

# UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**Profesor Patrocinante:** Alexander Opazo Vega

**Profesores Comisión:** José Norambuena

Ángela Salinas Barrera

## EVALUACIÓN DE LA SERVICIABILIDAD DINÁMICA DE UNA PASARELA DE MADERA POSTENSADA-LAMINADA

Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener  
el título de Ingeniero Civil

**NICOLÁS IGNACIO GARCÍA CASTILLO**

Concepción, Marzo 2015

**NOMENCLATURA**

Acc1	Acelerómetro N°1
Acc2	Acelerómetro N°2
Acc3	Acelerómetro N°3
Acc4	Acelerómetro N°4
$a(t)$	Aceleración en el Dominio del Tiempo
$a(f)$	Aceleración en el Dominio de la Frecuencia
$a_w(f)$	Aceleración Ponderada en el Dominio de la Frecuencia
$a_w(t)$	Aceleración Ponderada en el Dominio del Tiempo
Bpm	Beats por minuto
BS	British Standard
$f_{90}$	Percentil 90 de la frecuencia de paso
FFT	Transformada Rápida de Fourier
$f_n$	Frecuencia natural de paso
$f_x$	Media aritmética de la frecuencia de paso
Hz	Hertz
IFFT	Inversa Transformada Rápida de Fourier
ISO	International Organization for Standardization
T1	Tiempo inicial de medición
T2	Tiempo final de medición
$W_b$	Factor de Ponderación definido en BSI 6472-1
$W_g$	Factor de Ponderación definido en ISO 10137
$W_k$	Factor de Ponderación definido en ISO 2631-1
$W_m$	Factor de Ponderación definido en ISO 2631-2

## **DEDICATORIA**

A mi madre y a la memoria  
de mi padre.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mis agradecimientos, primero que todo, al profesor Alexander Opazo V. por haberme motivado para interesarme por esta área de la ingeniería y por su excelente disposición para realizar este proyecto de título.

También un agradecimiento especial a quienes me ayudaron a realizar este trabajo: Camila Carmine, Camila Muñoz, Cristina San Martín, Martín Quiñones y Enrique Salinas.

Finalmente agradecer a mis amigos por su apoyo incondicional durante estos años.

## **EVALUACIÓN DE LA SERVICIABILIDAD DINÁMICA DE UNA PASARELA DE MADERA POSTENSADA-LAMINADA**

**Autor: Nicolás García Castillo**

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

Correo Electrónico: [nicgarci@alumnos.ubiobio.cl](mailto:nicgarci@alumnos.ubiobio.cl)

**Profesor Patrocinante: Alexander Opazo Vega**

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

Correo Electrónico: [aopazo@ubiobio.cl](mailto:aopazo@ubiobio.cl)

### **RESUMEN**

En la actualidad, Chile no cuenta con una normativa que controle las vibraciones en pasarelas peatonales, lo que puede afectar directamente la percepción de seguridad y comodidad del usuario. A esto se debe agregar que la madera es un material sustentable, liviano y de producción nacional que está tomando cada vez mayor participación en el ámbito estructural. Esto puede traer problemas a corto plazo, por lo que se hace necesario evaluar este tipo de construcciones.

En este estudio se trabajó con la pasarela peatonal “Mutual de Seguridad”, ubicada en el sector DuocUc en la intercomuna Concepción-Talcahuano. Esta estructura tiene la particularidad de estar construida con dos arcos de madera laminada y una plataforma de madera postensada formando una placa, que configura un sistema innovador en el país.

Se realizó una encuesta de percepción de seguridad y comodidad a los usuarios, se realizaron mediciones de frecuencia de paso y se midieron aceleraciones verticales de acuerdo a la normativa ISO 10137:2007 entre otras, para caminatas sincronizadas.

Para la encuesta realizada se concluyó que la estructura tiene un excelente desempeño, mismo resultado para las mediciones de vibraciones, por lo que la estructura tiene un excelente desempeño dinámico, según las exigencias de las normativas consideradas.

**Palabras Claves:** Vibraciones, Pasarela, Madera, Laminada, Postensada, Caminatas, Desempeño Dinámico.

7095 Palabras Texto + 32 Figuras/Tablas\*250 + 3 Figuras/Tablas\*500 = 16595 Palabras

## **SERVICEABILITY DYNAMIC EVALUATION OF A POST-TENSIONED LAMINATED WOODEN FOOTBRIDGE**

**Author: Nicolás García Castillo**

Department of Civil and Environmental Engineering, Universidad del Bío-Bío

Email Address: [nicgarci@alumnos.ubiobio.cl](mailto:nicgarci@alumnos.ubiobio.cl)

**Advisor: Alexander Opazo Vega**

Department of Civil and Environmental Engineering, Universidad del Bío-Bío

Email Address: [aopazo@ubiobio.cl](mailto:aopazo@ubiobio.cl)

### **ABSTRACT**

Nowadays, Chile does not have a normative that regulate the vibrations in this kind of structures, with may directly affect the perception of security and comfort form the user. Also, the wood is a sustainable, light weight and a national production material with participation is increasing through the years in the structural area. This may bring us problems at a short term, reason why it is necessary evaluate our buildings.

This research worked with walkway "Mutual de Seguridad", placed on the DuocUc sector on the Concepción-Talcahuano district, this structure has the particularly of being built with two arches made of laminated wood and a post-stressed wooden platform, forming a plaque, innovative system on the country.

A survey about the perception of security and comfort of the users was made, it was made too measurements of steps frequency, plus measurements of vertical accelerations accordance with the standard ISO 10137:2007, among others, for synchronize walks, having this conclusions.

For the survey it was conclude that the structure has an excellent performance, same results for the vibrations measurements according the already mentioned normative, that it's why the structure has an excellent dynamic performance, according with the meaning of this research

**Keywords:** Vibrations, Walkways, Wood, Laminated, Post-stressed, Hikes, Dynamic Performance.

## ÍNDICE GENERAL

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	7
<b>1.1 Identificación y Justificación del problema</b> .....	7
<b>1.2 Alcances de la Investigación</b> .....	7
<b>1.3 Objetivos de la Investigación</b> .....	8
<i>1.3.1 Objetivo general</i> .....	8
<i>1.3.2 Objetivos específicos</i> .....	8
<b>1.4 Metodología de Trabajo</b> .....	8
<b>1.5 Estructura de la Memoria</b> .....	9
<b>2. DESCRIPCION Y MATERIALIDAD DE LA ESTRUCTURA</b> .....	10
<b>2.1 Descripción General</b> .....	10
<b>2.2 Especificaciones Técnicas</b> .....	10
<b>3. VIBRACIONES VERTICALES EN PASARELAS</b> .....	12
<b>3.1 Cargas dinámicas en Pasarelas</b> .....	12
<b>3.2 Respuesta de los sistemas de piso a cargas dinámicas inducidas por las personas</b> .....	12
<i>3.2.1 Frecuencia de la carga</i> .....	13
<b>3.3 Evaluación del Desempeño Dinámico</b> .....	14
<i>3.3.1 Transformada Rápida de Fourier</i> .....	14
<i>3.3.2 Criterios de Serviciabilidad</i> .....	14
<i>3.3.3 Transformada Inversa de Fourier</i> .....	15
<i>3.3.4 Raíz Cuadrada Media de la Aceleración Ponderada</i> .....	16
<i>3.3.5 Raíz Cuadrada Media Móvil de la Aceleración Ponderada</i> .....	16
<i>3.3.6 Vibración Transiente Máxima</i> .....	17
<i>3.3.7 Factor R</i> .....	17
<b>4. ASPECTOS CLAVES PARA IMPLEMENTAR UNA ENCUESTA</b> .....	18
<b>4.1 Encuesta de Percepción</b> .....	18
<b>4.2 Diseño de la Encuesta</b> .....	18
<b>4.3 Escala de Likert</b> .....	19
<b>4.4 Tablas de Contingencia</b> .....	20
<b>4.5 Evaluación de los resultados obtenidos</b> .....	20

<b>5. PROCEDIMIENTO APLICADO EN EL ESTUDIO</b> .....	21
<b>5.1 Encuesta de Percepción</b> .....	21
5.1.1 <i>Diseño de la encuesta</i> .....	21
5.1.2 <i>Aplicación de la encuesta</i> .....	23
5.1.3 <i>Evaluación de los resultados obtenidos</i> .....	23
<b>5.2 Mediciones In-Situ</b> .....	24
5.2.1 <i>Discretización de la estructura</i> .....	24
5.2.2 <i>Frecuencia natural de vibración de la estructura</i> .....	24
5.2.3 <i>Carga aplicada a la estructura</i> .....	27
5.2.4 <i>Respuesta del sistema bajo los criterios de serviciabilidad</i> .....	30
<b>6. RESULTADOS EXPERIMENTALES</b> .....	32
<b>6.1 Resultados Mediciones In-Situ</b> .....	32
6.1.1 <i>Frecuencia fundamental de piso</i> .....	32
6.1.2 <i>Vibraciones producidas por las caminatas</i> .....	33
6.1.3 <i>Evaluación de Serviciabilidad</i> .....	36
<b>6.2 Resultados Encuesta de Percepción</b> .....	40
6.2.1 <i>Cruce de variables (tablas de contingencia)</i> .....	40
6.2.2 <i>Conclusiones encuesta de percepción</i> .....	42
<b>6.3 Comparación y Coherencia entre Resultados</b> .....	44
<b>7. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS</b> .....	45
REFERENCIAS .....	46



**INDICE FIGURAS**

Figura 1. Vista norte de la pasarela.....10

Figura 2. Vista sur de la pasarela.....10

Figura 3. Proceso constructivo.....11

Figura 4. Modos de vibrar en una viga simplemente apoyada.....12

Figura 5. Curvas de ponderación para distintas normativas.....15

Figura 6. Discretización de la estructura.....24

Figura 7. Disposición de los acelerómetros para mediciones heel drop.....26

Figura 8. Disposición de los acelerómetros para mediciones de caminatas sincronizadas...28

Figura 10. Disposición del equipo para mediciones de caminatas sincronizadas.....24

Figura 11. Distribución de Frecuencias de Paso Medidas en Terreno.....29

Figura 12. Registro de aceleraciones hombre 65 kg, 1.77 Hz.....33

Figura 13. Registro de aceleraciones hombre 65 kg, 1.92 Hz.....33

Figura 14. Registro de aceleraciones hombre 65 kg, 2.11 Hz.....34

Figura 15. Registro de aceleraciones mujer 56 kg, 1.77 Hz.....34

Figura 16. Registro de aceleraciones mujer 56 kg, 1.91 Hz.....34

Figura 17. Registro de aceleraciones mujer 56 kg, 2.11 Hz.....35

**INDICE TABLAS**

Tabla 1. Luz Libre de los tramos para la Discretización de la Pasar.....	24
Tabla 2. Distribución de masa poblacional para Santiago de Chile.....	29
Tabla 3. Frecuencias de Paso para Caminatas Sincronizadas.....	30
Tabla 4. Resultados por Tramo para mediciones de Heel Drop.....	32
Tabla 5. MTVV para hombre 65 kg, Acc1.....	35
Tabla 6. MTVV para mujer 56 kg, Acc1.....	35
Tabla 7. Factor R para caminata mujer 56 Kg.....	36
Tabla 8. Factor R para caminata mujer 66 Kg.....	37
Tabla 9. Factor R para caminata mujer 76 Kg.....	37
Tabla 10. Factor R para caminata hombre 65 Kg.....	38
Tabla 11. Factor R para caminata hombre 76 Kg.....	38
Tabla 12. Factor R para caminata hombre 87 Kg.....	39
Tabla 13. Caminatas mujeres ponderadas con factor $W_b$ .....	39
Tabla 14. Caminatas hombre ponderadas con factor $W_b$ .....	40
Tabla 15. Sexo del encuestado vs Percepción de Seguridad.....	40
Tabla 16. Sexo del Encuestado vs Percepción de Comodidad.....	41
Tabla 17. Percepción de Seguridad vs Percepción del Material.....	41
Tabla 18. Sexo del Encuestado vs Percepción del Material.....	42

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Identificación y Justificación del problema**

La percepción de seguridad y comodidad del usuario es una variable importante en el diseño de estructuras en altura. Más aún si estas están construidas con madera, de la cual se tiende a tener una pequeña desconfianza dado su uso estructural aun no masificado en Chile, siendo este país un productor y exportador a nivel mundial.

La mayor flexibilidad de las estructuras, ocasionada por el aumento de la esbeltez y las grandes luces, han producido un aumento en los problemas de serviciabilidad, asociados a cargas dinámicas inducidas por humanos. Estos problemas causan malestar en los usuarios, durante el uso de estas estructuras. (Zivanovic *et al.*, 2007). Las vibraciones en estructuras pueden ser percibidas por los usuarios y afectarlos de muchas maneras tanto en su calidad de vida como en la eficiencia en su trabajo (BSI, 2008).

La finalidad de este estudio es cuantificar el nivel de seguridad-comodidad que una pasarela de madera postensada-laminada le entrega al usuario, tanto subjetivamente, mediante encuestas, como técnicamente mediante mediciones de nivel aceleraciones en terreno.

### **1.2 Alcances de la Investigación**

Se realizara un estudio experimental en terreno en el cual bajo condiciones controladas se medirá el nivel de aceleraciones que una pasarela de madera postensada-laminada le entrega al usuario.

Por otra parte, se realizara una encuesta de percepción de seguridad y comodidad a los usuarios de dicha pasarela para respaldar (o refutar) los resultados obtenidos.

## **1.3 Objetivos de la Investigación**

### *1.3.1 Objetivo general*

- Evaluar la serviciabilidad dinámica de la “Pasarela Peatonal Mutual de Seguridad”, ubicada en el sector DuocUc Concepción, desde el punto de vista de la percepción del usuario, proponiendo eventuales mejoras a su desempeño.

### *1.3.2 Objetivos específicos*

- Evaluar la serviciabilidad desde el punto de vista del usuario a través de la aplicación de una encuesta.
- Implementar un plan de mediciones de vibraciones verticales en terreno, para condiciones desfavorables y representativas de uso de la pasarela.
- Comparar los resultados de mediciones instrumentales con el catastro de percepción (encuestas) y verificar si existe coherencia.
- Proponer alternativas estructurales de solución que mitiguen teóricamente el nivel de vibraciones.

## **1.4 Metodología de Trabajo**

Para llevar a cabo este estudio se realizara una revisión bibliográfica sobre serviciabilidad estructural en pasarelas peatonales, diseño e implementación de encuestas, vibraciones en pisos y cargas inducidas por peatones, referido principalmente a la madera. Concluido esto se diseñará, implementará y evaluará una encuesta sobre percepción de seguridad y comodidad a los usuarios de la estructura. A continuación, se determinará a través de mediciones en terreno la frecuencia de paso de los peatones, se determinara la frecuencia natural para cada tramo a evaluar, se medirán aceleraciones verticales inducidas por caminatas y se evaluaran metodologías acordes a normativas internaciones. Finalmente se realizara una comparación entre percepción de los usuarios y comportamiento dinámico según estas normativas.

## **1.5 Estructura de la Memoria**

La memoria se ordena de la siguiente forma: en el Capítulo 2 se describe la materialidad y geometría de la estructura, en el Capítulo 3 se hace una revisión bibliográfica acerca de la implementación de una encuesta, en el Capítulo 4 se hace una revisión bibliográfica acerca de las vibraciones en pasarelas peatonales. Con la información generada en los capítulos anteriores se procede a diseñar e implementar un procedimiento de evaluación descrito en el Capítulo 5. En el Capítulo 6 se exponen los resultados y su análisis para terminar con las conclusiones y comentarios en el Capítulo 7.

## 2. DESCRIPCIÓN Y MATERIALIDAD DE LA ESTRUCTURA

### 2.1 Descripción General

La pasarela en estudio tiene la particularidad de estar construida de una forma innovadora en el país, consistente en dos arcos triarticulados de madera laminada. Sobre estos y en sentido transversal se tienen marcos de acero, arriostrados entre sí, sobre los cuales descansa una placa de madera postensada, la cual es la plataforma para el paso de los usuarios. Esto se puede apreciar de mejor forma en la Figura 1.



Figura 1. Vista norte de la pasarela



Figura 2. Vista sur de la pasarela

### 2.2 Especificaciones Técnicas

Lo más novedoso de esta estructura es la placa de madera postensada, única en el país, la cual está formada por tablas de pino radiata puestas de canto en la dirección longitudinal del puente, estas son atravesadas y comprimidas en dirección transversal por unos tensores de acero de alta resistencia. El tensado juega un rol fundamental en este tipo de tableros, por lo que se recomienda realizar re-tensados cada 2 años. Para información más detallada acerca de las especificaciones técnicas de la estructura revisar el Anexo A.

En la Figura 3 se muestra parte del proceso constructivo:



Figura 3. P constructivo (a) Arcos montados



Figura 3. P constructivo (b) Montaje de la placa



Figura 3. P constructivo (c) Placa montada



Figura 3. P constructivo (d) Uniones de la placa



Figura 3. P constructivo (e) Instalación de la baranda



Figura 3. P constructivo (f) Unión placa y marcos



### 3. VIBRACIONES VERTICALES EN PASARELAS

#### 3.1 Cargas dinámicas en Pasarelas

La mayoría de los problemas de vibración en sistemas de piso se provocan por esfuerzos repetitivos causados por la maquinaria o por actividades humanas tales como la danza, aeróbica o caminar, aunque esta última es la fuente de cargas dinámicas más común e importante en la estructuras. Lo anterior se genera ya que las personas transitan a una frecuencia regular, pudiendo causar una acumulación de energía en la respuesta del sistema (SCI, 2009).

Un peatón induce cargas verticales, transversales y longitudinales producto del cambio de posición de su centro de masa, la que finalmente es la responsable las vibraciones, la que nos interesan en este estudio son las cargas verticales.

A continuación se profundiza en el tema y se exponen los métodos adecuados para medir y cuantificar la respuesta dinámica de un sistema.

#### 3.2 Respuesta de los sistemas de piso a cargas dinámicas inducidas por las personas

En sistemas continuos habrá una serie de frecuencias naturales, cada una con su propia forma modal. Cada modo muestra de que manera el sistema se deforma. El primer modo siempre corresponderá a la forma más simple (SCI, 2009). Los tres primeros modos de una viga se muestran en la Figura 4.

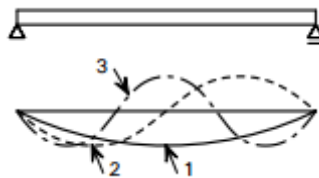


Figura 4. Modos de vibrar en una viga simplemente apoyada (SCI, 2009)

La carga periódica producida por el paso del peatón puede ser representada mediante series de Fourier por medio de una constante más la suma de los diferentes armónicos. La suma de estos términos representa el efecto total de la carga periódica, esto se puede ver en la Ecuación 1:

$$F(t) = W_p + \sum_{i=1}^n W_p a_i \text{sen} (2\pi i f_p t - \varphi_i)$$

Ec. (1)



Donde:

$W_p$  : Peso de la persona.

$a_i$  : Factor de carga dinámico, propuesto por diversos autores.

$f_p$  : Frecuencia de paso.

$\varphi_i$  : Ángulo de fase armónico  $i$  en relación al primero.

$n$  : Número de armónicos a considerar.

La respuesta de una losa frente a una carga inducida puede ser resonante o impulsiva, diferenciándose ambas porque en la primera la respuesta permanente de la losa es mayor a la transiente, mientras que en la segunda ocurre lo contrario. Basándose en esto las losas se clasifican en losas de baja y alta frecuencia, dependiendo de su frecuencia natural; siendo el límite entre ambas una frecuencia fundamental de 10 Hz (AISC, 2003; SCI, 2009).

Debido a que la energía de la carga inducida al caminar se concentra principalmente en frecuencias menores a esta. Con esto las losas de alta frecuencia no se ven involucradas dado que su respuesta se disipa antes de que se dé el siguiente paso.

Junto con lo expresado anteriormente, las fuerzas inducidas por personas se pueden modelar de dos formas distintas, dependiendo de la frecuencia natural del sistema de piso. La primera es como una carga periódica, emulando una caminata continua, adecuada para losas de baja frecuencia (AISC, 2003; Wilford et al., 2005), y la segunda es simular un impulso equivalente al contacto del pie, adecuada para losas de alta frecuencia (Wilford et al., 2005)

### *3.2.1 Frecuencia de la carga*

La frecuencia de paso de los peatones nos indica la forma en que es cargada la pasarela. Si bien puede cuantificarse en número de pasos por segundo, lo más adecuado es utilizar los Hercios (Hz) como unidades de frecuencia.

Es importante considerar distintas frecuencias de caminata en este tipo de estudios, para que así la pasarela responda de la mayor cantidad de formas posibles y de este modo comprender mejor su comportamiento dinámico.

### 3.3 Evaluación del Desempeño Dinámico

Las aceleraciones son captadas de forma bruta por el equipo. Sin embargo, para su análisis requieren ser tratadas. Para evaluar el desempeño dinámico de una pasarela peatonal la norma ISO 10137 en conjunto con la norma ISO 2631, proponen los siguientes parámetros de evaluación, compatibles con la norma BS 6472-1.

#### 3.3.1 Transformada Rápida de Fourier

La norma ISO 10137 define la Transformada Rápida de Fourier (FFT) como un procedimiento matemático que transforma las aceleraciones del dominio del tiempo  $[a(t)]$  al dominio de las frecuencias  $[a(f)]$  (espectro de Fourier) sin pérdida de información. La Ecuación 2 muestra cómo se calcula en dirección vertical:

$$a(f) = Q \left( 1 + \sum_{n=1}^k a(t) \operatorname{sen}(2\pi n f t + \varphi_n) \right) \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

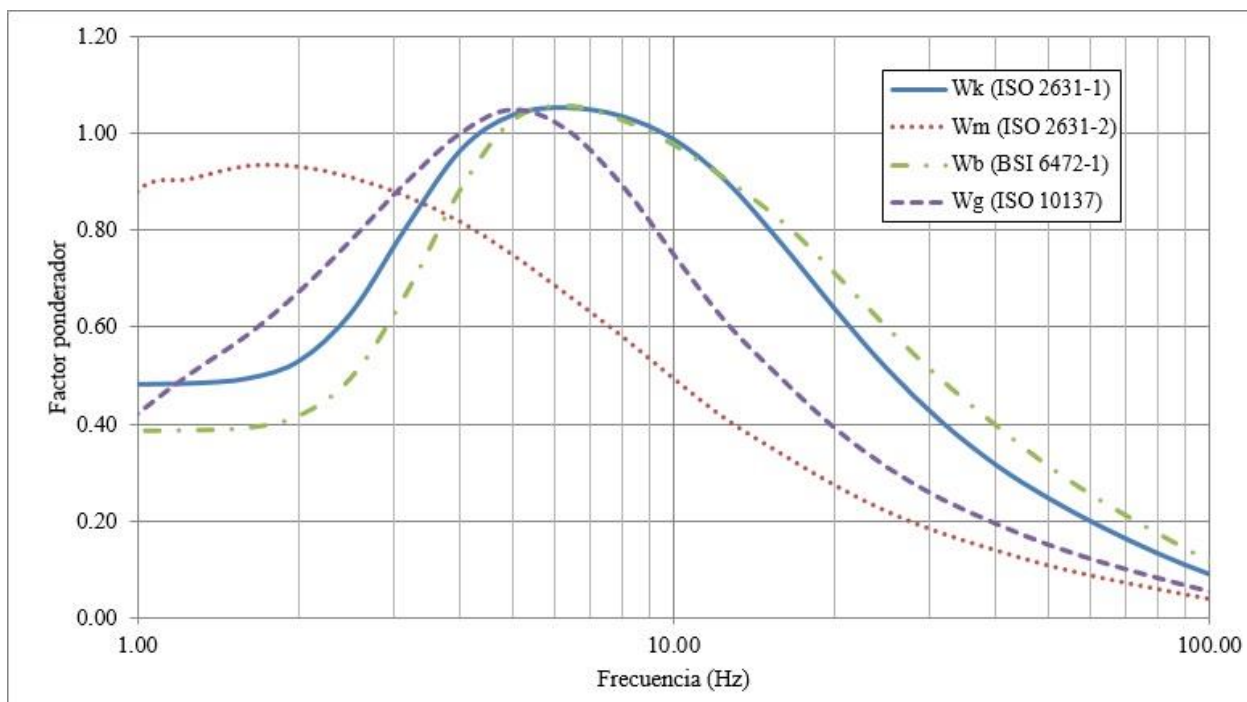
- $a(t)$ : Aceleración en el dominio del tiempo.
- $Q$ : Es la carga estática de la persona que participa.
- $f$ : Componente de frecuencia de la carga repetitiva.
- $\varphi_n$ : Ángulo de fase de la dirección armónica, vertical enésimo.
- $n$ : Número entero que designa armónicos de la fundamental.
- $k$ : Número de armónicos que caracterizan la función de fuerza en el rango de frecuencias.

Dependiendo de lo complejo que sea la evolución temporal de la carga, el número de armónicos  $k$  necesarios para modelar adecuadamente la evolución temporal de la carga variará.

#### 3.3.2 Criterios de Serviciabilidad

Debido a que nuestro cuerpo y órganos internos pueden atenuar o resonar ciertas frecuencias, las normativas BS 6472-1:2008, ISO 10137:2007, ISO 2631:1997-1 e ISO 2631-2:2003 nos proponen las siguientes curvas de ponderación para las aceleraciones (ponderadas en el dominio de las

frecuencias), mostradas en la Figura 5, los valores para determinar estos gráficos son expuestos en el ANEXO C.



**Figura 5. Curvas de ponderación para distintas normativas**

Al ponderar cada aceleración en el dominio de las frecuencias  $[a(f)]$ , se obtienen las aceleraciones ponderadas en el dominio de las frecuencias  $[a_w(f)]$ .

### 3.3.3 Transformada Inversa de Fourier

Para volver la aceleración ya ponderada del dominio de las frecuencias al dominio del tiempo  $[a_w(t)]$ , es necesario recurrir la Transformada Inversa de Fourier (IFFT), como se describe en la Ecuación 3:

$$a_w(t) = \frac{1}{Q} \left( \sum_{n=0}^k a_w(f) \text{sen}(2\pi n f t + \varphi_n) - 1 \right) \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

$a_w(f)$ : Aceleración ponderada en el dominio de las frecuencias, en m/s<sup>2</sup>.

$Q$ : Es la carga estática de la persona que participa.

$f$ : Componente de frecuencia de la carga repetitiva.

$\varphi_n$ : Ángulo de fase de la dirección armónica, vertical enésimo.

$n$ : Número entero que designa armónicos de la fundamental.

### 3.3.4 Raíz Cuadrada Media de la Aceleración Ponderada

Para evaluar una vibración la norma ISO 2631 recomienda calcular la “raíz cuadrada media ponderada de la aceleración” (ARMS). Esta aceleración está expresada en metros por segundo al cuadrado y se calcula de acuerdo a la Ecuación 4 o sus equivalentes en el dominio de frecuencia.

$$ARMS = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt}$$

Ec. (4)

Donde:

$a_w(t)$ : Es la aceleración ponderada en el dominio del tiempo, en m/s<sup>2</sup>.

$T$ : Es la duración de la medición, en segundos.

La norma propone usar este valor como representativo de la vibración, siempre y cuando la razón entre el peak del registro de aceleraciones y el valor ARMS sea menor a 9, de lo contrario propone usar el valor de la Raíz Cuadrada Media Móvil de la Aceleración Ponderada (ARMSmóvil).

### 3.3.5 Raíz Cuadrada Media Móvil de la Aceleración Ponderada

El método ARMS móvil toma en cuenta los peak ocasionales y la respuesta transiente del sistema dado que considera un tiempo de integración corto, mientras se mueve por todo el dominio del tiempo, como se muestra la Ecuación 5.

$$ARMSmóvil(T_1) = \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} a_w^2(t) dt}$$

Ec. (5)

Donde:

$a_w(t)$ : Es la aceleración ponderada en el dominio del tiempo, en metros  $m/s^2$ .

T1: Es el tiempo inicial de medición.

T2: Es el tiempo final de medición.

La norma recomienda utilizar  $T2-T1 = 1s$  en la medición del ARMS móvil (tiempo de integración constante y suficiente para los acelerómetros).

### 3.3.6 Vibración Transiente Máxima

El valor de vibración transitoria máxima (MTVV) se muestra en la Ecuación 6:

$$MTVV = \max[ARMSmóvil] \quad \text{Ec. (6)}$$

Es decir la más alta magnitud que tiene ARMS durante el periodo de medición T.

### 3.3.7 Factor R

La norma ISO 10137 propone un indicador, denominado Factor R, el cual se muestra en la Ecuación 7. Este indica que la aceleración máxima para cada situación, es decir la MTVV, no debe superar a la aceleración mínima de percepción ( $a_{min}=0,005 m/s^2$ , valor conservador) por un factor mayor a 60 para un peatón caminando, y un factor mayor a 30 para una persona detenida, de lo contrario el uso de la pasarela se volverá incómodo para dichos usuarios.

$$Factor R = \frac{MTVV}{a_{min}} \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde:

$MTVV$ : máxima ARMSmóvil.

$a_{min}$ : aceleración mínima de percepción (ISO 10137).

## **4. ASPECTOS CLAVES PARA IMPLEMENTAR UNA ENCUESTA**

En este estudio, el nivel de vibraciones producido por caminatas sincronizadas será evaluado usando como base distintas normativas extranjeras, sin embargo no se puede inferir que estas representan el panorama Chileno, por lo que se implementara un encuesta de percepcion, a modo de validar (o refutar) los resultados obtenidos.

### **4.1 Encuesta de Percepción**

Una encuesta es un tipo de investigación, dentro de los diseños de investigación descriptivos (no experimentales) en el que el investigador busca recopilar datos por medio de un cuestionario previamente diseñado o una entrevista, sin modificar el entorno ni el fenómeno donde se recoge la información. (Johnson - Kuby, 2005).

Según el tipo de respuesta que será captada por el entrevistador, las encuestas se pueden dividir en dos tipos:

1.- De respuesta abierta: En estas encuestas se le pide al interrogado que responda el mismo a la pregunta formulada. Esto le otorga mayor libertad al entrevistado y al mismo tiempo posibilitan adquirir respuestas más profundas así como también preguntar sobre el por qué y cómo de las respuestas realizadas. Por otro lado, permite adquirir respuestas que no habían sido tenidas en cuenta a la hora de hacer los formularios y pueden crear así relaciones nuevas con otras variables y respuestas.

2.- De respuesta cerrada: En éstas, los encuestados deben elegir para responder una de las opciones que se presentan en un listado que formularon los investigadores. Esta manera de encuestar da como resultado respuestas más fáciles de cuantificar y de carácter uniforme. El problema que pueden presentar estas encuestas es que no se tenga en el listado una opción que coincida con la respuesta que se quiera dar, por esto lo ideal es siempre agregar la opción “otros”.

### **4.2 Diseño de la Encuesta**

Realizar una encuesta escrita que sea efectiva para el estudio, y a la vez atractiva y de fácil comprensión para el entrevistado no es un algoritmo matemático a seguir, y depende en gran parte de la destreza psicológica, claridad de lo que “se quiere saber” y mucha experiencia. Sin embargo diversos autores dejan algunas recomendaciones, de las cuales se consideraron las siguientes para este estudio:

- Escribir un borrador con lo que se quiere saber, este ayudara de mejor forma a organizar el cuestionario y formular las preguntas.
- Tratar de partir con preguntas interesantes, esto motivara al encuestado a seguir con el cuestionario.
- Utilizar un lenguaje simple y didáctico, evitar tecnicismos.
- Asegurarse de preguntar una sola cosa a la vez y ordenar las preguntas de forma lógica.
- Evitar la doble negación, conceptos difíciles y preguntas repetidas.
- Nombrar la encuesta y dar una breve reseña del objetivo, para que los encuestados conozcan cuál es el fin de la encuesta.

### **4.3 Escala de Likert**

La escala tipo Likert es un tipo de instrumento de medición o de recolección de datos que se dispone en la investigación social para medir actitudes. Consiste en un conjunto de ítems bajo la forma de afirmaciones o juicios ante los cuales se solicita la reacción (favorable o desfavorable, positiva o negativa) de los individuos (Malave, 2007).

Esta escala mide el grado en que se da una actitud o disposición por parte del encuestado, con respecto a las preguntas. Las respuestas generalmente varían entre “Muy de Acuerdo a Muy en Desacuerdo”. Tratando de caracterizar en alternativas todo el espectro de respuestas entres esos dos “polos”.

Los cuestionarios tipo escala de Likert han demostrado un reconocido rendimiento en investigaciones sociales en lo que se refiere a la medición de actitudes. Tomando en cuenta que la actitud, por su naturaleza subjetiva, no es susceptible de observación directa, ha de inferirse de la conducta manifiesta, en este caso, a través de la expresión verbal de los sujetos en investigaciones (Malave, 2007).

Finalmente, cabe señalar que una actitud “es una disposición psicológica, adquirida y organizada a través de la propia experiencia que incita al individuo a reacciones de una manera característica frente a determinadas personas, objetos o situaciones” (Fernández de Pinedo, 1982).

#### **4.4 Tablas de Contingencia**

En ciertas ocasiones, los elementos de una muestra tomada de una población pueden clasificarse de acuerdo a dos criterios diferentes. Por lo tanto, es importante conocer si estadísticamente los dos métodos de clasificación son estadísticamente independientes (Mendoza - Bautista, 2002).

Estas tablas se emplean principalmente en variables del tipo cualitativas (nominales u ordinales).

#### **4.5 Evaluación de los resultados obtenidos**

Hay que tener en claro que la escala de Likert es una escala ordinal, es decir no mide “cuanto más” favorable o desfavorable es una actitud en el(los) individuo(s), sino mide la tendencia hacia cierta forma de pensar y actuar.

Bajo este punto de vista, y haciendo uso de las tablas de contingencia para las variables que se van a cruzar, los resultados se evalúan principalmente en porcentajes y tendencias.

A pesar de esta limitación, la escala de Likert tiene la ventaja de que es fácil de a construir y de aplicar, y, además, proporciona una buena base para una primera ordenación de los individuos en la característica que se mide (Malave, 2007).



## 5. PROCEDIMIENTO APLICADO EN EL ESTUDIO

### 5.1 Encuesta de Percepción

#### 5.1.1 Diseño de la encuesta

La encuesta fue diseñada según las recomendaciones expuestas en el Capítulo 3, concibiéndose una encuesta de “respuesta cerrada”, a modo de estandarizar los resultados para así trabajarlo de mejor forma. Cabe mencionar que fue escrita con letra tamaño 12 e impresa en formato A4, para que alcanzara solo en una hoja y de esta forma no dar una primera imagen tan engorrosa al entrevistado.

El cuestionario aplicado fue el siguiente:

-----

### ENCUESTA SOBRE PERCEPCIÓN DE SEGURIDAD Y COMODIDAD PASARELA “MUTUAL DE SEGURIDAD” (DuocUc), CONCEPCIÓN.

Responda este cuestionario de acuerdo a sus experiencias previas, marcando con una x la casilla que más lo represente. No existen respuestas incorrectas.

Sexo:  Femenino.

Masculino.

#### 1. Frecuencia de uso de la estructura

- ¿Con que frecuencia transita por la pasarela?

No ocupo la pasarela.

Tres o menos días al mes.

Uno o dos días a la semana.

Tres o cuatro días a la semana.

Todos los días (lunes a viernes).

- La mayor parte del tiempo:

- No ocupo la pasarela.
- Paso solo.
- Es relativo, depende del día u hora.
- Paso con otra persona.
- Paso con dos o más personas.

## **2. Percepción de seguridad**

- ¿Considera que esta pasarela vibra?

- No ocupo la pasarela.
- No he sentido vibraciones.
- Apenas siento que vibra.
- Siento que vibra, pero de manera aceptable.
- Siento que vibra mucho.

## **3. Percepción de comodidad**

- Con respecto a las vibraciones:

- No ocupo la pasarela.
- No me molestan ni me generan desconfianza.
- Me molestan pero no me producen desconfianza.
- Me molestan y me producen desconfianza.
- Se vuelven molestas, me producen desconfianza y si pudiera evitaría pasar por ahí.

## **4. Percepción del material**

- ¿Qué opina del uso de madera en este tipo de estructuras?

(Puede justificar si lo desea)

- No me agrada.
  - Me es indiferente.
  - Me agrada.
-

### 5.1.2 Aplicación de la encuesta

Esta encuesta se realizó a 100 personas de entre 18 y 28 años, asumiéndose este como un número suficiente para tener una tendencia. Para aplicar la encuesta fue necesario considerar y controlar tres variables, las cuales pueden influir en la disponibilidad de los individuos para responder, y así no entregar la respuesta que verdaderamente los represente, disminuyendo la calidad de este estudio. Estas variables son:

- Lugar de aplicación: Si, bien lo ideal hubiese sido aplicar la encuesta en la propia estructura, no se puede inferir acerca de la disponibilidad de los usuarios para responder, por esto que fue aplicada en la biblioteca central del DuocUc, y si agregó la opción “no ocupo la pasarela”, en el caso de una respuesta negativa este cuestionario simplemente será descartado
- Fecha: La encuesta fue aplicada a principios de noviembre, asumiendo que en esta época los estudiantes no se encuentran en pruebas, por lo que el ambiente será más relajado y de buena disposición.
- Hora de la aplicación: El rango horario para aplicar el cuestionario fue entre 14:00 hrs y 17:00 hrs aproximadamente, esperando que los encuestados ya hayan almorzado y se encuentren haciendo hora para una eventual clase más tarde, a modo de apostarle a una buena disposición a responder.

### 5.1.3 Evaluación de los resultados obtenidos

Para evaluar los resultados recopilados, se realizaron las siguientes tablas de contingencia para conocer que frecuencias tiene cada variable medida al cruzarla con otra de interés:

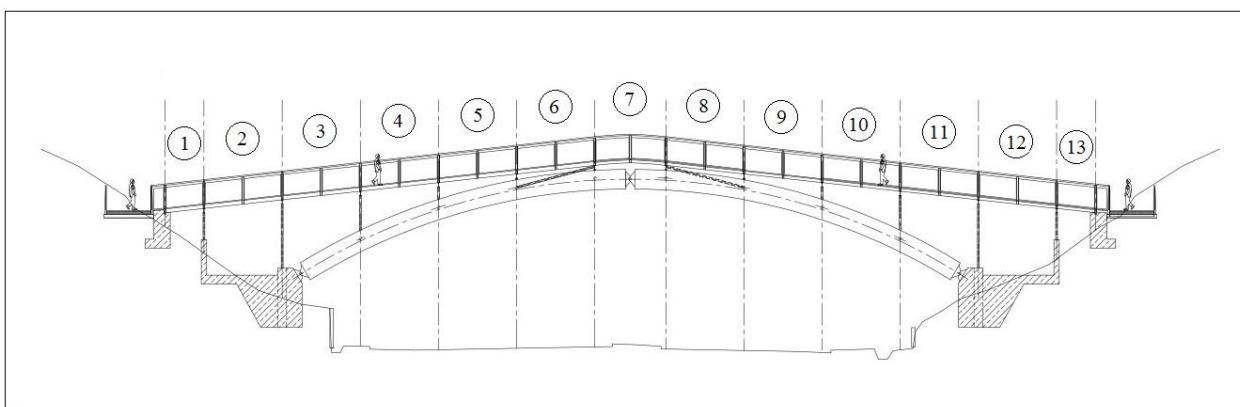
- a) Sexo – Percepción de seguridad
- b) Sexo – Percepción de comodidad
- c) Frecuencia de uso – Percepción de seguridad
- d) Frecuencia de uso – Percepción de comodidad
- e) Frecuencia de uso – Percepción del material
- f) Compañía – Percepción de seguridad
- g) Compañía – Percepción de comodidad
- h) Percepción de seguridad – Percepción del material
- i) Sexo – Percepción del material

Los resultados han sido evaluados haciendo un análisis estadístico no paramétrico de comparación de frecuencias.

## 5.2 Mediciones In-Situ

### 5.2.1 Discretización de la estructura

Para obtener mediciones representativas de la pasarela esta fue discretizada tramos, delimitados cada uno por los apoyos de la plataforma. De este modo se obtuvieron 13 tramos, enumerados en dirección Concepción-Talcahuano, como se puede ver en la Figura 6. Las luces libres, se pueden ver en la Tabla 1:



**Figura 6. Discretización de la estructura**

**Tabla 1. Luz Libre de los tramos para la Discretización de la Pasarela**

Tramo n°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Libre libre (m)	2.2	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4	4.4	4.4	4.4	4.3	4.4	2.2

### 5.2.2 Frecuencia natural de vibración de la estructura

#### a) Heel Drop Test

Un buen método para determinar la frecuencia natural ( $f_n$ ) de vibración de un puente peatonal es mediante el “Heel Drop Test” (o Prueba de la Caída del Talón), esta prueba consiste en que un sujeto se levanta sobre la punta de sus pies y deja caer libremente sus talones. La respuesta de la estructura es medida con acelerómetros.

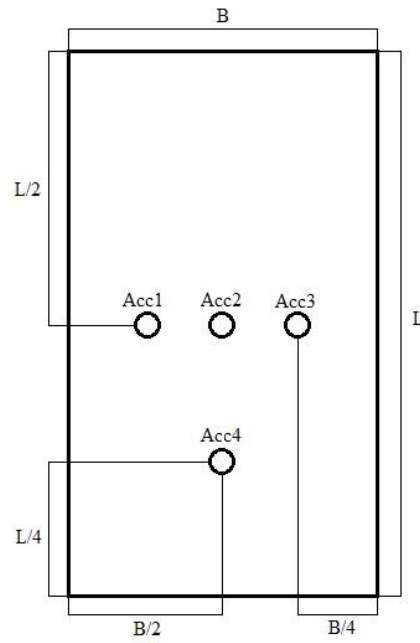
Una de las principales ventajas de este método es su simpleza al momento de la aplicación, dado que no se requiere una mayor preparación de parte del sujeto que aplicara la carga. Sin embargo, se hace necesario mencionar que la magnitud de la carga impulsiva aplicada es desconocida y puede variar entre una medición y otra.

El ensayo demuestra dar una excelente resolución de las frecuencias naturales en el rango de 2 a 15 Hz, aportando una apropiada cantidad de energía en este intervalo, lo que se corresponde bien con la gama de frecuencias de interés en los problemas de vibración en sistemas de piso (A. Blakeborough - M.S. Williams, 2003).

El tiempo de muestreo obedece a la atenuación de la vibración, por lo tanto la medición debe durar al menos el tiempo en que se produce la vibración, lo cual es generalmente 3 a 8 segundos. Con respecto a la frecuencia de muestreo a registrar, debe ser aproximadamente diez veces la frecuencia que produce la carga aplicada, siendo en el caso de análisis no mayor a 10 o 12 Hz, con lo cual una tasa de 100 Hz será adecuado (European Communities, 2006).

La frecuencia de muestreo a utilizar en este estudio fue de 110 Hz y el tiempo de medición fue de 6 segundos, considerándose este un tiempo suficiente para que se atenúen las vibraciones producidas por la caída del talón.

Los acelerómetros fueron dispuestos como lo indica la Figura 7, a modo de obtener el registro más representativo de cada tramo:



**Figura 7. (a) Disposición de los acelerómetros para mediciones heel drop**



**Figura 7. (a) Disposición del equipo para mediciones heel drop**

## b) Procesamiento de los datos obtenidos

Obtenidos los registros de aceleración bruta para los Heel Drop Test aplicados en cada tramo se hace necesario procesar estos datos, para esto se ocupa el software Matlab y el código utilizado se adjunta en el ANEXO D.

El procedimiento consistió en:

- Filtrar los registros, a modo de eliminar cualquier interferencia y/o ruido ambiental.
- Centrar la señal, a modo que oscile con respecto al eje de las abscisas.
- Aplicar la Transformada Rápida de Fourier (FFT), en esta transformación se procede a cambiar los registros en el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia. Esto se hace para observar la cantidad de energía asociada a cada frecuencia, finalmente la frecuencia con mayor amplitud (es decir la que concentre mayor energía) será la frecuencia natural de la estructura.

### *5.2.3 Carga aplicada a la estructura*

Asumiendo, según la literatura, que esta pasarela corresponde a un piso de baja frecuencia, se pretenderá resonar el primer modo de vibrar de los tramos con frecuencia natural más baja (estos tramos se elegirán según resultados del heel drop test).

La disposición de los acelerómetros será la siguiente: Se colocara un acelerómetro en “la mitad del tramo”, además se colocara uno en “la mitad de la mitad”, en el “límite entre tramos” y en “la mitad de la mitad del tramo siguiente” en el sentido del paso de peatones, tal como se observa en la Figura 8, a modo de captar la mayor cantidad de frecuencias y los mayores desplazamientos, y así entender de mejor forma el comportamiento del piso.

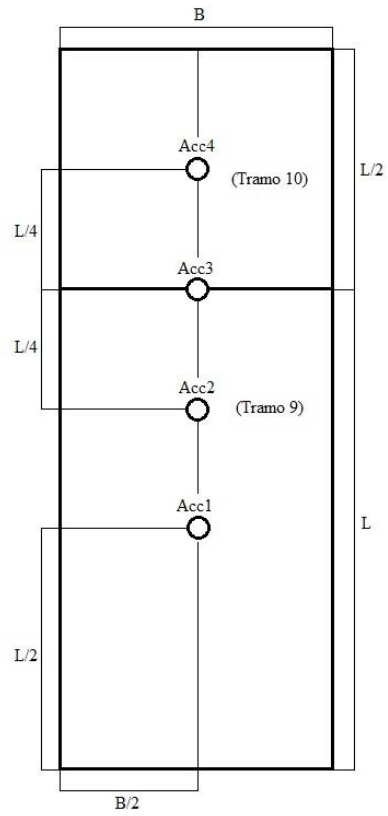


Figura 8. (a) Disposición de los acelerómetros para mediciones de caminatas sincronizadas



Figura 8. (b) Disposición de los acelerómetros para mediciones de caminatas sincronizadas



Las dos variables que se controlaron en este estudio fueron:

a) Masa de la carga

Para determinar la masa de la carga a aplicar se utiliza la distribución de peso de la población de Santiago de Chile, dado que no hay registro para las demás ciudades del país.

Para obtener un rango representativo se utiliza la media poblacional y la variación de  $\pm$  una desviación estándar, para mujeres y hombres por separado (Revista Médica de Chile, 2004).

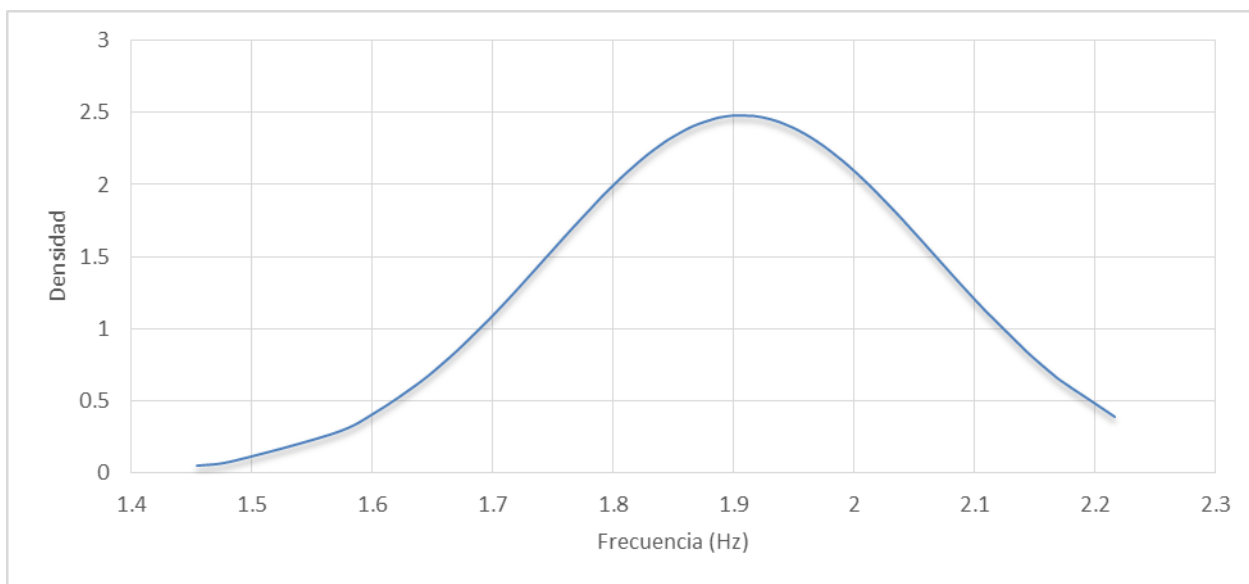
Tal como se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2. Distribución de masa poblacional para Santiago de Chile**

Sexo	Media (Kg)	Desv. estd. (Kg)	Valores de Carga (kg)		
			Menor	Medio	Mayor
Femenino	66	10	56	66	76
Masculino	76	11	65	76	87

b) Frecuencia de la carga

Para realizar el estudio de frecuencia in situ, se hizo una grabación en tiempo real de 100 usuarios de la estructura, luego se contabilizo el tiempo que tardaron en dar 15 pasos y haciendo el cuociente entre el número de pasos y el tiempo se obtuvo la siguiente distribución de frecuencia, con una media de 1.91 Hz y una desviación estándar de 0.16 Hz, mostrada en la Figura 11.



**Figura 11. Distribución de Frecuencias de Paso Medidas en Terreno**

En el Anexo B, se puede ver que el menor y mayor valor observado corresponde a 1.45 y 2.22 Hz respectivamente. Esto se respalda muy bien con la bibliografía, que nos indica que las frecuencias de caminar que producen excitación dinámica, fluctúan entre 1.5 a 2.5 Hz en base a un estudio midiendo la frecuencia de paso de 505 personas. (Matsumoto y Schulze, 1972 citado en Bachmann y Ammann, 1987).

Con la distribución de frecuencias de caminata real, mostrada anteriormente, y los resultados para el heel drop test, que serán expuestos conforme avance este estudio, se determinan las siguientes frecuencias de paso a modo de hacer vibrar el primer armónico: un medio de la frecuencia natural ( $\frac{1}{2} f_n$ ) del tramo y la media aritmética ( $f_x$ ) y percentil 90 ( $f_{90}$ ) de la distribución de frecuencias de paso obtenida anteriormente. Al momento de realizar las mediciones, estas frecuencias de caminata serán dadas a cada sujeto con un metrónomo, en beats por minuto (bpm). Los valores se pueden ver en la Tabla 3.

**Tabla 3. Frecuencias de Paso para Caminatas Sincronizadas**

Frecuencias	Hz	bpm
$\frac{1}{2} f_n$	1.77	106
$f_x$	1.91	115
$f_{90}$	2.11	127

Si bien los resultados del Heel Drop Test serán obtenidos conforme avance este estudio (específicamente en el Capítulo 6), en la tabla se indican todas las frecuencias a utilizar para darle un sentido numérico a estos valores teóricos.

#### 5.2.4 Respuesta del sistema bajo los criterios de serviciabilidad

Los criterios a utilizar fueron expuestos en el Capítulo 3, el Código MATLAB implementado se adjunta en el Anexo E y trabaja de la siguiente forma (para cada caminata):

- Se registran las aceleraciones en el dominio del tiempo,  $a(t)$ , inducidas por caminatas.
- Estas aceleraciones  $a(t)$  se convierten del dominio del tiempo al dominio de las frecuencias,  $a(f)$ .
- Estas aceleraciones ya convertidas  $a(f)$  se ponderan con el factor W (propio de cada norma),  $a_w(f)$ .
- Se cambian estos valores ya ponderados en el registro de las frecuencias nuevamente al registro del tiempo,  $a_w(t)$ .

- Se determinan la ARMS y obtienen la MTVV.
- Se calcula el factor R

Este factor R, propio de cada caminata, se evalúa según rangos expuestos en el Capítulo 3.

## 6. RESULTADOS EXPERIMENTALES

### 6.1 Resultados Mediciones In-Situ

#### 6.1.1 Frecuencia fundamental de piso

##### a) Resultados Mediciones heel drop

Utilizando el método explicado en el Capítulo 5, los gráficos están disponibles en el ANEXO H y los resultados obtenidos fueron los siguientes, mostrados en la Tabla 4:

**Tabla 4. Resultados por Tramo para mediciones de Heel Drop**

Tramo	Frecuencia Natural (Hz)			
	Acc1	Acc2	Acc3	Acc4
1	37.83	37.93	38.03	37.93
2	20.08	19.67	19.67	20.08
3	11.40	11.40	11.40	11.40
4	7.16	7.16	7.16	9.79
5	3.53	3.53	3.53	3.53
6	3.53	3.53	3.53	3.53
7	5.45	5.45	5.45	5.45
8	3.53	3.53	3.53	3.53
9	3.53	3.53	3.53	3.53
10	3.53	3.53	3.53	3.53
11	19.87	14.43	14.43	14.43
12	17.76	17.76	17.76	17.76
13	37.53	37.53	37.53	37.53

##### b) Análisis de resultados mediciones heel drop

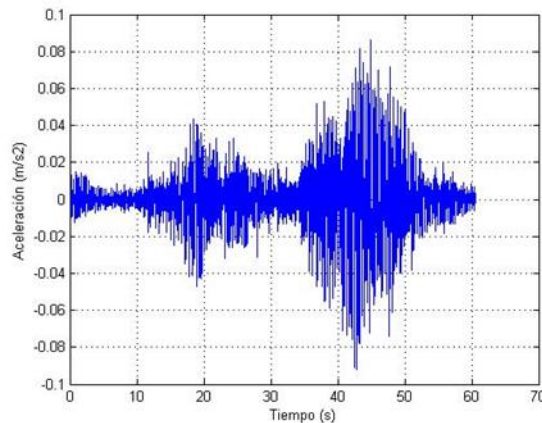
- Las frecuencias fundamentales medidas presentan concentraciones de energía en el rango esperado, 2 a 15 Hz según A. Blakeborough y M. S. Williams (2003), lo cual nos indica que el test de heel drop es adecuado para sistemas de baja frecuencia
- Si bien los tramos 1 y 13 presentan frecuencia natural mayor al límite, este se debe principalmente a la luz libre menor a los demás tramos (ver Tabla 11) y por esta misma razón no serán objeto de nuestro estudio.
- Finalmente, para una condición desfavorable, se medirán aceleraciones con caminatas sincronizadas en el “tramo 9” por los siguientes motivos:

- A menor frecuencia mayor será el tiempo que le tome al piso “disipar la energía” que recibe con cada paso.
- Es la frecuencia más fácil de hacer vibrar dado que múltiplos fraccionales de este valor caen dentro de la distribución de caminatas (Capítulo 4).
- Es el valor que más se repite (tramos 5, 6, 8, 9 y 10)

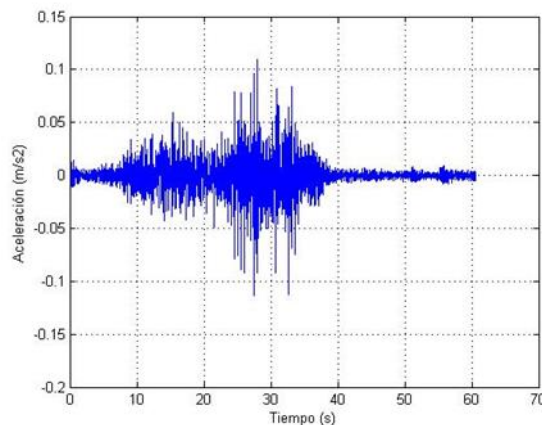
### 6.1.2 Vibraciones producidas por las caminatas

#### a) Resultados vibraciones medidas

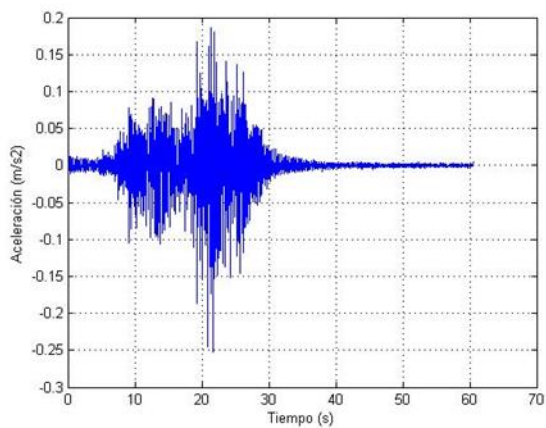
A continuación, en las Figuras 12 - 17 serán expuestos los acelerogramas obtenidos para el Acc1 (mayor vibración), en la caminata para un hombre de 65 kg y para una mujer de 56 kg. Los demás gráficos se pueden ver en el ANEXO J.



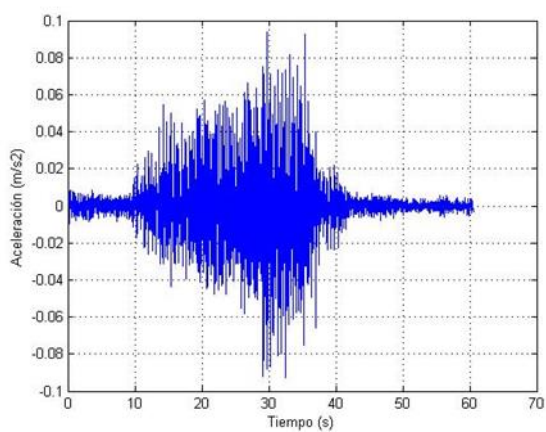
**Figura 12. Registro de aceleraciones hombre 65 kg, 1.77 Hz**



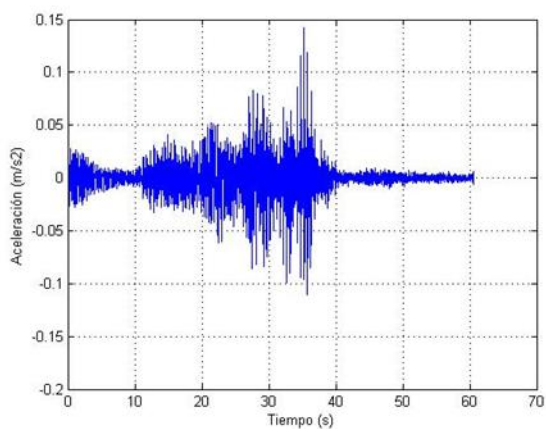
**Figura 13. Registro de aceleraciones hombre 65 kg, 1.92 Hz**



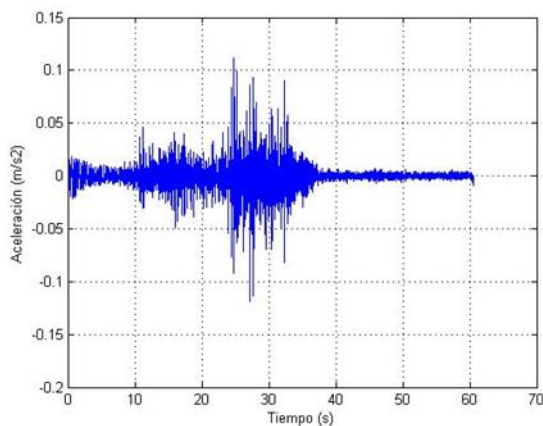
**Figura 14. Registro de aceleraciones hombre 65 kg, 2.11 Hz**



**Figura 15. Registro de aceleraciones mujer 56 kg, 1.77 Hz**



**Figura 16. Registro de aceleraciones mujer 56 kg, 1.91 Hz**



**Figura 17. Registro de aceleraciones mujer 56 kg, 2.11 Hz**

Las MTVV obtenidas para cada caso son expuestas en la Tabla 5 y la Tabla 6:

**Tabla 5. MTVV para hombre 65 kg, Acc1**

Hombre 65 Kg		
Frecuencia	F. Ponderador	MTVV (m/s <sup>2</sup> )
1,77 Hz	<i>wb</i>	0.0418
	<i>wk</i>	0.0446
	<i>wg</i>	0.0443
	<i>wm</i>	0.0363
1,92 Hz	<i>wb</i>	0.0339
	<i>wk</i>	0.0325
	<i>wg</i>	0.0254
	<i>wm</i>	0.0196
2,11 Hz	<i>wb</i>	0.0744
	<i>wk</i>	0.0737
	<i>wg</i>	0.0649
	<i>wm</i>	0.0541

**Tabla 6. MTVV para mujer 56 kg, Acc1**

Mujer 56 Kg		
Frecuencia	F. Ponderador	MTVV (m/s <sup>2</sup> )
1,77 Hz	<i>wb</i>	0.0488
	<i>wk</i>	0.0490
	<i>wg</i>	0.0426
	<i>wm</i>	0.0330
1,92 Hz	<i>wb</i>	0.0356
	<i>wk</i>	0.0351
	<i>wg</i>	0.0339
	<i>wm</i>	0.0300
2,11 Hz	<i>wb</i>	0.0342
	<i>wk</i>	0.0331
	<i>wg</i>	0.0265
	<i>wm</i>	0.0198

b) Análisis de resultados vibraciones medidas

El mayor nivel de vibraciones para el hombre de 65 kg se obtuvo para la frecuencia de 2.11 Hz, mientras que el mayor nivel de vibraciones para la mujer de 56 kg se obtuvo para la frecuencia de 1.7 Hz.

El menor nivel de vibraciones para el hombre de 65 kg se obtuvo para la frecuencia de 1.92 Hz, mientras que el menor nivel de vibraciones para la mujer de 56 kg se obtuvo para la frecuencia de 2,11 Hz.

Sin embargo, a pesar de lo anterior, no se observan diferencias significativas en los distintos niveles de aceleraciones registrados para cada caminata sincronizada.

### 6.1.3 Evaluación de Serviciabilidad

#### a) Resultados evaluación de serviciabilidad

Para cuantificar el nivel de vibraciones se utilizara el método expuesto en el Capítulo 5, denominado como el “factor R” para cada función ponderadora, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- Caminatas Sincronizadas Mujeres (Tabla 7, 8 y 9):

**Tabla 7. Factor R para caminata mujer 56 Kg**

Mujer 56 kg		Factor R			
Frecuencia	F. Ponderador	Acc 1	Acc 2	Acc 3	Acc4
1,77 Hz	<i>wb</i>	9.11	8.59	7.73	7.51
	<i>wk</i>	9.27	8.84	8.03	7.75
	<i>wg</i>	8.41	8.33	8.02	7.50
	<i>wm</i>	6.89	7.22	7.03	6.48
1,92 Hz	<i>wb</i>	6.85	5.85	5.41	7.37
	<i>wk</i>	6.74	5.91	5.58	7.29
	<i>wg</i>	5.57	5.24	4.96	5.79
	<i>wm</i>	4.20	4.07	3.86	4.22
2,11 Hz	<i>wb</i>	6.23	5.44	4.69	5.37
	<i>wk</i>	6.10	5.47	4.81	5.31
	<i>wg</i>	5.06	4.77	4.31	4.39
	<i>wm</i>	4.03	3.90	3.60	3.51



**Tabla 8. Factor R para caminata mujer 66 Kg**

Mujer 66 kg		Factor R			
Frecuencia	F. Ponderador	Acc 1	Acc 2	Acc 3	Acc4
1,77 Hz	<i>wb</i>	9.61	9.56	8.65	8.79
	<i>wk</i>	10.54	10.57	9.63	9.75
	<i>wg</i>	10.86	11.00	10.07	10.15
	<i>wm</i>	9.30	9.46	8.74	8.77
1,92 Hz	<i>wb</i>	6.54	6.14	5.53	6.33
	<i>wk</i>	6.78	6.48	5.79	6.54
	<i>wg</i>	6.38	6.32	5.64	5.97
	<i>wm</i>	4.99	5.02	4.52	4.65
2,11 Hz	<i>wb</i>	5.96	5.55	4.96	5.85
	<i>wk</i>	6.11	5.71	5.09	5.96
	<i>wg</i>	5.66	5.36	4.76	5.26
	<i>wm</i>	4.35	4.18	3.65	3.89

**Tabla 9. Factor R para caminata mujer 76 Kg**

Mujer 76 kg		Factor R			
Frecuencia	F. Ponderador	Acc 1	Acc 2	Acc 3	Acc4
1,77 Hz	<i>wb</i>	13.68	12.87	12.97	14.23
	<i>wk</i>	15.34	14.67	14.81	14.72
	<i>wg</i>	16.37	15.68	15.85	15.03
	<i>wm</i>	14.57	13.98	14.15	13.35
1,92 Hz	<i>wb</i>	10.04	7.52	6.80	10.67
	<i>wk</i>	9.97	7.88	7.41	10.68
	<i>wg</i>	8.70	7.72	7.55	9.34
	<i>wm</i>	7.10	6.50	6.47	7.34
2,11 Hz	<i>wb</i>	9.43	7.09	5.79	9.98
	<i>wk</i>	8.83	6.99	6.00	9.96
	<i>wg</i>	7.23	6.16	5.85	8.79
	<i>wm</i>	5.74	5.08	4.93	7.01

- Caminatas Sincronizadas Hombres (Tabla 10, 11 y 12)

**Tabla 10. Factor R para caminata hombre 65 Kg**

Hombre 65 kg		Factor R			
Frecuencia	F. Ponderador	Acc 1	Acc 2	Acc 3	Acc4
1,77 Hz	<i>wb</i>	9.05	8.75	7.91	7.71
	<i>wk</i>	9.94	9.67	8.79	8.56
	<i>wg</i>	10.19	10.03	9.17	8.89
	<i>wm</i>	8.80	8.75	8.05	7.77
1,92 Hz	<i>wb</i>	6.20	5.33	4.94	6.31
	<i>wk</i>	6.07	5.39	4.89	6.17
	<i>wg</i>	5.29	5.04	4.51	4.73
	<i>wm</i>	4.38	4.22	3.80	3.79
2,11 Hz	<i>wb</i>	11.17	9.85	8.48	9.31
	<i>wk</i>	11.37	10.29	9.09	9.71
	<i>wg</i>	10.44	10.04	9.06	9.08
	<i>wm</i>	8.82	8.70	7.97	7.85

**Tabla 11. Factor R para caminata hombre 76 Kg**

Hombre 76 kg		Factor R			
Frecuencia	F. Ponderador	Acc 1	Acc 2	Acc 3	Acc4
1,77 Hz	<i>wb</i>	7.74	6.95	6.37	6.25
	<i>wk</i>	7.72	7.05	6.63	6.47
	<i>wg</i>	7.07	6.64	6.42	6.17
	<i>wm</i>	5.44	5.25	5.32	5.10
1,92 Hz	<i>wb</i>	8.28	6.06	5.50	7.81
	<i>wk</i>	8.30	6.00	5.58	7.82
	<i>wg</i>	6.41	4.97	4.80	6.14
	<i>wm</i>	4.53	3.62	3.53	4.24
2,11 Hz	<i>wb</i>	8.33	6.63	5.69	7.83
	<i>wk</i>	7.97	6.40	5.61	7.43
	<i>wg</i>	6.09	5.24	4.82	5.33
	<i>wm</i>	4.66	4.17	3.98	4.11

**Tabla 12. Factor R para caminata hombre 87 Kg**

Hombre 87 kg		Factor R			
Frecuencia	F. Ponderador	Acc 1	Acc 2	Acc 3	Acc4
1,77 Hz	<i>wb</i>	11.04	10.73	10.74	10.25
	<i>wk</i>	12.34	12.03	12.10	11.51
	<i>wg</i>	12.90	12.66	12.79	12.13
	<i>wm</i>	11.23	11.07	11.24	10.64
1,92 Hz	<i>wb</i>	6.96	6.59	6.63	6.68
	<i>wk</i>	7.41	7.08	7.15	7.16
	<i>wg</i>	7.29	7.08	7.19	7.07
	<i>wm</i>	5.99	5.86	6.00	5.78
2,11 Hz	<i>wb</i>	6.30	5.24	4.66	5.51
	<i>wk</i>	6.19	5.24	4.80	5.37
	<i>wg</i>	5.21	4.72	4.49	4.61
	<i>wm</i>	3.87	3.57	3.45	3.46

Los resultados en bruto se pueden ver en el ANEXO I y los gráficos para cada medición en el ANEXO J.

b) Análisis de resultados

Para hacer un análisis de datos menos engorroso, en la Tabla 13 para Mujeres y Tabla 14 para Hombres se comparan niveles de vibraciones obtenidos al ponderar con “ $W_b$ ”, que es el que muestra el mayor nivel de vibraciones (44.44% de los casos) y en el Acc 1, que es donde se producen las vibraciones más desfavorables.

**Tabla 13. Caminatas mujeres ponderadas con factor  $W_b$**

Mediciones Mujeres Acc 1		Frecuencias (Hz)		
Factor $W_b$ - BS 6472-1:2008		1,77	1,92	2,11
Masa (kg)	65	9.11	6.85	6.23
	76	9.61	6.54	5.96
	87	13.68	10.04	9.43

Para cada masa se obtuvo una disminución del registro de aceleraciones a medida que aumentaba la frecuencia, mientras que para cada frecuencia no se observó ningún patrón para todos los casos. Sin embargo, los mayores niveles de aceleración se obtuvieron para la mayor masa (87 kg).

**Tabla 14. Caminatas hombres ponderadas con factor  $W_b$**

Mediciones Hombres Acc 1 Factor $W_b$ -BS 6472-1:2008		Frecuencias (Hz)		
		1,77	1,92	2,11
Masa (kg)	65	9.05	6.20	11.17
	76	7.74	8.28	8.33
	87	11.04	6.96	6.30

Acá se observa que la masa y la frecuencia no siguieron ningún patrón. El mayor registro de aceleraciones se produjo para los 65 kg a una frecuencia de 2.11 Hz

## 6.2 Resultados Encuesta de Percepción

### 6.2.1 Cruce de variables (tablas de contingencia)

Como se expuso en el capítulo 4, las encuestas serán evaluadas cruzando variables de interés. Algunas tablas de contingencia y sus frecuencias se pueden ver a continuación, las restantes se encuentran en el ANEXO F los gráficos están disponibles en el ANEXO G:

#### a) Sexo – Percepción de seguridad

En la Tabla 15 se puede ver que un 9,5% de las encuestadas y un 8,6% de los encuestados consideran que la pasarela vibra mucho, por lo que se puede decir que el 91% del total tiene una buena percepción de seguridad de esta estructura. Además, del total de encuestados un 83% ha sentido vibraciones.

**Tabla 15. Sexo del encuestado vs Percepción de Seguridad**

			¿Considera que esta pasarela vibra?				Total
			No he sentido vibraciones	Apenas siento que vibra	Siento que vibra, pero de manera aceptable	Siento que vibra mucho	
Sexo del encuestado	Femenino	Recuento	5	12	21	4	42
		% dentro de Sexo del encuestado	11,9%	28,6%	50,0%	9,5%	100,0%
	Masculino	Recuento	12	13	28	5	58
		% dentro de Sexo del encuestado	20,7%	22,4%	48,3%	8,6%	100,0%
Total		Recuento	17	25	49	9	100
		% dentro de Sexo del encuestado	17,0%	25,0%	49,0%	9,0%	100,0%

b) Sexo – Percepción de comodidad

De la Tabla 16 se puede decir que a un 64,2% de las encuestadas y un 86,2% de los encuestados no le generan desconfianza las vibraciones producidas, esto corresponde a un 77% del total. Además, del total de encuestados, a un 47% le molestan las vibraciones producidas.

**Tabla 16. Sexo del Encuestado vs Percepción de Comodidad**

			Con respecto a las vibraciones				Total
			No me molestan ni generan desconfianza	me molestan pero no me producen desconfianza	Me molestan y me producen desconfianza	Se vuelven molestas, me producen desconfianza y si pudiera evitaría pasar por ahí	
Sexo del encuestado	Femenino	Recuento	19	8	11	4	42
		% dentro de Sexo del encuestado	45,2%	19,0%	26,2%	9,5%	100,0%
	Masculino	Recuento	34	16	4	4	58
		% dentro de Sexo del encuestado	58,6%	27,6%	6,9%	6,9%	100,0%
Total		Recuento	53	24	15	8	100
		% dentro de Sexo del encuestado	53,0%	24,0%	15,0%	8,0%	100,0%

c) Percepción de seguridad – Percepción del material

En la tabla 17 se puede ver que, a un 47,1% de los usuarios que no han sentido vibraciones les agrada el uso de la madera estructural, versus un 17,6% al que no. A medida que los usuarios comienzan a sentir vibraciones el porcentaje de desaprobación de la madera comienza a aumentar, llegando hasta un 46,9% para los que sienten que vibra de manera aceptable. Un análisis separado merecen los que manifiestan que la pasarela vibra mucho, dado que un 22,2% siente agrado por la madera en este tipo de estructuras versus un 44,4% al que no le agrada.

**Tabla 17. Percepción de Seguridad vs Percepción del Material**

			¿Que opina del uso de madera en este tipo de estructuras?			Total
			No me agrada	Me es indiferente	Me agrada	
¿Considera que esta pasarela vibra?	No he sentido vibraciones	Recuento	3	6	8	17
		% dentro de ¿Considera que esta pasarela vibra?	17,6%	35,3%	47,1%	100,0%
	Apenas siento que vibra	Recuento	9	12	4	25
		% dentro de ¿Considera que esta pasarela vibra?	36,0%	48,0%	16,0%	100,0%
	Siento que vibra, pero de manera aceptable	Recuento	23	18	8	49
		% dentro de ¿Considera que esta pasarela vibra?	46,9%	36,7%	16,3%	100,0%
	Siento que vibra mucho	Recuento	4	3	2	9
		% dentro de ¿Considera que esta pasarela vibra?	44,4%	33,3%	22,2%	100,0%
Total		Recuento	39	39	22	100
		% dentro de ¿Considera que esta pasarela vibra?	39,0%	39,0%	22,0%	100,0%

d) Sexo – Percepción del material

En la tabla 18 se puede ver que un 52,4% de las encuestadas manifestó no sentir agrado por el uso de la madera en este tipo de estructuras versus un 19% que si manifestó agrado, esto es una diferencia de más del doble. Distinto es el caso de los hombres donde un 29,3% manifestó no sentir agrado por el uso de la madera en este tipo de estructuras versus un 24,1% que si manifestó agrado, esto es una diferencia mínima, lo que indica que las mujeres tienen un percepción más negativa en el uso de la madera que nos hombres.

**Tabla 18. Sexo del Encuestado vs Percepción del Material**

			¿Que opina del uso de madera en este tipo de estructuras?			Total
			No me agrada	Me es indiferente	Me agrada	
Sexo del encuestado	Femenino	Recuento	22	12	8	42
		% dentro de Sexo del encuestado	52,4%	28,6%	19,0%	100,0%
	Masculino	Recuento	17	27	14	58
		% dentro de Sexo del encuestado	29,3%	46,6%	24,1%	100,0%
Total		Recuento	39	39	22	100
		% dentro de Sexo del encuestado	39,0%	39,0%	22,0%	100,0%

6.2.2 Conclusiones encuesta de percepción

Para la pasarela en estudio se puede concluir que no presenta mayores problemas vibratorios, sin embargo hay algunas variables que conviene analizar:

- El sexo no es un factor determinante para la percepción de seguridad y percepción de comodidad, dado que indistintamente hombres como mujeres tienen porcentajes similares para cada opción, en cambio, al analizar la percepción del material nos encontramos con una situación distinta, donde un 52,4% de las mujeres encuestadas afirma que “No le agrada” el uso de la madera en ese tipo de estructuras, mientras que en el caso de los hombres solo un 29,3% piensa lo mismo. Esto es una diferencia importante, por lo que en las mediciones se corroborara si las vibraciones percibidas por las mujeres efectivamente son mayores que para los hombres o solo se trata de un tema de predisposición.

- La frecuencia de uso tampoco influye en la percepción de seguridad, dado que, para todos los casos el porcentaje de usuarios que siente que la pasarela “vibra mucho” es a los más un 12%, llegando incluso al 0%. Misma situación para la percepción de comodidad, donde para todas estas frecuencias el porcentaje de usuarios que siente que la pasarela “le produce desconfianza” se mueve alrededor del 15%, llegando incluso al 5% en un caso. Para la frecuencia de uso - percepción del material, nos encontramos que el tamaño de la muestra ordenada por categoría no es representativo, sin embargo, haciendo un análisis al total se puede ver que a un 22% le agrada el material v/s un 39% que señala que no.

- El nivel de compañía al utilizar la pasarela no condiciona la percepción de seguridad ni la de comodidad, pues para ambos cruces la tendencia se mantiene, donde de total solo un 9% y un 23% siente que la pasarela “vibra mucho” y “Le produce desconfianza”, respectivamente.

- Al comparar la percepción de seguridad con la percepción del material, nos encontramos con que a medida que el nivel de vibraciones aumenta la percepción del material baja, pasando de “me agrada” a “no me agrada”. Es lógico pensar así, si el usuario siente que una pasarela de madera vibra mucho, no va a querer más pasarelas de madera.

- Un resultado curioso se encontró al cruzar las variables Sexo y percepción del material. Para este análisis se puede comentar que, un 52,4% de las encuestadas manifestó que “no le agrada” el uso de la madera en este tipo de estructuras, mientras que de los encuestados, solo un 29,3% manifestó esta opción. Esto representa un 39% del total contra un 22% que manifestó agrado, siendo que en los puntos anteriores no se observaron mayores problemas con las vibraciones, sin lugar a dudas para un mayor análisis que escapa de esta investigación, sin embargo y a primera vista, se puede pensar en una “mala visión” de la madera en Chile, tal vez por sus otros usos, como por ejemplo, viviendas sociales.

En conclusión, estamos ante una estructura que no presenta mayores problemas vibratorios, si bien un porcentaje de los usuarios la considera insegura e incómoda y no le agrada su materialidad, esto puede deberse a una condición intrínseca y no a un “para todo”. Lo importante a rescatar es que independiente del sexo, frecuencia de uso y del nivel de compañía esta pasarela es considerada segura por un 91% y cómoda por un 77% de los usuarios.

### **6.3 Comparación y Coherencia entre Resultados**

En las encuestas se concluyó que tanto hombres como mujeres percibían el nivel de vibraciones de manera similar, sin embargo la percepción del material hacía pensar que la mujer podría sentir las vibraciones un tanto mayores a los hombres. Esto se comprueba, dado que haciendo una comparación entre la tabla 21 y la tabla 22 se puede ver que el nivel de vibraciones para las mujeres tiende a ser mayor, explicándose de esta forma lo expuesto anteriormente.

Los resultados Mediciones-Encuesta son coherentes, debido a que en la evaluación de serviciabilidad los factores R en ningún caso superaron el límite 30 (incómoda para alguien detenido mientras otro peatón viene caminando), mientras que en las encuestas la pasarela tuvo una buena evaluación



## 7. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

Según los criterios de serviciabilidad expuestos se puede ver que para todos los casos el nivel de vibraciones es aceptable y cumple al 100% según lo establecido por la ISO 10137, no volviéndose molesto ni para alguien que este detenido en la pasarela ni menos para alguien que vaya caminando.

Se puede ver además, que para cada sexo, masa, frecuencia y función ponderadora el nivel de aceleraciones se produce de manera decreciente desde el Acelerómetro 1 al Acelerómetro 3. Esto se debe a que, según lo esperado, el mayor nivel de vibraciones se produciría en la mitad de la luz libre del tramo, mientras que a medida de que se acerque al apoyo, las vibraciones disminuirían.

Es pertinente mencionar que el nivel de vibraciones no siguió un patrón común, como probablemente lo esperaba el lector, es decir, la aceleración no obedeció en todos los casos a aumentar a medida que aumentaba la masa o la frecuencia. Por lo que es probable que existan variables que influyan y que escapen a esta investigación, como lo son el viento, la temperatura ambiente, la distancia entre pasos, etc.

Para el 89 % de las mediciones en mujeres y el 100% en hombres, el factor ponderador que nos entregó menores niveles de vibración (es decir menos castigador para estos rangos de frecuencias) es el “ $W_m$ ”, expuesto en la norma ISO 2631-2:2003.

Para el 44% de las mediciones en mujeres y hombres, el factor ponderador que nos entregó mayores niveles de vibraciones (es decir más castigador para estos rangos de frecuencia) es el “ $W_b$ ”, expuesto en la norma BS 6472-1:2008, seguido del  $W_k$  (33.33%) expuesto en la norma ISO 2631-1:1997 y el “ $W_g$ ” (22.22%) expuesto en la norma ISO 10137:2007.

Por otra parte, como comentarios para futuras investigaciones se destacan los siguientes:

- Es conveniente en las encuestas considerar un espacio muestral amplio para evitar datos no representativos.
- Es conveniente realizar las mediciones una semana tipo, donde el viento y la temperatura no varíen significativamente.
- Es conveniente modelar la estructura, dado que acá presentamos valores empíricos de una estructura que pudo ser afectada por condiciones ambientales, por ejemplo el Terremoto del 27/F.

**REFERENCIAS**

- [1] AISC (2003) "Floor Vibration Due to Human Activity" AISC 11. American Institute Steel Construction. EE.UU.
- [2] Bachmann, H. y Ammann W. (1987) "Vibrations in Structures: Induced by Man and Machines." International Association for Bridge and Structural Engineering. Zürich.
- [3] Blakeborough, A. y Williams, M.S. (2003) "Measurement of floor vibrations using a heel drop test". Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Department of Engineering Science, University of Oxford.
- [4] BS 6472 (2008) "Guide to Evaluation of Human Exposure to Vibration in Buildings – Part 1: Vibrations Sources Other Than Blasting. BS 6472-1". British Standard.
- [5] European Communities (2006) "Generalization of Criteria for Floor Vibration for Industrial, Office, Residential and Public Buildings and Gymnastic Hall." Publication of the European Communities 2006. Luxemburgo.
- [6] Fernández de Pinedo, I. (1982) "Construcción de una escala de actitudes tipo Likert". NTP 15, Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. España.
- [7] Hauksson, F. (2005) "Dynamic behavior of footbridges to people induce vibrations". Lund, Suecia.
- [8] ISO (1997) "Mechanical Vibration and Shock-Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration- Part 1: General Requirements. ISO 2631-1." International Organization for Standardization. Suiza.
- [9] ISO (2003) "Mechanical Vibration and Shock-Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration- Part 2: Vibration in Buildings (1 Hz to 80 Hz). ISO 2631-2." International Organization for Standardization. Switzerland.
- [10] ISO (2007) "Bases for design of structures, Serviceability of buildings and walkways against vibrations". ISO 10137." International Organization for Standardization. Switzerland.

- [11] Johnson, R. y Kuby P. (2005) “Estadística elemental, lo esencial”. 3ª ed. México, Thomson Ediciones.
- [12] Malave, N. (2007) “Trabajo modelo para enfoques de investigación acción participativa: Escala tipo likert”. Programas Nacionales de Formación. Venezuela, Universidad Politécnica Experimental de Paria.
- [13] Mendoza, H. y Bautista, G. (2002) “Probabilidad y Estadística”. Universidad Nacional de Colombia.
- [14] Revista médica de Chile [en línea]. Santiago, Chile. Universidad de Chile, 2004. Disponible en <http://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872004001100007>[consulta 27/02/2014] ISSN 0034-9887
- [15] SCI (2009)” Design of Floors for Vibration: A New Approach. SCI P354.” The Steel Construction Institute. United Kingdom.
- [16] Willford M. y Young P. (2005) “Improved methodologies for the prediction of footfall induces vibration” Proceedings of 6<sup>th</sup> European Conference on Structural Dynamic. París. France. Septiembre.
- [17] Zivanovic S., Racić V., El-Bahnasy I. (2007) “Statistical characterisation of parameters defining human walkingas observed on an indoor passerelle”. Department of Civil and Structural Engineering, University of Sheffield, Sheffield, United Kingdom.

**ANEXOS**

## INDICE ANEXOS

ANEXO A: Especificaciones Técnicas.....	52
ANEXO B: Frecuencia de Caminatas.....	54
ANEXO C: Factores Ponderadores.....	59
ANEXO D: Códigos Matlab para Heel Drop Test.....	60
ANEXO E: Códigos Matlab para Caminatas Sincronizadas.....	64
ANEXO F: Tablas de Contingencia Encuestas.....	71
ANEXO G: Gráficos Encuestas.....	75
ANEXO H: Gráficos Heel Drop Test.....	80
ANEXO I: Resultados en Bruto.....	89
ANEXO J: Gráficos de Aceleraciones.....	98

## INDICE FIGURAS

Figura 18. Gráfico sexo-percepción de seguridad.....	75
Figura 19. Gráfico sexo-percepción de comodidad.....	75
Figura 20. Gráfico frecuencia de uso – percepción de seguridad.....	76
Figura 21. Gráfico frecuencia de uso – percepción de comodidad.....	76
Figura 22. Gráfico frecuencia de uso – percepción del material.....	77
Figura 23. Gráfico compañía – percepción de seguridad.....	77
Figura 24. Gráfico compañía – percepción de comodidad.....	78
Figura 25. Gráfico percepción de seguridad – percepción del material.....	78
Figura 26. Gráfico sexo – percepción del material.....	79
Figura 27.1 Gráfico acelerómetro 1.....	80
Figura 27.2 Gráfico acelerómetro 2.....	80
Figura 27.3 Gráfico acelerómetro 3.....	80
Figura 27.4 Gráfico acelerómetro 4.....	80
Figura 28.1 Gráfico acelerómetro 1.....	80
Figura 28.2 Gráfico acelerómetro 2.....	80
Figura 28.3 Gráfico acelerómetro 3.....	81
Figura 28.4 Gráfico acelerómetro 4.....	81
Figura 29.1 Gráfico acelerómetro 1.....	81
Figura 29.2 Gráfico acelerómetro 2.....	81

	50
Figura 29.3 Gráfico acelerómetro 3.....	81
Figura 29.4 Gráfico acelerómetro 4.....	81
Figura 30.1 Gráfico acelerómetro 1.....	82
Figura 30.2 Gráfico acelerómetro 2.....	82
Figura 30.3 Gráfico acelerómetro 3.....	82
Figura 30.4 Gráfico acelerómetro 4.....	82
Figura 31.1 Gráfico acelerómetro 1.....	82
Figura 31.2 Gráfico acelerómetro 2.....	82
Figura 31.3 Gráfico acelerómetro 3.....	83
Figura 31.4 Gráfico acelerómetro 4.....	83
Figura 32.1 Gráfico acelerómetro 1.....	83
Figura 32.2 Gráfico acelerómetro 2.....	83
Figura 32.3 Gráfico acelerómetro 3.....	83
Figura 32.4 Gráfico acelerómetro 4.....	83
Figura 33.1 Gráfico acelerómetro 1.....	84
Figura 33.2 Gráfico acelerómetro 2.....	84
Figura 33.3 Gráfico acelerómetro 3.....	84
Figura 33.4 Gráfico acelerómetro 4.....	84
Figura 34.1 Gráfico acelerómetro 1.....	84
Figura 34.2 Gráfico acelerómetro 2.....	84
Figura 34.3 Gráfico acelerómetro 3.....	85
Figura 34.4 Gráfico acelerómetro 4.....	85
Figura 35.1 Gráfico acelerómetro 1.....	85
Figura 35.2 Gráfico acelerómetro 2.....	85
Figura 35.3 Gráfico acelerómetro 3.....	85
Figura 35.4 Gráfico acelerómetro 4.....	85
Figura 36.1 Gráfico acelerómetro 1.....	86
Figura 36.2 Gráfico acelerómetro 2.....	86
Figura 36.3 Gráfico acelerómetro 3.....	86
Figura 36.4 Gráfico acelerómetro 4.....	86
Figura 37.1 Gráfico acelerómetro 1.....	86
Figura 37.2 Gráfico acelerómetro 2.....	86
Figura 37.3 Gráfico acelerómetro 3.....	87

	51
Figura 37.4 Gráfico acelerómetro 4.....	87
Figura 38.1 Gráfico acelerómetro 1.....	87
Figura 38.2 Gráfico acelerómetro 2.....	87
Figura 38.3 Gráfico acelerómetro 3.....	87
Figura 38.4 Gráfico acelerómetro 4.....	87
Figura 39.1 Gráfico acelerómetro 1.....	88
Figura 39.2 Gráfico acelerómetro 2.....	88
Figura 39.3 Gráfico acelerómetro 3.....	88
Figura 39.4 Gráfico acelerómetro 4.....	88

## **INDICE TABLAS**

Tabla 19. Frecuencia de paso peatón 1-25.....	54
Tabla 20. Frecuencia de paso peatón 26-50.....	55
Tabla 21. Frecuencia de paso peatón 51-75.....	56
Tabla 22. Frecuencia de paso peatón 76-100.....	57
Tabla 23. Resultados frecuencia de paso.....	57
Tabla 24. Número elementos por rango.....	58
Tabla 25. Factores ponderadores para cada normativa.....	59
Tabla 26. Frecuencia de uso v/s Percepción de seguridad.....	71
Tabla 27. Frecuencia de uso v/s Percepción de comodidad.....	72
Tabla 28. Frecuencia de uso v/s Percepción del material.....	73
Tabla 29. Compañía v/s Percepción de seguridad.....	73
Tabla 30. Compañía v/s Percepción de comodidad.....	74

## ANEXO A: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

### 1. Infraestructura

- Hormigón en fundaciones calidad H-30 con una resistencia característica a la compresión de 250 kg/cm<sup>2</sup>, con un 95% de nivel de confianza.
- Emplantillado calidad H-5
- Acero de refuerzo A 63-42H, con resaltes, con una tensión mínima a la fluencia de 4200 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Recubrimiento 5 cm.
- Un especialista en mecánica de suelos debe verificar en terreno que el suelo de fundación sea apto para fundar la estructura, comprobando además que esté presente una capacidad de soporte mínima igual a:

$$\sigma_{estático} = 1,0 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$\sigma_{sismico} = 1,5 \frac{Kg}{cm^2}$$

En caso contrario hacer mejoramiento de terreno con arena tipo bío-bío, compactada en capas de 20 cm, con un 80% DR, o 95% Proctor modificado.

### 2. Superestructura

#### 2.1 Madera Laminada

- Grado estructural G1 (Pino Radiata)
- Laminas grado A en los tercios superior e inferior y grado B en el tercio central.
- Adhesivo de laminación: Resorsivol formaldehido.
- Pernos de unión SAE 10-20
- Placa de conexión A 42-27 ES

#### 2.2 Acero Estructural

- Acero estructural A 42-27 ES, con una resistencia mínima a la fluencia de 2700 Kg/cm<sup>2</sup>.



- Protección anticorrosiva mediante un galvanizado en caliente por inmersión y un galvanizado en frío de aquellos lugares de las estructuras que no puedan ser galvanizados en caliente o donde se realicen soldaduras en terreno.

- Soldadura con electricidad E70XX según la AWS.

- Pernos de unión calidad SAE 1020.

### *2.3 Placa de Madera Tensada*

- Láminas de madera de pino radiata grado estructural Gs o G1, de acuerdo a la norma NCh1189 Of 91.

- Tensores de acero de alta resistencia tipo “Dywidag”, deben cumplir las normas ASTM A722-82 y ASTM A615-82. Protección anticorrosiva por medio de galvanizado en caliente.

- Procedimiento construcción placa tensado:

1. – Colocar piezas de madera, previamente perforadas, según detalle de planta indicado en Lámina 03/07, cuidando de mantener los traslajos alternados.

2.- A medida que se colocan las piezas de madera se deben ir colocando los tensores de acero que las atraviesan.

3.- Una vez que se hayan colocado las piezas de madera se deben colocar los perfiles U 180 laterales.

4.- Cuando se hayan colocado todos los elementos se procederá al primer tensado, el que corresponderá al 50% de la tensión indicada, es decir 2625 Kg/cm<sup>2</sup>

5.- Una vez que todos los tensores se hayan tensado a esta tensión. Se procede a aplicar el segundo tensado, de manera de llegar al 100% de la tensión final, es decir. 5250 Kg/cm<sup>2</sup>.

6.- Cuando se haya llegado al 100% de la tensión final en todos los tensores, es procede a un último tensado, de manera de asegurar una tensión uniforme.

**ANEXO B: Frecuencia de Caminatas**

Los registros para las mediciones de caminatas se pueden ver en las siguientes tablas:

**Tabla 19. Frecuencia de paso peatón 1-25**

Peaton n°	Cantidad de pasos	Tiempo (s)	Frecuencia (Hz)
1	15	7.82	1.92
2	15	8.53	1.76
3	15	8.19	1.83
4	15	8.23	1.82
5	15	7.62	1.97
6	15	8.29	1.81
7	15	8.31	1.81
8	15	7.82	1.92
9	15	7.22	2.08
10	15	8.53	1.76
11	15	7.57	1.98
12	15	6.94	2.16
13	15	7.13	2.10
14	15	7.57	1.98
15	15	8.04	1.87
16	15	7.22	2.08
17	15	7.74	1.94
18	15	8.73	1.72
19	15	8.16	1.84
20	15	7.89	1.90
21	15	7.11	2.11
22	15	8.64	1.74
23	15	7.70	1.95
24	15	7.60	1.97
25	15	7.00	2.14

**Tabla 20. Frecuencia de paso peatón 26-50**

Peaton n°	Cantidad de pasos	Tiempo (s)	Frecuencia (Hz)
26	15	6.94	2.16
27	15	8.21	1.83
28	15	7.52	1.99
29	15	6.91	2.17
30	15	7.44	2.02
31	15	6.98	2.15
32	15	8.36	1.79
33	15	7.15	2.10
34	15	7.83	1.92
35	15	7.63	1.97
36	15	7.22	2.08
37	15	7.53	1.99
38	15	8.32	1.80
39	15	8.15	1.84
40	15	7.28	2.06
41	15	7.31	2.05
42	15	8.99	1.67
43	15	7.37	2.04
44	15	7.35	2.04
45	15	7.48	2.01
46	15	7.22	2.08
47	15	8.82	1.70
48	15	8.80	1.70
49	15	8.19	1.83
50	15	7.64	1.96

**Tabla 21. Frecuencia de paso peatón 51-75**

Peaton n°	Cantidad de pasos	Tiempo (s)	Frecuencia (Hz)
51	15	7.80	1.92
52	15	6.93	2.16
53	15	7.33	2.05
54	15	8.64	1.74
55	15	6.96	2.16
56	15	7.34	2.04
57	15	9.00	1.67
58	15	7.50	2.00
59	15	8.15	1.84
60	15	8.50	1.76
61	15	7.65	1.96
62	15	8.31	1.81
63	15	8.12	1.85
64	15	7.69	1.95
65	15	9.15	1.64
66	15	8.38	1.79
67	15	10.31	1.45
68	15	10.11	1.48
69	15	7.77	1.93
70	15	8.84	1.70
71	15	7.68	1.95
72	15	7.91	1.90
73	15	8.96	1.67
74	15	8.77	1.71
75	15	7.54	1.99

**Tabla 22. Frecuencia de paso peatón 76-100**

Peaton n°	Cantidad de pasos	Tiempo (s)	Frecuencia (Hz)
76	15	9.03	1.66
77	15	7.66	1.96
78	15	6.77	2.22
79	15	7.96	1.88
80	15	7.68	1.95
81	15	7.22	2.08
82	15	8.53	1.76
83	15	7.77	1.93
84	15	9.56	1.57
85	15	7.89	1.90
86	15	8.35	1.80
87	15	8.23	1.82
88	15	7.12	2.11
89	15	7.94	1.89
90	15	7.19	2.09
91	15	7.68	1.95
92	15	8.18	1.83
93	15	8.50	1.76
94	15	7.60	1.97
95	15	7.53	1.99
96	15	7.44	2.02
97	15	8.85	1.69
98	15	7.60	1.97
99	15	9.36	1.60
100	15	7.57	1.98

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

**Tabla 23. Resultados frecuencia de paso**

Frecuencias Observadas (Hz)			
Mínima	Máxima	Media	Desv Estd.
1.45	2.22	1.91	0.16

Y fueron agrupados de la siguiente forma:

**Tabla 24. Número elementos por rango**

Grupo n°	Rango (Hz)	Elementos
1	[1,4-1,5[	2
2	[1,5-1,6[	1
3	[1,6-1,7[	7
4	[1,7-1,8[	14
5	[1,8-1,9[	18
6	[1,9-2,0[	30
7	[2,0-2,1[	16
8	[2,1-2,2[	11
9	[2,2-2,3[	1
	Total	100

**ANEXO C: Factores Ponderadores**

A continuación se muestran los factores ponderadores expuestos en cada respectiva normativa

**Tabla 25. Factores ponderadores para cada normativa**

f (Hz)	Wb (BSI 6472-1)	Wg (ISO 10137)	Wk (ISO 2631-1)	Wm (ISO 2631-2)
0.10	0.0194	0.0094	0.0312	0.0162
0.13	0.0302	0.0146	0.0486	0.0253
0.16	0.0492	0.0238	0.0790	0.0411
0.20	0.0753	0.0364	0.1210	0.0629
0.25	0.1161	0.0561	0.1820	0.0994
0.32	0.1746	0.0844	0.2630	0.1560
0.40	0.2514	0.1215	0.3520	0.2430
0.50	0.3347	0.1617	0.4180	0.3680
0.63	0.3666	0.2404	0.4590	0.5300
0.80	0.3808	0.3330	0.4770	0.7000
1.00	0.3853	0.4237	0.4820	0.8830
1.25	0.3864	0.5053	0.4840	0.9070
1.60	0.3916	0.5855	0.4940	0.9340
2.00	0.4168	0.6757	0.5310	0.9320
2.50	0.4960	0.7817	0.6310	0.9100
3.15	0.6653	0.8986	0.8040	0.8720
4.00	0.8850	1.0020	0.9670	0.8180
5.00	1.0260	1.0500	1.0390	0.7500
6.30	1.0554	1.0090	1.0540	0.6690
8.00	1.0260	0.8939	1.0360	0.5820
10.00	0.9745	0.7499	0.9880	0.4940
12.50	0.9042	0.6110	0.9020	0.4110
16.00	0.8144	0.4908	0.7680	0.3370
20.00	0.7088	0.3918	0.6360	0.2740
25.00	0.5973	0.3116	0.5130	0.2200
31.50	0.4906	0.2471	0.4050	0.1760
40.00	0.3950	0.1950	0.3140	0.1400
50.00	0.3118	0.1521	0.2460	0.1090
63.00	0.2389	0.1158	0.1860	0.0834
80.00	0.1734	0.0837	0.1320	0.0604
100.00	0.1158	0.0559	0.0887	0.0401
125.00	0.0701	0.0338	0.0540	0.0241
160.00	0.0378	0.0183	0.0285	0.0133
200.00	0.0200	0.0096	0.0152	0.0069
250.00	0.0103	0.0050	0.0079	0.0035
315.00	0.0052	0.0025	0.0040	0.0018
400.00	0.0026	0.0012	0.0020	0.0009

**ANEXO D: CÓDIGO MATLAB PARA HEEL DROP TEST**

```

clear

clc

close all

%Intento de lectura y generacion base de datos

n_aceler=4; %nro de acelerogramas

factor_g=9.81; %colocar 1 si el acelerograma esta en (m/s2), colocar el valor de "g" si la
medicion esta en fraccion de g

a_brut=factor_g*xlsread('heeldrop.xls','tramo2');

fs1=1652.89;

dt1=1/fs1;

np1=length(a_brut);

t1=dt1*[0:np1-1]';

%plot(t,a_brut)

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);

%plot(t,[a_brut,a_brut_cent])

%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(b1,a1,512,fs1)

```



```

%Señal filtrada
a_cent_filt(:,i)=filtfilt(b1,a1,a_brut_cent(:,i));
% figure
% plot(t1,[a_brut1,a_brut_cent1,a_cent_filt1])
% figure
% plot(t1,[a_cent_filt(:,i)]);
% grid on
end

%Determinacion de frecuencia natural de vibracion vertical
for j=1:n_aceler
N1=2^ceil(log(length(a_cent_filt(:,j)))/log(2));
ff1=1/dt1*(0:N1-1)/N1;
Amp1=2*fft(a_cent_filt(:,j),N1)/length(a_cent_filt(:,j));
paso1=ff1(1:length(ff1)/15);
paso2=abs(Amp1(1:length(ff1)/15));
paso2_imag=imag(Amp1(1:length(ff1)/15));
paso2_real=real(Amp1(1:length(ff1)/15));
figure
plot(paso1,paso2,'-o');
grid on
% figure
% plot(paso1,paso2_imag);
% grid on

%Frecuencias naturales con valor peak de FRF
fn(1,j)=ff1(find(paso2==max(paso2))); % en la fila 1 de fn estan las frecuencias asociadas al
maximo de la amplitud de la FRF del heel drop
fn(2,j)=ff1(find(paso2_imag==max(paso2_imag)));%en la fila 2 de fn estan las frecuencias
asociadas al maximo de la parte imaginaria de FRF del heeldrop
fn(3,j)=ff1(find(paso2_imag==min(paso2_imag)));%en la fila 3 de fn estan las frecuencias
asociadas al minimo de la parte imaginaria de FRF del heeldrop

```

```

fn(4,j)=(fn(2,j)+fn(3,j))/2;%en la fila 4 de fn estan el promedio de la fila 2 y 3

%Metodo de ancho de banda

cont0=paso2;

puntos=10;

cont1=max(paso2)/(2)^0.5;

ind1=find(cont0==max(paso2));

tramo2_frf=paso2(ind1-puntos:ind1,1);

tramo3_frf=paso2(ind1:ind1+puntos,1);

tramo2_ff1=ff1(1,ind1-puntos:ind1);

tramo3_ff1=ff1(1,ind1:ind1+puntos);

%Encuentro lado izquierdo

cont2=interp1(tramo2_frf,tramo2_ff1,cont1);

%Encuentro lado derecho

cont3=interp1(tramo3_frf,tramo3_ff1,cont1);

chi(4,j)=(cont3-cont2)/(2*fn(1,j));

datos_ancho_banda(1,j)=cont2;

datos_ancho_banda(2,j)=fn(1,j);

datos_ancho_banda(3,j)=cont3;

% figure

% plot(t1,a_cent_filt(:,j),'b');

% xlabel('Tiempo (seg)');

% ylabel('Aceleracion (m/s2)');

% grid on

% hold on

% plot(t1,a_cent_filt2(:,j));

% hold on

```

```
% plot(tiempos_sup(:,j),peaks_sup(:,j));  
  
% hold on  
  
% plot(tiempos_inf(:,j),peaks_inf(:,j));  
  
%Metodo de circle fit  
  
% cont4=find(paso2==max(paso2));  
  
% npuntos=2;%nro puntos a cada lado de fn  
  
% cont5=find(paso2_imag==max(paso2_imag));  
  
% [freq_local1,H_local1,H_gen_local1,infoMODE1,circ_prop1] =  
circle_fit(Amp1,ff1',ff1(cont4-npuntos),ff1(cont4+npuntos));  
  
% plot_circle_fit(freq_local1,H_local1,H_gen_local1,infoMODE1,circ_prop1);  
  
% fn(5,j)=infoMODE1.frequencyk;  
  
% chi(5,j)=0.5*(infoMODE1.etak);  
  
end  
  
%plot(t1,[a_cent_filt a_cent_filt2]);
```

**ANEXO E: CÓDIGO MATLAB PARA CAMINATA SINCRONIZADA**

A continuación se muestra el código utilizado para calcular el factor R.

```

tic;

clear

clc

close all

%Lectura y generacion base de datos

n_aceler=4; %nro de acelerogramas por piso

factor_g=9.81; %colocar 1 si el acelerograma esta en (m/s2), colocar el valor de "g" si la
medicion esta en fraccion de g

nro_pisos=1;

a_brut_piso=zeros(100000,n_aceler,nro_pisos);

a_brut_piso(:,1)=factor_g*xlsread('Hombre66.xlsx','127bpm','A1:D100000');

%a_brut_piso(:,2)=factor_g*xlsread('caminatas_sincronizadas.xls','forjadores180','A4:X5004');

%a_brut_piso(:,3)=factor_g*xlsread('caminatas_sincronizadas.xls','greda95','A4:X5004');

%a_brut_piso(:,4)=factor_g*xlsread('caminatas_sincronizadas.xls','greda190','A4:X5004');

fw=xlsread('factoresW.xls','W','A3:A42');

wk=xlsread('factoresW.xls','W','B3:B42');

wm=xlsread('factoresW.xls','W','C3:C42');

wb=xlsread('factoresW.xls','W','D3:D42');

wg=xlsread('factoresW.xls','W','E3:E42');

%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

    %Parametros 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;%el sumar 10 implica llenar con 10 ceros al final de la señal, ¿no seria mejor
usar next power of 2?

%N=length(t1)+10;%el sumar 10 implica llenar con 10 ceros al final de la señal, ¿no seria mejor
usar next power of 2?

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));

wktot=zeros(length(ff2),1);

wmtot=zeros(length(ff2),1);

wbtot=zeros(length(ff2),1);

wgtot=zeros(length(ff2),1);

% rmsmov1=zeros(1,length(t1)-fs1);

% rmsmov2=zeros(1,length(t1)-fs1);

% rmsmov3=zeros(1,length(t1)-fs1);

% rmsmov4=zeros(1,length(t1)-fs1);

% rmsmov5=zeros(1,length(t1)-fs1);

cuenta=1;

for ff2int=ff2

    wktot(cuenta,1)=interp1(fw,wk,ff2int);

    wmtot(cuenta,1)=interp1(fw,wm,ff2int);

    wbtot(cuenta,1)=interp1(fw,wb,ff2int);

    wgtot(cuenta,1)=interp1(fw,wg,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,5);
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)])

%% %%-----Determinación aceleración efectiva-----

% Transformada de Fourier del acelerograma (señal equipo ing mec)

t=t1'; dt=dt1; a=(a_cent_filt(:,i));% lo agrague yo

Amp_acelera=fft(a,N)/length(a);%¿debo dividir por longitud de a o por N? segun manual de
matlab por length(a), segun libro noise

Amp_aceler=(fftshift(Amp_acelera));%coloca el origen en el centro de la fft

Amp_acelera=2*Amp_aceler(Numer:length(ff));

% %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;

% Aceleración ponderada por en el dominio del tiempo

Amp_a=Amp_acelera_pon;

for w=1:5

    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(fftshift(Amp_a1))*length(Amp_a1);

        acel_pon=acel_pon(1:length(t));

        acel_pon2(:,i,w)=acel_pon'; % esta matriz 3d es para 1 casa

    end

end

```

```

figure
%plot(t1,acel_pon2(:,i,2))
grid on
xlabel('Tiempo (s)')
ylabel('Aceleración (m/s2)')
%Indicadores de desempeño:
%MTVV10
y1=(acel_pon2(:,i,1)).^2;
yy1=sum(y1)/length(t);
y2=(acel_pon2(:,i,2)).^2;
yy2=sum(y2)/length(t);
y3=(acel_pon2(:,i,3)).^2;
yy3=sum(y3)/length(t);
y4=(acel_pon2(:,i,4)).^2;
yy4=sum(y4)/length(t);
y5=(acel_pon2(:,i,5)).^2;
yy5=sum(y5)/length(t);
mtvv(1,i,piso)=sqrt(abs(yy1));
mtvv(2,i,piso)=sqrt(abs(yy2));
mtvv(3,i,piso)=sqrt(abs(yy3));
mtvv(4,i,piso)=sqrt(abs(yy4));
mtvv(5,i,piso)=sqrt(abs(yy5));
%MTVV1
cont_fin=length(acel_pon2(:,i,1))-fs1;
for paso=1:fs1/2:cont_fin
acel_poncito1=acel_pon2(paso:paso+fs1,i,1);
acel_poncito2=acel_pon2(paso:paso+fs1,i,2);
acel_poncito3=acel_pon2(paso:paso+fs1,i,3);

```



```

acel_poncito4=acel_pon2(paso:paso+fs1,i,4);
acel_poncito5=acel_pon2(paso:paso+fs1,i,5);
yyy1=(acel_poncito1).^2;
yyy2=(acel_poncito2).^2;
yyy3=(acel_poncito3).^2;
yyy4=(acel_poncito4).^2;
yyy5=(acel_poncito5).^2;
yyyy1=sum(yyy1)/length(acel_poncito1);
yyyy2=sum(yyy2)/length(acel_poncito2);
yyyy3=sum(yyy3)/length(acel_poncito3);
yyyy4=sum(yyy4)/length(acel_poncito4);
yyyy5=sum(yyy5)/length(acel_poncito5);
rmsmov1(1,paso)=sqrt(abs(yyyy1));
rmsmov2(1,paso)=sqrt(abs(yyyy2));
rmsmov3(1,paso)=sqrt(abs(yyyy3));
rmsmov4(1,paso)=sqrt(abs(yyyy4));
rmsmov5(1,paso)=sqrt(abs(yyyy5));
end

mtvv(6,i,piso)=max(rmsmov1);
mtvv(7,i,piso)=max(rmsmov2);
mtvv(8,i,piso)=max(rmsmov3);
mtvv(9,i,piso)=max(rmsmov4);
mtvv(10,i,piso)=max(rmsmov5);

%peak para CF
apeak(1,i,piso)=max(abs(acel_pon2(:,i,1)));
apeak(2,i,piso)=max(abs(acel_pon2(:,i,2)));
apeak(3,i,piso)=max(abs(acel_pon2(:,i,3)));
apeak(4,i,piso)=max(abs(acel_pon2(:,i,4)));

```

```
apeak(5,i,piso)=max(abs(accel_pon2(:,i,5)));  
end  
cf=apeak./mtvv(1:5,,:);  
%Generacion de datos para Nicolas Garcia  
R=(1/0.005)*mtvv(6:10,,:);  
tiempo_min = toc;  
fprintf('El proceso ha tardado %d minutos', tiempo_min/60);
```

**ANEXO F:** Tablas de Contingencia y Análisis de Resultados

c) Frecuencia de uso – Percepción de seguridad

En la Tabla 26 se puede ver que para todas las frecuencias, el porcentaje de usuarios que siente que la pasarela vibra mucho es mínimo, llegando en algunos casos al 0%. Esto nos indica que, la frecuencia de uso de la estructura prácticamente no influye en la percepción de seguridad del usuario, donde solo un 9% del total siente que la estructura vibra mucho.

**Tabla 26. Frecuencia de uso vs Percepción de seguridad**

**Tabla de contingencia ¿Con que frecuencia transita por la pasarela? \* ¿Considera que esta pasarela vibra?**

			¿Considera que esta pasarela vibra?				Total
			No he sentido vibraciones	Apenas siento que vibra	Siento que vibra, pero de manera aceptable	Siento que vibra mucho	
¿Con que frecuencia transita por la pasarela?	Tres o menos días al mes	Recuento % dentro de ¿Con que frecuencia transita por la pasarela?	1 25,0%	0 0,0%	3 75,0%	0 0,0%	4 100,0%
	Uno o dos días a la semana	Recuento % dentro de ¿Con que frecuencia transita por la pasarela?	2 20,0%	3 30,0%	4 40,0%	1 10,0%	10 100,0%
	Tres o cuatro días a la semana	Recuento % dentro de ¿Con que frecuencia transita por la pasarela?	5 25,0%	6 30,0%	9 45,0%	0 0,0%	20 100,0%
	Todos los días (Lunes a Viernes)	Recuento % dentro de ¿Con que frecuencia transita por la pasarela?	9 13,6%	16 24,2%	33 50,0%	8 12,1%	66 100,0%
<b>Total</b>	Recuento % dentro de ¿Con que frecuencia transita por la pasarela?	17 17,0%	25 25,0%	49 49,0%	9 9,0%	100 100,0%	

d) Frecuencia de uso – Percepción de comodidad

En la Tabla 27 se puede ver que para todas las frecuencias de uso, a lo menos el 70% de los encuestados no manifiesta desconfianza de las vibraciones sentidas, esto indica que la frecuencia de uso no es condicionante de la percepción de seguridad. Eso sí, cabe destacar que la situación más favorable se dio en el caso de las personas que ocupan la pasarela tres o cuatro veces a la semana, donde solo el 5% siente desconfianza.

**Tabla 27. Frecuencia de uso vs Percepción de Comodidad**

Tabla de contingencia ¿Con que frecuencia transita por la pasarela? \* Con respecto a las vibraciones

			Con respecto a las vibraciones				Total
			No me molestan ni generan desconfianza	me molestan pero no me producen desconfianza	Me molestan y me producen desconfianza	Se vuelven molestas, me producen desconfianza y si pudiera evitaria pasar por ahí	
¿Con que frecuencia transita por la pasarela?	Tres o menos dias al mes	Recuento % dentro de ¿Con que frecuencia transita por la pasarela?	2 50,0%	1 25,0%	1 25,0%	0 0,0%	4 100,0%
	Uno o dos dias a la semana	Recuento % dentro de ¿Con que frecuencia transita por la pasarela?	4 40,0%	3 30,0%	2 20,0%	1 10,0%	10 100,0%
	Tres o cuatro dias a la semana	Recuento % dentro de ¿Con que frecuencia transita por la pasarela?	15 75,0%	4 20,0%	1 5,0%	0 0,0%	20 100,0%
	Todos los dias (Lunes a Viernes)	Recuento % dentro de ¿Con que frecuencia transita por la pasarela?	32 48,5%	16 24,2%	11 16,7%	7 10,6%	66 100,0%
<b>Total</b>		Recuento % dentro de ¿Con que frecuencia transita por la pasarela?	53 53,0%	24 24,0%	15 15,0%	8 8,0%	100 100,0%

e) Frecuencia de uso – Percepción del material

Para el siguiente cruce de variables, mostrado en la Tabla 28, antes que todo se debe ver el total por categoría. Si bien, se tienen porcentajes para cada caso, no es muy criterioso analizar por separado a las personas que no transitan todos los días dado que se tiene un número muy pequeño de la muestra, porque puede no ser representativo. Por lo anterior, para este análisis se puede comentar que, del total de usuarios, solo a un 22% le agrada el material, un 39% se muestra indiferente y un 39% no le agrada. Esto es un resultado curioso, dado que en los puntos anteriores no se percibieron mayores problemas con las vibraciones.

**Tabla 28. Frecuencia de uso – Percepción del material**

**Tabla de contingencia ¿Con que frecuencia transita por la pasarela? \* ¿Que opina del uso de madera en este tipo de estructuras?**

			¿Que opina del uso de madera en este tipo de estructuras?			Total
			No me agrada	Me es indiferente	Me agrada	
¿Con que frecuencia transita por la pasarela?	Tres o menos días al mes	Recuento % dentro de ¿Con que frecuencia transita por la pasarela?	2 50,0%	1 25,0%	1 25,0%	4 100,0%
	Uno o dos días a la semana	Recuento % dentro de ¿Con que frecuencia transita por la pasarela?	3 30,0%	3 30,0%	4 40,0%	10 100,0%
	Tres o cuatro días a la semana	Recuento % dentro de ¿Con que frecuencia transita por la pasarela?	4 20,0%	11 55,0%	5 25,0%	20 100,0%
	Todos los días (Lunes a Viernes)	Recuento % dentro de ¿Con que frecuencia transita por la pasarela?	30 45,5%	24 36,4%	12 18,2%	66 100,0%
<b>Total</b>		Recuento % dentro de ¿Con que frecuencia transita por la pasarela?	39 39,0%	39 39,0%	22 22,0%	100 100,0%

f) Compañía – Percepción de seguridad

En la Tabla 29 se puede ver que para todos los niveles de compañía hay una mayoría indiscutible hacia no sentir que la pasarela vibra mucho, donde para el total de los encuestados solo el 9% se identifica con esa opción. Por lo que se puede decir que, el nivel de compañía no es condicionante de la percepción de seguridad.

**Tabla 29. Compañía – Percepción de Seguridad**

**Tabla de contingencia La mayor parte del tiempo: \* ¿Considera que esta pasarela vibra?**

			¿Considera que esta pasarela vibra?				Total
			No he sentido vibraciones	Apenas siento que vibra	Siento que vibra, pero de manera aceptable	Siento que vibra mucho	
La mayor parte del tiempo:	Paso solo	Recuento % dentro de La mayor parte del tiempo:	6 26,1%	7 30,4%	9 39,1%	1 4,3%	23 100,0%
	Es Relativo, depende del día u hora	Recuento % dentro de La mayor parte del tiempo:	5 20,8%	5 20,8%	12 50,0%	2 8,3%	24 100,0%
	Paso con otra persona	Recuento % dentro de La mayor parte del tiempo:	4 18,2%	8 36,4%	7 31,8%	3 13,6%	22 100,0%
	Paso con dos o mas personas	Recuento % dentro de La mayor parte del tiempo:	2 6,5%	5 16,1%	21 67,7%	3 9,7%	31 100,0%
<b>Total</b>		Recuento % dentro de La mayor parte del tiempo:	17 17,0%	25 25,0%	49 49,0%	9 9,0%	100 100,0%

g) Compañía – Percepción de comodidad

En la Tabla 30 se puede ver que para todos los niveles de compañía hay una mayoría indiscutible hacia no sentir desconfianza, donde para el total de los encuestados solo el 23% siente desconfianza. Por lo que se puede decir que, el nivel de compañía no es condicionante de la percepción de comodidad.

**Tabla 30. Compañía – Percepción de Comodidad**

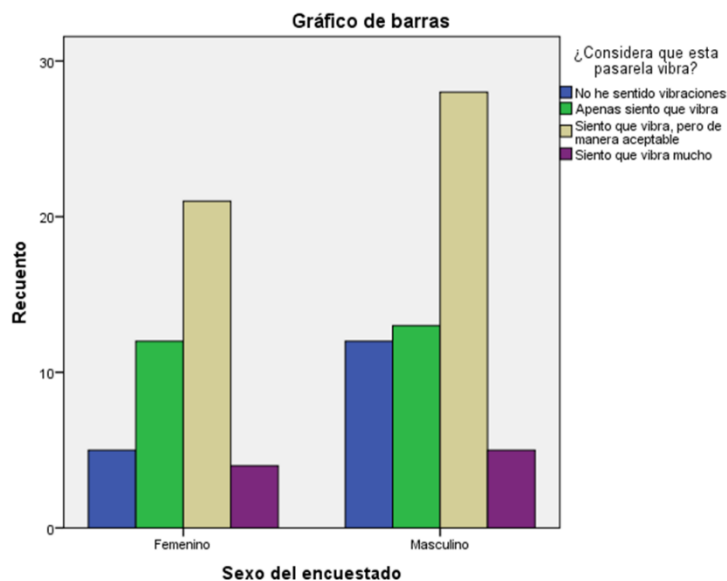
Tabla de contingencia La mayor parte del tiempo: \* Con respecto a las vibraciones

			Con respecto a las vibraciones				Total
			No me molestan ni generan desconfianza	me molestan pero no me producen desconfianza	Me molestan y me producen desconfianza	Se vuelven molestas, me producen desconfianza y si pudiera evitaria pasar por ahí	
La mayor parte del tiempo:	Paso solo	Recuento % dentro de La mayor parte del tiempo:	15 65,2%	4 17,4%	3 13,0%	1 4,3%	23 100,0%
	Es Relativo, depende del día u hora	Recuento % dentro de La mayor parte del tiempo:	14 58,3%	5 20,8%	4 16,7%	1 4,2%	24 100,0%
	Paso con otra persona	Recuento % dentro de La mayor parte del tiempo:	9 40,9%	7 31,8%	3 13,6%	3 13,6%	22 100,0%
	Paso con dos o mas personas	Recuento % dentro de La mayor parte del tiempo:	15 48,4%	8 25,8%	5 16,1%	3 9,7%	31 100,0%
Total	Recuento % dentro de La mayor parte del tiempo:	53 53,0%	24 24,0%	15 15,0%	8 8,0%	100 100,0%	

**ANEXO G: Gráficos de Encuestas**

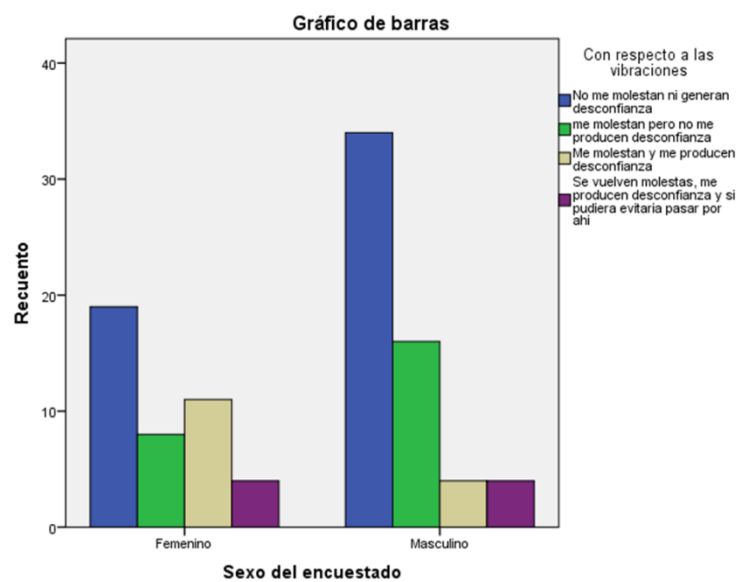
1. Gráficos cruce de variables

a) Sexo – Percepción de seguridad



**Figura 18. Gráfico sexo-percepción de seguridad**

b) Sexo – Percepción de comodidad



**Figura 19. Gráfico sexo-percepción de comodidad**

c) Frecuencia de uso – Percepción de seguridad

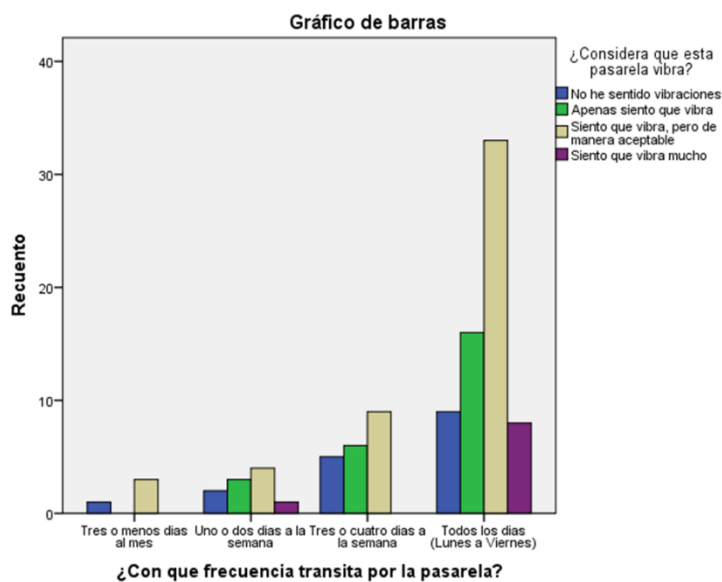


Figura 20. Gráfico frecuencia de uso – percepción de seguridad

d) Frecuencia de uso – Percepción de comodidad

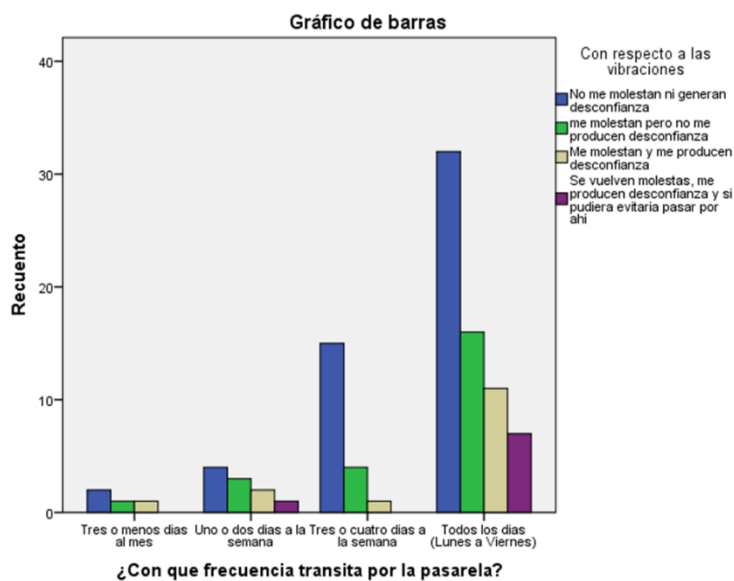


Figura 21. Gráfico frecuencia de uso – percepción de comodidad



e) Frecuencia de uso – Percepción del material

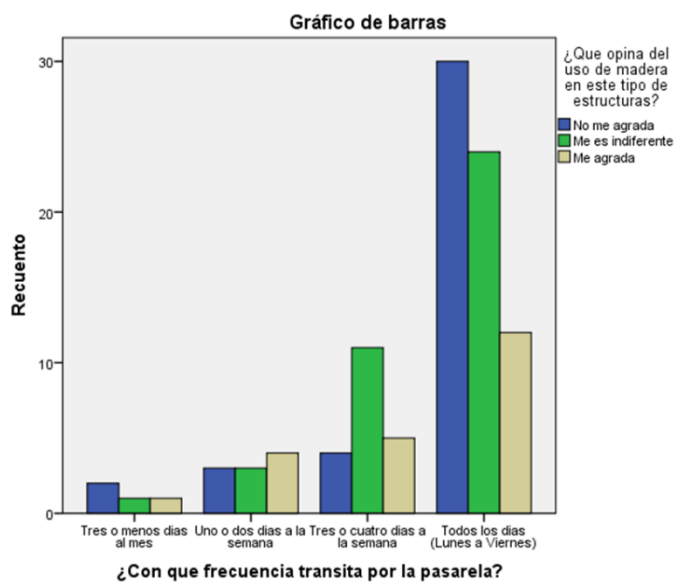


Figura 22. Gráfico frecuencia de uso – percepción del material

f) Compañía – Percepción de seguridad

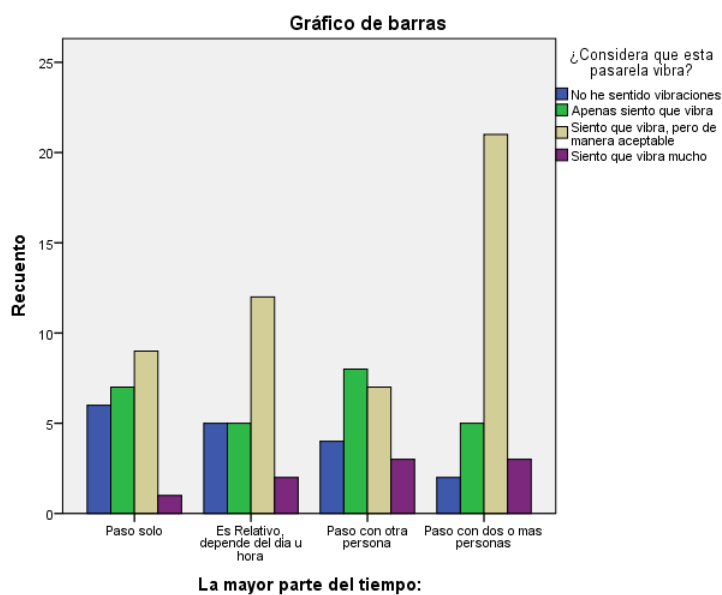
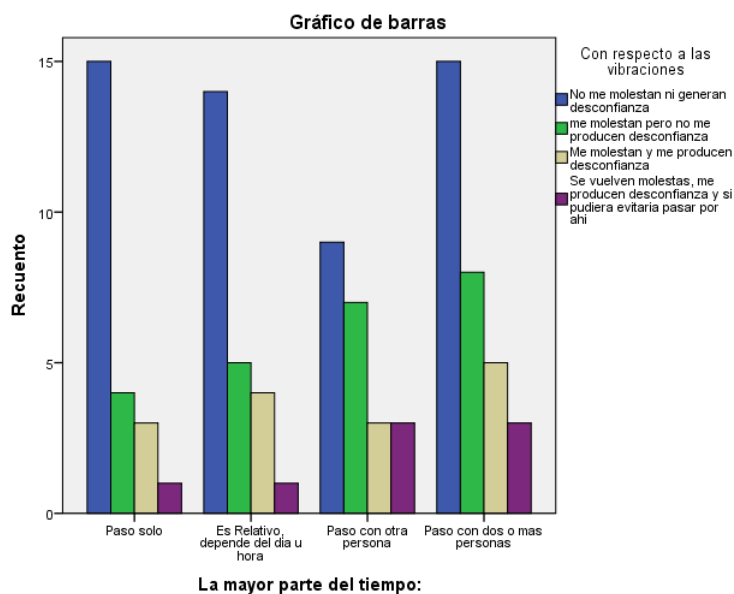


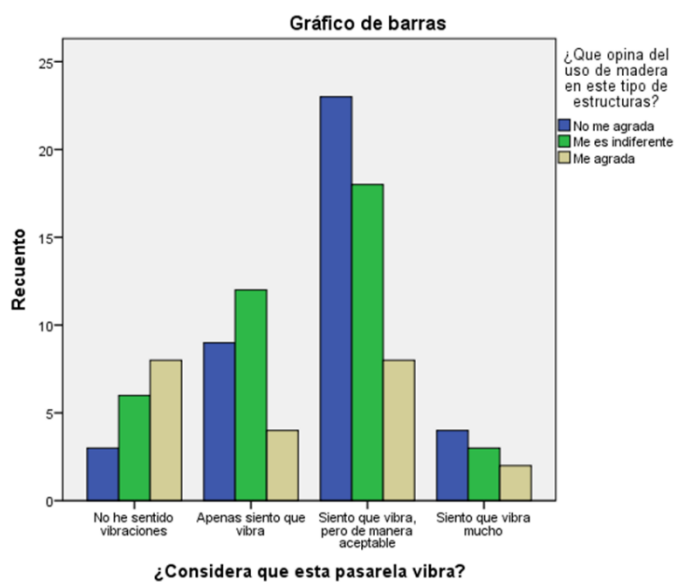
Figura 23. Gráfico compañía – percepción de seguridad

g) Compañía – Percepción de comodidad



**Figura 24. Gráfico compañía – percepción de comodidad**

h) Percepción de seguridad – Percepción del material



**Figura 25. Gráfico percepción de seguridad – percepción del material**

i) Sexo – Percepción del material

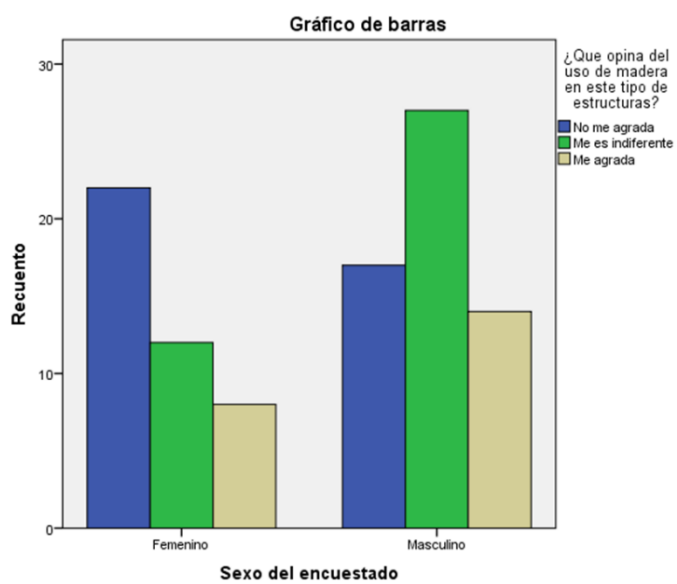
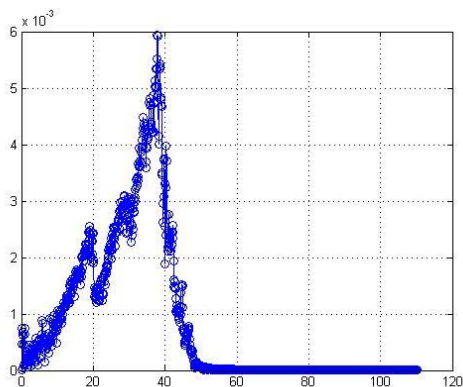


Figura 26. Gráfico sexo – percepción del material

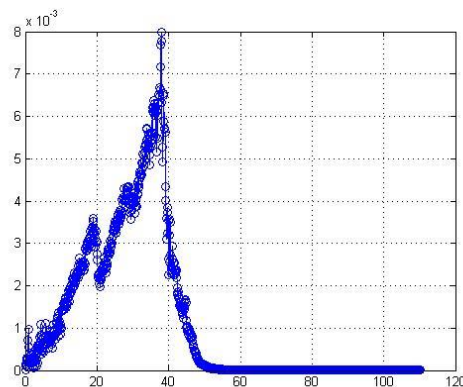
## ANEXO H: Gráficos Heel Drop Test

A continuación se muestran los gráficos en el software Matlab para las mediocones de Heel Drop Test, en el eje de las abscisas se muestra la frecuencia y en el de las ordenadas la aceleración.

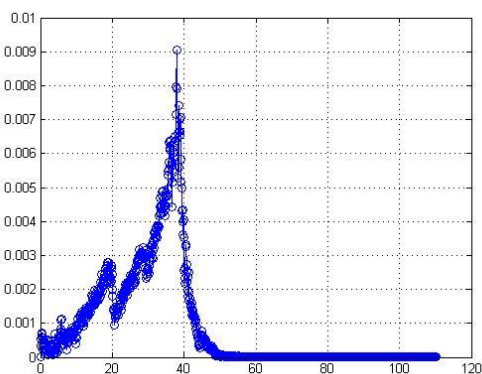
### 1. Tramo 1



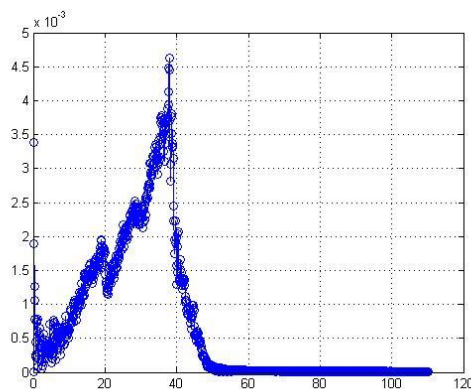
**Figura 27.1 Gráfico acelerómetro 1**



**Figura 27.2 Gráfico acelerómetro 2**

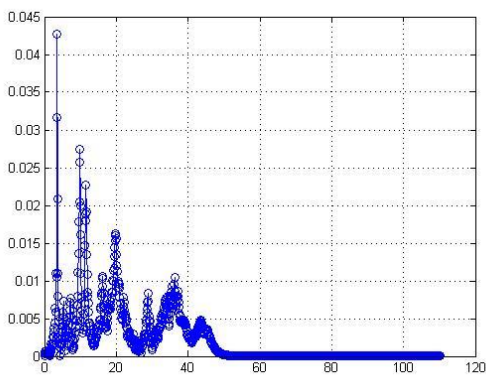


**Figura 27.3 Gráfico acelerómetro 3**

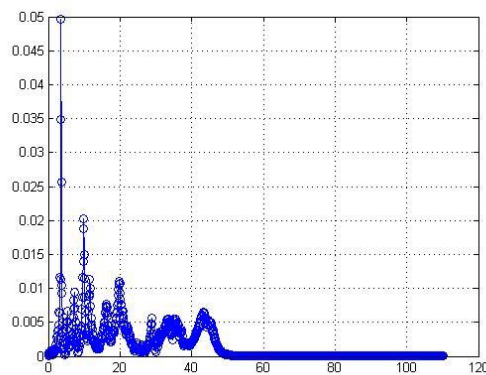


**Figura 27.4 Gráfico acelerómetro 4**

### 2. Tramo 2



**Figura 28.1 Gráfico acelerómetro 1**



**Figura 28.2 Gráfico acelerómetro 2**

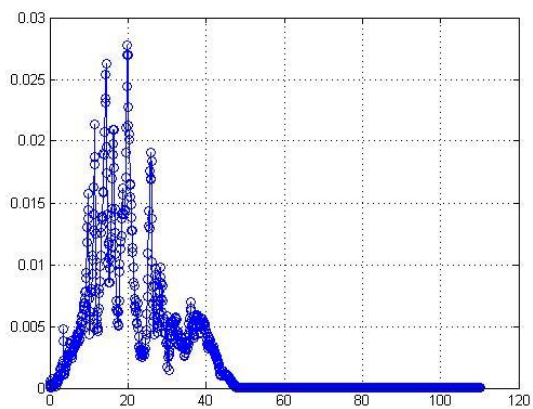


Figura 28.3 Gráfico acelerómetro 3

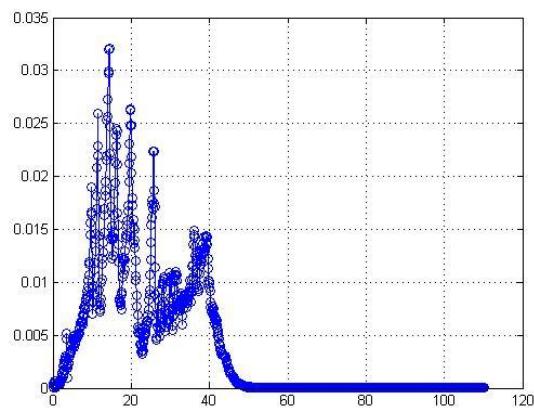


Figura 28.4 Gráfico acelerómetro 4

### 3. Tramo 3

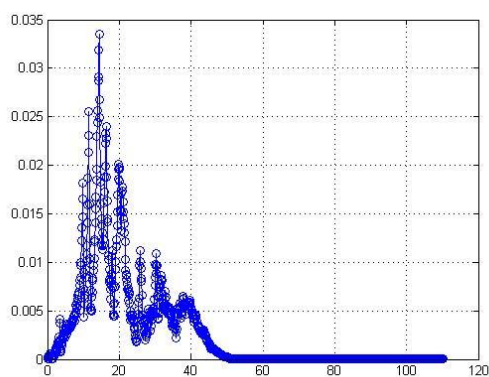


Figura 29.1 Gráfico acelerómetro 1

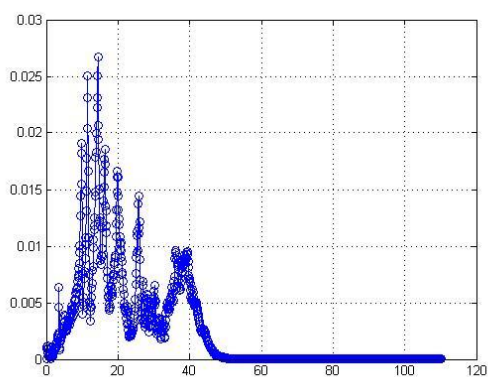


Figura 29.2 Gráfico acelerómetro 2

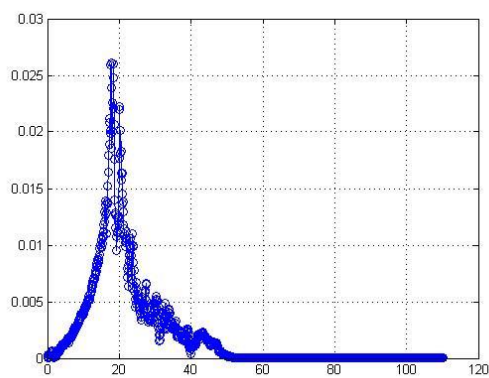


Figura 29.3 Gráfico acelerómetro 3

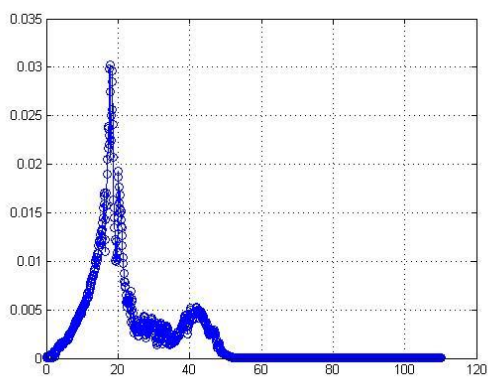
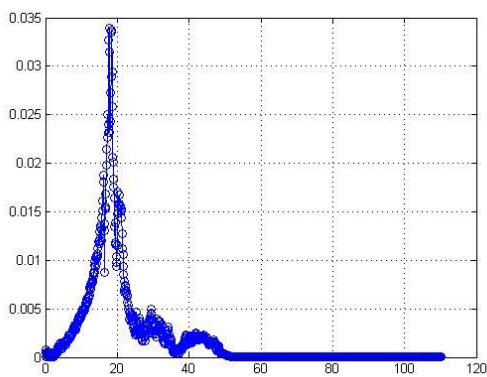
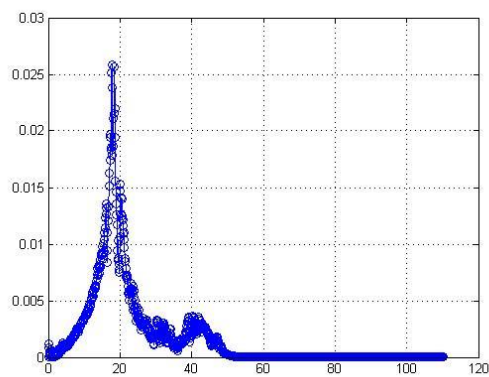


Figura 29.4 Gráfico acelerómetro 4

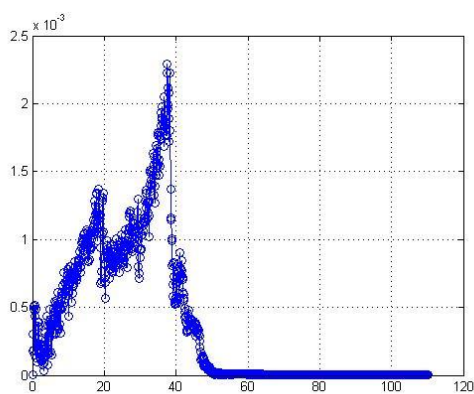
4. Tramo 4



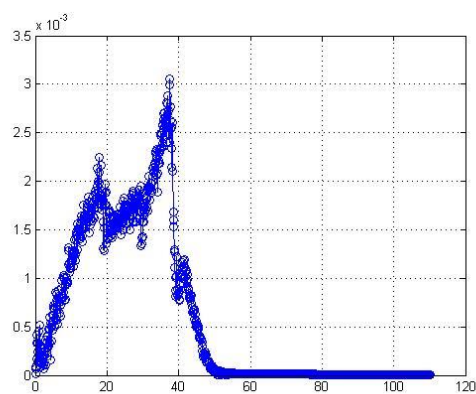
**Figura 30.1 Gráfico acelerómetro 1**



**Figura 30.2 Gráfico acelerómetro 2**

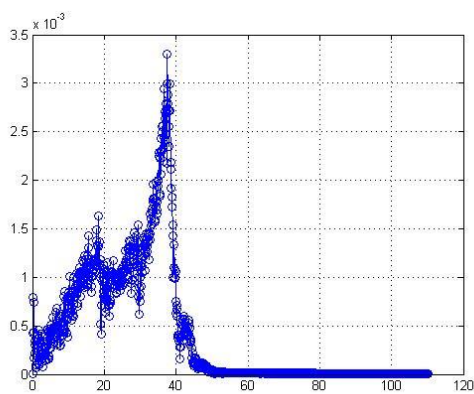


**Figura 30.3 Gráfico acelerómetro 3**

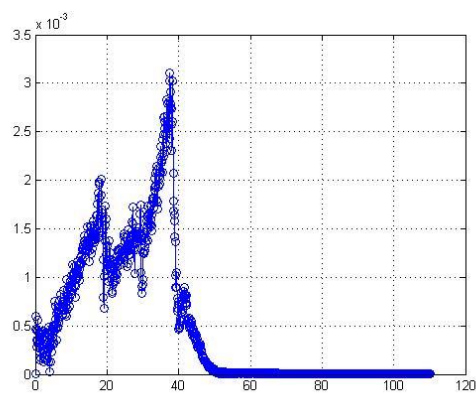


**Figura 30.4 Gráfico acelerómetro 4**

5. Tramo 5



**Figura 31.1 Gráfico acelerómetro 1**



**Figura 31.2 Gráfico acelerómetro 2**

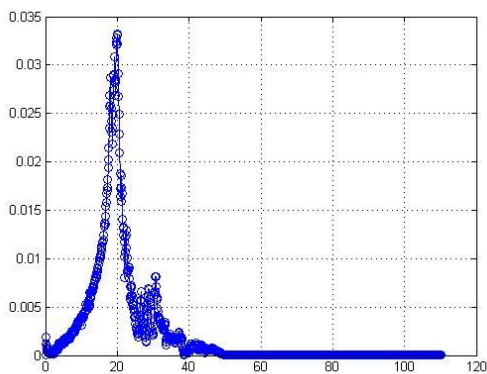


Figura 31.3 Gráfico acelerómetro 3

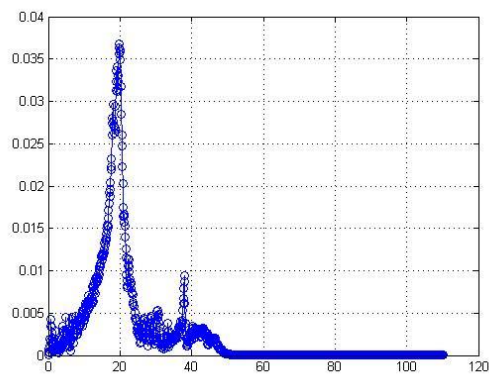


Figura 31.4 Gráfico acelerómetro 4

6. Tramo 6

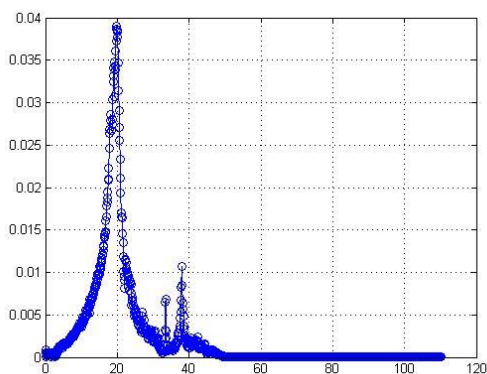


Figura 32.1 Gráfico acelerómetro 1

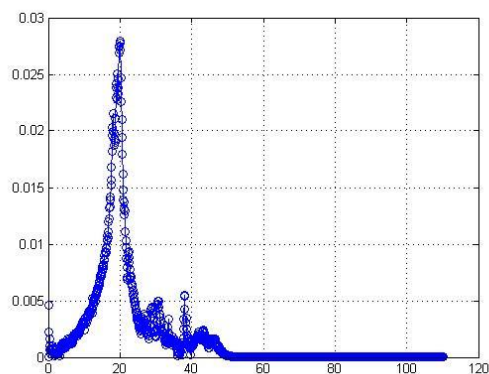


Figura 32.2 Gráfico acelerómetro 2

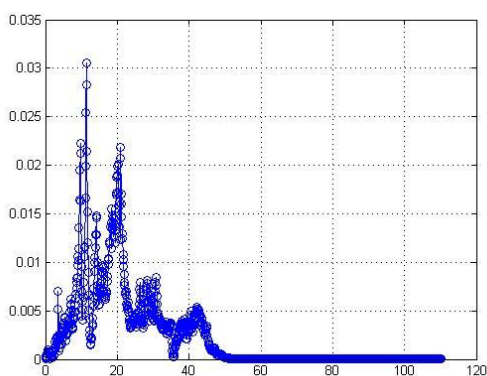


Figura 32.3 Gráfico acelerómetro 3

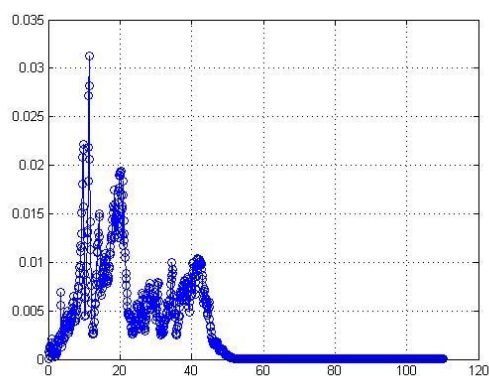
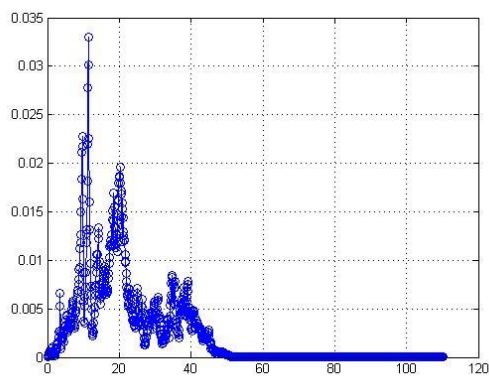


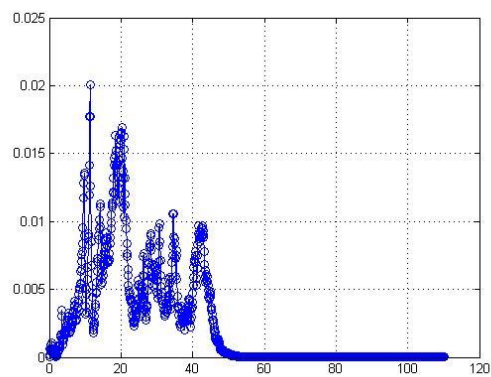
Figura 32.4 Gráfico acelerómetro 4



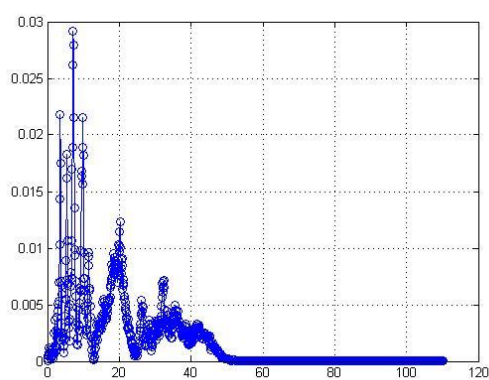
### 7. Tramo 7



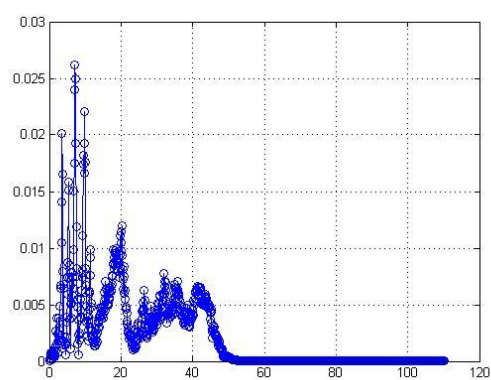
**Figura 33.1 Gráfico acelerómetro 1**



**Figura 33.2 Gráfico acelerómetro 2**

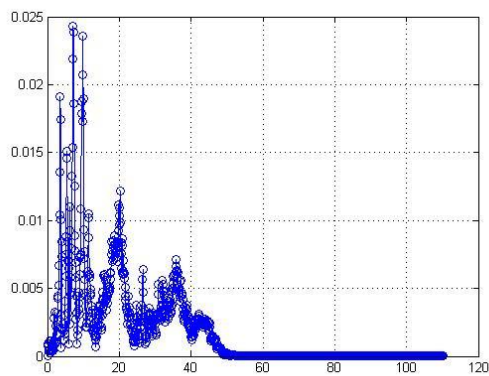


**Figura 33.3 Gráfico acelerómetro 3**

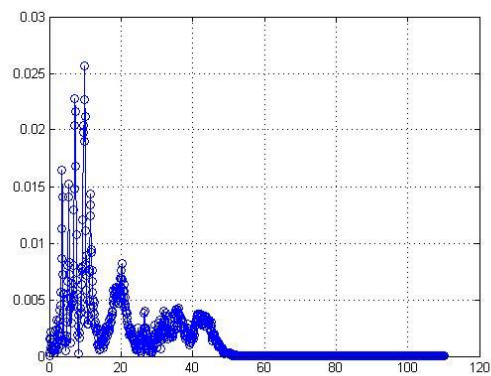


**Figura 33.4 Gráfico acelerómetro 4**

### 8. Tramo 8



**Figura 34.1 Gráfico acelerómetro 1**



**Figura 34.2 Gráfico acelerómetro 2**



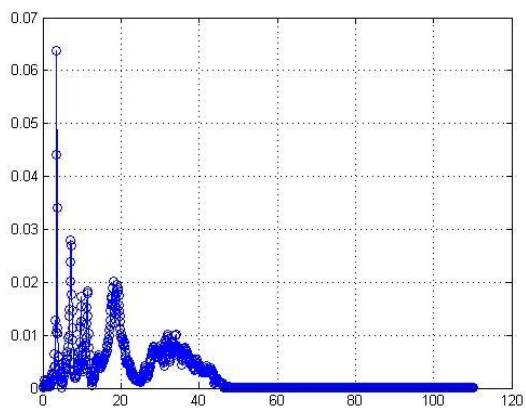


Figura 34.3 Gráfico acelerómetro 3

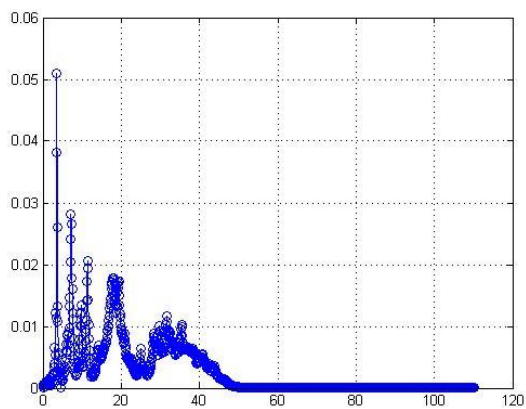


Figura 34.4 Gráfico acelerómetro 4

9. Tramo 9

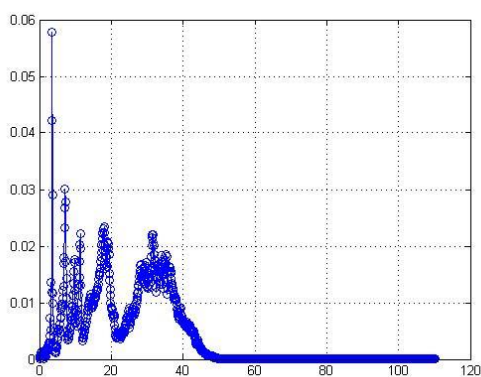


Figura 35.1 Gráfico acelerómetro 1

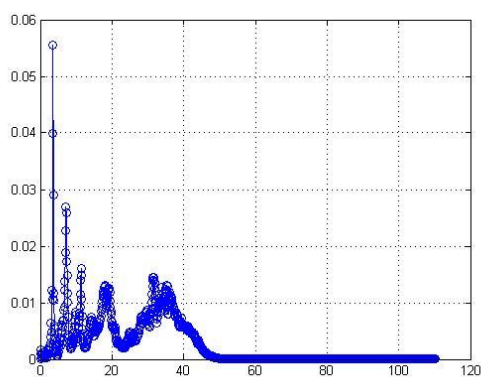


Figura 35.2 Gráfico acelerómetro 2

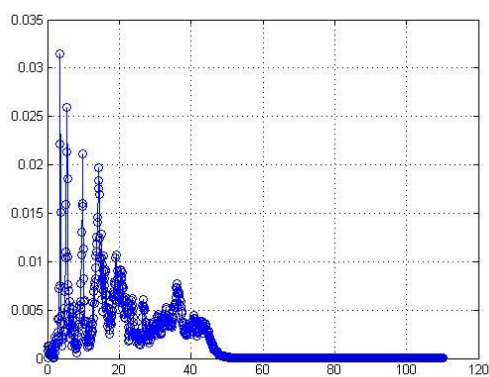


Figura 35.3 Gráfico acelerómetro 3

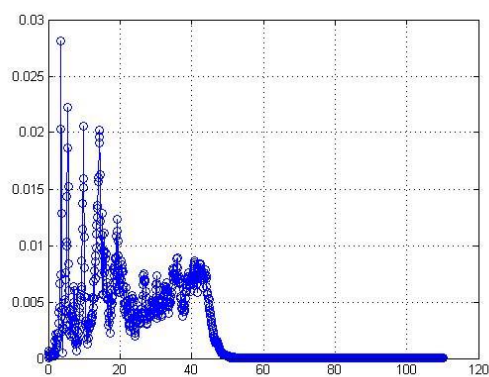


Figura 35.4 Gráfico acelerómetro 4

10. Tramo 10

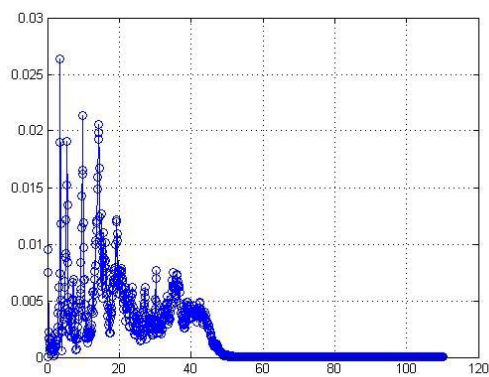


Figura 36.1 Gráfico acelerómetro 1

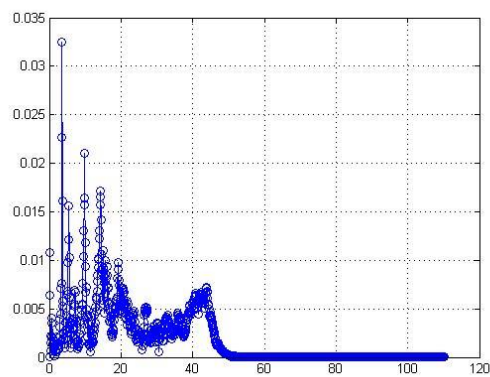


Figura 36.2 Gráfico acelerómetro 2

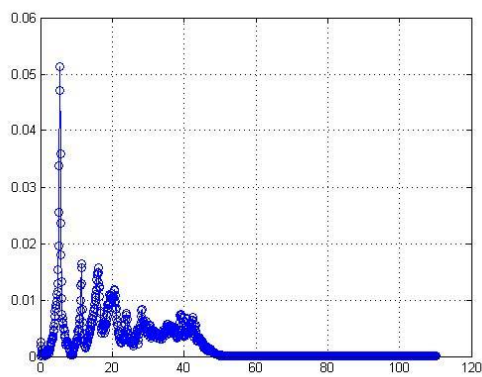


Figura 36.3 Gráfico acelerómetro 3

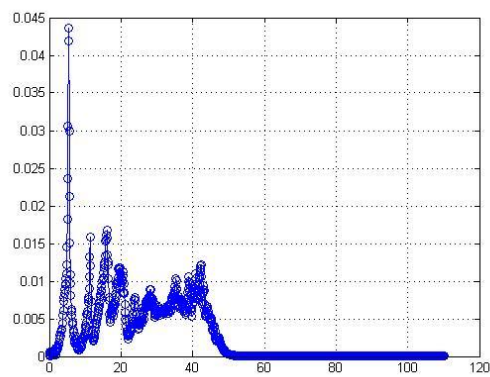


Figura 36.4 Gráfico acelerómetro 4

11. Tramo 11

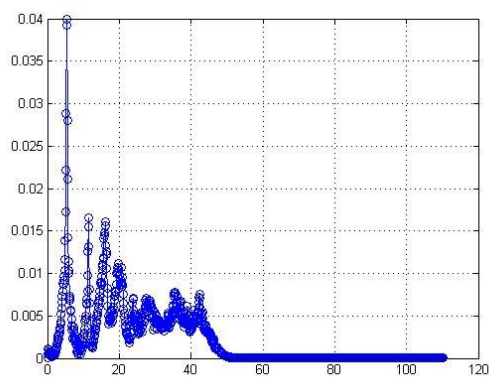


Figura 37.1 Gráfico acelerómetro 1

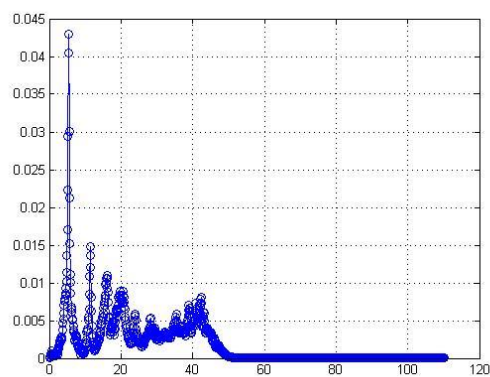


Figura 37.2 Gráfico acelerómetro 2

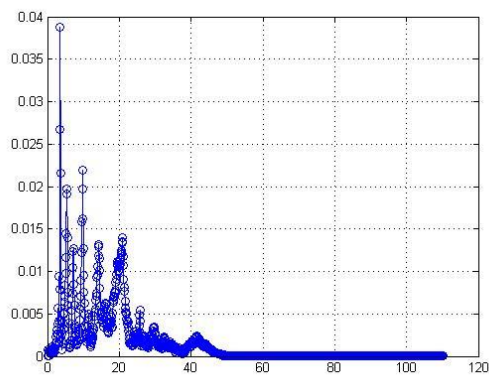


Figura 37.3 Gráfico acelerómetro 3

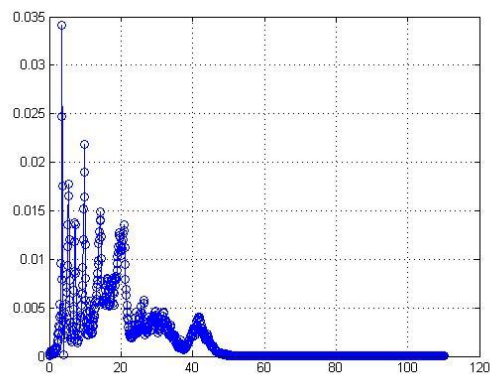


Figura 37.4 Gráfico acelerómetro 4

12. Tramo 12

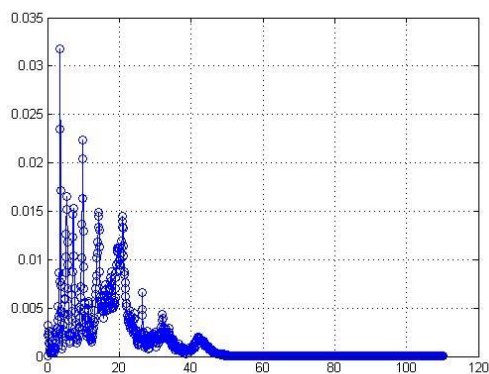


Figura 38.1 Gráfico acelerómetro 1

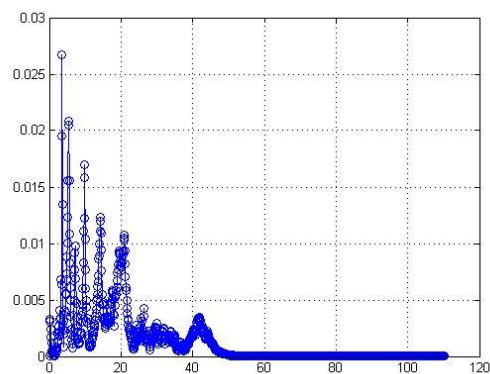


Figura 38.2 Gráfico acelerómetro 2

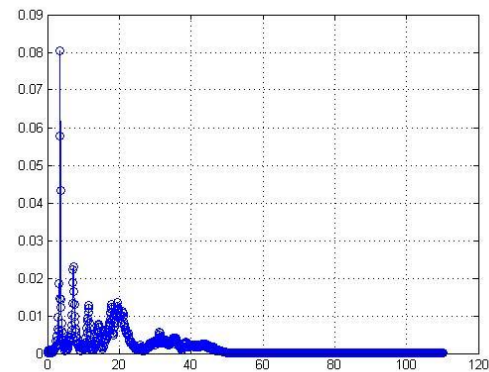


Figura 38.3 Gráfico acelerómetro 3

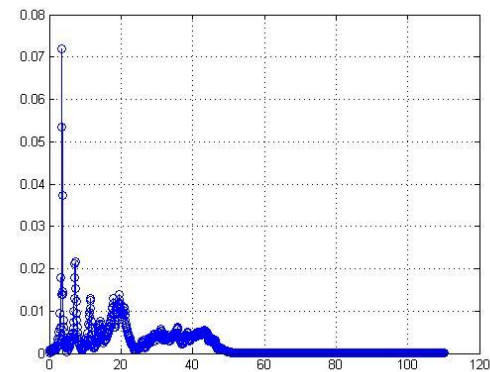


Figura 38.4 Gráfico acelerómetro 4

13. Tramo 13

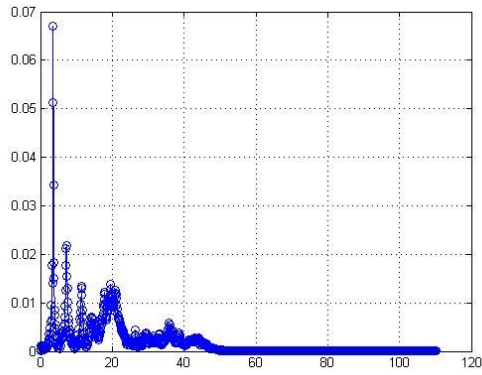


Figura 39.1 Gráfico acelerómetro 1

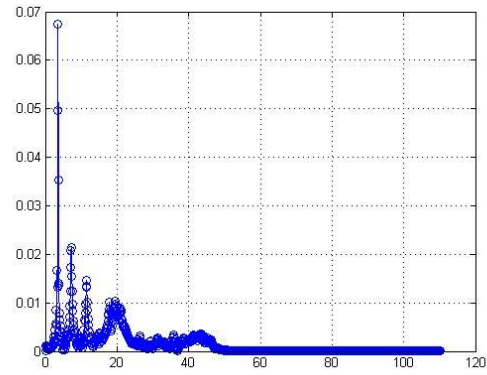


Figura 39.2 Gráfico acelerómetro 2

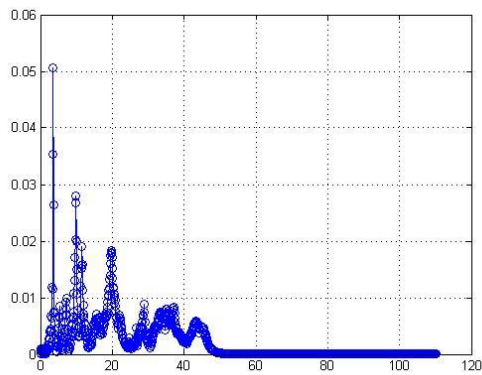


Figura 39.3 Gráfico acelerómetro 3

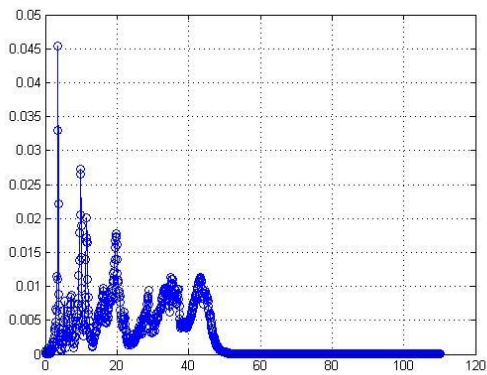


Figura 39.4 Gráfico acelerómetro 4

**ANEXO I: Resultados en Bruto**

1. Caminatas sincronizadas Mujeres

1.1 Mujer 56 Kg

1.1.1. Frecuencia 1,77:

**Tabla 30. Factor R Mujer 56 Kg – 1,77 Hz**

		Acc 1	Acc 2	Acc 3	Acc4
Repeticion 1	<i>wb</i>	9.76	8.94	7.89	7.98
	<i>wk</i>	9.79	9.06	8.08	8.14
	<i>wg</i>	8.53	8.21	7.81	7.27
	<i>wm</i>	6.59	7.01	6.71	6.12
Repeticion 2	<i>wb</i>	8.85	8.34	7.42	7.11
	<i>wk</i>	8.99	8.57	7.71	7.38
	<i>wg</i>	8.14	8.12	7.91	7.34
	<i>wm</i>	7.01	7.27	7.10	6.57
Repeticion 3	<i>wb</i>	7.64	7.37	6.65	6.37
	<i>wk</i>	7.92	7.69	7.01	6.60
	<i>wg</i>	7.42	7.65	7.49	6.95
	<i>wm</i>	6.53	6.81	6.67	6.21
Repeticion 4	<i>wb</i>	10.26	9.64	8.91	8.74
	<i>wk</i>	10.60	10.08	9.38	9.15
	<i>wg</i>	9.85	9.62	9.06	8.66
	<i>wm</i>	7.59	7.80	7.66	7.02
Repetición 5	<i>wb</i>	9.03	8.66	7.79	7.34
	<i>wk</i>	9.07	8.78	7.97	7.49
	<i>wg</i>	8.11	8.05	7.85	7.28
	<i>wm</i>	6.71	7.20	7.01	6.46

1.1.2. Frecuencia 1,92:

**Tabla 31. Factor R Mujer 56 Kg – 1,92 Hz**

		Acc 1	Acc 2	Acc 3	Acc4
Repeticion 1	<i>wb</i>	7.12	6.21	5.86	7.60
	<i>wk</i>	7.02	6.81	6.61	7.48
	<i>wg</i>	6.78	7.22	7.00	6.61
	<i>wm</i>	6.00	6.40	6.17	5.78
Repeticion 2	<i>wb</i>	7.53	6.78	6.16	7.31
	<i>wk</i>	7.52	6.84	6.26	7.21
	<i>wg</i>	6.20	5.93	5.55	6.09
	<i>wm</i>	4.39	4.23	3.93	4.25
Repeticion 3	<i>wb</i>	5.80	4.67	5.03	6.81
	<i>wk</i>	5.65	4.63	5.01	6.84
	<i>wg</i>	4.39	3.82	3.71	5.18
	<i>wm</i>	3.16	2.84	2.66	3.49
Repeticion 4	<i>wb</i>	5.66	5.18	4.40	6.32
	<i>wk</i>	5.61	5.04	4.49	6.25
	<i>wg</i>	4.52	4.22	4.03	4.82
	<i>wm</i>	3.29	3.36	3.41	3.40
Repetición 5	<i>wb</i>	8.14	6.41	5.60	8.80
	<i>wk</i>	7.88	6.26	5.54	8.68
	<i>wg</i>	5.96	4.99	4.48	6.24
	<i>wm</i>	4.18	3.52	3.13	4.20

1.1.3. Frecuencia 2,11:

**Tabla 32. Factor R Mujer 56 Kg – 2,11 Hz**

		Acc 1	Acc 2	Acc 3	Acc4
Repetición 1	<i>wb</i>	6.84	5.79	4.64	5.19
	<i>wk</i>	6.62	5.72	4.68	4.95
	<i>wg</i>	5.29	4.76	4.02	4.08
	<i>wm</i>	3.96	3.61	3.03	3.00
Repetición 2	<i>wb</i>	5.98	5.47	4.67	5.35
	<i>wk</i>	5.87	5.41	4.82	5.40
	<i>wg</i>	4.69	4.58	4.42	4.66
	<i>wm</i>	3.86	3.92	3.86	3.74
Repetición 3	<i>wb</i>	6.88	6.23	5.07	5.85
	<i>wk</i>	6.99	6.38	5.29	5.78
	<i>wg</i>	6.24	5.88	5.04	5.09
	<i>wm</i>	4.95	4.76	4.16	4.08
Repetición 4	<i>wb</i>	5.86	5.32	4.87	5.62
	<i>wk</i>	5.90	5.69	5.23	5.71
	<i>wg</i>	5.54	5.51	5.19	4.96
	<i>wm</i>	4.60	4.64	4.47	4.32
Repetición 5	<i>wb</i>	6.23	5.18	4.59	5.34
	<i>wk</i>	6.01	5.06	4.52	5.19
	<i>wg</i>	4.72	4.21	3.61	3.86
	<i>wm</i>	3.70	3.42	3.03	3.00

1.2. Mujer 66 Kg

1.2.1. Frecuencia 1,77:

**Tabla 33. Factor R Mujer 66 Kg – 1,77 Hz**

		Acc 1	Acc 2	Acc 3	Acc4
Repetición 1	<i>wb</i>	6.86	6.95	6.59	6.65
	<i>wk</i>	7.77	7.88	7.47	7.52
	<i>wg</i>	8.26	8.40	7.97	7.97
	<i>wm</i>	7.31	7.43	7.05	7.03
Repetición 2	<i>wb</i>	9.76	9.67	8.56	8.49
	<i>wk</i>	10.53	10.66	9.63	9.57
	<i>wg</i>	10.97	11.30	10.24	10.17
	<i>wm</i>	9.61	9.94	9.03	8.97
Repetición 3	<i>wb</i>	9.54	9.52	8.56	8.80
	<i>wk</i>	10.47	10.52	9.48	9.70
	<i>wg</i>	10.70	10.85	9.84	10.00
	<i>wm</i>	9.06	9.28	8.46	8.58
Repetición 4	<i>wb</i>	11.72	11.47	10.23	10.38
	<i>wk</i>	12.66	12.45	11.18	11.29
	<i>wg</i>	12.74	12.64	11.45	11.53
	<i>wm</i>	10.46	10.46	9.64	9.65
Repetición 5	<i>wb</i>	10.17	10.18	9.30	9.63
	<i>wk</i>	11.26	11.33	10.38	10.67
	<i>wg</i>	11.63	11.79	10.86	11.07
	<i>wm</i>	10.05	10.18	9.55	9.61

1.2.2. Frecuencia 1,92:

**Tabla 34. Factor R Mujer 66 Kg – 1,92 Hz**

		Acc 1	Acc 2	Acc 3	Acc4
Repetición 1	<i>wb</i>	6.07	5.83	5.20	6.97
	<i>wk</i>	6.40	6.30	5.56	7.15
	<i>wg</i>	6.36	6.37	5.67	6.16
	<i>wm</i>	5.18	5.27	4.71	4.73
Repetición 2	<i>wb</i>	6.24	6.03	5.07	5.39
	<i>wk</i>	6.40	6.22	5.24	5.55
	<i>wg</i>	6.00	5.89	4.95	5.11
	<i>wm</i>	4.56	4.55	3.96	4.03
Repetición 3	<i>wb</i>	6.50	5.45	5.06	5.84
	<i>wk</i>	6.67	5.86	5.24	6.01
	<i>wg</i>	5.91	5.92	5.22	5.43
	<i>wm</i>	4.78	4.95	4.36	4.51
Repetición 4	<i>wb</i>	6.79	6.54	5.89	6.25
	<i>wk</i>	7.01	6.78	6.12	6.47
	<i>wg</i>	6.60	6.43	5.84	6.09
	<i>wm</i>	4.92	4.86	4.43	4.56
Repetición 5	<i>wb</i>	7.09	6.87	6.44	7.19
	<i>wk</i>	7.41	7.23	6.78	7.52
	<i>wg</i>	7.02	6.97	6.53	7.06
	<i>wm</i>	5.51	5.50	5.13	5.43

1.2.3. Frecuencia 2,11:

**Tabla 35. Factor R Mujer 66 Kg – 2,11 Hz**

		Acc 1	Acc 2	Acc 3	Acc4
Repetición 1	<i>wb</i>	5.89	5.70	5.24	5.98
	<i>wk</i>	5.94	5.75	5.31	6.06
	<i>wg</i>	5.34	5.19	4.79	5.33
	<i>wm</i>	3.78	3.84	3.52	3.68
Repetición 2	<i>wb</i>	5.61	5.16	4.83	6.27
	<i>wk</i>	5.78	5.36	5.07	6.38
	<i>wg</i>	5.40	5.08	4.83	5.49
	<i>wm</i>	4.39	4.12	3.76	4.13
Repetición 3	<i>wb</i>	8.39	7.59	6.45	7.26
	<i>wk</i>	8.46	7.69	6.53	7.36
	<i>wg</i>	7.65	7.06	5.90	6.46
	<i>wm</i>	5.49	5.12	4.20	4.53
Repetición 4	<i>wb</i>	4.89	4.44	3.82	4.34
	<i>wk</i>	5.00	4.55	3.96	4.47
	<i>wg</i>	4.66	4.29	3.76	4.18
	<i>wm</i>	3.71	3.46	2.87	3.12
Repetición 5	<i>wb</i>	5.05	4.86	4.47	5.42
	<i>wk</i>	5.35	5.20	4.57	5.51
	<i>wg</i>	5.26	5.19	4.54	4.85
	<i>wm</i>	4.36	4.39	3.90	3.98

1.3. Mujer 76 kg

1.3.1 Frecuencia 1,77:

**Tabla 36. Factor R Mujer 76 Kg – 1,77 Hz**

		Acc 1	Acc 2	Acc 3	Acc4
Repetición 1	<i>wb</i>	14.03	12.63	12.68	14.98
	<i>wk</i>	15.11	14.50	14.57	14.80
	<i>wg</i>	16.25	15.61	15.70	14.62
	<i>wm</i>	14.62	14.05	14.14	13.16
Repetición 2	<i>wb</i>	15.32	14.70	14.77	16.70
	<i>wk</i>	17.48	16.80	16.88	16.54
	<i>wg</i>	18.70	18.01	18.11	16.72
	<i>wm</i>	16.70	16.11	16.19	14.89
Repetición 3	<i>wb</i>	12.99	12.33	12.32	13.02
	<i>wk</i>	14.70	13.98	14.01	14.41
	<i>wg</i>	15.61	14.88	14.97	14.82
	<i>wm</i>	13.80	13.19	13.31	13.11
Repetición 4	<i>wb</i>	12.23	11.65	11.83	13.23
	<i>wk</i>	13.89	13.24	13.47	13.78
	<i>wg</i>	14.78	14.11	14.38	14.13
	<i>wm</i>	13.13	12.57	12.83	12.46
Repetición 5	<i>wb</i>	13.81	13.05	13.28	13.21
	<i>wk</i>	15.53	14.82	15.09	14.07
	<i>wg</i>	16.50	15.78	16.08	14.83
	<i>wm</i>	14.60	13.99	14.26	13.12

1.3.2 Frecuencia 1,92:

**Tabla 37. Factor R Mujer 76 Kg – 1,92 Hz**

		Acc 1	Acc 2	Acc 3	Acc4
Repetición 1	<i>wb</i>	10.35	8.19	7.20	10.51
	<i>wk</i>	10.80	8.68	7.75	10.51
	<i>wg</i>	9.71	8.26	7.73	9.43
	<i>wm</i>	7.76	6.85	6.57	7.64
Repetición 2	<i>wb</i>	11.02	7.72	7.31	11.28
	<i>wk</i>	10.71	8.08	8.11	11.48
	<i>wg</i>	9.12	8.34	8.46	10.41
	<i>wm</i>	7.69	7.10	7.22	8.31
Repetición 3	<i>wb</i>	10.94	8.65	7.36	11.94
	<i>wk</i>	10.86	8.79	7.78	11.88
	<i>wg</i>	9.15	7.91	7.66	9.72
	<i>wm</i>	7.10	6.57	6.58	7.29
Repetición 4	<i>wb</i>	7.47	5.79	5.07	9.61
	<i>wk</i>	7.36	5.92	5.58	9.45
	<i>wg</i>	6.57	5.92	5.79	7.58
	<i>wm</i>	5.47	5.05	5.00	5.68
Repetición 5	<i>wb</i>	10.40	7.25	7.05	10.00
	<i>wk</i>	10.12	7.97	7.81	10.11
	<i>wg</i>	8.94	8.16	8.12	9.56
	<i>wm</i>	7.49	6.94	6.96	7.79



1.3.3. Frecuencia 2,11:

**Tabla 38. Factor R Mujer 76 Kg – 2,11 Hz**

		Acc 1	Acc 2	Acc 3	Acc4
Repetición 1	wk	wb	12.63	12.68	14.98
	wm	wk	14.50	14.57	14.80
	wb	wg	15.61	15.70	14.62
	wg	wm	14.05	14.14	13.16
Repetición 2	wk	wb	14.70	14.77	16.70
	wm	wk	16.80	16.88	16.54
	wb	wg	18.01	18.11	16.72
	wg	wm	16.11	16.19	14.89
Repetición 3	wk	wb	12.33	12.32	13.02
	wm	wk	13.98	14.01	14.41
	wb	wg	14.88	14.97	14.82
	wg	wm	13.19	13.31	13.11
Repetición 4	wk	wb	11.65	11.83	13.23
	wm	wk	13.24	13.47	13.78
	wb	wg	14.11	14.38	14.13
	wg	wm	12.57	12.83	12.46
Repetición 5	wk	wb	13.05	13.28	13.21
	wm	wk	14.82	15.09	14.07
	wb	wg	15.78	16.08	14.83
	wg	wm	13.99	14.26	13.12

2. Caminatas sincronizadas hombre

2.1. Hombre 65 Kg

2.1.1. Frecuencia 1,77:

**Tabla 39. Factor R Hombre 65 Kg – 1,77 Hz**

		Acc 1	Acc 2	Acc 3	Acc4
Repetición 1	wb	8.36	7.96	7.06	6.66
	wk	8.92	8.56	7.66	7.24
	wg	8.86	8.58	7.76	7.44
	wm	7.26	7.21	6.63	6.36
Repetición 2	wb	7.97	7.59	6.78	6.67
	wk	8.58	8.23	7.41	7.28
	wg	8.56	8.30	7.55	7.37
	wm	7.06	6.92	6.38	6.17
Repetición 3	wb	9.44	9.34	8.65	8.42
	wk	10.70	10.59	9.82	9.56
	wg	11.39	11.30	10.49	10.21
	wm	10.04	9.97	9.26	9.03
Repetición 4	wb	9.13	8.68	7.66	7.70
	wk	9.82	9.42	8.36	8.36
	wg	9.73	9.52	8.63	8.41
	wm	8.47	8.44	7.67	7.44
Repetición 5	wb	10.33	10.20	9.41	9.11
	wk	11.70	11.57	10.69	10.35
	wg	12.43	12.42	11.43	11.04
	wm	11.18	11.19	10.30	9.86

2.1.2. Frecuencia 1,92:

**Tabla 40. Factor R Hombre 65 Kg – 1,92 Hz**

		Acc 1	Acc 2	Acc 3	Acc4
Repetición 1	<i>wb</i>	6.78	5.48	4.40	5.25
	<i>wk</i>	6.50	5.33	4.35	5.12
	<i>wg</i>	5.09	4.40	3.71	4.01
	<i>wm</i>	3.91	3.43	3.02	3.08
Repetición 2	<i>wb</i>	5.34	4.82	4.46	5.94
	<i>wk</i>	5.19	4.76	4.40	5.77
	<i>wg</i>	4.50	4.33	3.77	4.14
	<i>wm</i>	3.65	3.60	3.08	3.27
Repetición 3	<i>wb</i>	6.23	5.37	4.90	7.08
	<i>wk</i>	6.16	5.43	4.80	6.99
	<i>wg</i>	5.03	4.61	4.11	5.01
	<i>wm</i>	3.98	3.67	3.25	3.42
Repetición 4	<i>wb</i>	6.18	5.48	5.45	6.68
	<i>wk</i>	6.22	6.10	5.59	6.55
	<i>wg</i>	6.40	6.36	5.85	5.57
	<i>wm</i>	5.54	5.54	5.12	4.86
Repetición 5	<i>wb</i>	6.48	5.49	5.48	6.62
	<i>wk</i>	6.29	5.34	5.32	6.40
	<i>wg</i>	5.45	5.49	5.09	4.91
	<i>wm</i>	4.81	4.85	4.53	4.33

2.1.3. Frecuencia 2,11:

**Tabla 41. Factor R Hombre 65 Kg – 2,11 Hz**

		Acc 1	Acc 2	Acc 3	Acc4
Repetición 1	<i>wb</i>	14.88	13.00	10.67	11.16
	<i>wk</i>	14.74	13.17	11.33	11.48
	<i>wg</i>	12.99	12.39	11.28	10.94
	<i>wm</i>	10.82	10.78	10.03	9.68
Repetición 2	<i>wb</i>	11.00	9.22	8.15	9.67
	<i>wk</i>	11.08	9.95	9.05	10.19
	<i>wg</i>	10.45	10.41	9.56	9.78
	<i>wm</i>	9.24	9.24	8.54	8.58
Repetición 3	<i>wb</i>	9.61	9.18	8.10	7.96
	<i>wk</i>	10.32	9.95	8.97	8.77
	<i>wg</i>	10.28	10.07	9.31	9.03
	<i>wm</i>	8.97	8.97	8.33	8.08
Repetición 4	<i>wb</i>	7.94	6.75	6.35	8.75
	<i>wk</i>	7.99	6.84	6.41	8.60
	<i>wg</i>	6.75	6.28	5.62	6.50
	<i>wm</i>	5.75	5.54	5.08	5.41
Repetición 5	<i>wb</i>	12.42	11.08	9.14	9.02
	<i>wk</i>	12.72	11.55	9.69	9.49
	<i>wg</i>	11.71	11.04	9.55	9.17
	<i>wm</i>	9.30	8.96	7.86	7.50

2.2. Hombre 76 Kg

2.2.1. Frecuencia 1,77:

**Tabla 42. Factor R Hombre 76 Kg – 1,77 Hz**

		Acc 1	Acc 2	Acc 3	Acc4
Repetición 1	<i>wb</i>	7.79	7.09	6.62	6.39
	<i>wk</i>	7.92	7.22	6.77	6.49
	<i>wg</i>	7.24	6.64	6.27	5.90
	<i>wm</i>	5.21	4.84	4.64	4.28
Repetición 2	<i>wb</i>	8.42	7.54	6.75	6.74
	<i>wk</i>	8.37	7.54	6.84	6.82
	<i>wg</i>	7.35	6.69	6.20	6.05
	<i>wm</i>	5.10	5.00	5.18	4.97
Repetición 3	<i>wb</i>	7.52	6.69	5.88	5.84
	<i>wk</i>	7.47	6.66	5.91	5.86
	<i>wg</i>	6.51	5.88	5.30	5.17
	<i>wm</i>	4.37	4.05	4.17	4.19
Repetición 4	<i>wb</i>	7.18	6.30	6.12	5.99
	<i>wk</i>	7.09	6.71	6.85	6.62
	<i>wg</i>	7.12	7.02	7.17	6.81
	<i>wm</i>	6.22	6.15	6.27	5.91
Repetición 5	<i>wb</i>	7.78	7.11	6.48	6.31
	<i>wk</i>	7.76	7.10	6.76	6.58
	<i>wg</i>	7.15	6.99	7.15	6.92
	<i>wm</i>	6.31	6.19	6.32	6.12

2.2.2. Frecuencia 1,92:

**Tabla 43. Factor R Hombre 76 Kg – 1,92 Hz**

		Acc 1	Acc 2	Acc 3	Acc4
Repetición 1	<i>wb</i>	8.55	6.22	6.36	8.97
	<i>wk</i>	8.60	6.08	6.40	9.06
	<i>wg</i>	6.62	4.81	5.26	7.19
	<i>wm</i>	4.42	3.38	3.59	4.79
Repetición 2	<i>wb</i>	8.65	6.18	4.94	7.19
	<i>wk</i>	8.65	6.11	5.00	7.24
	<i>wg</i>	6.40	4.87	4.26	5.76
	<i>wm</i>	4.50	3.45	3.20	3.94
Repetición 3	<i>wb</i>	8.29	6.23	5.63	8.31
	<i>wk</i>	8.36	6.22	5.81	8.19
	<i>wg</i>	6.39	5.43	5.36	6.14
	<i>wm</i>	4.83	4.21	4.13	4.48
Repetición 4	<i>wb</i>	7.89	5.60	4.88	6.83
	<i>wk</i>	8.00	5.60	4.96	6.81
	<i>wg</i>	6.40	4.70	4.33	5.38
	<i>wm</i>	4.51	3.50	3.34	3.81
Repetición 5	<i>wb</i>	8.02	6.05	5.70	7.76
	<i>wk</i>	7.88	5.99	5.73	7.81
	<i>wg</i>	6.26	5.01	4.77	6.25
	<i>wm</i>	4.38	3.53	3.39	4.19

2.2.3. Frecuencia 2,11:

**Tabla 44. Factor R Hombre 76 Kg – 2,11 Hz**

		Acc 1	Acc 2	Acc 3	Acc4
Repetición 1	<i>wb</i>	9.94	7.84	6.51	8.75
	<i>wk</i>	9.78	7.87	6.76	8.42
	<i>wg</i>	7.92	6.80	6.39	6.81
	<i>wm</i>	6.10	5.55	5.31	5.35
Repetición 2	<i>wb</i>	7.39	6.09	5.87	7.68
	<i>wk</i>	7.02	5.78	5.75	7.49
	<i>wg</i>	5.49	4.95	4.66	5.28
	<i>wm</i>	4.51	4.19	4.18	4.44
Repetición 3	<i>wb</i>	8.02	6.22	5.27	7.98
	<i>wk</i>	7.69	5.99	5.04	7.50
	<i>wg</i>	5.51	4.78	4.29	5.02
	<i>wm</i>	3.93	3.66	3.41	3.72
Repetición 4	<i>wb</i>	8.36	6.89	5.41	7.32
	<i>wk</i>	7.97	6.58	5.39	6.85
	<i>wg</i>	6.10	5.17	4.69	4.89
	<i>wm</i>	4.49	3.83	3.60	3.73
Repetición 5	<i>wb</i>	7.90	6.12	5.38	7.43
	<i>wk</i>	7.38	5.80	5.10	6.90
	<i>wg</i>	5.42	4.51	4.04	4.64
	<i>wm</i>	4.27	3.64	3.38	3.32

2.3. Hombre 87 Kg

2.3.1. Frecuencia 1,77:

**Tabla 45. Factor R Hombre 87 Kg – 1,77 Hz**

		Acc 1	Acc 2	Acc 3	Acc4
Repetición 1	<i>wb</i>	10.69	10.34	10.39	9.94
	<i>wk</i>	12.07	11.74	11.85	11.30
	<i>wg</i>	12.73	12.47	12.69	12.05
	<i>wm</i>	11.27	11.12	11.35	10.75
Repetición 2	<i>wb</i>	10.77	10.42	10.43	10.01
	<i>wk</i>	12.03	11.68	11.74	11.20
	<i>wg</i>	12.57	12.28	12.40	11.75
	<i>wm</i>	10.93	10.72	10.87	10.26
Repetición 3	<i>wb</i>	10.59	10.32	10.32	9.87
	<i>wk</i>	11.86	11.61	11.64	11.07
	<i>wg</i>	12.43	12.24	12.32	11.66
	<i>wm</i>	10.83	10.72	10.82	10.22
Repetición 4	<i>wb</i>	10.93	10.64	10.62	10.14
	<i>wk</i>	12.10	11.82	11.89	11.36
	<i>wg</i>	12.55	12.35	12.49	11.93
	<i>wm</i>	10.83	10.73	10.91	10.43
Repetición 5	<i>wb</i>	12.22	11.91	11.94	11.27
	<i>wk</i>	13.62	13.30	13.38	12.63
	<i>wg</i>	14.25	13.95	14.08	13.28
	<i>wm</i>	12.29	12.07	12.23	11.54

2.3.2. Frecuencia 1,92:

**Tabla 46. Factor R Hombre 87 Kg – 1,92 Hz**

		Acc 1	Acc 2	Acc 3	Acc4
Repetición 1	<i>wb</i>	6.28	6.01	6.10	5.86
	<i>wk</i>	6.78	6.51	6.65	6.37
	<i>wg</i>	6.79	6.57	6.78	6.47
	<i>wm</i>	5.67	5.51	5.71	5.40
Repetición 2	<i>wb</i>	6.27	6.09	6.24	6.11
	<i>wk</i>	6.71	6.57	6.77	6.61
	<i>wg</i>	6.66	6.62	6.86	6.65
	<i>wm</i>	5.55	5.53	5.74	5.51
Repetición 3	<i>wb</i>	6.95	6.46	6.44	6.44
	<i>wk</i>	7.25	6.89	6.97	6.87
	<i>wg</i>	6.95	6.87	7.07	6.91
	<i>wm</i>	5.79	5.75	5.91	5.75
Repetición 4	<i>wb</i>	7.43	6.89	6.87	7.18
	<i>wk</i>	7.93	7.40	7.30	7.58
	<i>wg</i>	7.79	7.36	7.24	7.20
	<i>wm</i>	6.31	6.05	6.04	5.68
Repetición 5	<i>wb</i>	7.85	7.51	7.48	7.80
	<i>wk</i>	8.36	8.03	8.07	8.35
	<i>wg</i>	8.24	7.98	8.01	8.11
	<i>wm</i>	6.66	6.48	6.60	6.58

2.3.3. Frecuencia 2,11:

**Tabla 47. Factor R Hombre 87 Kg – 2,11 Hz**

		Acc 1	Acc 2	Acc 3	Acc4
Repetición 1	<i>wb</i>	4.72	3.98	3.48	4.89
	<i>wk</i>	4.61	3.84	3.61	4.93
	<i>wg</i>	3.90	3.42	3.33	3.98
	<i>wm</i>	2.99	2.75	2.74	3.07
Repetición 2	<i>wb</i>	4.31	4.01	3.94	4.57
	<i>wk</i>	4.49	4.22	4.17	4.54
	<i>wg</i>	4.32	4.16	4.19	4.21
	<i>wm</i>	3.57	3.50	3.60	3.51
Repetición 3	<i>wb</i>	7.68	6.40	5.39	5.94
	<i>wk</i>	7.56	6.35	5.42	5.61
	<i>wg</i>	6.30	5.50	4.92	4.71
	<i>wm</i>	4.32	3.78	3.42	3.25
Repetición 4	<i>wb</i>	7.68	6.40	5.39	5.94
	<i>wk</i>	7.56	6.35	5.42	5.61
	<i>wg</i>	6.30	5.50	4.92	4.71
	<i>wm</i>	4.32	3.78	3.42	3.25
Repetición 5	<i>wb</i>	7.10	5.42	5.11	6.21
	<i>wk</i>	6.73	5.41	5.36	6.15
	<i>wg</i>	5.22	5.04	5.09	5.43
	<i>wm</i>	4.16	4.03	4.06	4.21

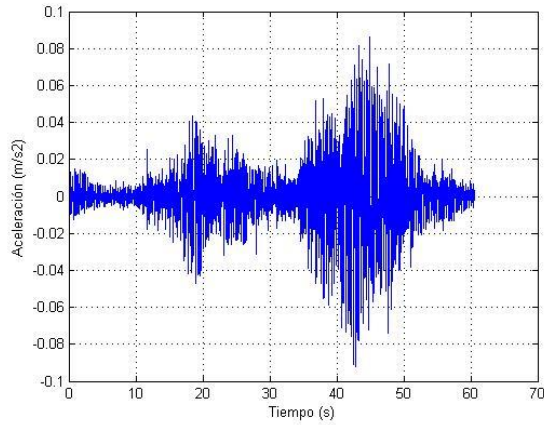
## ANEXO J: Gráficos de Aceleraciones

### 1. Mediciones Hombres

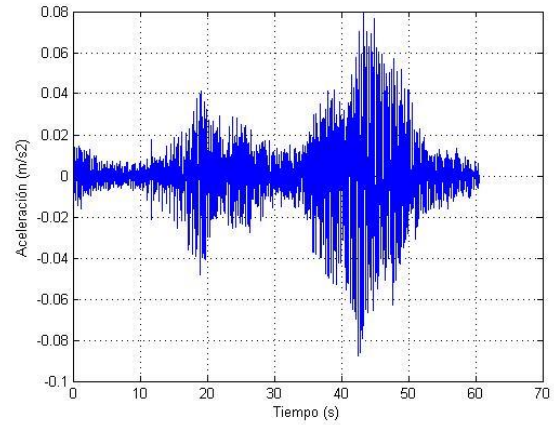
#### 1.1 Hombre Masa: 65 kg

#### 1.1.1 Frecuencia de Caminata: 1,77 Hz (106 bpm)

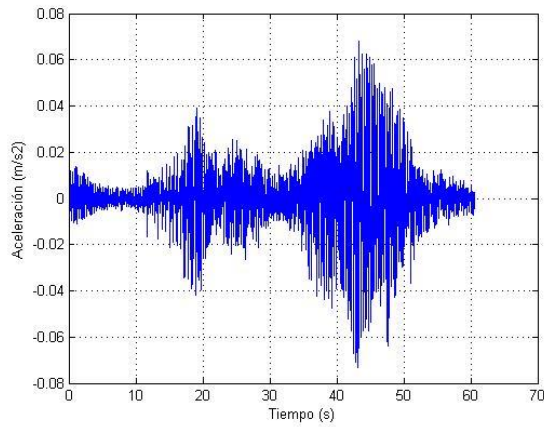
#### Repetición n°1



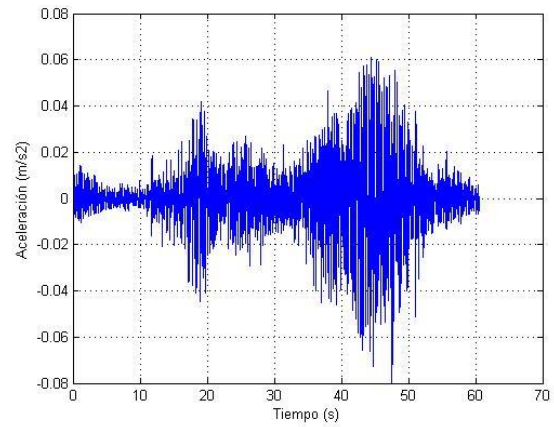
**Figura Acc 1**



**Figura Acc 2**



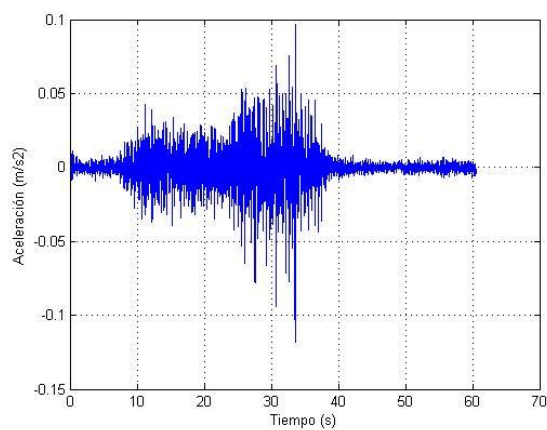
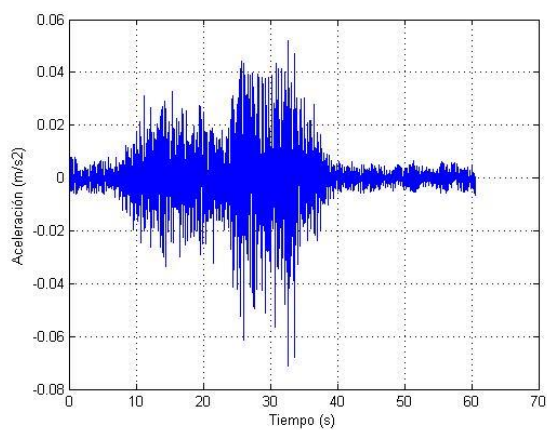
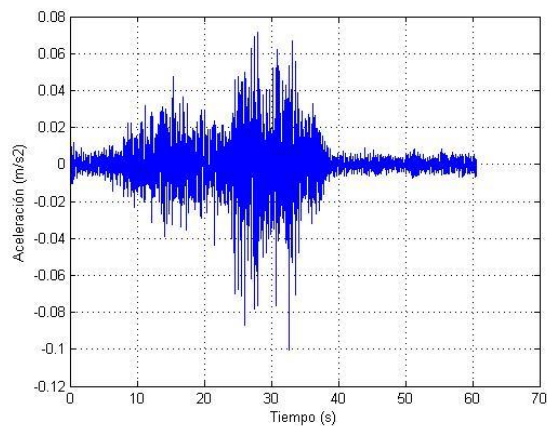
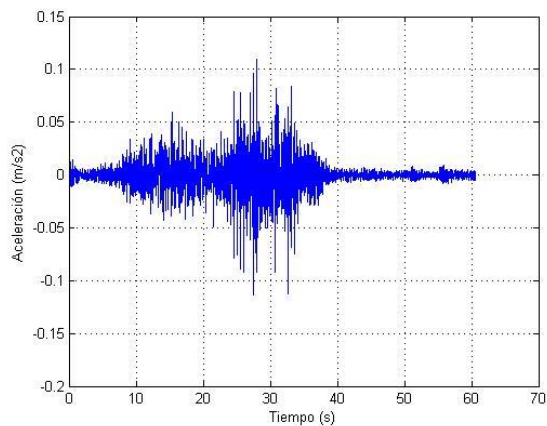
**Figura Acc 3**



**Figura Acc 4**

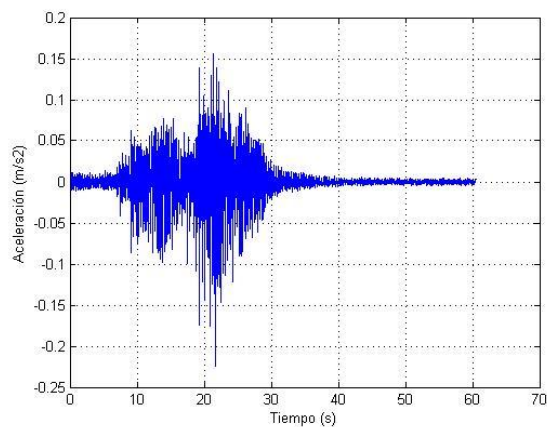
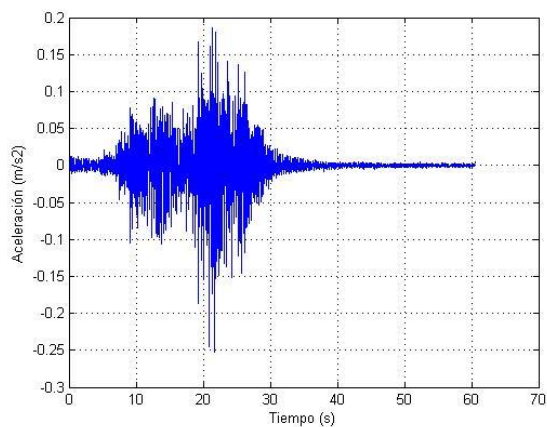
### 1.1.2 Frecuencia de Caminata: 1,91 Hz (115 bpm)

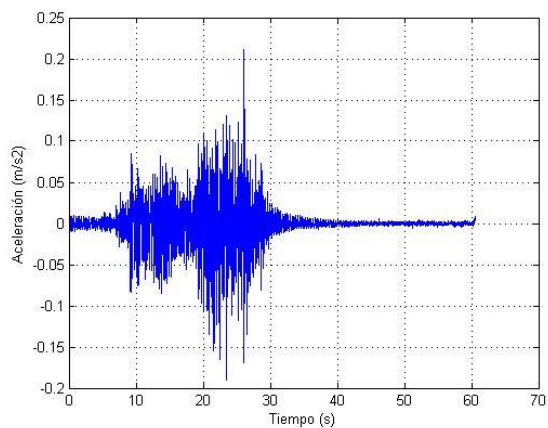
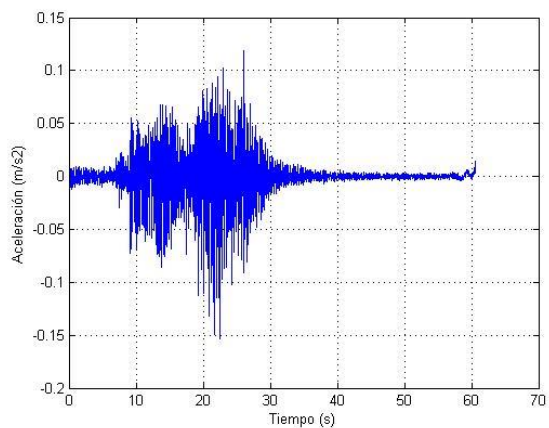
Repetición n°1



### 1.1.3 Frecuencia de Caminata: 2,11 Hz (127 bpm)

Repetición n°1

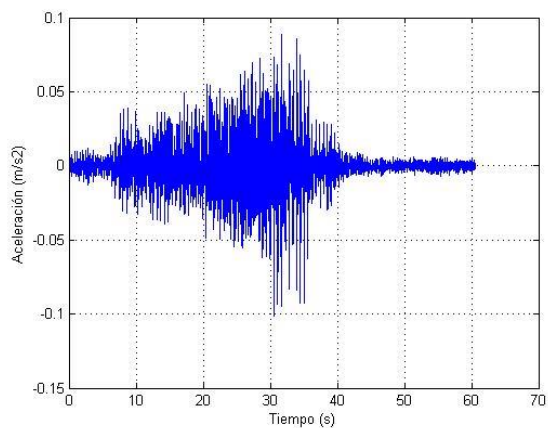
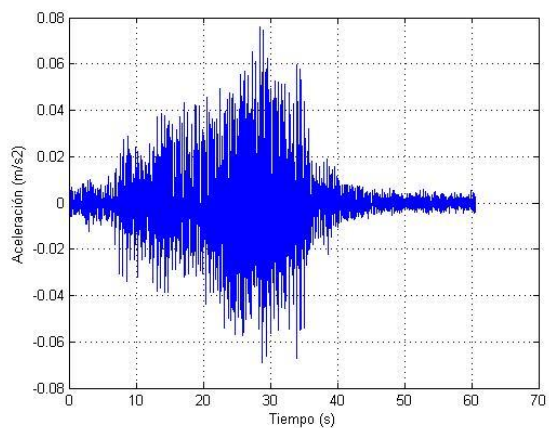
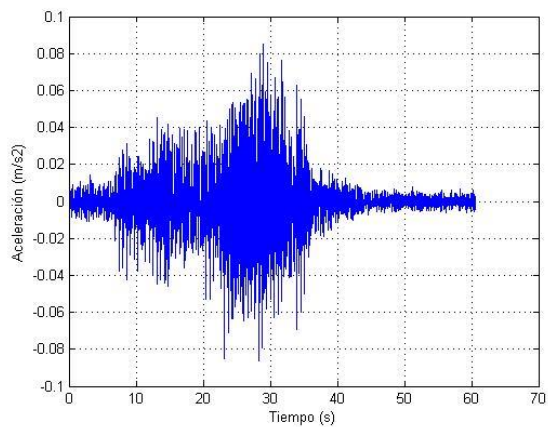
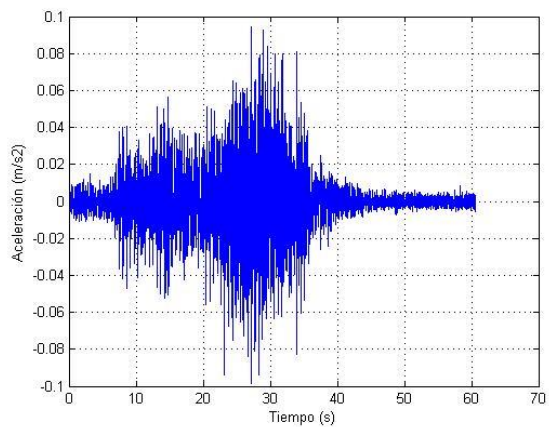




1.2 Hombre Masa: 76 kg

1.2.1 Frecuencia de Caminata: 1,77 Hz (106 bpm)

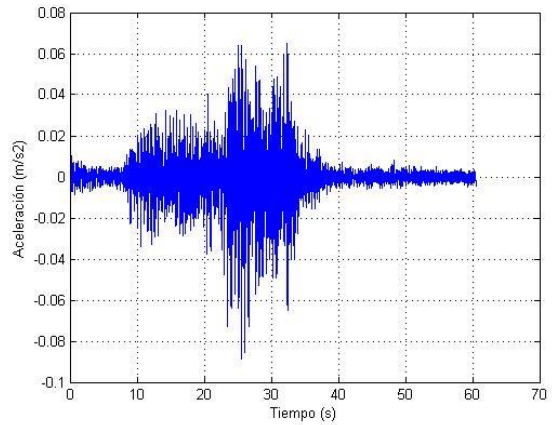
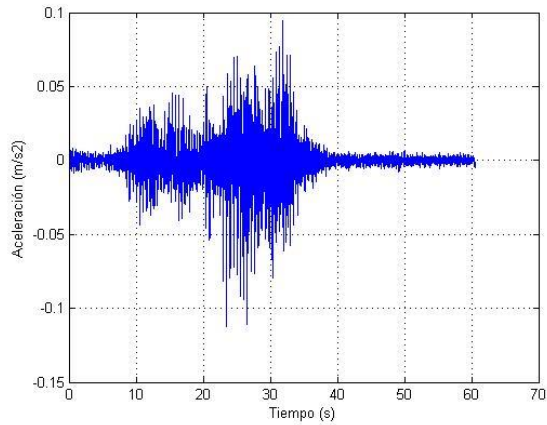
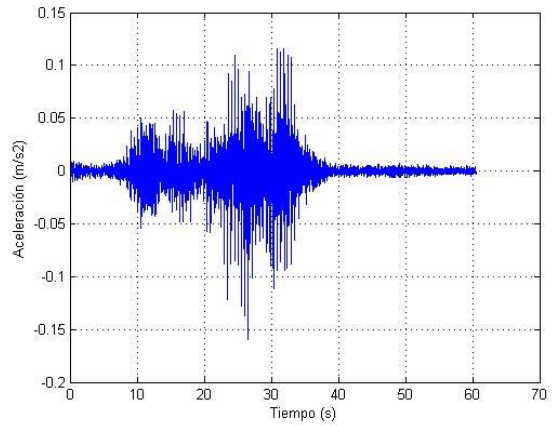
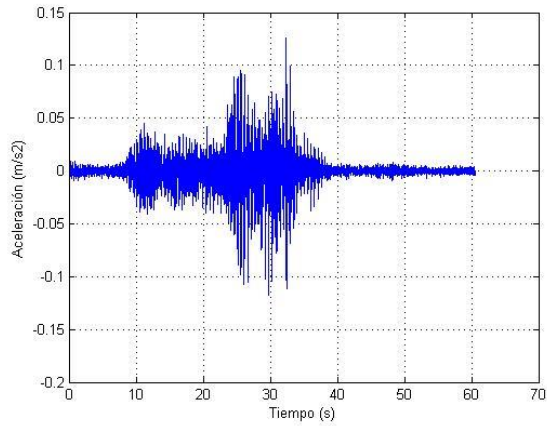
Repetición n°1





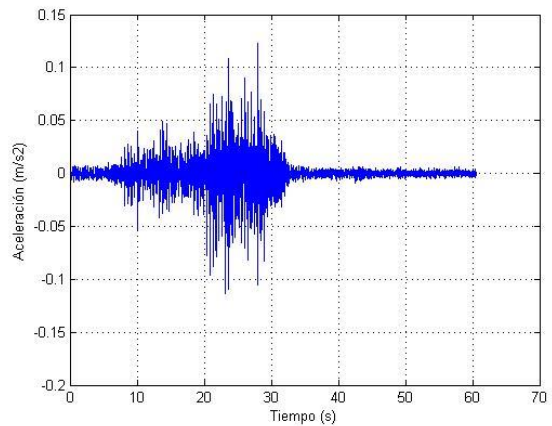
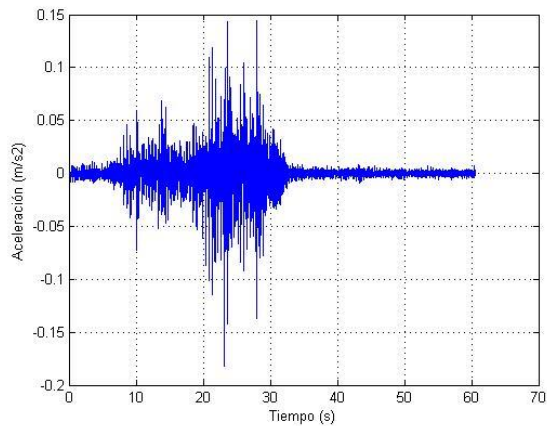
### 1.2.2 Frecuencia de Caminata: 1,91 Hz (115 bpm)

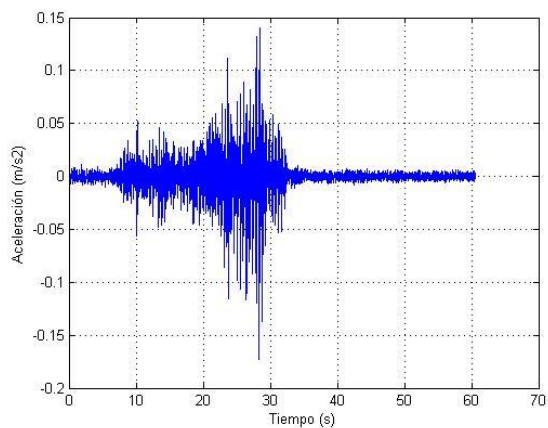
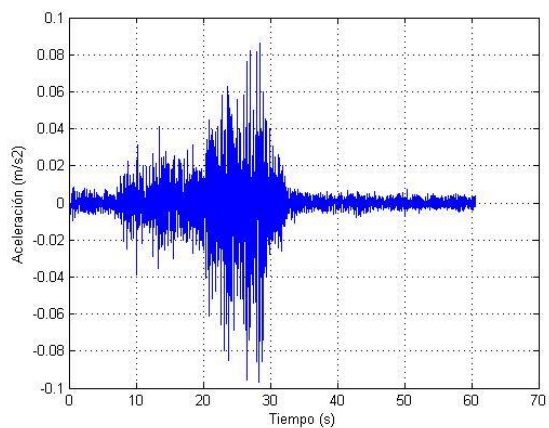
Repetición n°1



### 1.2.3 Frecuencia de Caminata: 2,11 Hz (127 bpm)

Repetición n°1

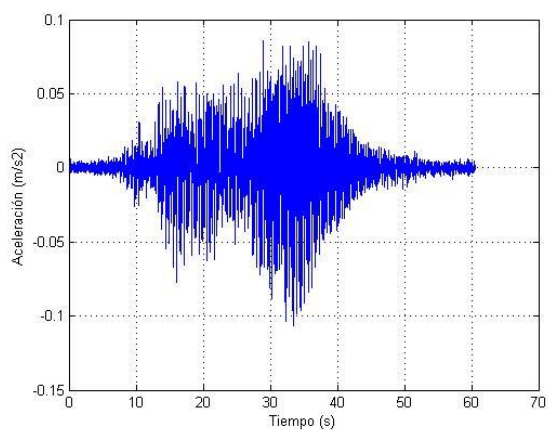
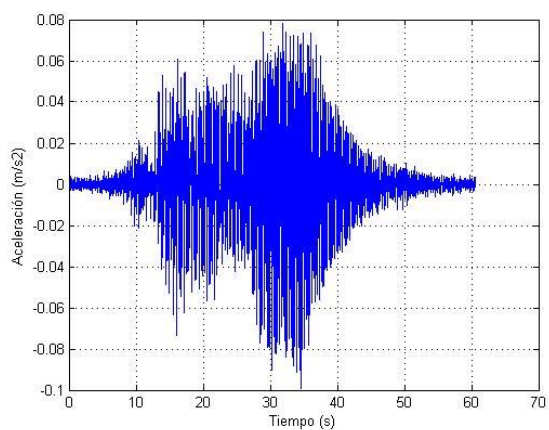
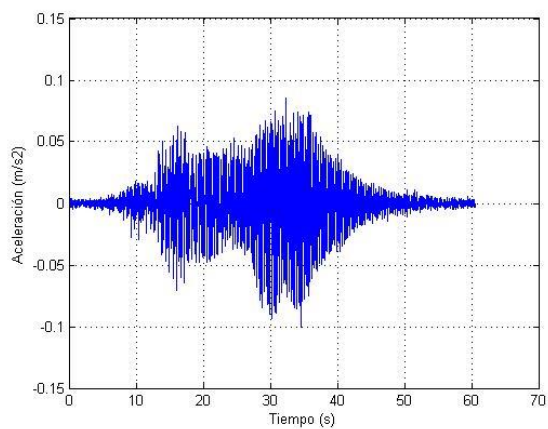
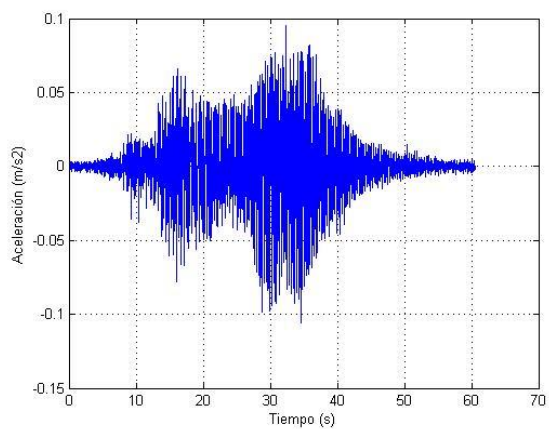




### 1.3 Hombre Masa: 87 kg

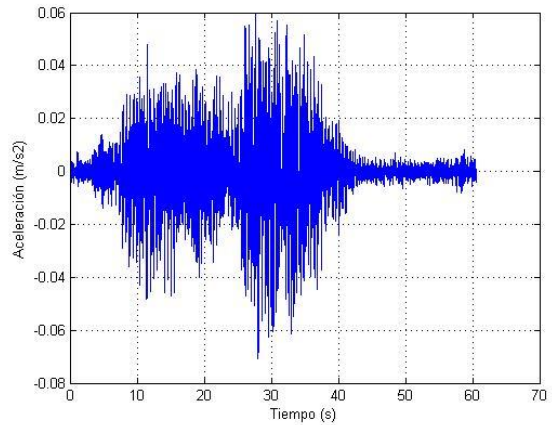
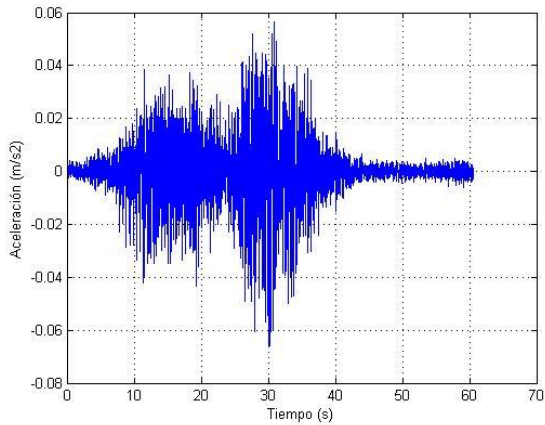
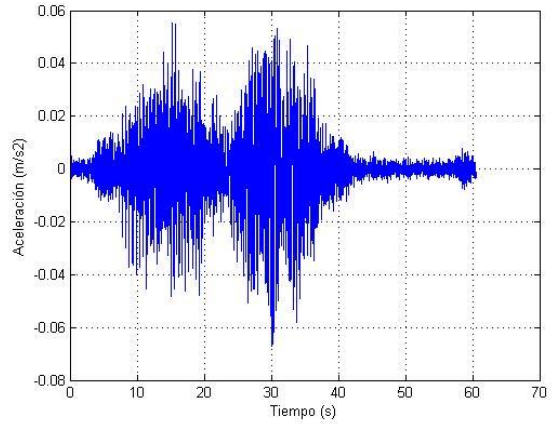
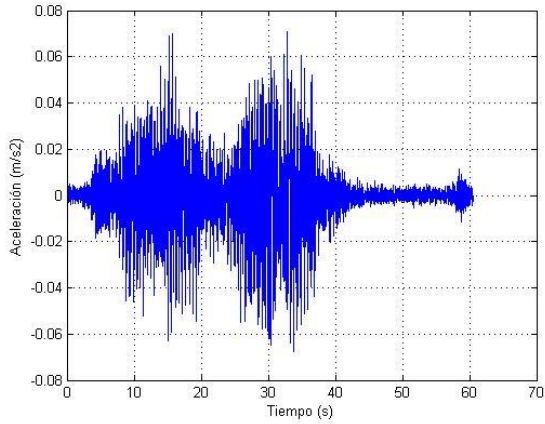
#### 1.3.1 Frecuencia de Caminata: 1,77 Hz (106 bpm)

#### Repetición n°1



### 1.3.2 Frecuencia de Caminata: 1,91 Hz (115 bpm)

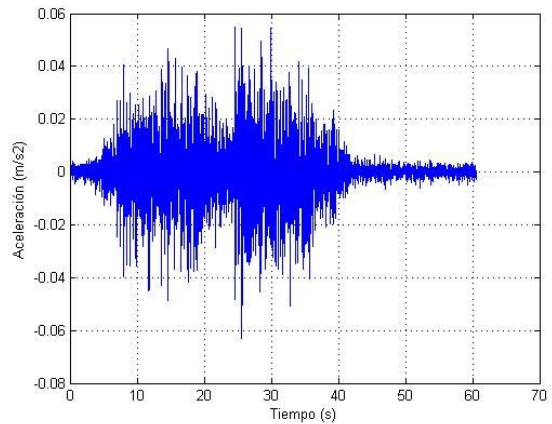
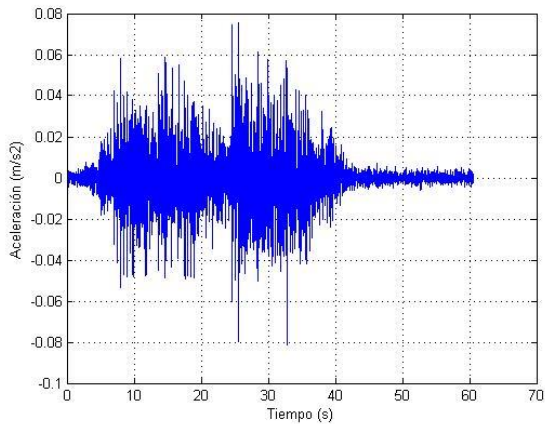
Repetición n°1

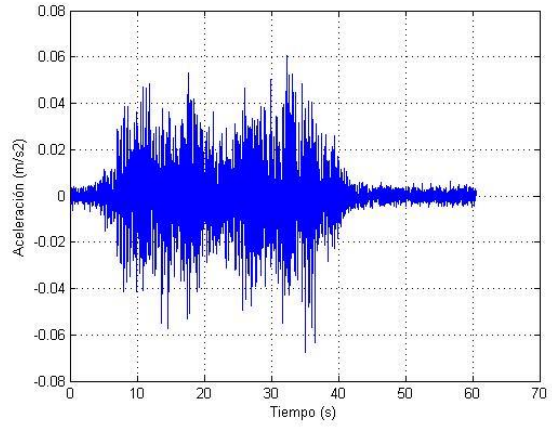
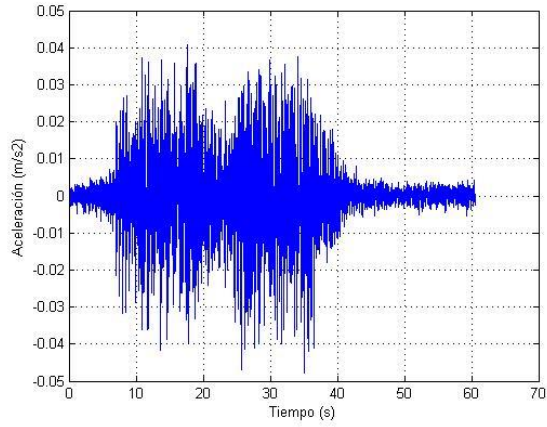


6

### 1.3.3 Frecuencia de Caminata: 2,11 Hz (127 bpm)

Repetición n°1



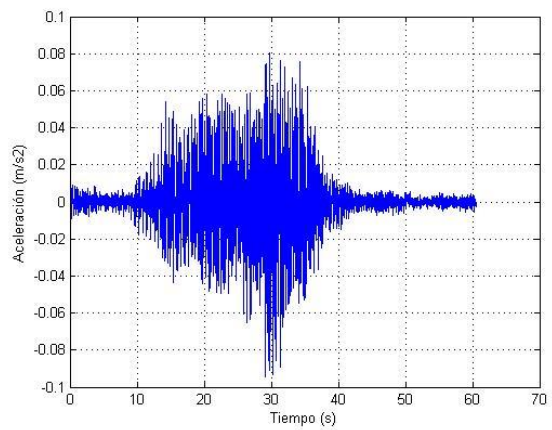
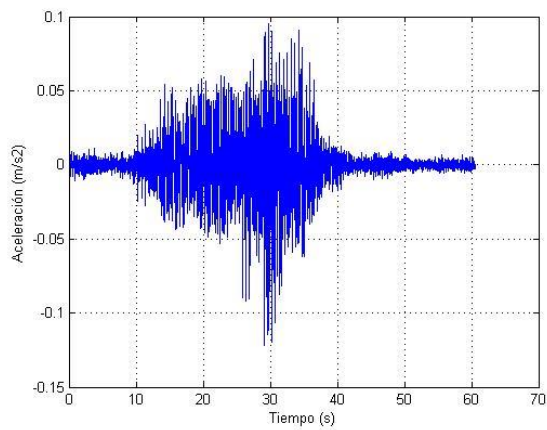
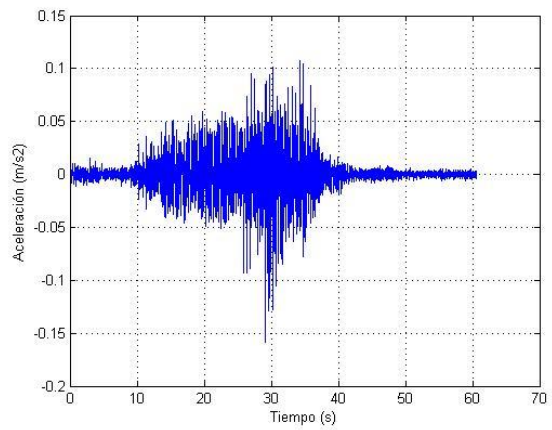
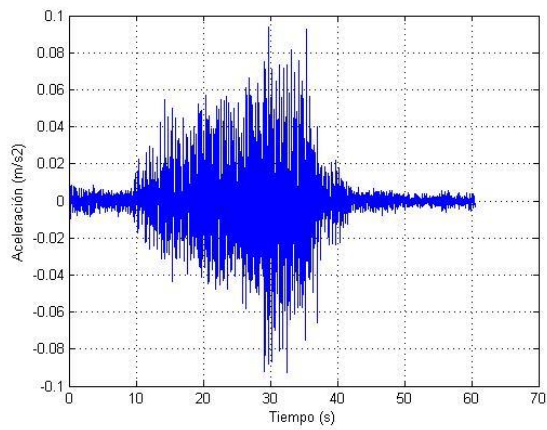


## 2. Mediciones Mujeres

### 2.1 Mujer Masa: 56 kg

#### 2.1.1 Frecuencia de Caminata: 1,77 Hz (106 bpm)

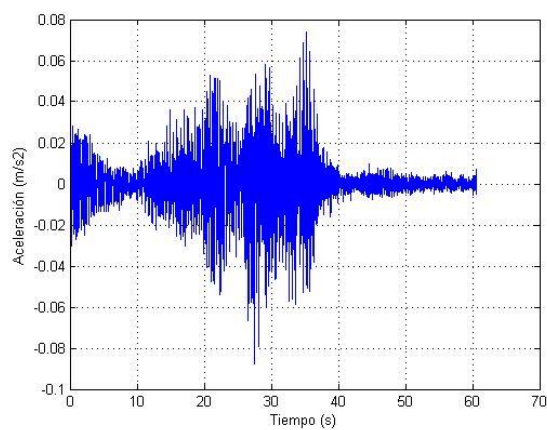
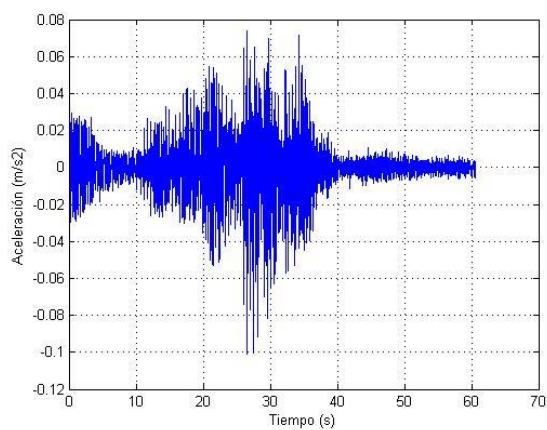
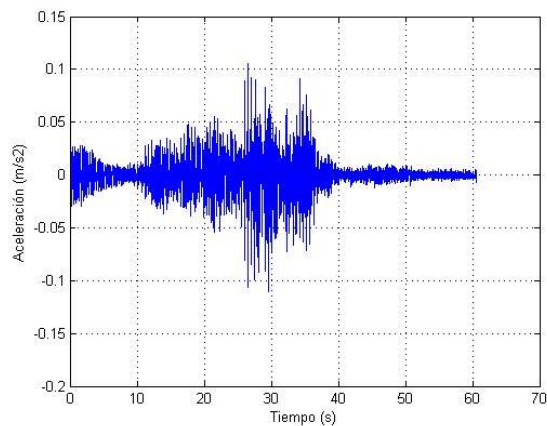
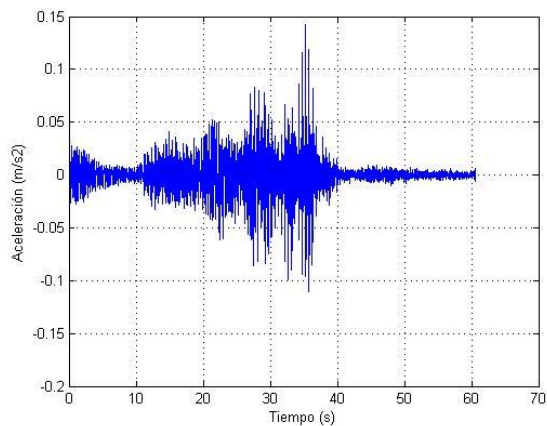
#### Repetición n°1





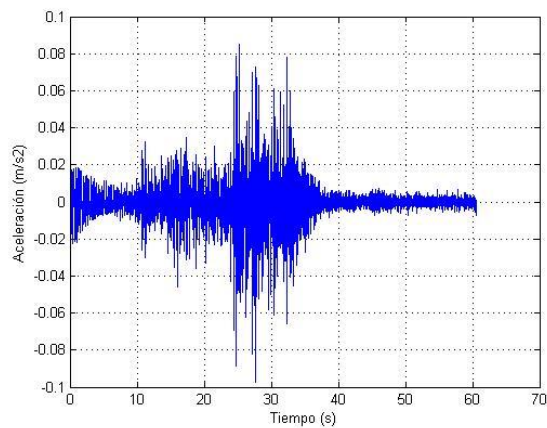
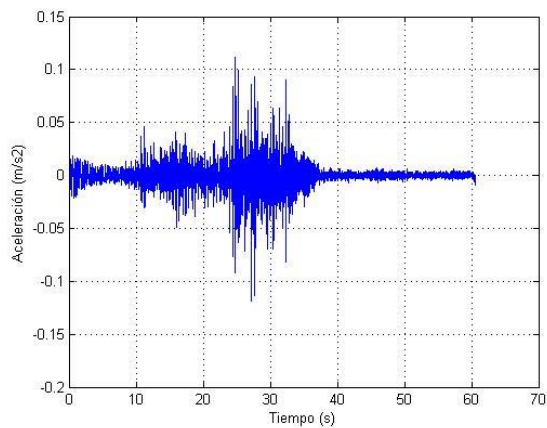
### 2.1.2 Frecuencia de Caminata: 1,91 Hz (115 bpm)

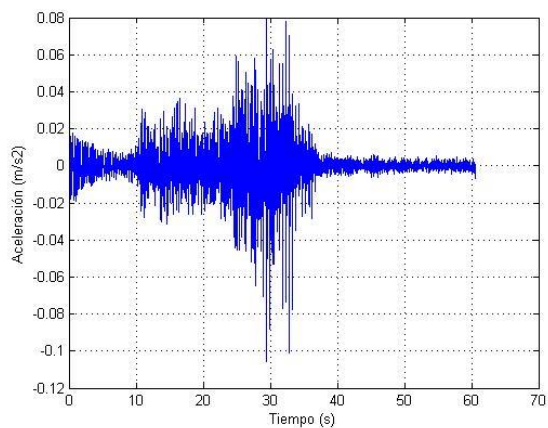
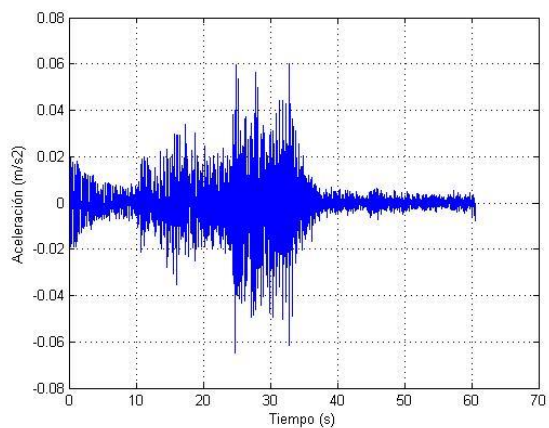
Repetición n°1



### 2.1.3 Frecuencia de Caminata: 2,11 Hz (127 bpm)

Repetición n°1

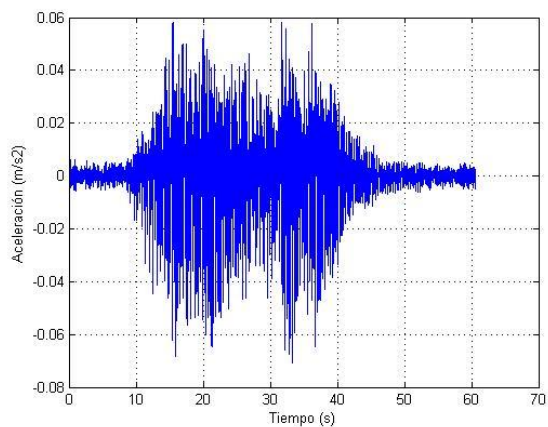
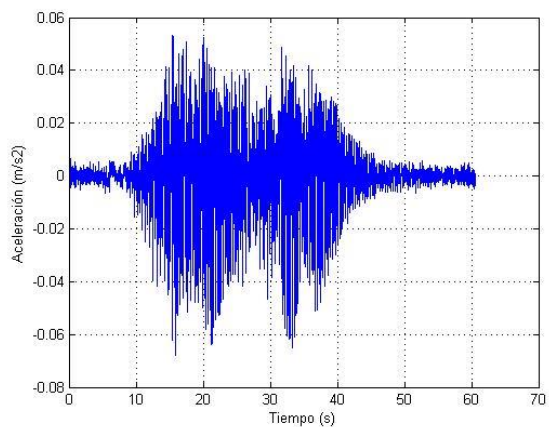
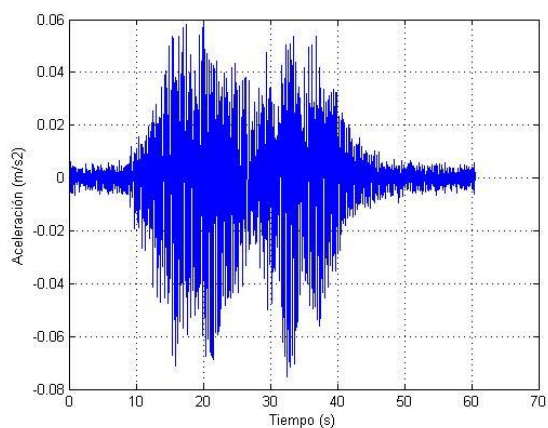
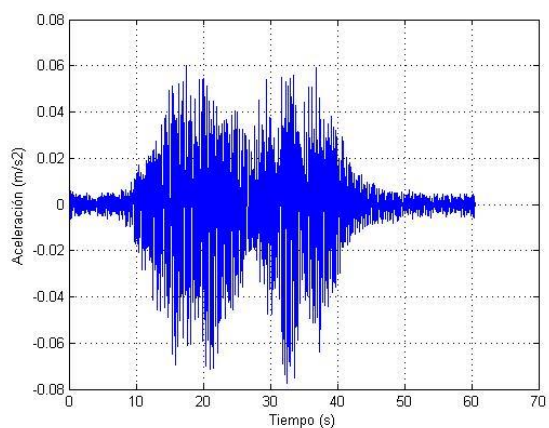




## 2.2 Mujer Masa: 66 kg

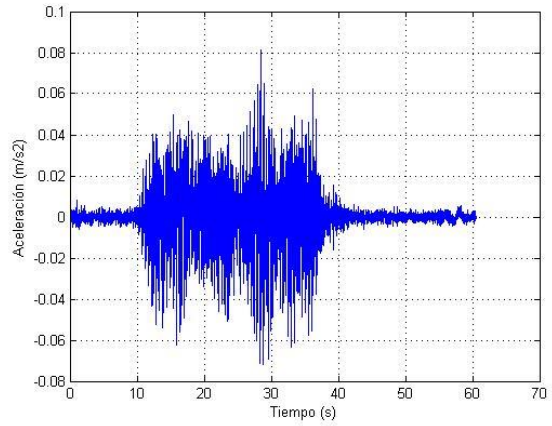
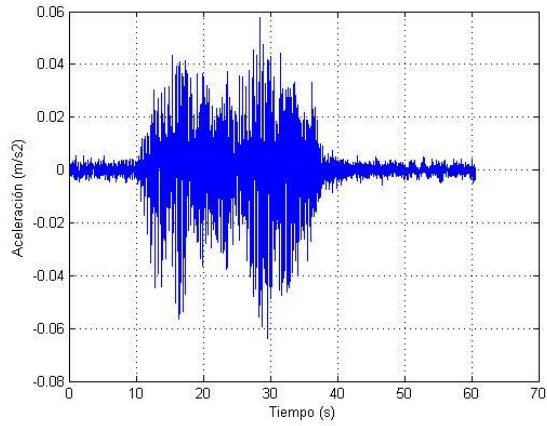
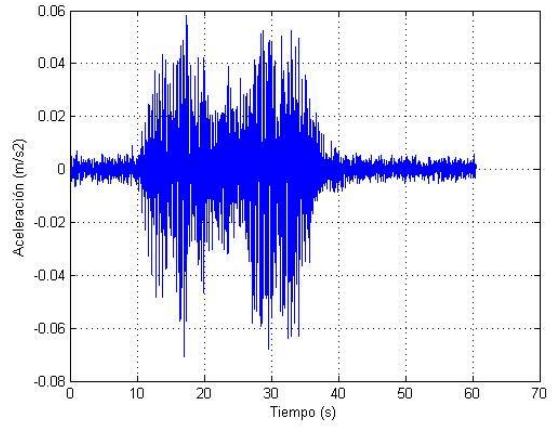
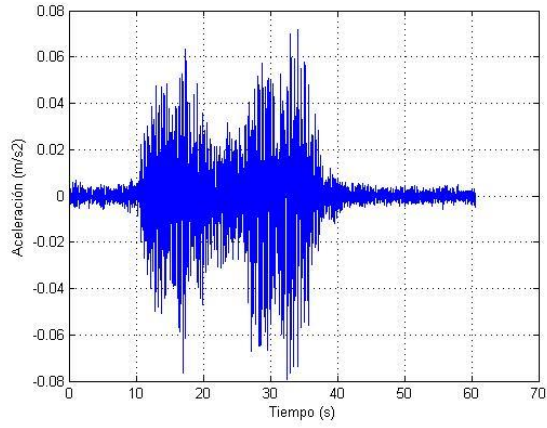
### 2.2.1 Frecuencia de Caminata: 1,77 Hz (106 bpm)

#### Repetición n°1



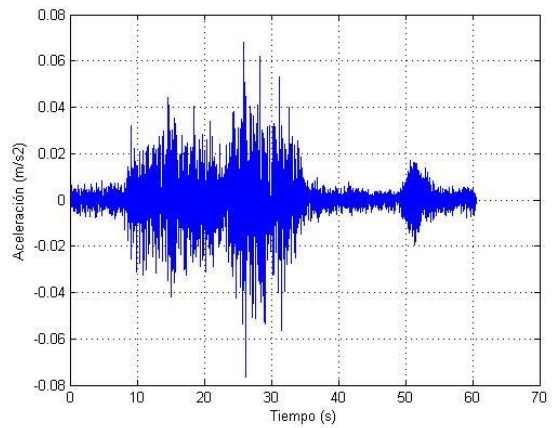
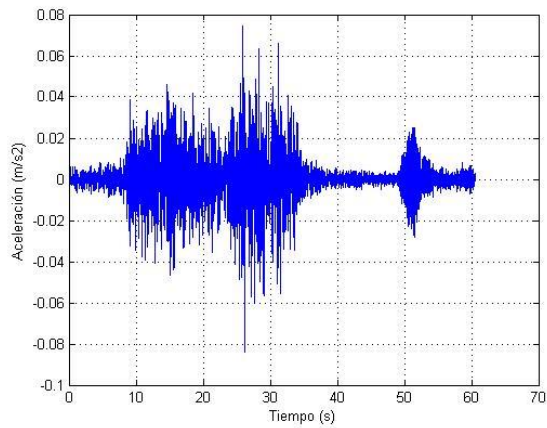
2.2.2 Frecuencia de Caminata: 1,91 Hz (115 bpm)

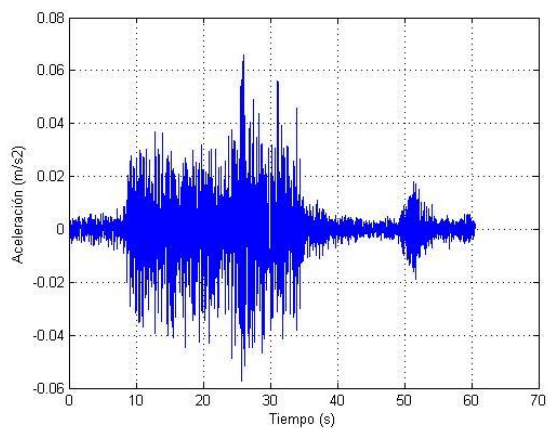
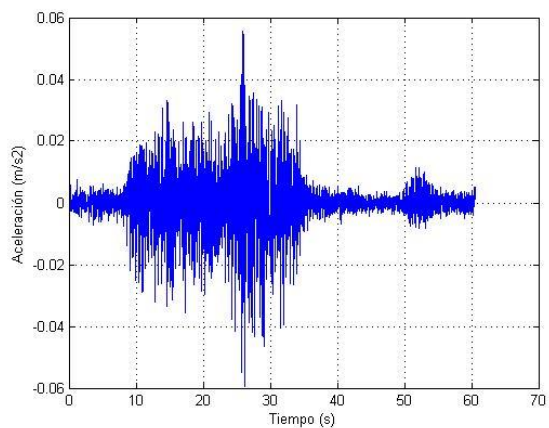
Repetición n°1



2.2.3 Frecuencia de Caminata: 2,11 Hz (127 bpm)

Repetición n°1

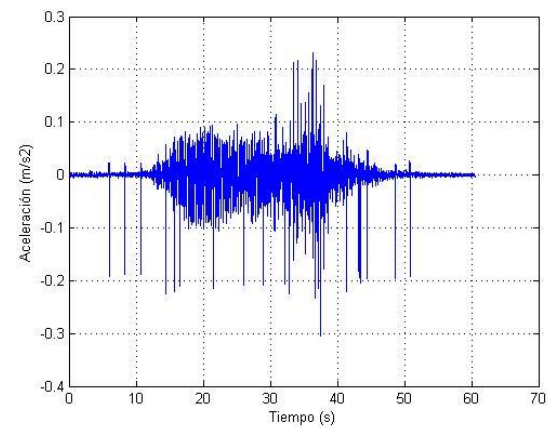
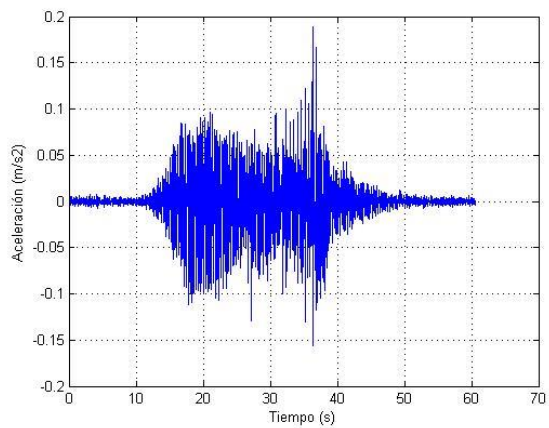
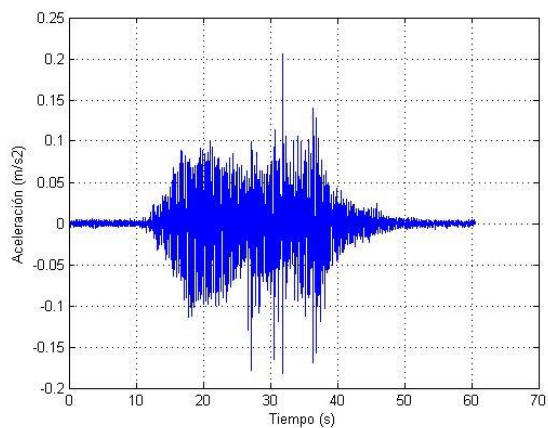
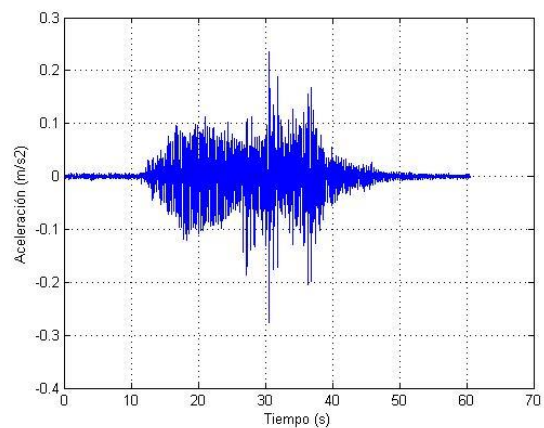




### 2.3 Mujer Masa: 76 kg

#### 2.3.1 Frecuencia de Caminata: 1,77 Hz (106 bpm)

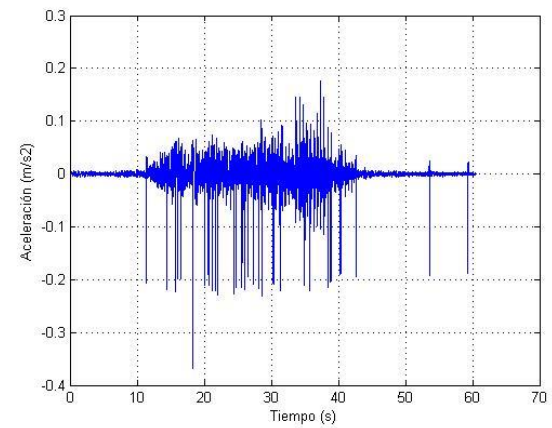
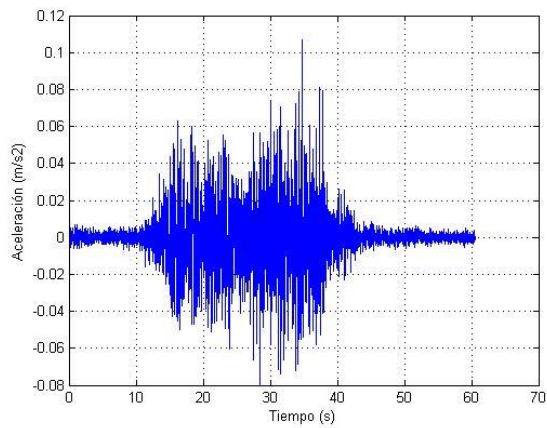
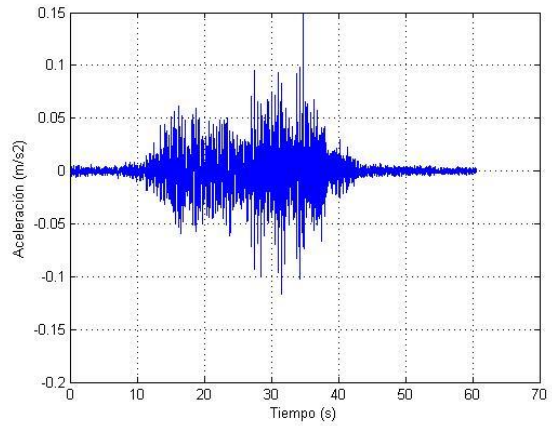
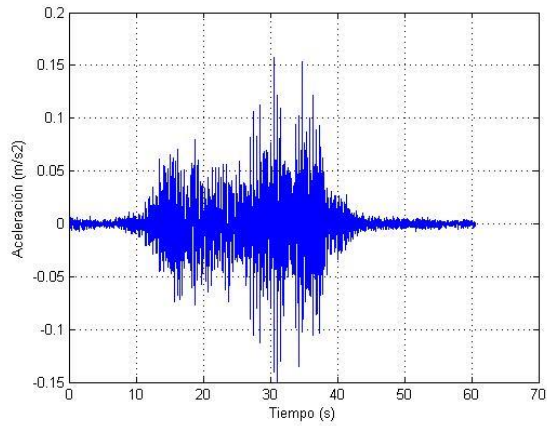
#### Repetición n°1





### 2.3.2 Frecuencia de Caminata: 1,91 Hz (115 bpm)

Repetición n°1



### 2.3.3 Frecuencia de Caminata: 2,11 Hz (127 bpm)

Repetición n°1

