot(t1,[a_brut_cent(:,i),a_cent_filt(:,i)])

%Transformada de Fourier del acelerograma

```



```

t=t1'; dt=dt1; a=(a_cent_filt(:,i))';
Amp_acelera=fft(a,N)/length(a);
Amp_aceler=(fftshift(Amp_acelera));%coloca el origen en el centro de la fft
Amp_acelera=2*Amp_aceler(Numer:length(ff));

%Cálculo de la las propiedades dinámicas de la estructura
%Frecuencia natural
ampfft=abs(Amp_acelera);
peakfft=max(ampfft);
fpeak=ff2(find(ampfft==peakfft));
fpeak_red=round(fpeak*100)/100;
propdin(1,i,piso)=fpeak;

%figure('Color','white')
%plot(ff2(1:length(ff)/30),ampfft(1:length(ff)/30))
%title('Amplitud de la aceleración dominio de la frecuencia')
%xlabel('Frecuencia (Hz)')
%ylabel('Amplitud FFT aceleración (m/s2)')

%Razón de amortiguamiento por el método de ancho de banda media potencia
cont1=peakfft/(2)^0.5;
ind1=find(ampfft==peakfft);
tramo2_frf=ampfft(1,ind1-15:ind1);
tramo3_frf=ampfft(1,ind1:ind1+15);
tramo2_ff2=ff2(1,ind1-15:ind1);
tramo3_ff2=ff2(1,ind1:ind1+15);
%Encuentro lado izquierdo
cont2=interp1(tramo2_frf,tramo2_ff2,cont1);
%Encuentro lado derecho
cont3=interp1(tramo3_frf,tramo3_ff2,cont1);
propdin(2,i,piso)=(cont3-cont2)/(2*fpeak);

%Ponderación de la aceleración por la función wb
Amp_acelera_pon(2,:)=Amp_acelera.*wbtot';

%Transformación de la aceleración ponderada al dominio del tiempo
Amp_a=Amp_acelera_pon;

```

```

for w=1:2
    if w==1
        acel_pon2(:,i,w)=a_cent_filt(:,i);
    else
        B=flipdim(Amp_a(w,:),2);
        B1=B(1:length(B)-1);
        Amp_a1=[conj(B1)./2 Amp_a(w,)./2];
        acel_pon=ifft(iffshift(Amp_a1))*length(Amp_a1);
        acel_pon=acel_pon(1:length(t));
        acel_pon2(:,i,w)=acel_pon';
    end
end

figure ('Color','white')
%plot(t1,a_cent_filt(:,i))
%plot(t1,acel_pon2(:,i,2))
grid on
plot(t1,[a_brut_cent(:,i),acel_pon2(:,i,2)])
title ('Señales de aceleración')
xlabel('Tiempo (s)')
xlim([1 15])
ylabel('Aceleración (m/s2)')

    cont_fin=length(acel_pon2(:,i,1))-fs1;
    for paso=1:cont_fin
        acel_poncito1=acel_pon2(paso:paso+fs1,i,1);
        acel_poncito2=acel_pon2(paso:paso+fs1,i,2);

    end
    %Cálculo de los indicadores de desempeño VDV
    vdv(1,i,piso)=(sum((acel_pon2(:,i,1)).^4).^^(1/4))*((1./fs1).^^(1/4));
    vdv(2,i,piso)=(sum((acel_pon2(:,i,2)).^4).^^(1/4))*((1./fs1).^^(1/4));
end
end
tiempo_min = toc;
fprintf('El proceso ha tardado %d minutos', tiempo_min/60);

```

Anexo D: Acelerogramas de las caminatas realizadas.

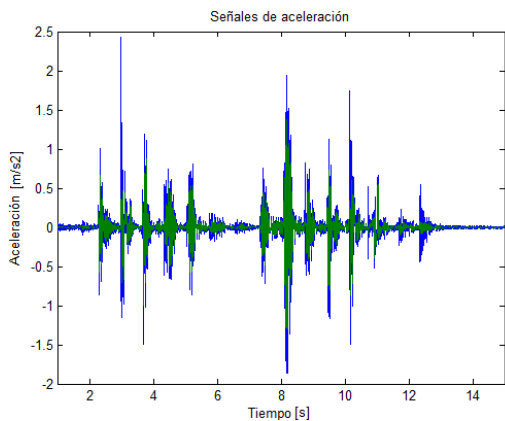


Figura D 1. Femenino 56[kg], Fp: 1.4 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.

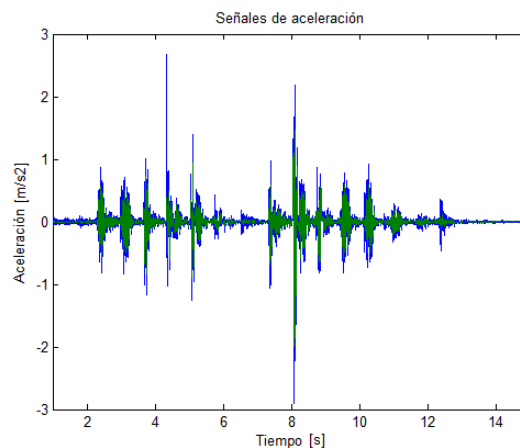


Figura D 4. Femenino 56[kg], Fp: 1.4 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.

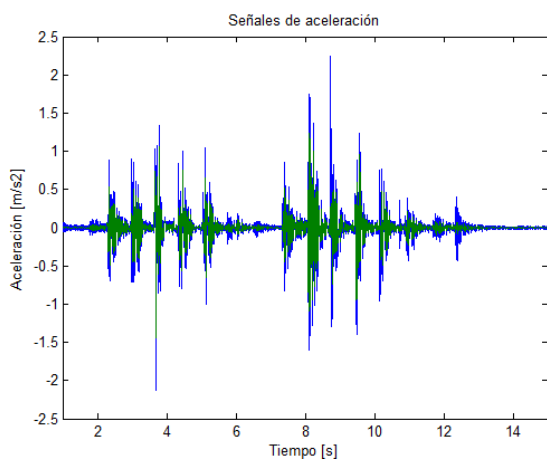


Figura D 2. Femenino 56[kg], Fp: 1.4 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.

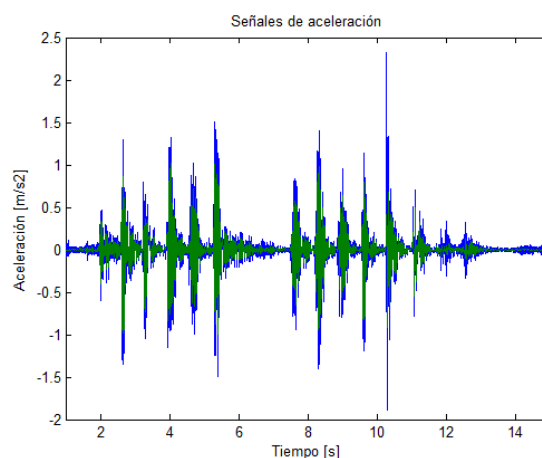


Figura D 5. Femenino 56[kg], Fp: 1.4 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.

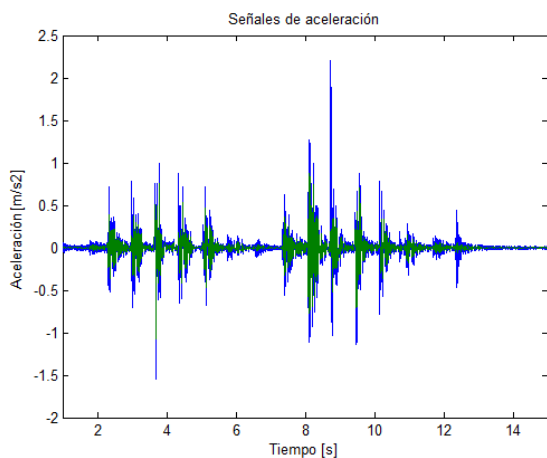


Figura D 3. Femenino 56[kg], Fp: 1.4 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.

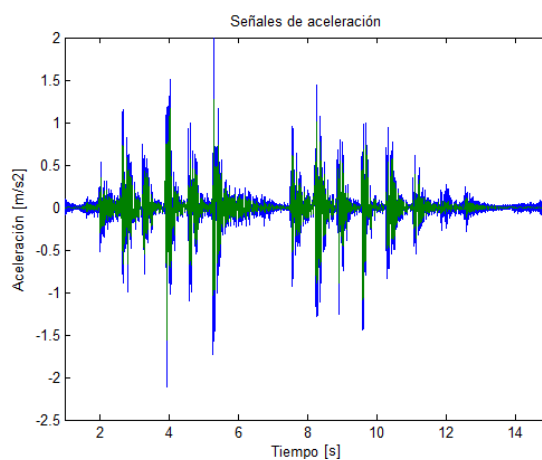


Figura D 6. Femenino 56[kg], Fp: 1.4 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.

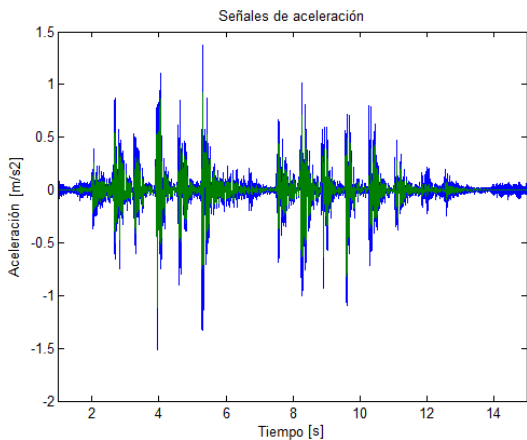


Figura D 7. Femenino 56[kg], Fp: 1.4 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.

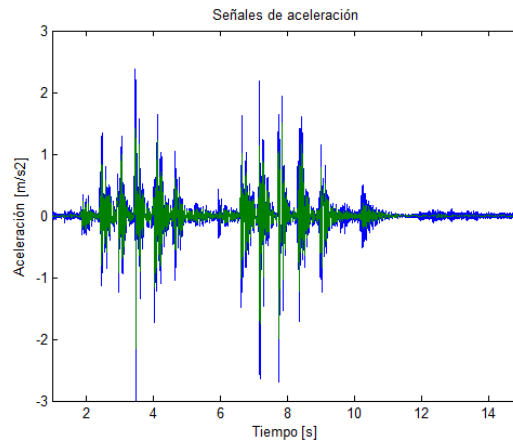


Figura D 10. Femenino 56[kg], Fp: 1.6 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.

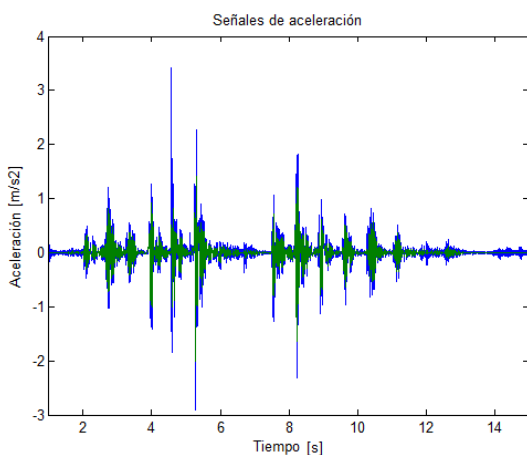


Figura D 8. Femenino 56[kg], Fp: 1.4 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.

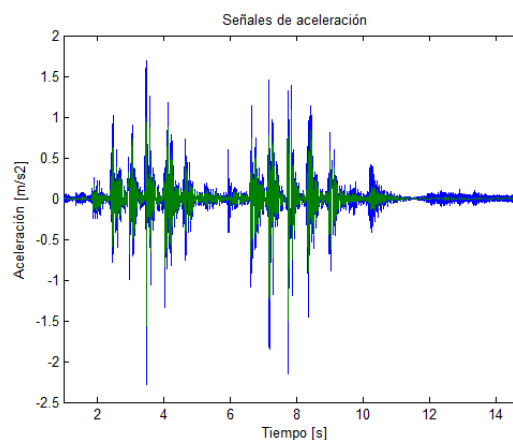


Figura D 11. Femenino 56[kg], Fp: 1.6 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.

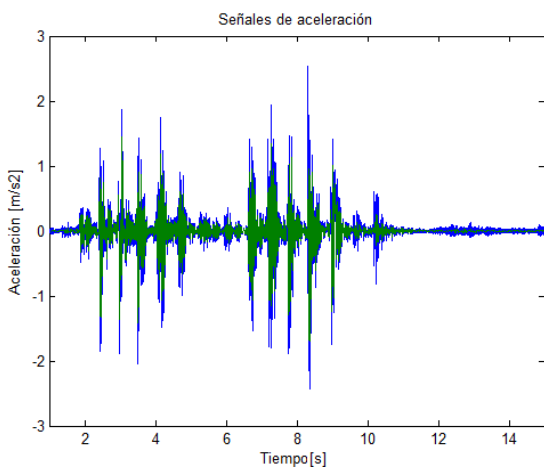


Figura D 9. Femenino 56[kg], Fp: 1.6 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.

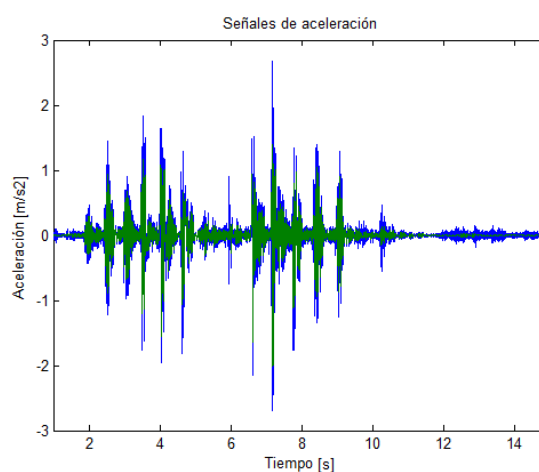


Figura D 12. Femenino 56[kg], Fp: 1.6 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.

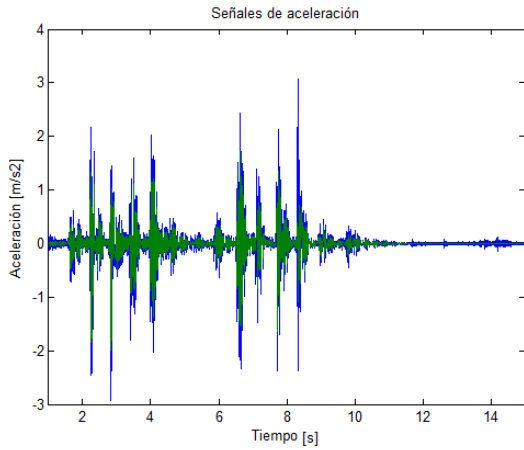


Figura D 13. Femenino 56[kg], Fp: 1.6 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.

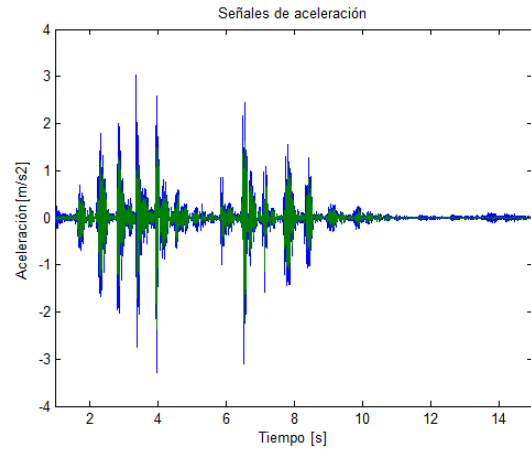


Figura D 16. Femenino 56[kg], Fp: 1.6 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.

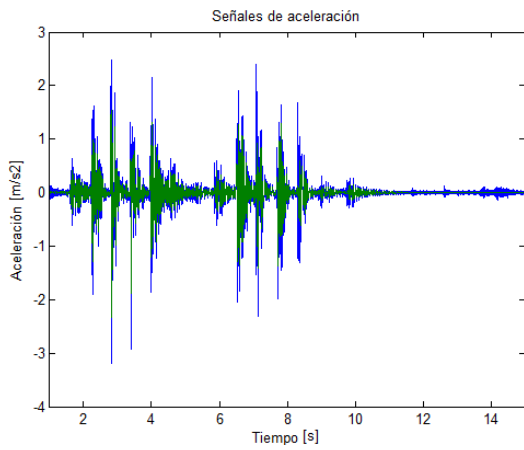


Figura D 14. Femenino 56[kg], Fp: 1.6 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.

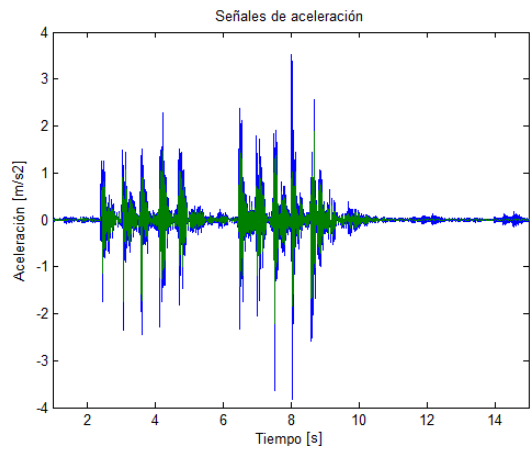


Figura D 17. Femenino 56[kg], Fp: 1.8 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.

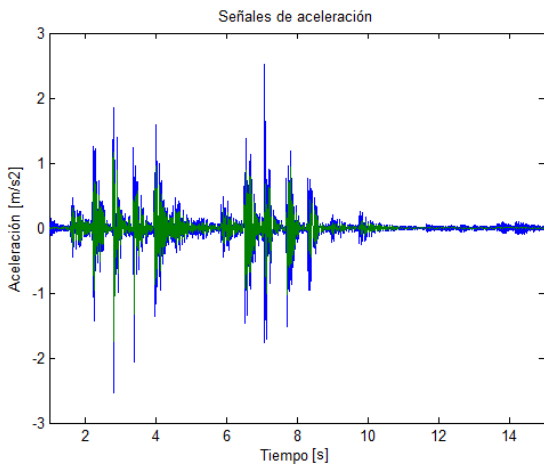


Figura D 15. Femenino 56[kg], Fp: 1.6 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.

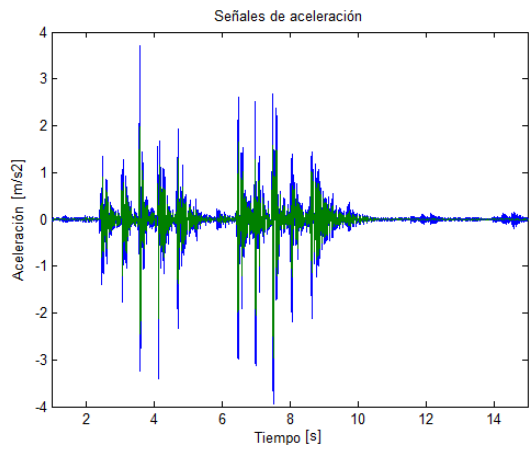


Figura D 18. Femenino 56[kg], Fp: 1.8 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.

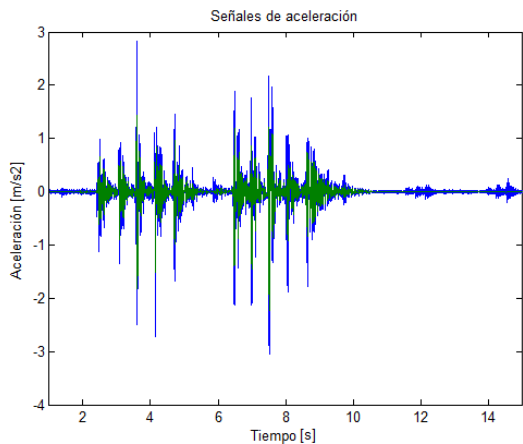


Figura D 19. Femenino 56[kg], Fp: 1.8 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.

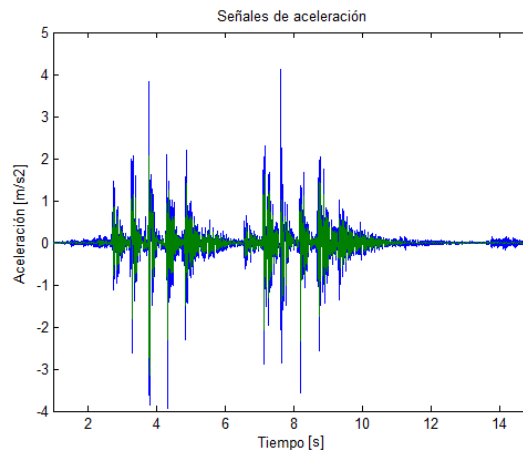


Figura D 22. Femenino 56[kg], Fp: 1.8 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.

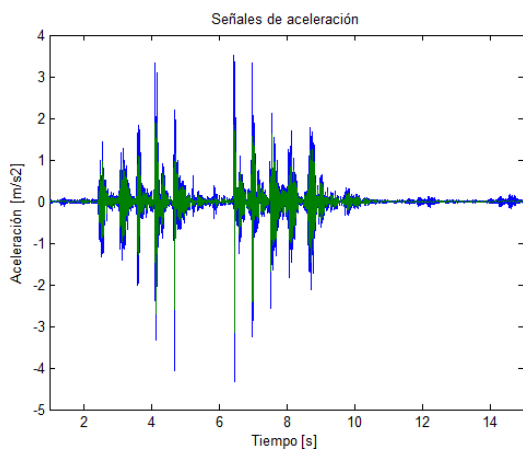


Figura D 20. Femenino 56[kg], Fp: 1.8 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.

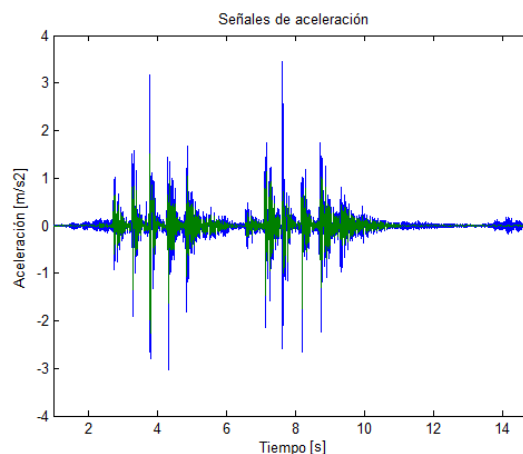


Figura D 23. Femenino 56[kg], Fp: 1.8 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.

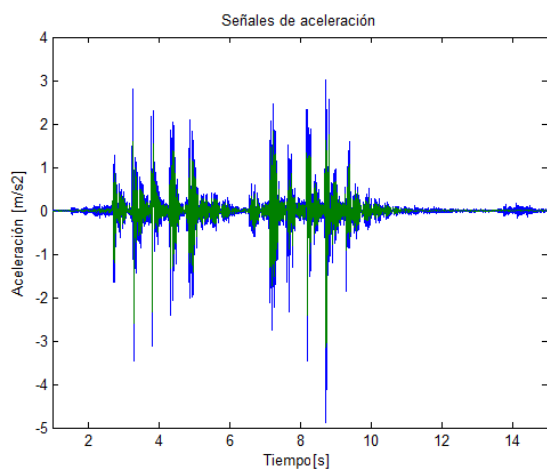


Figura D 21. Femenino 56[kg], Fp: 1.8 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.

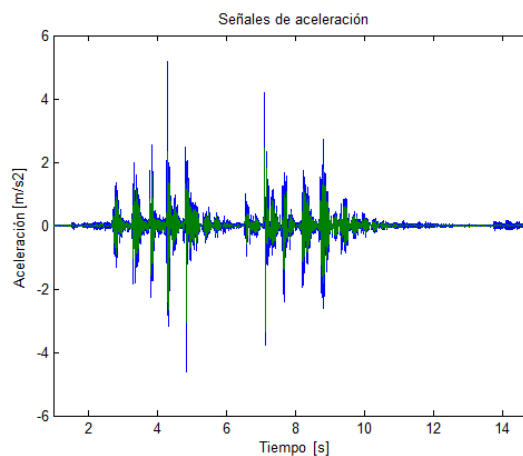


Figura D 24. Femenino 56[kg], Fp: 1.8 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.

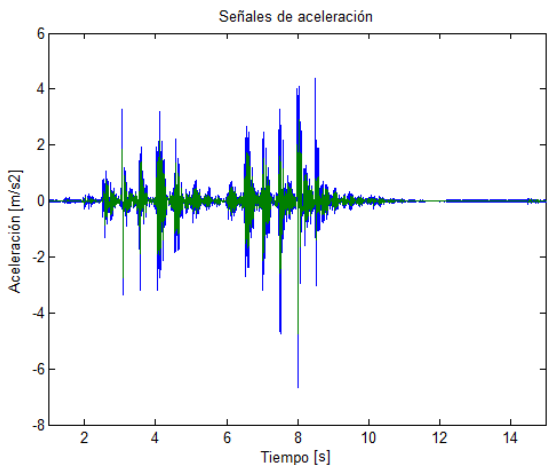


Figura D 25. Femenino 56[kg], Fp: 2.0 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.

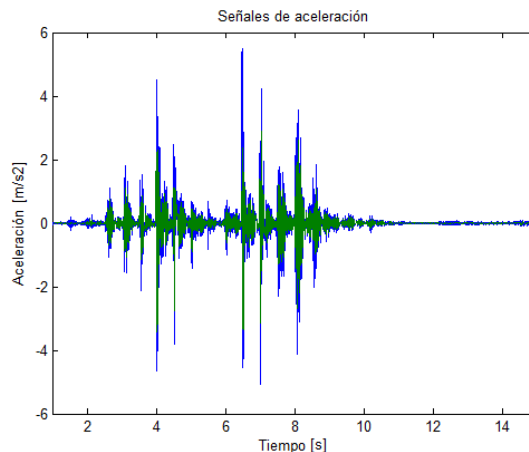


Figura D 28. Femenino 56[kg], Fp: 2.0 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.

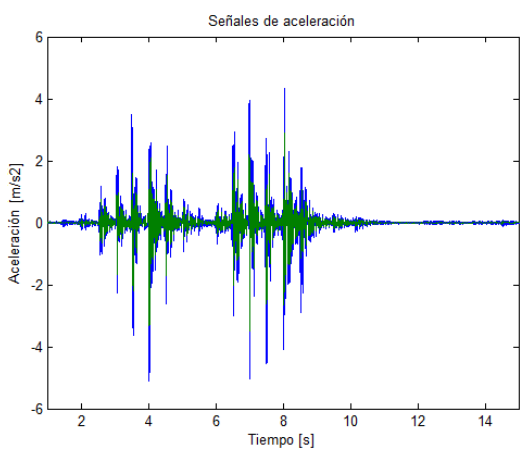


Figura D 26. Femenino 56[kg], Fp: 2.0 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.

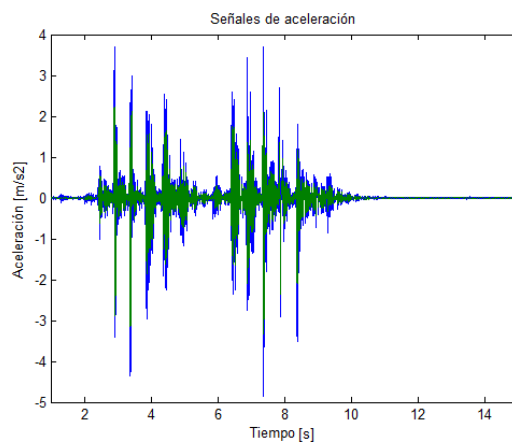


Figura D 29. Femenino 56[kg], Fp: 2.0 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.

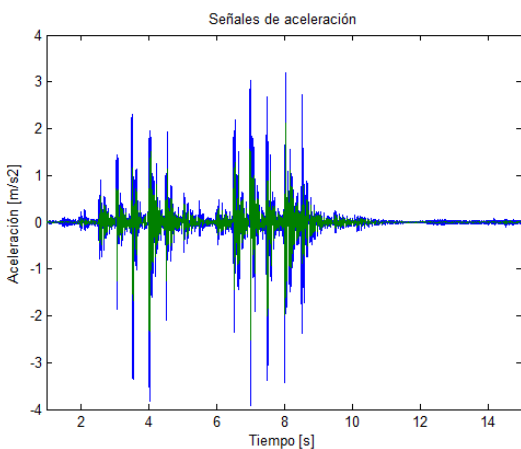


Figura D 27. Femenino 56[kg], Fp: 2.0 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.

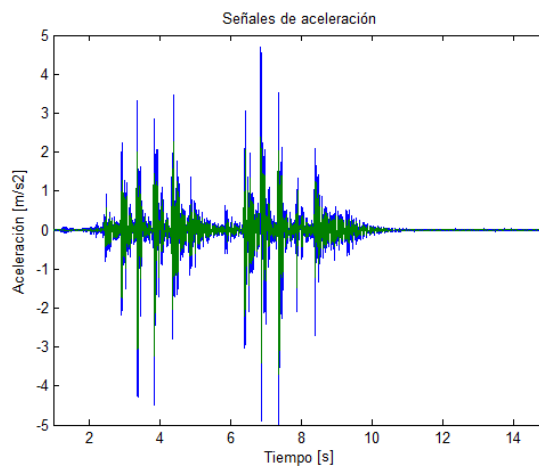


Figura D 30. Femenino 56[kg], Fp: 2.0 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.

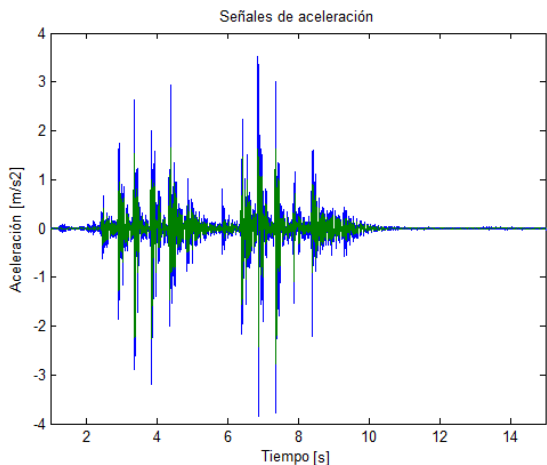


Figura D 31. Femenino 56[kg], Fp: 2.0 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.

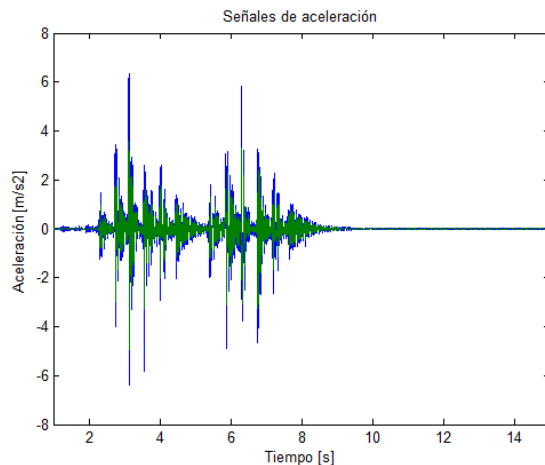


Figura D 34. Femenino 56[kg], Fp: 2.2 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario

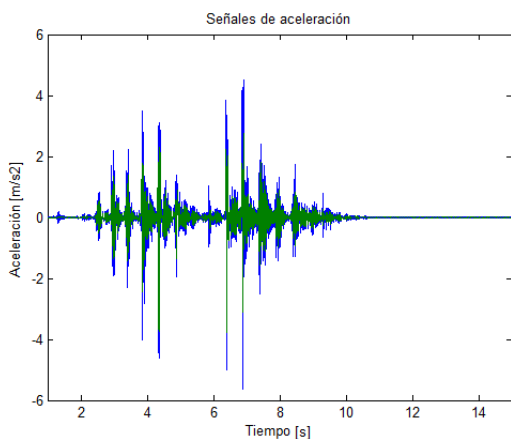


Figura D 32. Femenino 56[kg], Fp: 2.0 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.

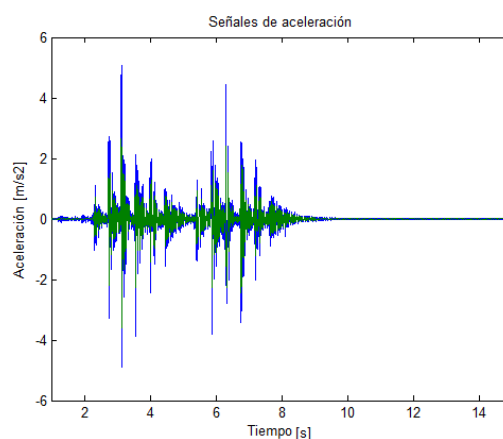


Figura D 35. Femenino 56[kg], Fp: 2.2 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.

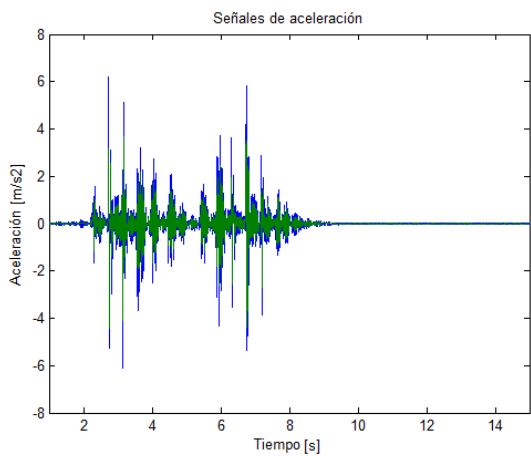


Figura D 33. Femenino 56[kg], Fp: 2.2 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.

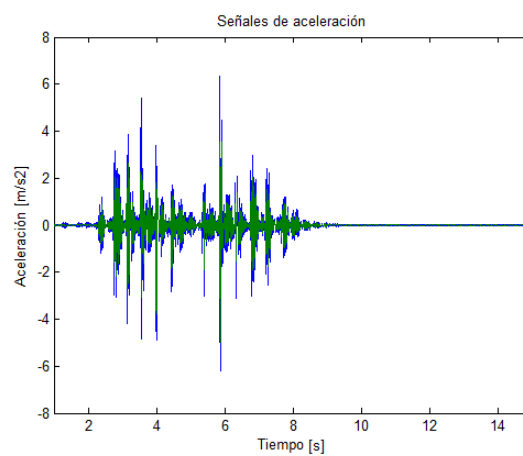


Figura D 36. Femenino 56[kg], Fp: 2.2 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.

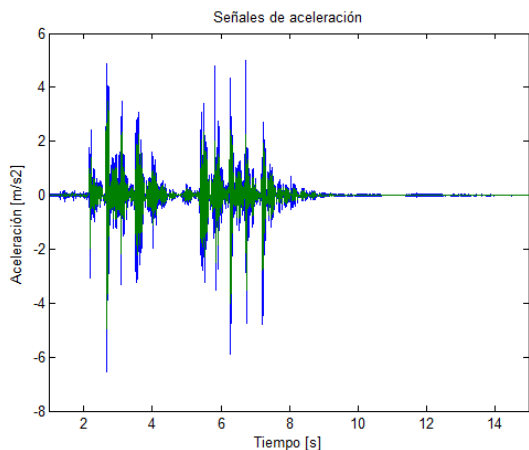


Figura D 37. Femenino 56[kg], Fp: 2.2 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.

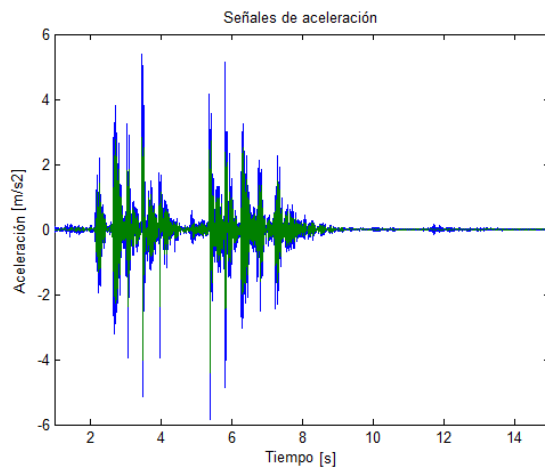


Figura D 40. Femenino 56[kg], Fp: 2.2 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.

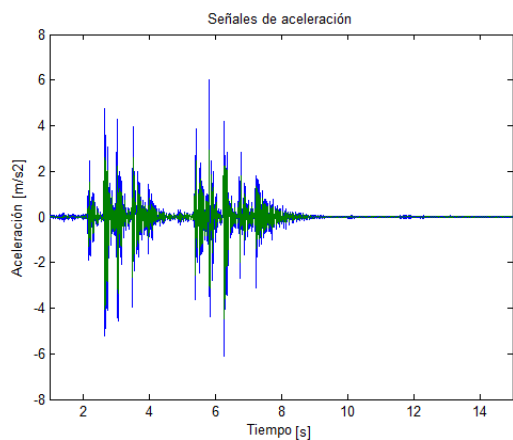


Figura D 38. Femenino 56[kg], Fp: 2.2 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.

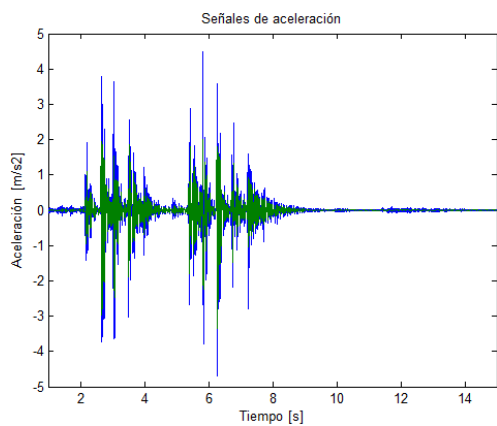
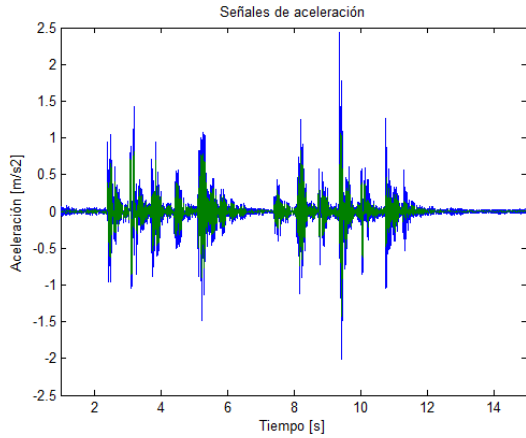
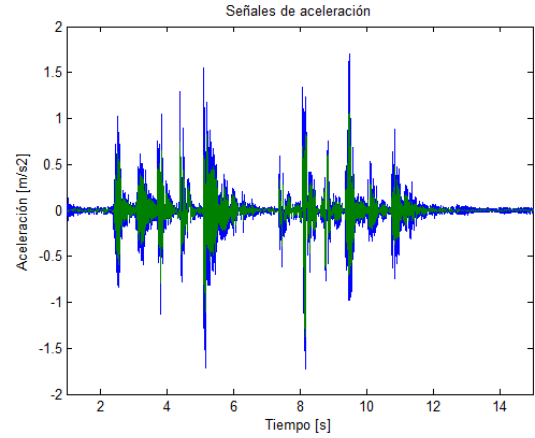


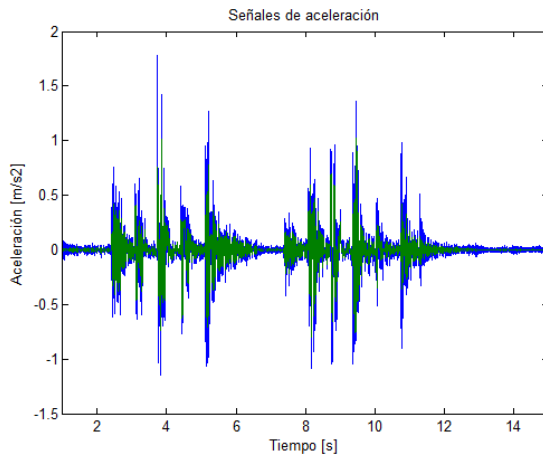
Figura D 39. Femenino 56[kg], Fp: 2.2 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.



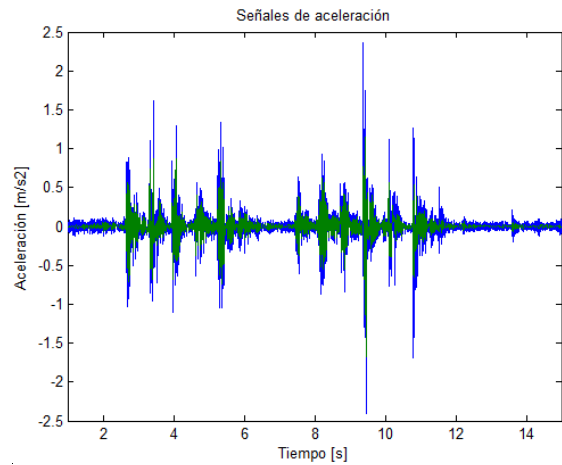
**Figura D 41. Masculino 65[kg], Fp: 1.4 [Hz],
acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.**



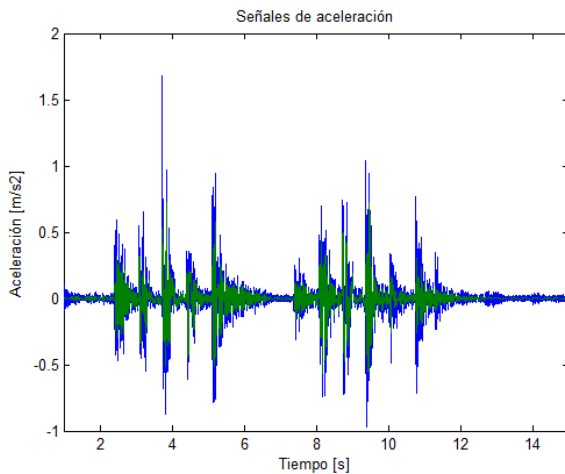
**Figura D 44. Masculino 65[kg], Fp: 1.4 [Hz],
acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario**



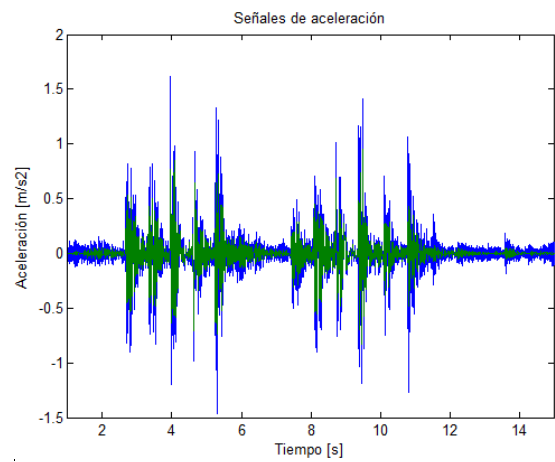
**Figura D 42. Masculino 65[kg], Fp: 1.4 [Hz],
acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.**



**Figura D 45. Masculino 65[kg], Fp: 1.4 [Hz],
acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.**



**Figura D 43. Masculino 65[kg], Fp: 1.4 [Hz],
acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.**



**Figura D 46. Masculino 65[kg], Fp: 1.4 [Hz],
acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.**

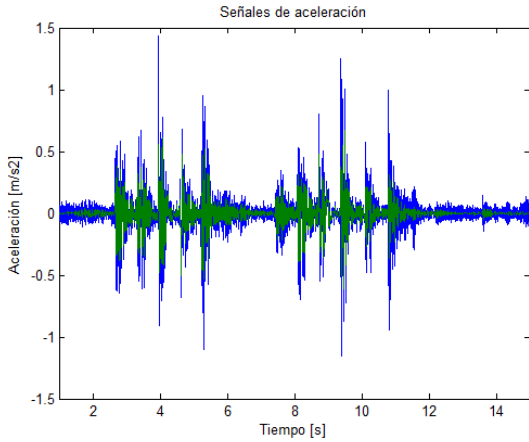


Figura D 47. Masculino 65[kg], Fp: 1.4 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.

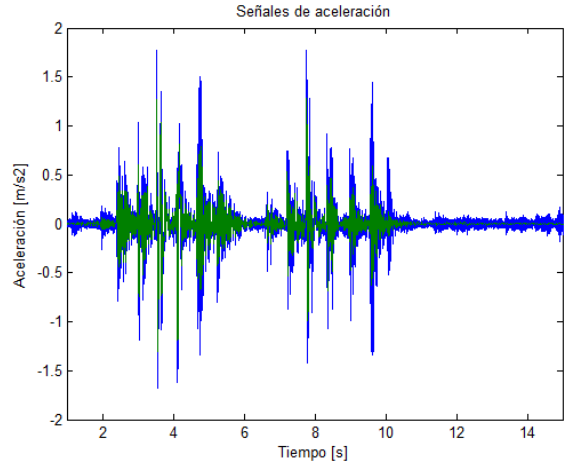


Figura D 50. Masculino 65[kg], Fp: 1.6 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.

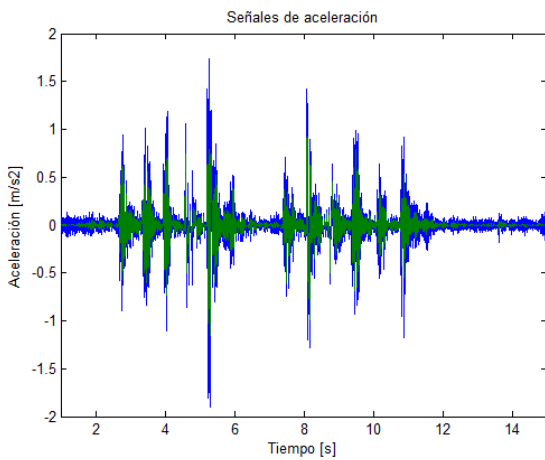


Figura D 48. Masculino 65[kg], Fp: 1.4 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.

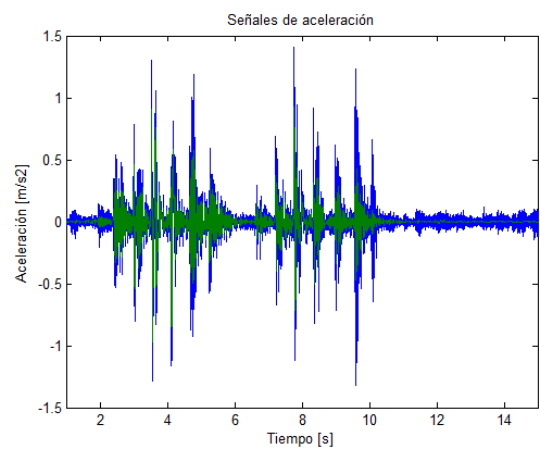


Figura D 51. Masculino 65[kg], Fp: 1.6 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.

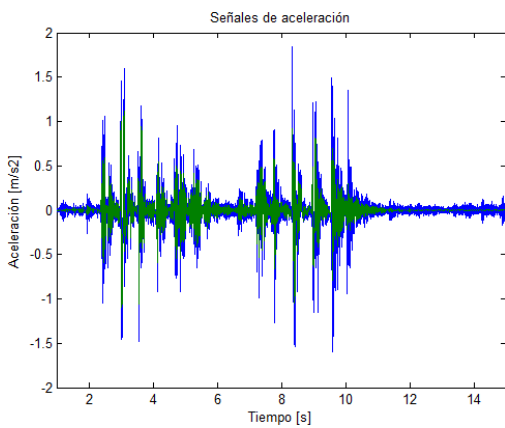


Figura D 49. Masculino 65[kg], Fp: 1.6 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.

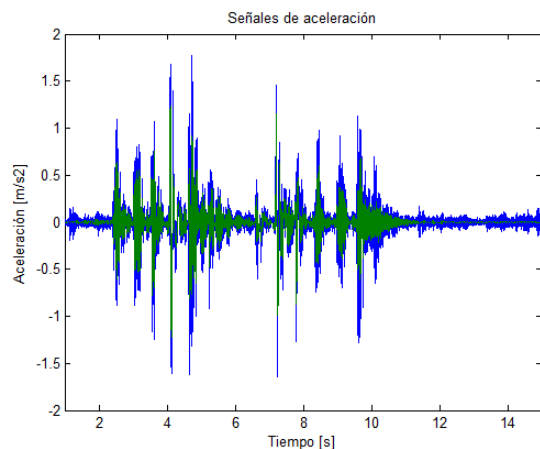


Figura D 52. Masculino 65[kg], Fp: 1.6 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.

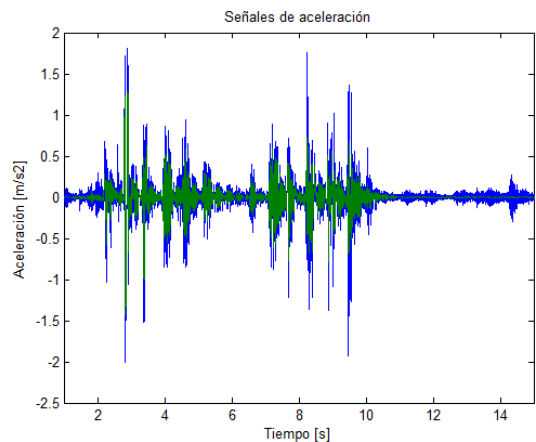


Figura D 53. Masculino 65[kg], Fp: 1.6 [Hz],
acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.

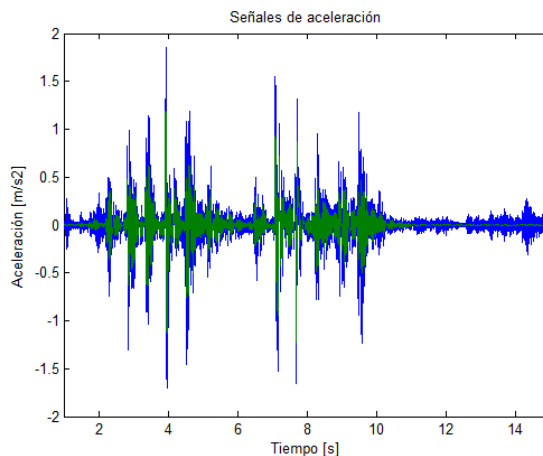


Figura D 56. Masculino 65[kg], Fp: 1.6 [Hz],
acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.

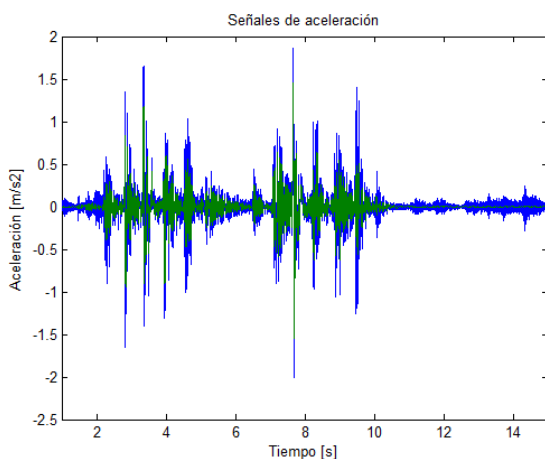


Figura D 54. Masculino 65[kg], Fp: 1.6 [Hz],
acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.

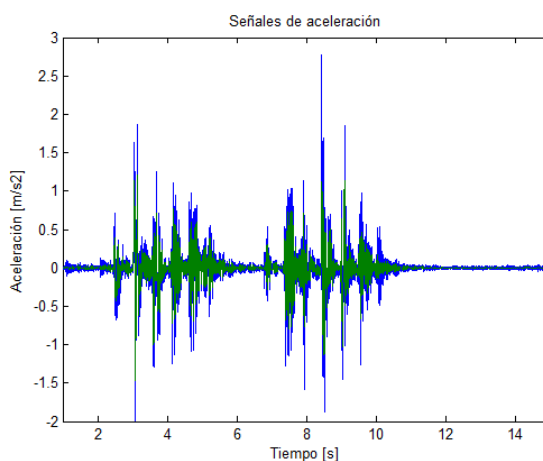


Figura D 57. Masculino 65[kg], Fp: 1.8 [Hz],
acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.

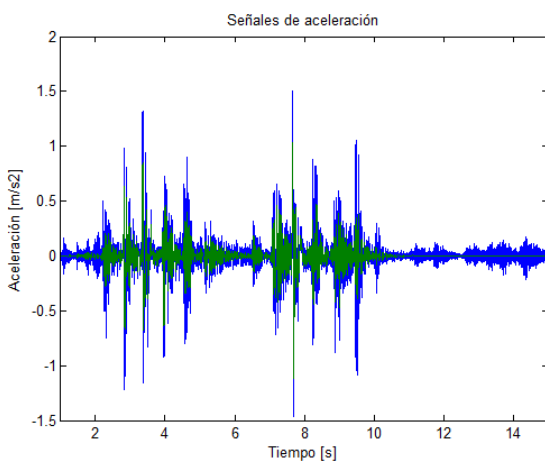


Figura D 55. Masculino 65[kg], Fp: 1.6 [Hz],
acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.

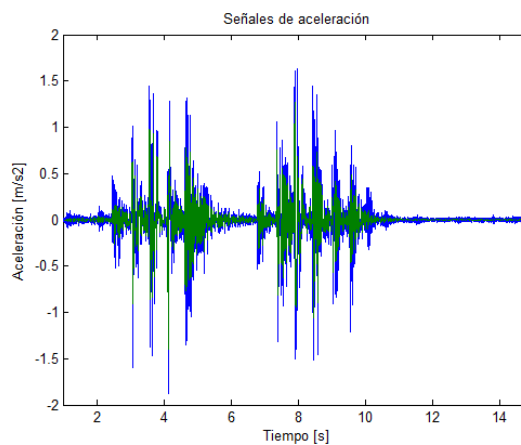


Figura D 58. Masculino 65[kg], Fp: 1.8 [Hz],
acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.

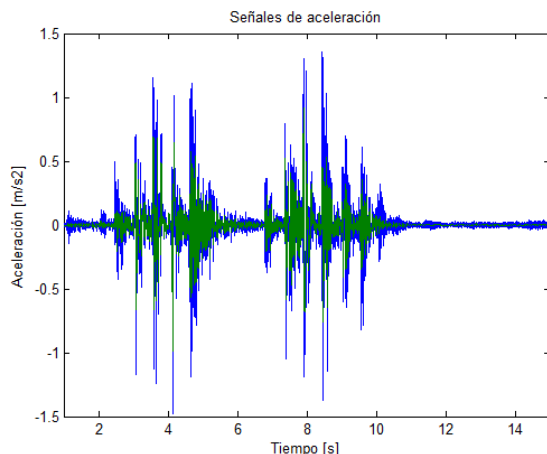


Figura D 59. Masculino 65[kg], Fp: 1.8 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.

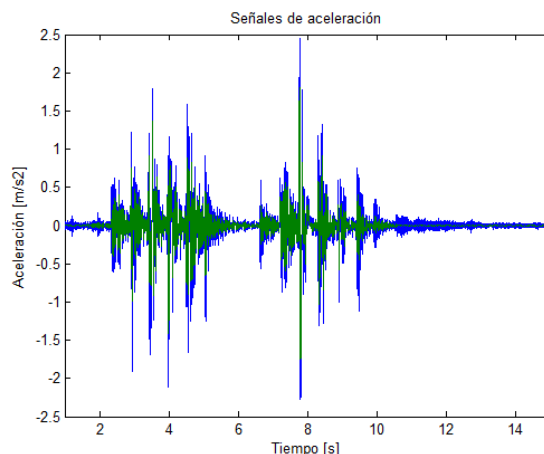


Figura D 62. Masculino 65[kg], Fp: 1.8 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.

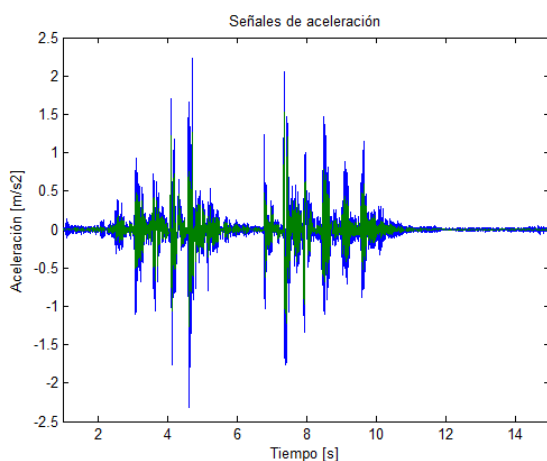


Figura D 60. Masculino 65[kg], Fp: 1.8 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.

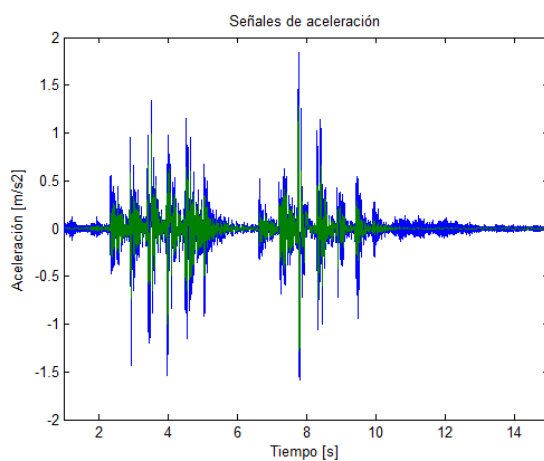


Figura D 63. Masculino 65[kg], Fp: 1.8 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.

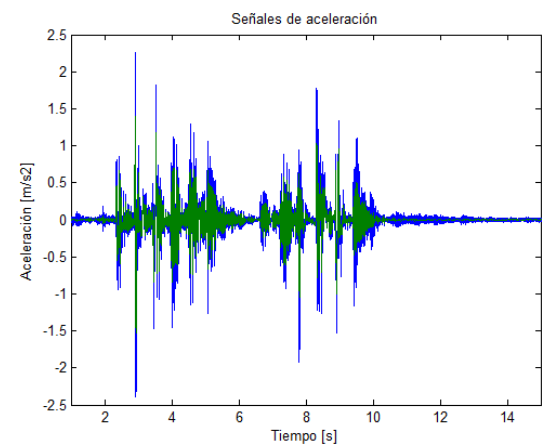


Figura D 61. Masculino 65[kg], Fp: 1.8 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.

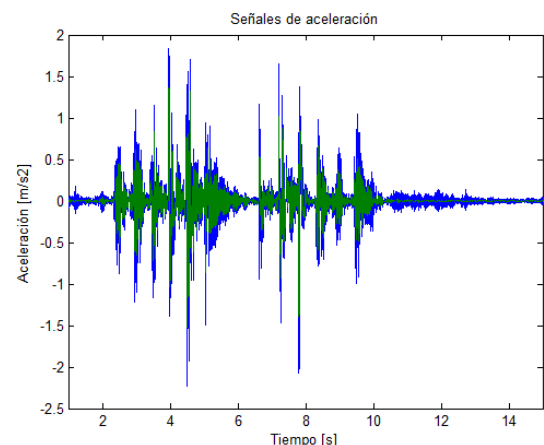


Figura D 64. Masculino 65[kg], Fp: 1.8 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.

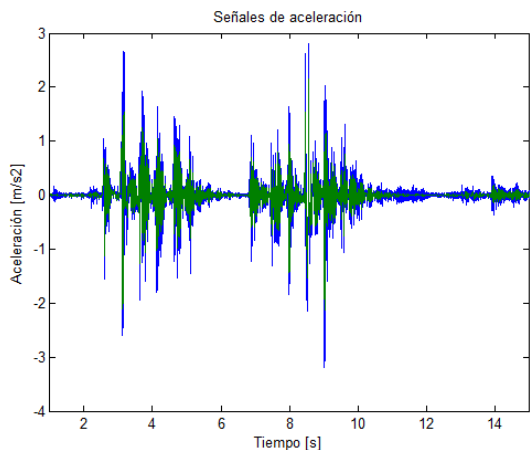


Figura D 65. Masculino 65[kg], Fp: 2.0 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.

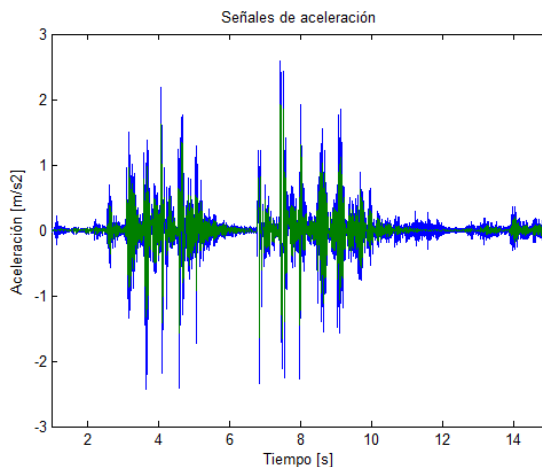


Figura D 68. Masculino 65[kg], Fp: 2.0 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.

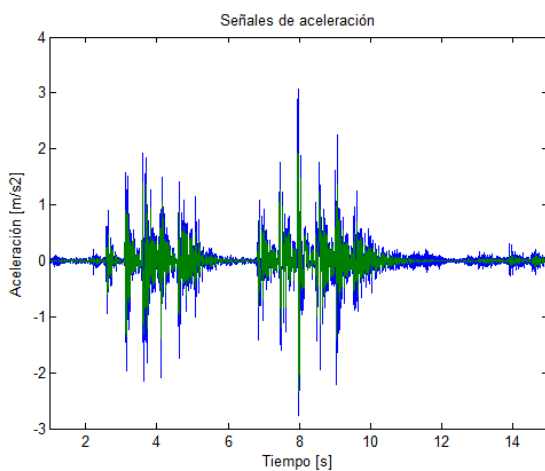


Figura D 66. Masculino 65[kg], Fp: 2.0 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.

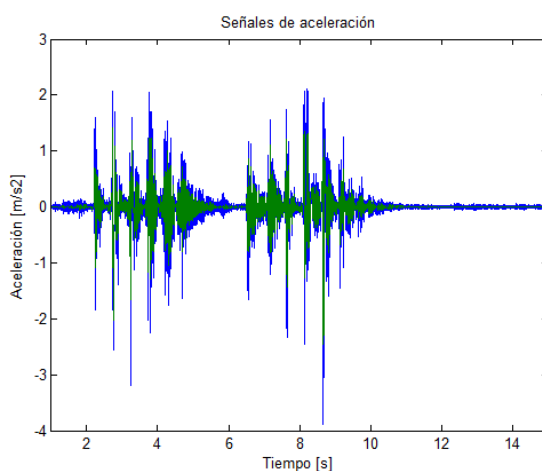


Figura D 69. Masculino 65[kg], Fp: 2.0 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.

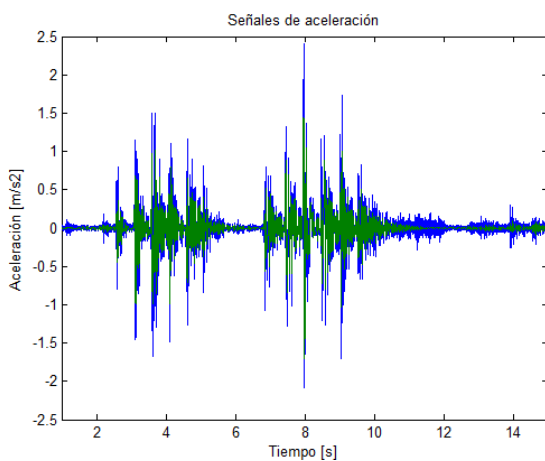


Figura D 67. Masculino 65[kg], Fp: 2.0 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.

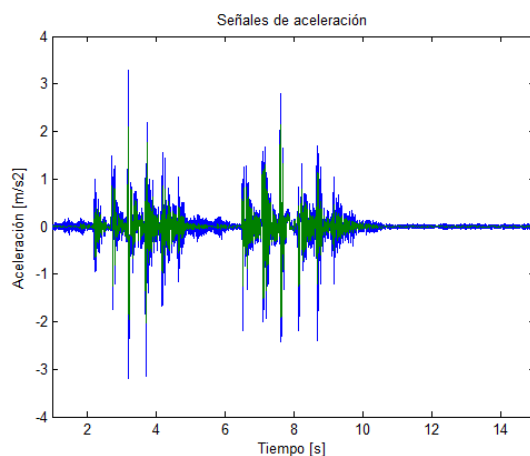
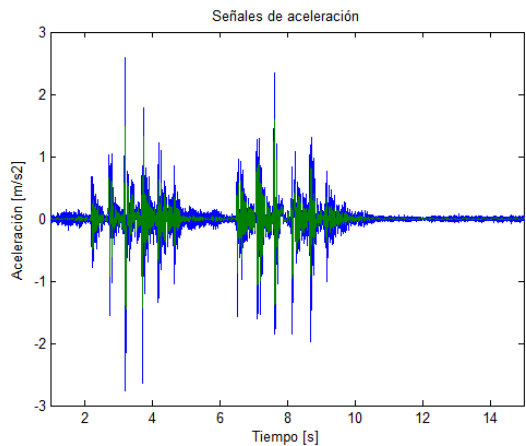
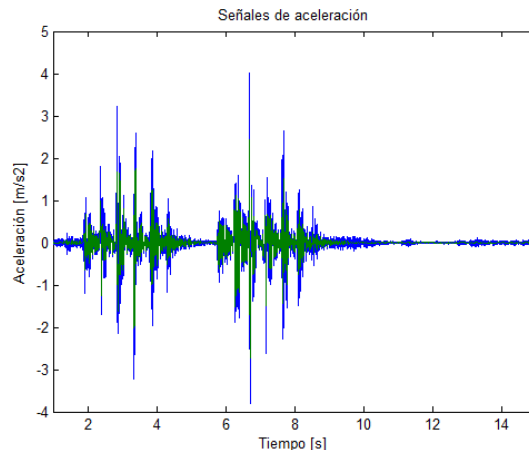


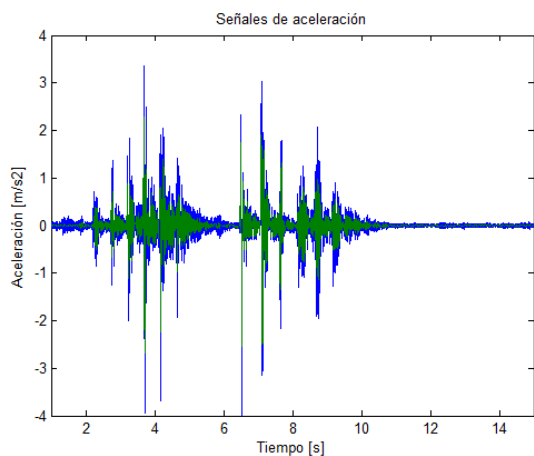
Figura D 70. Masculino 65[kg], Fp: 2.0 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.



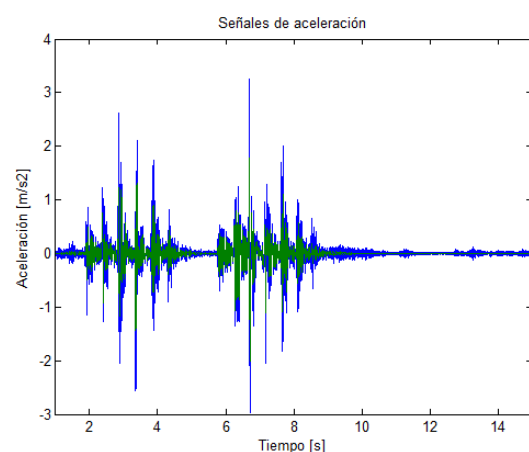
**Figura D 71. Masculino 65[kg], Fp: 2.0 [Hz],
acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.**



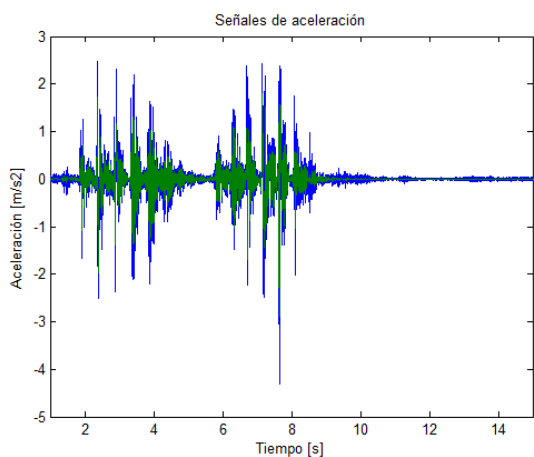
**Figura D 74. Masculino 65[kg], Fp: 2.2 [Hz],
acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.**



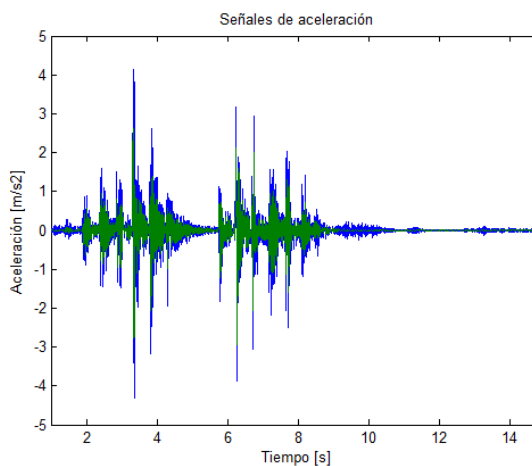
**Figura D 72. Masculino 65[kg], Fp: 2.0 [Hz],
acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.**



**Figura D 75. Masculino 65[kg], Fp: 2.2 [Hz],
acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.**



**Figura D 73. Masculino 65[kg], Fp: 2.2 [Hz],
acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.**



**Figura D 76. Masculino 65[kg], Fp: 2.2 [Hz],
acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.**

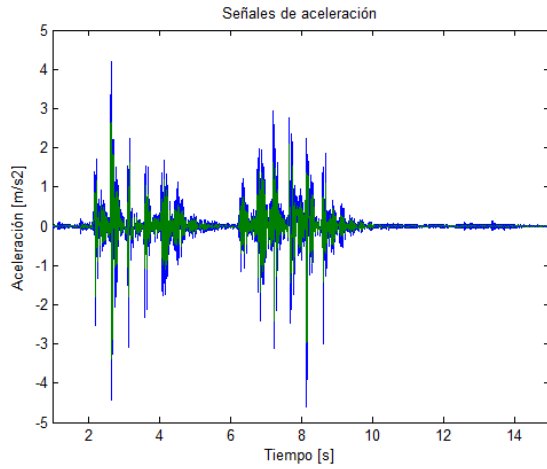


Figura D 77. Masculino 65[kg], Fp: 2.2 [Hz], acelerómetro N°1, ambiente sin mobiliario.

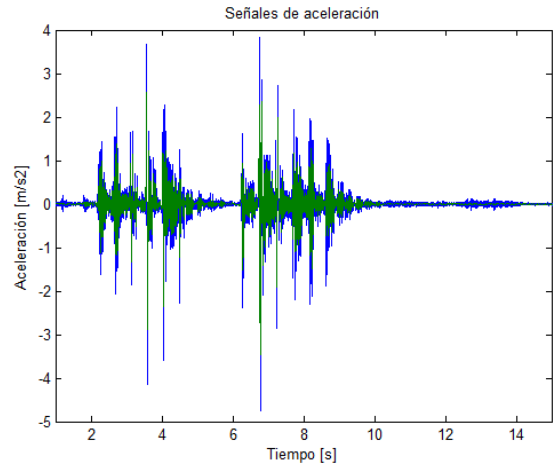


Figura D 80. Masculino 65[kg], Fp: 2.2 [Hz], acelerómetro N°4, ambiente sin mobiliario.

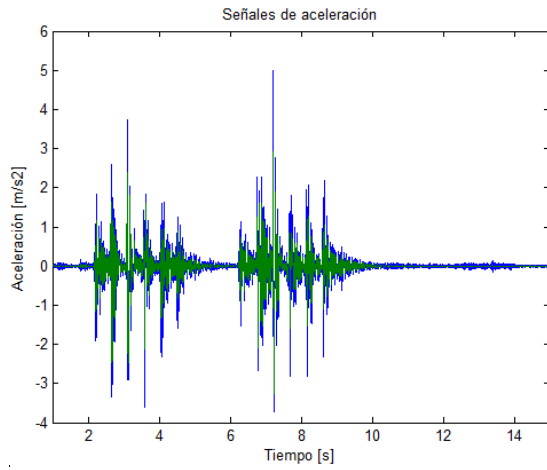


Figura D 78. Masculino 65[kg], Fp: 2.2 [Hz], acelerómetro N°2, ambiente sin mobiliario.

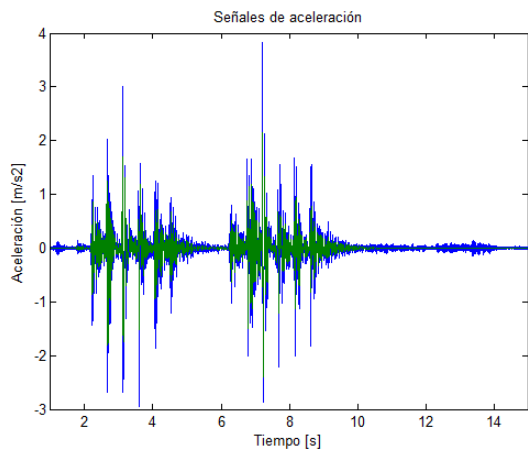


Figura D 79. Masculino 65[kg], Fp: 2.2 [Hz], acelerómetro N°3, ambiente sin mobiliario.

Anexo E: Indicadores de desempeño VDV

Se presentan los valores de dosis de vibración resultantes de las aceleraciones verticales generadas por las caminatas para distintos ambientes y condiciones de carga.

Tabla E 1. Indicadores VDV para el ambiente sin mobiliario.

Frecuencia de paso	caminatas realizada	acelerómetro	Género y masa corporal de los camamintaes					
			Femenino 56[kg]	Femenino 66[kg]	Femenino 76[kg]	Masculino 65 [Kg]	Masculino 76 [Kg]	Masculino 87 [Kg]
1.4 [Hz]	N°1	N°1	0.66245	0.45350	0.35641	0.58854	1.29436	0.87375
		N°2	0.64947	0.45957	0.34550	0.52520	1.33809	0.87750
		N°3	0.47132	0.33142	0.24874	0.37681	0.99449	0.63297
		N°4	0.74357	0.45274	0.33740	0.59748	1.22814	0.82535
	N°2	N°1	0.64187	0.51405	0.33591	0.63906	1.46505	1.09278
		N°2	0.68222	0.56474	0.34353	0.51205	1.36506	1.13357
		N°3	0.49325	0.40060	0.24240	0.37038	1.01046	0.81169
		N°4	0.78697	0.65793	0.31741	0.56240	1.33971	0.98724
1.6 [Hz]	N°1	N°1	0.87722	0.61999	0.42839	0.59710	1.31391	0.86264
		N°2	0.94022	0.75106	0.41856	0.66433	1.33899	0.89616
		N°3	0.68197	0.53149	0.29987	0.47991	0.97646	0.64343
		N°4	0.89307	0.59858	0.45126	0.63666	1.30390	1.00118
	N°2	N°1	0.97108	0.56278	0.40596	0.62563	1.23588	1.02091
		N°2	0.96677	0.50766	0.40907	0.68170	1.24839	0.89994
		N°3	0.70581	0.36574	0.29153	0.48607	0.92419	0.64811
		N°4	1.04523	0.51272	0.40734	0.60119	1.22354	0.94279
1.8 [Hz]	N°1	N°1	1.05516	0.73479	0.53162	0.70612	1.45881	1.24530
		N°2	1.22162	0.63390	0.52510	0.66181	1.67303	1.08914
		N°3	0.89469	0.45712	0.37593	0.47552	1.22359	0.79050
		N°4	1.33643	0.59742	0.50840	0.71650	1.55436	1.20470
	N°2	N°1	1.32334	0.69369	0.54586	0.70499	1.65595	1.25053
		N°2	1.27740	0.60977	0.64246	0.82353	1.61575	1.18927
		N°3	0.92437	0.43603	0.46677	0.59107	1.18523	0.85806
		N°4	1.44064	0.71477	0.56082	0.72429	1.70659	1.19846
2.0 [Hz]	N°1	N°1	1.72345	0.92834	0.56087	1.05459	1.66972	1.25947
		N°2	1.56010	1.03209	0.68275	1.02927	1.62355	1.14339
		N°3	1.13023	0.74111	0.48719	0.74600	1.18942	0.82801
		N°4	1.66237	1.06925	0.54414	1.01583	1.57274	1.25192
	N°2	N°1	1.53839	1.03783	0.57326	1.03541	1.71544	1.28663
		N°2	1.63743	1.14325	0.64235	1.11501	1.79638	1.27437
		N°3	1.19153	0.81600	0.45362	0.80555	1.31854	0.91991
		N°4	1.66518	1.15218	0.55456	1.30498	2.00219	1.32150
2.2 [Hz]	N°1	N°1	2.12097	1.45760	0.71568	1.14848	2.28229	1.88657
		N°2	2.02622	1.51220	0.84387	1.17356	2.28200	1.80100
		N°3	1.47880	1.08030	0.59655	0.85343	1.67606	1.30227
		N°4	2.04768	1.58614	0.78292	1.37498	2.30006	1.72803
	N°2	N°1	2.04504	1.27197	0.71199	1.47596	1.74910	2.24801
		N°2	1.97656	1.23101	0.85863	1.49450	1.79863	1.95277
		N°3	1.44761	0.88248	0.60334	1.08040	1.31960	1.42238
		N°4	1.89830	1.31307	0.77160	1.51636	1.74690	2.04298

Tabla E 2. Indicadores VDV para el ambiente living

Frecuencia de paso	caminatas realizada	acelerómetro	Género y masa corporal de los camamintae					
			Femenino 56[kg]	Femenino 66[kg]	Femenino 76[kg]	Masculino 65 [Kg]	Masculino 76 [Kg]	Masculino 87 [Kg]
1.4 [Hz]	N°1	N°1	0.47645	0.82538	0.39714	0.53409	0.77380	0.71279
		N°2	0.53301	0.73336	0.39692	0.51077	0.81378	0.76685
		N°3	0.40779	0.54002	0.28173	0.37892	0.61577	0.56383
		N°4	0.50428	0.68719	0.37616	0.45576	0.81318	0.56987
	N°2	N°1	0.56710	0.61641	0.34985	0.41288	0.79128	0.71831
		N°2	0.48540	0.64852	0.38819	0.38160	0.76155	0.69479
		N°3	0.36912	0.46190	0.27212	0.28254	0.59124	0.51342
		N°4	0.54051	0.64124	0.31902	0.36715	0.59346	0.61058
1.6 [Hz]	N°1	N°1	0.71929	0.72183	0.62219	0.62848	0.80907	0.85435
		N°2	0.68655	0.62002	0.56243	0.56541	0.90042	0.68359
		N°3	0.52819	0.45749	0.39704	0.41364	0.68699	0.51714
		N°4	0.52410	0.65072	0.48695	0.62788	0.82732	0.68847
	N°2	N°1	0.71002	0.57794	0.54632	0.50030	0.80875	0.95091
		N°2	0.60571	0.73808	0.57904	0.56006	0.92894	0.91080
		N°3	0.46968	0.54114	0.40135	0.40224	0.71515	0.68442
		N°4	0.55534	0.73999	0.52260	0.53059	0.68763	0.68707
1.8 [Hz]	N°1	N°1	1.10301	1.02819	0.68167	0.73193	0.97990	1.19438
		N°2	0.93120	1.00498	0.76463	0.71047	1.00336	1.14764
		N°3	0.71600	0.73571	0.53641	0.51970	0.76603	0.86086
		N°4	0.75619	0.97655	0.58583	0.70125	1.05262	0.97962
	N°2	N°1	0.80825	0.87943	0.73073	1.05498	0.92793	1.42861
		N°2	0.74863	0.95897	0.70586	0.81639	0.97798	1.19497
		N°3	0.57558	0.70437	0.50207	0.61469	0.73826	0.89872
		N°4	0.68136	0.87756	0.59941	0.82843	0.88608	0.84014
2.0 [Hz]	N°1	N°1	1.16190	1.14038	0.92144	0.84936	1.45685	1.66893
		N°2	1.01567	1.21190	1.19184	0.90068	1.54498	1.42898
		N°3	0.76993	0.89283	0.84065	0.65676	1.14634	1.07777
		N°4	0.95937	1.10435	0.91360	0.87327	1.39200	1.16033
	N°2	N°1	1.03591	1.11907	0.88062	0.91347	1.32065	1.28433
		N°2	1.15649	1.08903	0.99307	0.79353	1.42400	1.23897
		N°3	0.85581	0.80444	0.71000	0.58327	1.06192	0.92313
		N°4	1.23007	1.00733	0.83875	0.70297	1.54778	1.20583
2.2 [Hz]	N°1	N°1	0.39714	1.68177	1.00086	0.98091	1.55711	1.63653
		N°2	0.39692	1.77618	1.13608	1.03281	1.74134	1.42119
		N°3	0.28173	1.33220	0.81165	0.75744	1.27856	1.06668
		N°4	0.37616	1.64191	0.98504	1.05780	1.39481	1.45086
	N°2	N°1	1.38695	1.26125	0.97111	1.26203	1.92397	1.71237
		N°2	1.28143	1.45091	1.17360	1.25450	1.90923	1.47863
		N°3	0.98220	1.09648	0.83546	0.90851	1.43024	1.09687
		N°4	1.06479	1.49517	0.94076	1.45257	1.53291	1.36188

Tabla E 3. Indicadores VDV para el ambiente dormitorio.

Frecuencia de paso	caminatas realizada	acelerómetro	Género y masa corporal de los camamintaes					
			Femenino 56[kg]	Femenino 66[kg]	Femenino 76[kg]	Masculino 65 [Kg]	Masculino 76 [Kg]	Masculino 87 [Kg]
1.4 [Hz]	N°1	N°1	0.57086	0.78012	0.27632	0.42539	0.97438	0.68416
		N°2	0.40592	0.59027	0.24989	0.41920	0.77360	0.63665
		N°3	0.30128	0.42799	0.17712	0.29633	0.56858	0.45457
		N°4	0.46090	0.47049	0.22093	0.39543	0.86549	0.60073
	N°2	N°1	0.62428	0.36922	0.28284	0.39653	1.20122	0.74007
		N°2	0.48515	0.48674	0.28017	0.34754	0.85234	0.63211
		N°3	0.35503	0.34354	0.19643	0.25226	0.66022	0.45556
		N°4	0.45790	0.49243	0.32096	0.34983	0.82054	0.59812
1.6 [Hz]	N°1	N°1	0.84816	0.68037	0.40894	0.48323	1.18801	0.78369
		N°2	0.63363	0.58962	0.38658	0.44893	0.88889	0.66718
		N°3	0.47461	0.43064	0.27199	0.31621	0.66090	0.47960
		N°4	0.74726	0.52949	0.29681	0.44918	0.95842	0.58497
	N°2	N°1	0.77778	0.52975	0.34005	0.54641	1.27407	0.79784
		N°2	0.64826	0.58955	0.37379	0.40668	0.98161	0.73249
		N°3	0.48585	0.42026	0.26473	0.29558	0.74257	0.53382
		N°4	0.69464	0.49662	0.30452	0.39317	0.99030	0.62274
1.8 [Hz]	N°1	N°1	1.12170	0.85544	0.49910	0.84789	1.53265	1.00644
		N°2	0.94200	0.84277	0.59843	0.92991	1.20824	0.81187
		N°3	0.69721	0.60940	0.41765	0.64110	0.92825	0.58207
		N°4	1.02770	0.73052	0.48045	0.84890	1.28170	1.04936
	N°2	N°1	1.17661	0.64998	0.57996	0.60477	2.01817	1.12567
		N°2	0.89000	0.58201	0.66019	0.64046	1.27988	0.84131
		N°3	0.66529	0.42086	0.47243	0.44548	0.98545	0.62734
		N°4	0.90971	0.57799	0.56259	0.64992	1.17850	0.71772
2.0 [Hz]	N°1	N°1	1.25759	0.82434	0.62934	0.76439	1.47474	1.39132
		N°2	1.05038	0.87442	0.61330	0.64369	1.06423	1.01176
		N°3	0.77992	0.61944	0.43525	0.45850	0.78467	0.74857
		N°4	0.93677	0.79260	0.52027	0.67888	1.24747	1.06209
	N°2	N°1	1.41131	0.92069	0.60079	0.71976	1.36750	1.28466
		N°2	1.04223	0.92111	0.61599	0.69150	1.08591	1.14684
		N°3	0.77919	0.66086	0.43367	0.47800	0.82251	0.82563
		N°4	1.06624	0.73352	0.58869	0.63880	1.22223	1.34563
2.2 [Hz]	N°1	N°1	1.45318	1.68767	0.67921	1.09458	1.67105	1.68336
		N°2	1.18232	1.58301	0.81073	0.83817	1.36723	1.41777
		N°3	0.87226	1.14960	0.57405	0.59359	1.03641	1.02858
		N°4	1.23863	1.27774	0.57415	0.94729	1.34865	1.47018
	N°2	N°1	1.50391	1.66533	0.62966	1.10964	1.75857	2.02883
		N°2	1.12872	1.46718	0.76995	0.95541	1.42190	1.38756
		N°3	0.83578	1.07290	0.53691	0.66906	1.06937	1.03578
		N°4	1.25895	1.20710	0.70163	0.95386	1.33778	1.45872

Los valores de VDV presentados en las tablas E1, tabla E2 y tabla E3, se representan en las siguientes Figura E1, Figura E2, Figura E3, Figura E4, Figura E5, Figura E6

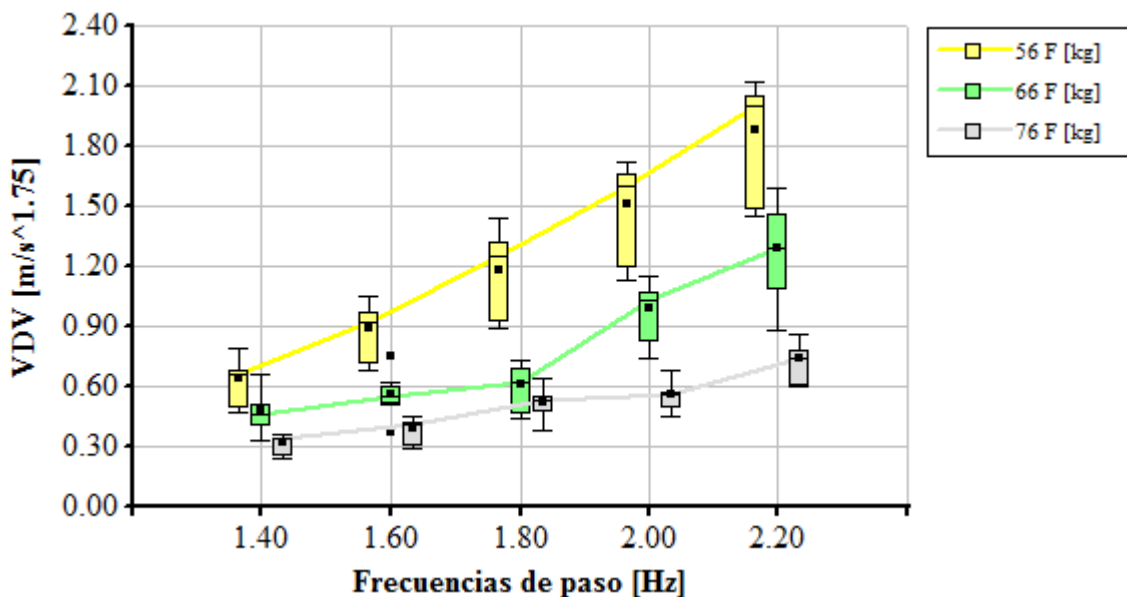


Figura E 1. Indicadores VDV para diferentes masas corporales del género Femenino, agrupados en función de la frecuencia de paso, ambiente sin mobiliario.

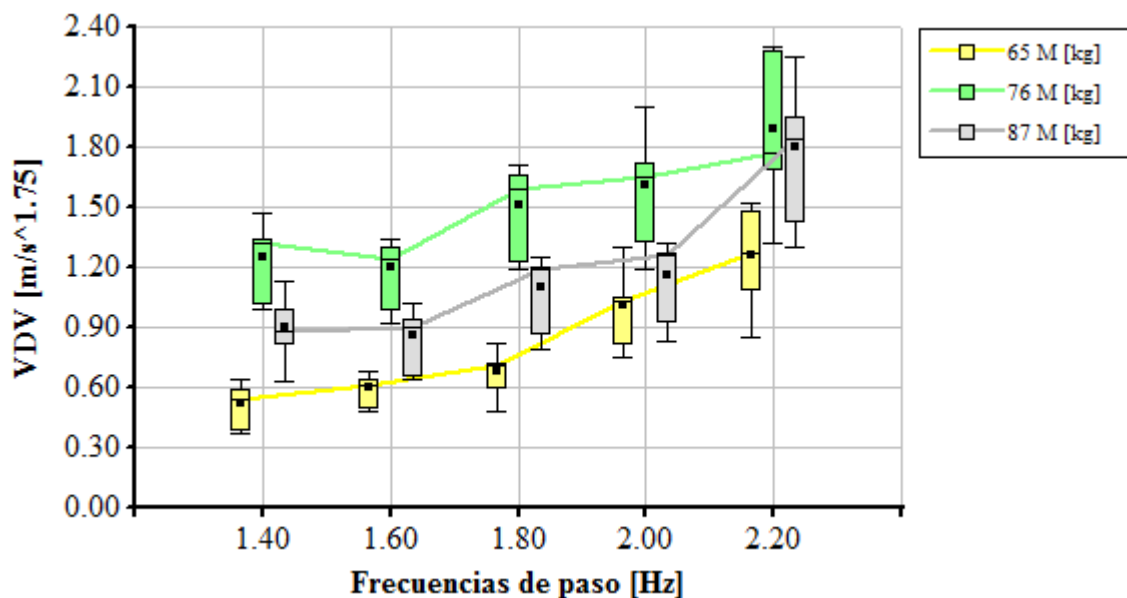


Figura E 2. Indicadores VDV para diferentes masas corporales del género Masculino, agrupados en función de la frecuencia de paso, ambiente sin mobiliario.

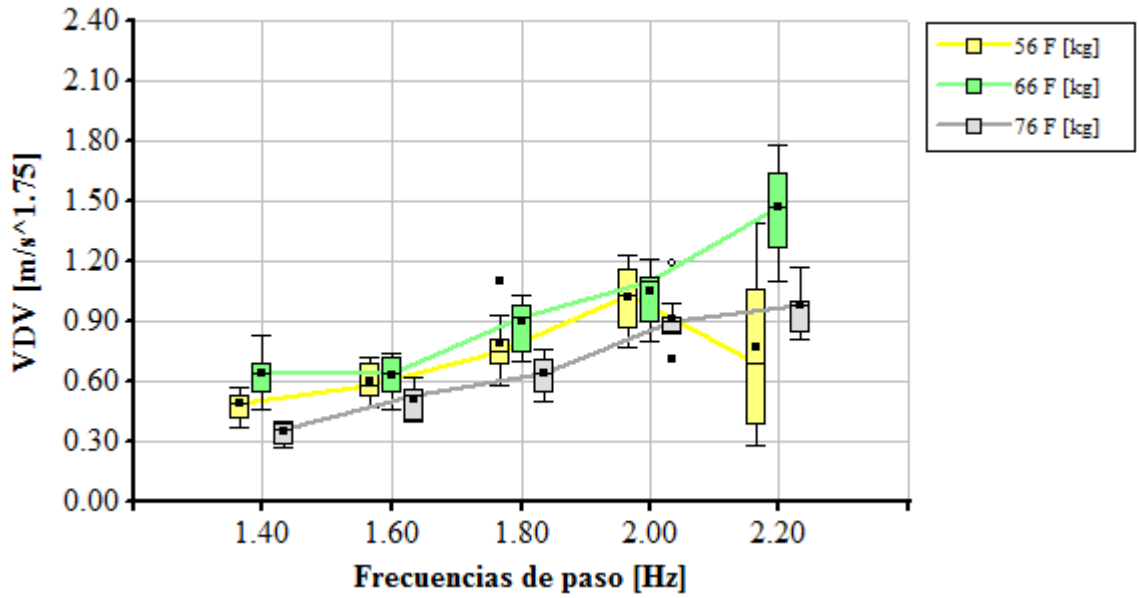


Figura E 3. Indicadores VDV para diferentes masas corporales del género Femenino, agrupados en función de la frecuencia de paso, ambiente living.

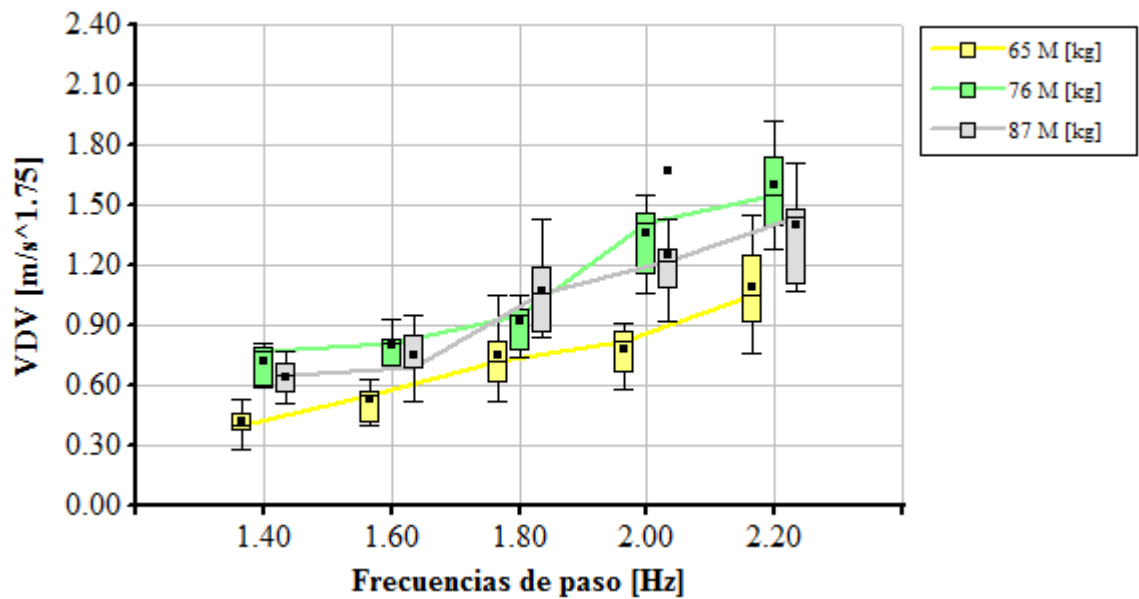


Figura E 4. Indicadores VDV para diferentes masas corporales del género Masculino, agrupados en función de la frecuencia de paso, ambiente living.

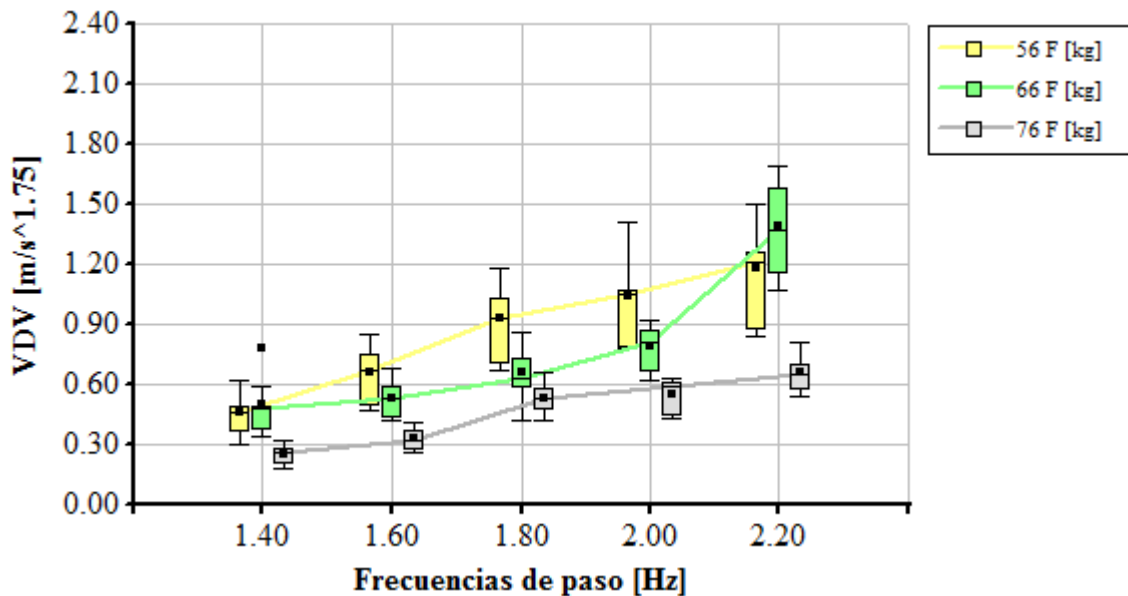


Figura E 5. Indicadores VDV para diferentes masas corporales del género Femenino, agrupados en función de la frecuencia de paso, ambiente dormitorio.

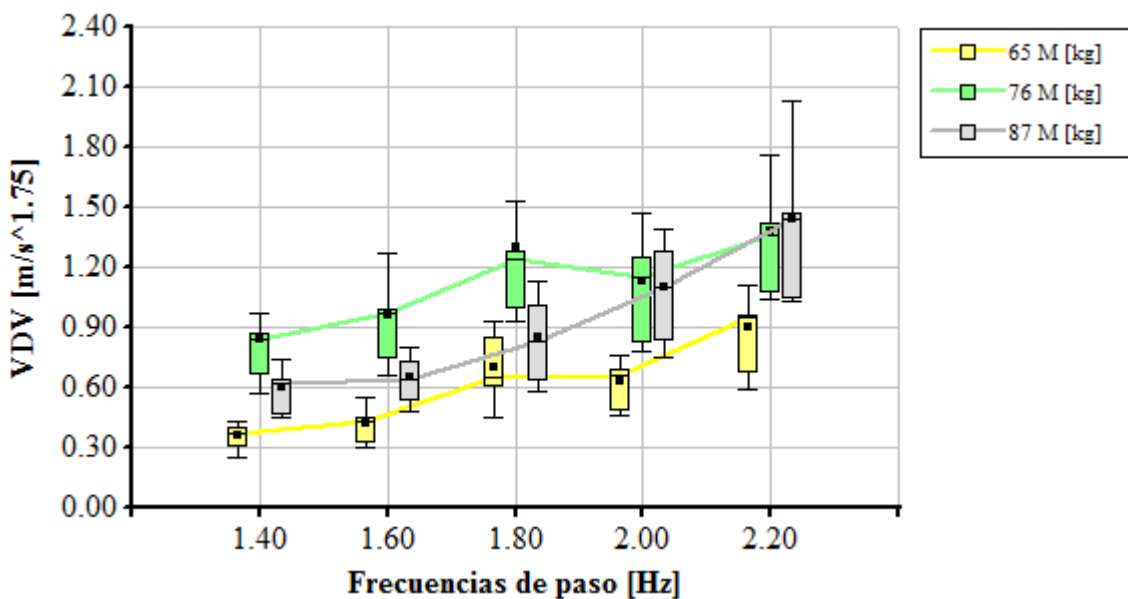


Figura E 6. Indicadores VDV para diferentes masas corporales del género Masculino, agrupados en función de la frecuencia de paso, ambiente dormitorio.

