

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante: Alexander Opazo Vega



***“EVALUACIÓN DE UNA CONFIGURACIÓN
OPTIMA DE PISOS DE MADERA PARA EL
CONTROL DE VIBRACIONES EN VIVIENDAS
SOCIALES”***

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

CAMILA NICOLE MONTENEGRO REBECO

CONCEPCIÓN, MARZO DEL 2016

Dedicatoria:

Mi investigación es dedicado a:

Dios, Padres, Esposo e hija.

AGRADECIMIENTOS

NOMENCLATURA

VDV : Valor dosis de vibración, **$m/s^{1.75}$**

f_p : Frecuencia de paso, **Hertz**

W_b : Función ponderadora de frecuencia

$eVDV$: Valor dosis de vibración de la jornada completa, **$m/s^{1.75}$**

$rVDV$: Valor representativo de VDV de un modelo de piso, **$m/s^{1.75}$**

C_{24} : Calidad mecánica de la madera aserrada de pino radiata

f_n : Frecuencia natural, **Hertz**

FFT : Transformada rápida de Fourier

$IFFT_t$: Inversa de la Transformada Rápida de Fourier

INDICE

1.1.- Identificación y justificación del problema	8
1.2.- Objetivos de la Investigación	9
<i>1.2.1 Objetivo general</i>	9
<i>1.2.2 Objetivos específicos</i>	9
1.3.- Metodología de Trabajo	10
2.- ASPECTOS CLAVES DE LOS PROBLEMAS DE LAS VIBRACIONES EN ENVIGADOS DE PISO.	11
2.1.- Cargas dinámicas inducidas por el caminar humano	11
2.2.- Respuesta del envigado de piso frente a las cargas verticales inducidas por las personas	12
2.3.- Evaluación de la serviciabilidad	13
<i>2.3.1 Funciones de ponderación de frecuencia</i>	13
<i>2.3.2 Indicador de desempeño VDV</i>	14
<i>2.3.2 Criterio de Mann-Whitney</i>	25
2.4.- Validación de la configuración óptima	16
3. MATERIALES Y METODOS	18
3.1.- Descripción del sistema constructivo	18
3.2.- Procedimiento de construcción del envigado de madera óptimo.	19
3.3. Instrumentación y medición de vibración en el envigado de piso.	20
<i>3.3.1.- Obtención de las propiedades dinámicas del piso evaluado</i>	22
<i>3.3.2.- Procedimiento para la obtención del indicador de desempeño VDV</i>	23
3.4. Instrumentación y medición de deflexión en envigado de piso	25
4.- RESULTADOS DE LAS EVALUACION EXPERIMENTAL DEL ENVIGADO DE PISO.	27
4.1.- Propiedades dinámicas de los envigados de piso evaluados	27
4.2.- Indicador de desempeño VDV	29
4.3.- Evaluación de la serviciabilidad vibratoria	31
4.4.- Validación de la configuración óptima del envigado	33
5.- CONCLUSIONES	36
6.- BIBLIOGRAFÍA	40

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Metodología general	10
Figura N° 2. Cargas verticales modeladas para distintas frecuencias de paso.....	11
Figura N° 3. Funciones ponderadoras de frecuencias W_b , W_g , W_d (Rojas, 2015).....	13
Figura N° 4. Gráfica de barras. Cálculo de deflexión para distintos países europeos	17
Figura N° 5. Vista longitudinal de la estructura, con sus respectivas dimensiones.....	18
Figura N° 6. Vista frontal de apoyos. (a) Tacos de madera, (b) conector metálico.....	19
Figura N° 7. Vista módulo de adquisición National Instruments	20
Figura N° 8. Vista de los acelerómetros en el envigado de piso	20
Figura N° 9. Gráfico Amplitud de la aceleración en el dominio de frecuencia, correspondiente al envigado de luz 2.4 (m), con apoyo madera.....	22
Figura N° 10. Amplitud de la aceleración en el dominio de frecuencia, correspondiente al envigado de luz 2.4 (m), con apoyo madera.....	23
Figura N° 11. Señal de aceleración vertical (sin ponderar) y señal de aceleración vertical filtrada y ponderada, ambas en el dominio del tiempo, correspondiente al envigado de 2.4 (m) con apoyo de madera.....	24
Figura N° 12. (a) Vista del transductor de desplazamiento, (b) Caja conmutación CSW-5A (C) Data Logger	25
Figura N° 13. Gráfico de frecuencia fundamental versus Pisos	27
Figura N° 14. Gráfico de razón de amortiguamiento versus Pisos	28
Figura N° 15. Gráfico de VDV versus Pisos	29
Figura N° 16. Gráfico combinación VDV, Frecuencia de paso y Piso	30
Figura N° 17. Gráfico e VDV Jornada día y noche versus Pisos (Ellis)	32
Figura N° 18. Gráfico desplazamiento medido en función a los envigados de pisos.....	34
Figura N° 19. Gráfico desplazamiento medido en función a los envigados de pisos.....	35

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Frecuencias Medias Obtenidas por Diversos Autores.....	12
Tabla N° 2. Rangos de valores del indicador VDV[<i>ms</i> 1. 75].....	15
Tabla N° 3. Criterios de diseño para la deflexión con una carga puntual de 1 kN.....	17
Tabla N° 4. Descripción de los elementos estructurales.....	18
Tabla N° 5. Masa corporal y frecuencia de paso de los caminantes.....	21
Tabla N° 6. VDV representativos, utilizando criterio de Ellis (2001).....	31
Tabla N° 7 . Deflexión vertical medida experimentalmente.....	33

EVALUACIÓN DE UNA CONFIGURACIÓN ÓPTIMA DE PISOS DE MADERA PARA EL CONTROL DE VIBRACIONES EN VIVIENDAS SOCIALES

Autor: Camila Montenegro Rebeco

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

Correo Electrónico: camonten@alumnos.ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Alexander Opazo Vega

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

Correo Electrónico: aopazove@ubiobio.cl

RESUMEN

La madera se consolida como uno de los materiales protagonistas por sus valiosas propiedades estructurales, y además es un material eficiente desde el punto de vista de la sustentabilidad. Por ello, es que las viviendas al ser de madera otorgan una sensación de confort y proporciona mejor calidad de vida a sus habitantes.

La percepción de seguridad y comodidad del usuario es una variable importante en el diseño de estructuras. En Chile, se ha estudiado poco este fenómeno, por lo tanto, es de suma importancia el análisis de la serviciabilidad, el cual condiciona un óptimo diseño de las estructuras.

La presente investigación tiene el objetivo evaluar una configuración óptima de un envigado de madera para el control de vibraciones que se generan por el desplazamiento de los usuarios, según criterios de serviciabilidad vibratoria establecidos por las normas internacionales BS.6472.2008 e ISO.10137.2007.

Para el desarrollo de esta investigación se efectuaron mediciones de las aceleraciones inducidas por el desplazamiento de personas, con distintas masas corporales, sobre un envigado de madera de carácter experimental. De esta manera, se determinó el indicador de desempeño que permite evaluar la serviciabilidad según las normativas antes mencionadas.

Para esta investigación, se encontró el óptimo para una luz de 2.4 m, que fue validado por el método de deflexiones.

Palabras Claves: Serviciabilidad, Vibraciones, Construcción sustentable, Envigados de piso.

6050 Palabras Texto + 26 Figuras/Tablas*250 = 12.550 Palabras aprox.

EVALUATION OF OPTIMUM SETTING HARDWOOD FLOORS FOR CONTROL OF VIBRATIONS IN SOCIAL HOUSING

Author: Camila Montenegro Rebeco

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

Email: camonten@alumnos.ubiobio.cl

Professor Sponsor: Alexander Opazo Vega

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

Email: aopazove@ubiobio.cl

SUMMARY

Over the years, it is becoming aware of issues such as environment, availability of natural resources, pollution effects, decreased energy used, among other related topics, from this arise concepts such as sustainable construction, is this wood that has established itself as one of the key materials for their valuable properties. So it is that when wooden houses give a sense of comfort and provides quality of life for its inhabitants.

The perception of safety and user comfort is an important structural design variable. Therefore, it is paramount analysis serviceability, which determines an optimal design of the structures.

This research aims to evaluate the optimal configuration of a wooden beams to control vibration generated by the movement of users, according to criteria established by vibrational serviceability international standards BS.6472.2008 and ISO.10137.

For the development of this research measurements of accelerations induced displacement of people, with different body masses, on a wooden beams they were made experimental. Thus, the performance indicator which allows evaluating serviceability as the aforementioned regulations determined.

Thus, it was determined that the methodology described in the evaluation of vibration, serviceability criteria mentioned above are met.

Keywords: serviceability, vibration, sustainable construction, beams and floor.

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 de madera, debido a las vibraciones que se producen en las estructuras cuando se encuentran sometidas a cargas horizontales y/o verticales.

La mayoría de los problemas de vibraciones en los envigados de piso, implican esfuerzos repetitivos causados por el caminar de las personas, esta es la fuente de cargas dinámicas más común e importante en las estructuras, ya que, las personas caminan a una frecuencia regular, pudiendo causar una acumulación de energía en la respuesta del sistema. (SCI, 1989). Es por tanto, de suma importancia el análisis de serviciabilidad, la cual condiciona un óptimo diseño de las estructuras, y le permite al usuario un mayor confort en su diario vivir.

En Chile, actualmente no existe un manual para el control de vibraciones, ya sea verticales u horizontales en los envigados de piso. Por ello se justifica realizar investigaciones que permitan controlar el nivel de vibraciones y/o deflexiones en la etapa de diseño, ya que es muy difícil modificar la planta existente para reducir su respuesta a las vibraciones, una vez construida.

En esta investigación se evaluarán diferentes configuraciones (disminución de luz y apoyo) de envigados de piso para encontrar la disposición óptima para el control de las vibraciones en viviendas sociales.

1.2.- Objetivos de la Investigación

1.2.1 Objetivo general

- Evaluar la configuración óptima de un piso de madera para el control de vibraciones en viviendas sociales.

1.2.2 Objetivos específicos

- Sintetizar el estado del arte para el control de vibraciones en pisos de madera.
- Diseñar conceptualmente la metodología de evaluación compatible con la realidad en Chile.
- Construir la configuración óptima de un piso de madera que cumpla con las normativas vigentes en Chile.
- Medir las vibraciones inducidas por desplazamientos de distintos tipos de personas.
- Validar la configuración óptima de un piso según la normativa vigente en Chile.

1.3.- Metodología de Trabajo

En la Figura N°1 se observa un esquema general de los pasos a seguir respecto a los objetivos propuestos en este informe.

ETAPA	SUB-ETAPA			HITOS
Estudio de Antecedentes	Revisión Bibliográfica	Revisión Normativa	Selección Material	Estado del Arte
Diseño	Elección geometría	Elección tipo de unión	Elección tipo de unión	Diseño Óptimo
Construcción	Construcción geometría	Construcción uniones	Normativa	Construcción Óptima
Medición	Fuente	Instrumentación	Resultados	Base de datos
Evaluación	Resultados v/s Normativa	Resultados v/s Receptor	Análisis de Resultados	Configuración Óptima

Figura N° 1. Metodología general

En la Figura N°1 se muestra el trabajo en 5 etapas (izquierda), a las cuales se asocia un hito de término (derecha). En la parte central se señalan las actividades que se llevan a cabo durante el desarrollo de estas.

2.- ASPECTOS CLAVES DE LOS PROBLEMAS DE LAS VIBRACIONES EN ENVIGADOS DE PISO.

En este capítulo se entrega a nivel general los conceptos de carga dinámica, respuesta del envigado de piso, evaluación de la serviciabilidad, y su posterior validación a través de las mediciones de deflexión.

En primer lugar, es necesario conocer el concepto de serviciabilidad: *“Las vibraciones que se producen en los envigados de piso son detectadas por los usuarios y pueden afectar de muchas maneras su calidad de vida como su eficiencia en el trabajo. La primera señal evidente es cuando se generan comentarios negativos en cuanto a los envigados de piso (BS, 2008)”*.

2.1.- Cargas dinámicas inducidas por el caminar humano

Las cargas dinámicas se generan por la frecuencia de paso, y la masa corporal que poseen los usuarios. La frecuencia de paso es definida como el número de pasos generados por un individuo en un segundo, medida en unidad de frecuencia [Hz], su importancia radica en que determina la forma, y la amplitud de la carga vertical generada como se muestra en la Figura N°2.

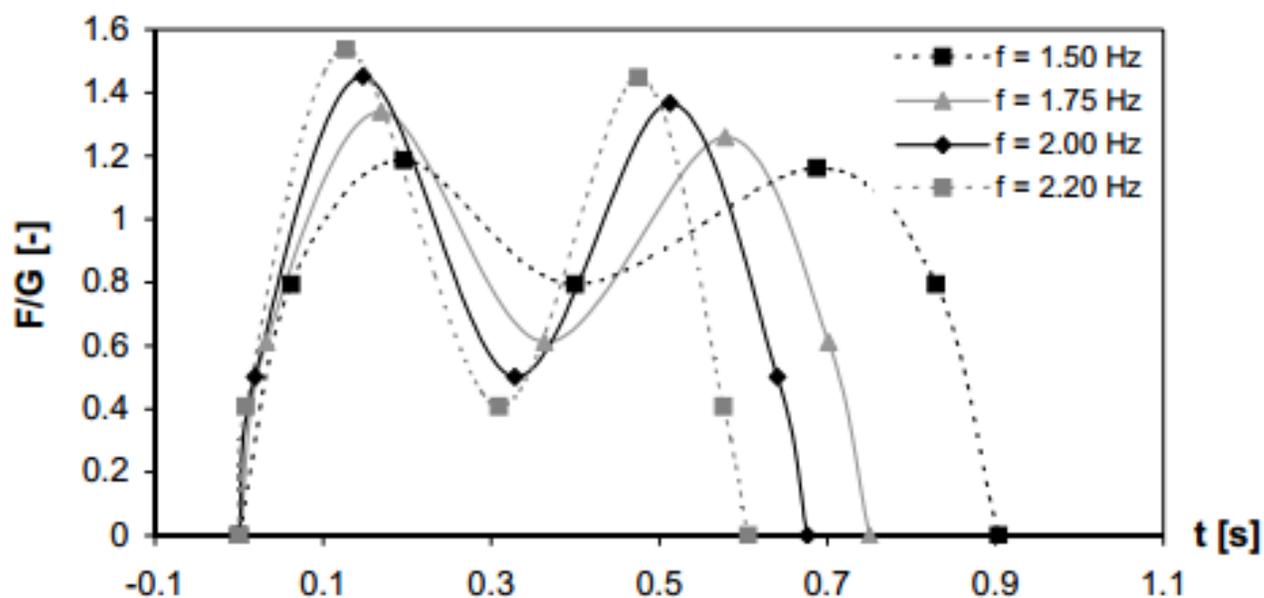


Figura N° 2. Cargas verticales modeladas para distintas frecuencias de paso

(Waarts et al, 2006)

En la Tabla N°1 se presentan las frecuencias de paso medias (μ_{fp}) obtenidas por distintos autores, junto a la desviación estándar (σ_{fp}), y el número de personas sobre el que se realizó el estudio. De esto se observa que la frecuencia media al caminar fluctúa entre 1,8 Hz y 2 Hz.

Tabla N° 1. Frecuencias Medias Obtenidas por Diversos Autores

Autor	N	μ_{fp}(Hz)	σ_{fp}(Hz)
Matsumoto, 1972.	505	1.99	0.173
Kerr y Bishop, 2001	40	1.9	----
Zivanovic et al., 2005	1976	1.87	0.186
Pachi and Ji, 2005	200	1.86	0.11
Ingólfsson, 2006	19	1.83	0.104
Ríos, 2013	100	1.81	0.196

2.2.- Respuesta del envigado de piso frente a las cargas verticales inducidas por las personas

Para conocer la respuesta del envigado de piso, es importante tener en cuenta la frecuencia natural y la razón de amortiguamiento.

La razón de amortiguamiento es una medida de la rapidez con que decae la respuesta de vibración en el sistema (Rojas, 2015). El amortiguamiento depende de los materiales empleados, detalles de construcción y la presencia de componentes no estructurales (ISO, 2007).

Por otro lado, la frecuencia fundamental de una estructura es la que posee una oscilación libre sin estar excitada continuamente por un agente excitador (Leiva, 2013), depende de la masa y rigidez de la estructura. Para envigados de pisos se distinguen dos tipos: de alta frecuencia cuando los envigados superan el rango de 7-10 (Hz), y de baja frecuencia cuando es menor a este rango (BSI, 2008).

2.3.- Evaluación de la serviciabilidad

Para la evaluación de la serviciabilidad es necesario considerar el indicador de desempeño (VDV) “valor de dosis de vibración”, para determinar el nivel de vibración. En este caso de estudio se consulta a la norma ISO.10137.2007 y la BS.6472.2008.

2.3.1 Funciones de ponderación de frecuencia

El objetivo de las funciones ponderadoras es atenuar las frecuencias que son de menor importancia. Estas se ven afectadas por ruido, música en exceso o alguna maquinaria presente.

Las normas BS.6472-1 e ISO.10137 recomiendan el uso de funciones ponderadoras de frecuencia (W_b , W_g , W_d), para evaluar la respuesta humana a las vibraciones, de manera que los niveles generales de respuesta puedan ser interpretadas en términos de percepción, comodidad y/o comentarios adversos. La función utilizada en esta investigación es la ponderadora W_b . En la Figura N°3 se muestran las funciones ponderadoras.

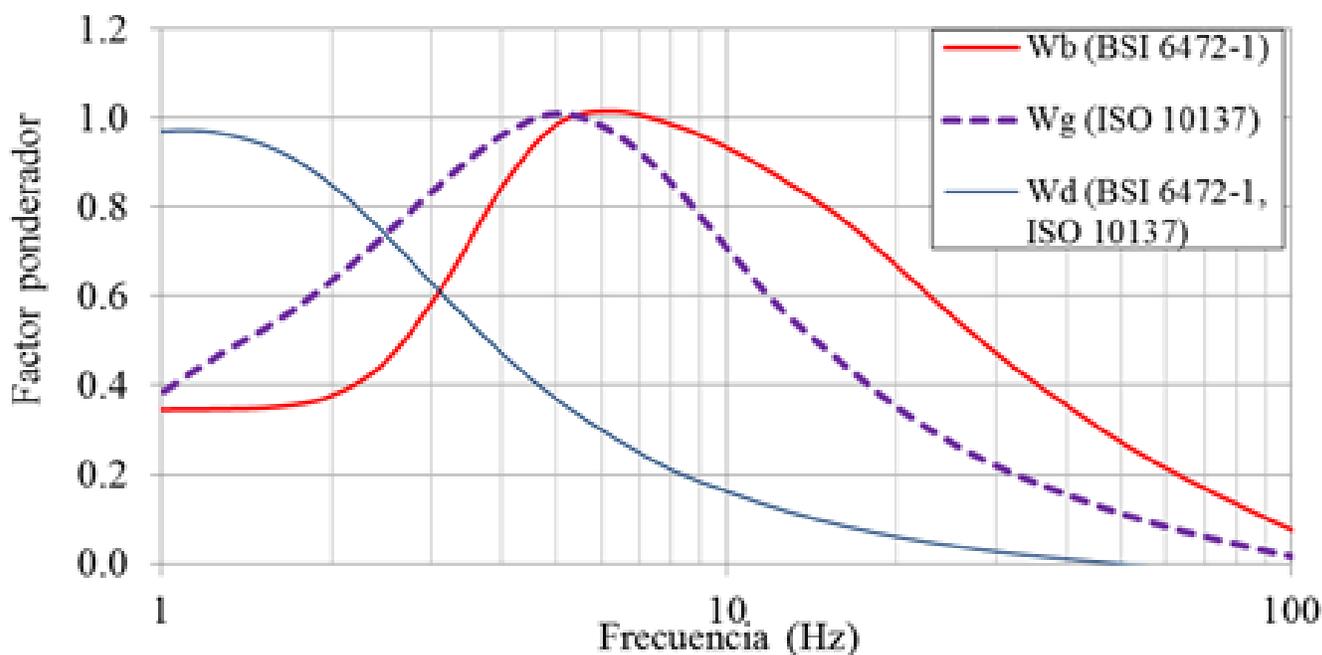


Figura N° 3. Funciones ponderadoras de frecuencias W_b , W_g , W_d (Rojas, 2015)

2.3.2 Indicador de desempeño VDV

Las normas ISO 10137.2007 y BSI 6472-1 recomiendan la utilización del indicador VDV, el cual estima la probabilidad de que existan comentarios adversos por parte de los seres humanos que experimentan la vibración en la estructura.

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

Este indicador se define matemáticamente según lo indicado en la Ecuación (1).

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

Dónde:

$VDV_{w,t}$: Valor dosis de vibración de la jornada (día o noche), $m/s^{1.75}$

$a(t)$: Aceleración vertical medida en terreno y ponderadora frecuencia , Wb, Wg, Wd .

T : Tiempo de duración de la vibración , s

El VDV se debe determinar a partir de una medición obtenida de la exposición total de vibraciones, ya sea jornada día o jornada noche. Si no es posible de realizar como se presenta anteriormente, es necesario obtener el VDV de la jornada (día o noche), según la norma BS.6472-1, la cual, se define en las siguientes ecuaciones.

- a) Cuando las condiciones de vibración son constantes o repetidas regularmente, sólo es una muestra representativa. Esta es de (t) segundos de duración, para la medición. De esta forma el indicador VDV de la exposición total se puede calcular con la Ecuación (2):

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

Dónde:

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

t_t : Tiempo de duración de la medición representativa, s

VDV_t : Indicador de vibración, $m/s^{1.75}$

b) Por otro lado, cuando la exposición de la vibración consiste en dos o más periodos (n), de diferentes magnitudes, el valor de dosis de vibración para la jornada día o noche se puede calcular con la Ecuación 3.

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

Dónde:

n : Número de periodos de diferentes magnitudes

VDV_{w,dia/noche} : Valor dosis de vibración, **m/s^{1.75}**

En la Tabla N°2 se muestran los criterios de evaluación de la serviciabilidad vibratoria de sistemas de piso en base a indicadores VDV, para las normas ISO.10137 y BSI.6472-1.

Tabla N° 2. Rangos de valores del indicador VDV[m/s^{1.75}]

Ambiente	Baja probabilidad comentarios adversos	Posibles comentarios adversos	Probables comentarios adversos	Norma
Exposición de 16 horas, Jornada día.	0.2 a 0.4	0.4 a 0.8	0.8 a 1.6	ISO 10137 BS 6472-1
Exposición de 8 horas, Jornada noche.	0.13	0.26	0.51	ISO 10137
	0.1 a 0.2	0.2 a 0.4	0.4 a 0.8	BS 6472-1
Nota: Para oficinas y talleres, factores de 2 y 4 respectivamente deberían ser aplicados sobre los rangos de VDV para 16 horas día.				

Sin embargo, para cada piso se debe obtener un solo valor de VDV que sea representativo de las caminatas realizadas en él. Para ello, Ellis (2001) propone calcular este indicador a partir de la Ecuación 4:

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

Donde $rVDV$ es el valor representativo para cada piso evaluado y VDV_{max} es el máximo valor VDV registrado de las caminatas.

Los criterios para evaluar el desempeño vibratorio del sistema, expuestos en la Tabla N°2, están definidos para jornadas de exposición día y noche, por ello, es necesario obtener el parámetro $eVDV$ correspondiente a la jornada total de exposición a vibraciones. Este indicador se determina a partir de la Ecuación (6).

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

Donde se asume que $rVDV$ corresponde a una medición representativa de (t) segundos, y que se repetirá “ n ” cantidad de veces durante el tiempo total de exposición en la jornada considerada. El valor para $eVDV$ día es $2.38 rVDV$ y el valor para $eVDV$ noche es $2 rVDV$. Para evaluar la serviciabilidad vibratoria se establece como límite la mitad del rango más desfavorable de la tabla N°2.

2.4.- Validación de los criterios de serviciabilidad en base a desplazamientos verticales.

Desde el punto de vista de la serviciabilidad, existen criterios que miden vibraciones (como el VDV) como se ha mencionado anteriormente. Por otro lado, existen métodos simplificados que solo miden desplazamiento vertical para cargas puntuales. Los métodos de mediciones y vibraciones son complementarios entre sí.

El indicador de deflexión, que se presenta en la normativa EN 1995-1-1, establece el criterio para el control del desplazamiento vertical del envigado de piso bajo un punto de carga de 1 KN.

En Europa diversos estudios exponen criterios para el cálculo de la deflexión, por ello en la Tabla N°3 se establecen los criterios de diseño para la deflexión y en la Figura N°4 se establecen los valores para la deflexión límite, para distintos tipos de pisos, luz entre apoyo, etc. Este indicador permite la validación de la configuración óptima de piso desde el punto de vista de la serviciabilidad.

Tabla N° 3. Criterios de diseño para la deflexión con una carga puntual de 1 kN

País	Límite (mm/kN)	
AT	1.5	Pisos normales
	1	Cuando hay perturbación de estructuras adyacentes
BE	1.5	
DK	1.7	Luz ≤ 5000 - 6000 m
FI	0.5 K	Luz ≤ 6000 mm K depende de la luz
	0.5	Luz > 6000 mm
FR	1.3	
IE	1.8	Luz ≤ 4000 mm
	16.500/L ^{1.1}	Luz > 4000 mm
DE	N/A	
IT	1.0	
NL	1.0	
NO	0.9	Piso normal y rígido
	0.6	Piso Alto y rígido
ES	N/A	N/A
SE	1.5	
UK	1.8	Luz ≤ 4000 mm
	16.500/L ^{1.1}	Luz > 4000 mm

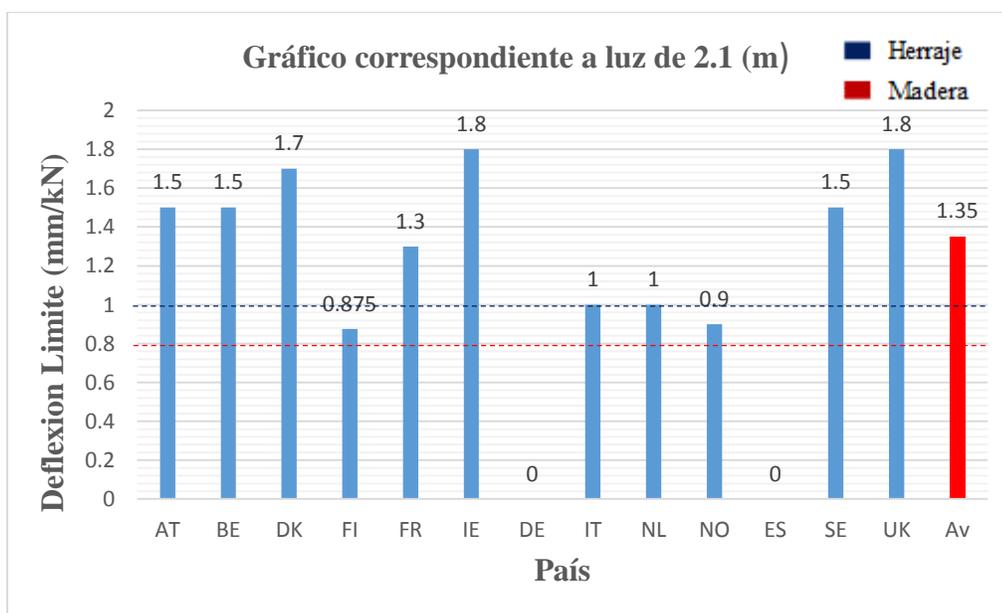


Figura N° 4. Gráfica de barras. Cálculo de deflexión para distintos países europeos

3. MATERIALES Y METODOS

En este capítulo se exponen los materiales utilizados para la elaboración de la investigación, tales como: Sistema constructivo, instrumento de medición de vibración e instrumentación para medir la deflexión. Por otro lado, se exponen los métodos utilizados, tales como: Construcción del sistema, propiedades dinámicas e indicadores de desempeño.

3.1.- Descripción del sistema constructivo

En esta investigación se analizó un envigado de madera de longitud inicial en planta de 3X4 m. Esta estructura está conformada por vigas exteriores e interiores, cadenetas, elementos de arriostre y una placa de terciado estructural.

La configuración de los elementos estructurales es la siguiente se exponen en la Tabla N°4:

Tabla N° 4. Descripción de los elementos estructurales

ELEMENTO	CANTIDAD	LONGUITUD (mm)	DIMENSION
Viga exterior	2	2100 a 3000	2x6 ´
Viga interior	9	2100 a 3000	2x6 ´
Cadeneta	20	410	2x6 ´
Arriostre	8	-	-

Existen 2 vigas exteriores de 2x6' y 9 vigas interiores de 2x6' espaciadas a 410(mm); 20 cadenetas tipo MSD estructural de grado mecánico C24 con un espesor de 41 (mm) ubicadas a 1220 (mm) del borde de la estructura; además placas de terciado Arauco estructural con un espesor de 15 (mm).

En la Figura N°5 se presenta un esquema representativo de lo anteriormente mencionado.

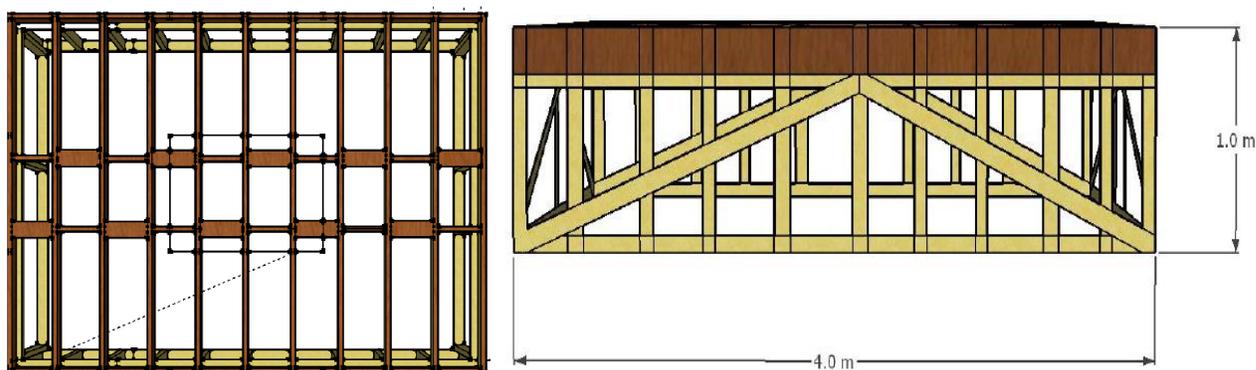


Figura N° 5. Vista longitudinal de la estructura, con sus respectivas dimensiones

Además, se utilizaron como sistema de apoyo tacos de madera, y conectores SIMPSON modelo H2.5. Estos están dispuestos de manera simétrica entre vigas. En la Figura N°6 se muestran los tipos de apoyo utilizados en esta investigación.



(a)



(b)

Figura N° 6. Vista frontal de apoyos. (a) Tacos de madera, (b) conector metálico

3.2.- Procedimiento de construcción del envigado de madera óptimo.

Se realizaron 8 mediciones, para 4 luces diferentes (3 m, 2.7 m, 2.4 m y 2.1 m) con 2 tipos de apoyo para cada piso como se mencionó anteriormente. El procedimiento se expone posteriormente:

- a) Se sustituyen los clavos por tornillos, para facilitar la modificación del envigado de piso.
- b) Se instala en nuevo sistema de apoyo, para la primera medición se utilizaron tacos de madera.
- c) Se realiza la primera medición con una luz de 3 m.
- d) Se extrae la plancha de terciado estructural que se encontraba en la parte superior del envigado de piso.
- e) Se sustituye el apoyo de madera por conectores metálicos, manteniendo la luz de 3 m.
- f) Para las siguientes mediciones se modifican los sistemas de apoyo, y la luz de las vigas principales (2.7 m, 2.4 m, 2.1 m).

3.3. Instrumentación y medición de vibración en el envigado de piso.

El equipo requerido para la instrumentación del envigado de piso, será un módulo de adquisición digital National Instruments de señal dinámica como se muestra en la Figura N°7, que contiene 2 tarjetas de 4 canales de entrada cada uno, que digitalizan las señales simultáneamente, con un tiempo de adquisición de 12 segundos y una frecuencia de muestreo de 1651.68 [Hz], con su respectivo software para lectura y visualización de la información almacenada. El programa Labview es el que captura la aceleración en su eje y entrega valores de las aceleraciones.



Figura N° 7. Vista módulo de adquisición National Instruments

La disposición de los 5 acelerómetros fue determinada por la recomendación de la BSI.6472-1, que indica que los acelerómetros deben ubicarse en la zona donde son percibidas las vibraciones.

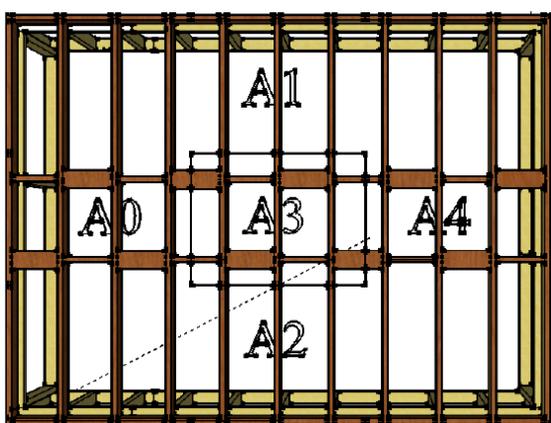


Figura N° 8. Vista de los acelerómetros en el envigado de piso

Es muy difícil identificar una posición única, por lo tanto, es más razonable medir en un lugar donde se presenten los más altos niveles de vibración, esto ocurre preferentemente en la parte central del envigado de piso y a un cuarto del largo de la estructura. En la Figura N°8 se presenta el esquema utilizado en esta investigación.

Al terminar de colocar los acelerómetros se coordinan tres frecuencias de paso, mediante el uso de un Metrónomo, correspondiente a 1.4 [Hz], 1.8 [Hz] y 2.2 [Hz]. Estas fueron las frecuencias que se utilizaron en las caminatas.

Conforme a lo anterior, en la Tabla N°5 se exponen las frecuencias de paso escogidas y las masas corporales. El objetivo de la elección de estas frecuencias de paso y masas corporales es lograr una muestra representativa del grupo étnico existente en nuestro país.

Tabla N° 5. Masa corporal y frecuencia de paso de los caminantes

Masa Corporal (kg)		Frecuencia de Paso (Hz)	
Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres
66	56	1.4	1.4
76	66	1.8	1.8
86	76	2.2	2.2

El estado nutricional de Santiago indica que la masa corporal promedio de la población masculina adulta es 75,8 [kg] con una desviación estándar de 10,7[kg] y para la población adulta femenina es de 65,8 [kg] con una desviación estándar de 10,4[kg].

3.3.1.- Obtención de las propiedades dinámicas del piso evaluado

El procedimiento para obtener la frecuencia fundamental y la razón de amortiguamiento es el siguiente:

- Se procesaron las señales registradas por el individuo de 66 kg en cada uno de los pisos. Las señales procesadas fueron captadas por el acelerómetro N° 3, ya que, su ubicación en el envigado de piso permite captar el modo de vibrar fundamental de la estructura.
- Se centran y filtran los registros obtenidos, con el fin de eliminar cualquier interferencia o ruido ajeno a la medición.
- Por medio de la Transformada rápida de Fourier (FFT) se procede a cambiar los registros en el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia. A continuación en la Figura N°9 se presenta el grafico correspondiente al envigado de luz 2.4 (m) con apoyo de madera.

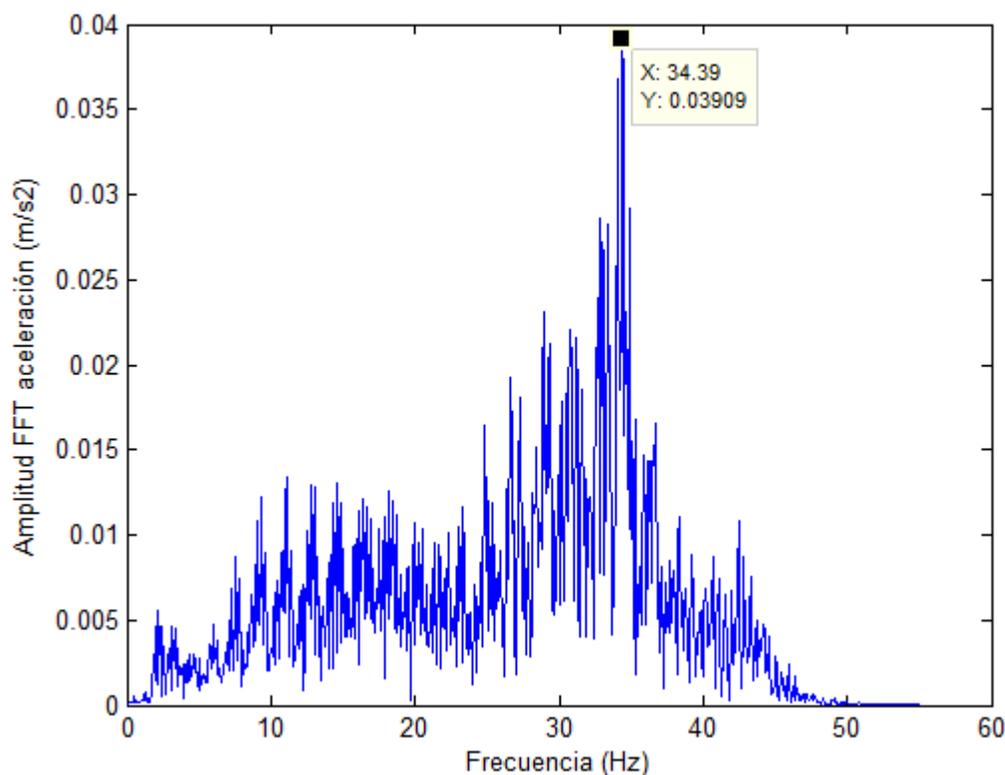


Figura N° 9. Gráfico Amplitud de la aceleración en el dominio de frecuencia, correspondiente al envigado de luz 2.4 (m), con apoyo madera

Como se aprecia en la Figura N°9, el valor peak de amplitud de la FFT de la señal es 34.39 [Hz], el valor corresponde a frecuencia de vibración fundamental para el envigado de piso de luz 2.4 (m), con apoyo de madera. Los gráficos que entregan amplitud de la aceleración en el dominio de frecuencia se señalan en el anexo B.

3.3.2.- Procedimiento para la obtención del indicador de desempeño VDV

El procedimiento para encontrar el indicador de desempeño VDV es el siguiente:

- Se registran las señales de las aceleraciones verticales generadas por las caminatas, durante un periodo de 12 segundos.
- Por medio del programa computacional Labview se guardan las señales de las aceleraciones verticales.
- Los registros de aceleración se procesan por un código Matlab (Anexo A), que filtra la señal por medio de un filtro Butterworth pasa-baja, con el propósito de eliminar cualquier interferencia o ruido ajeno a la señal.
- Por medio de la Transformada de Fourier (FFT) se procede a cambiar los registros en el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia. En la Figura N° 10 se muestra el grafico de la amplitud de la aceleración en el dominio de frecuencia.

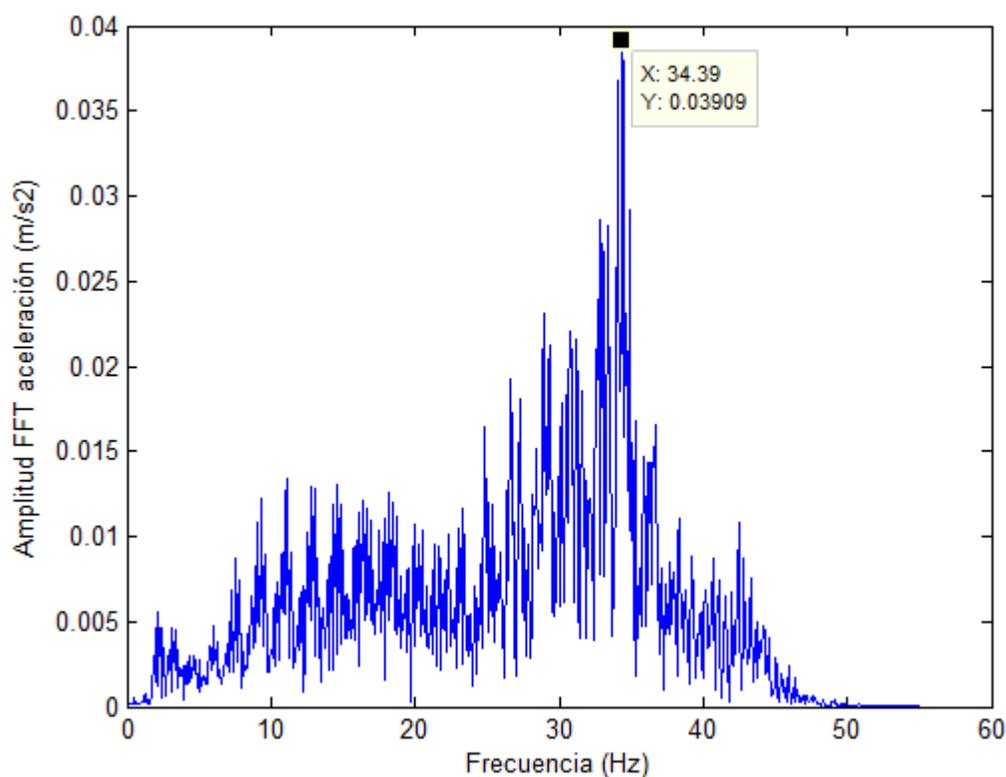


Figura N° 10. Amplitud de la aceleración en el dominio de frecuencia, correspondiente al envigado de luz 2.4 (m), con apoyo madera

- La señal es ponderada por la función W_b .

- f) Una vez que la señal de aceleración es ponderada, se vuelve a transformar al dominio del tiempo con la inversa de la transformada de Fourier (IFFT). A continuación en la Figura N° 10 se muestra una la señal de aceleración inicial sin ponderar (color azul) y la señal de aceleración filtrada y ponderada, con respecto al envigado de luz 2.4 (m) y apoyo de madera. Los envigados con luz de 2.1 (m), 2.4 (m) ,2.7 (m) y 3 (m) se encuentran en el anexo C.

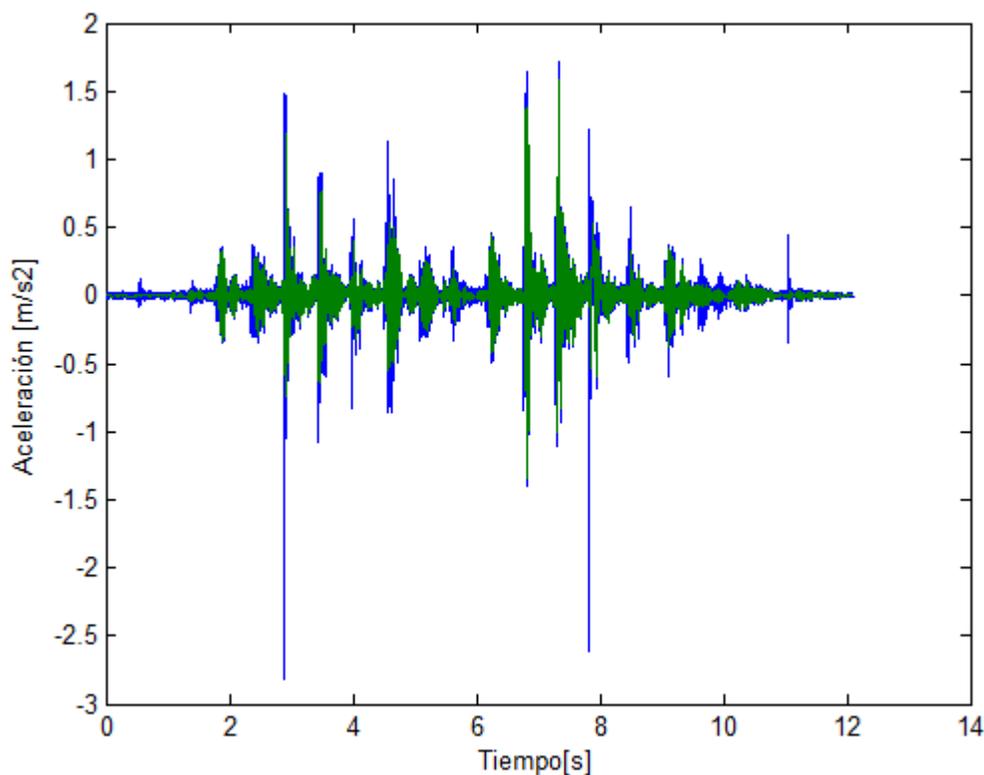


Figura N° 11. Señal de aceleración vertical (sin ponderar) y señal de aceleración vertical filtrada y ponderada, ambas en el dominio del tiempo, correspondiente al envigado de 2.4 (m) con apoyo de madera

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

3.4. Instrumentación y medición de deflexión en envigado de piso

El equipo utilizado en la medición de deflexión es un transductor de desplazamiento lineal, este instrumento mide el movimiento de un cuerpo a lo largo de una trayectoria rectilínea. En la Figura N° 9 se muestran los instrumentos utilizados en la medición.

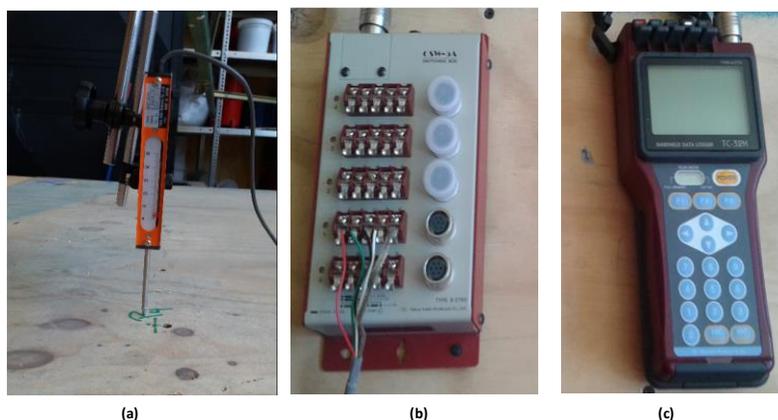


Figura N° 12. (a) Vista del transductor de desplazamiento, (b) Caja conmutación CSW-5A (C) Data Logger

El criterio a utilizar fue el presentado en el capítulo 2 (criterio carga puntual). Para la medición de deflexión en el envigado de piso se utilizó un deflectómetro, el cual, fue dispuesto en el centro del piso.

Durante la medición, el deflectómetro y la carga de 1 KN están dispuestos en el centro del envigado de piso. El ensayo se debe realizar para los 8 envigados de piso para encontrar el desplazamiento vertical en cada uno de estos.

3.5. Criterio de Mann-Whitney

En estadística la prueba U de Whitney, también llamada de Mann-Whitney, es una prueba no paramétrica con la cual se identifican diferencias entre dos poblaciones basadas en el análisis de dos muestras independientes, cuyos datos han sido medidos al menos en una escala de nivel ordinal.

Estadísticamente es necesario utilizar un criterio para establecer si dos muestras de datos son iguales o tienen diferencias significativas. Para esto se utiliza la prueba de Mann-Whitney de dos muestras, para hacer inferencia acerca de la diferencia entre dos medianas basándose en datos provenientes de dos muestras independientes y aleatorias.

Para esto, se requieren dos muestras de datos, de las cuales se determinan sus medianas y se establece un índice de confianza, el cual, es establecido. A partir, de esto, se entrega un intervalo de confianza, para las dos muestras evaluadas y si el valor 0 es parte de este intervalo la prueba no se rechaza y se establece que las muestras son iguales. En el caso contrario, si el intervalo no incluye el valor 0, la prueba se rechaza y se concluye que los pisos presentan diferencias significativas, es decir, no son iguales.

A continuación se muestran los pasos para realizar la prueba.

- a) Se combinan dos muestras en un arreglo ordenado, identificando los valores muestrales, de acuerdo con el grupo muestral al que pertenecen.
- b) Se determinan el tamaño de las muestras (n_1 y n_2). Si n_1 y n_2 son menores que 20, se consideran muestras pequeñas, pero si son mayores que 20, son muestras grandes.
- c) En caso de que las muestras sean grandes, se calcula el valor Z, ya que, en estas condiciones se distribuye normalmente.
- d) Se ordenan los valores de menor a mayor, asignando el rango 1 al valor más pequeño.
- e) Cuando surgen, valores iguales (ligas o empates), se le asigna el promedio de sus rangos.
- f) Se calculan los valores de U_1 y U_2 , de modo que se elija el más pequeño para comparar con los críticos de U Mann-Whitney de la tabla de probabilidades asociadas con valores pequeños como los de U en la prueba de Mann-Whitney
- g) Luego se designa mediante U a la estadística que se calcula para realizar esta prueba y el cual se basa en el número de veces que un puntaje de un grupo antecede a un puntaje de otro grupo, si hay dos grupos.
- h) Finalmente, se establece si se rechaza o acepta H_0 . Si en el intervalo de confianza, el valor nulo o 0 no se incluye. La hipótesis se rechaza y se demuestra que las muestras no son iguales o tienen diferencias significativas.

4.- RESULTADOS DE LA EVALUACION EXPERIMENTAL DEL ENVIGADO DE PISO.

En este capítulo se exponen los resultados de la investigación realizada. Se presentan las propiedades dinámicas de la estructura; la evaluación de la serviciabilidad en la configuración óptima; y por último, la validación del envigado óptimo.

4.1.- Propiedades dinámicas de los envigados de piso evaluados

Los datos atípicos, se eliminaron, ya que, producían alteraciones significativas en los resultados. Además, estos datos fueron observaciones numéricas que eran distantes del resto de los valores. En la Figura N°13 se exponen la frecuencia fundamental para los distintos pisos evaluados.

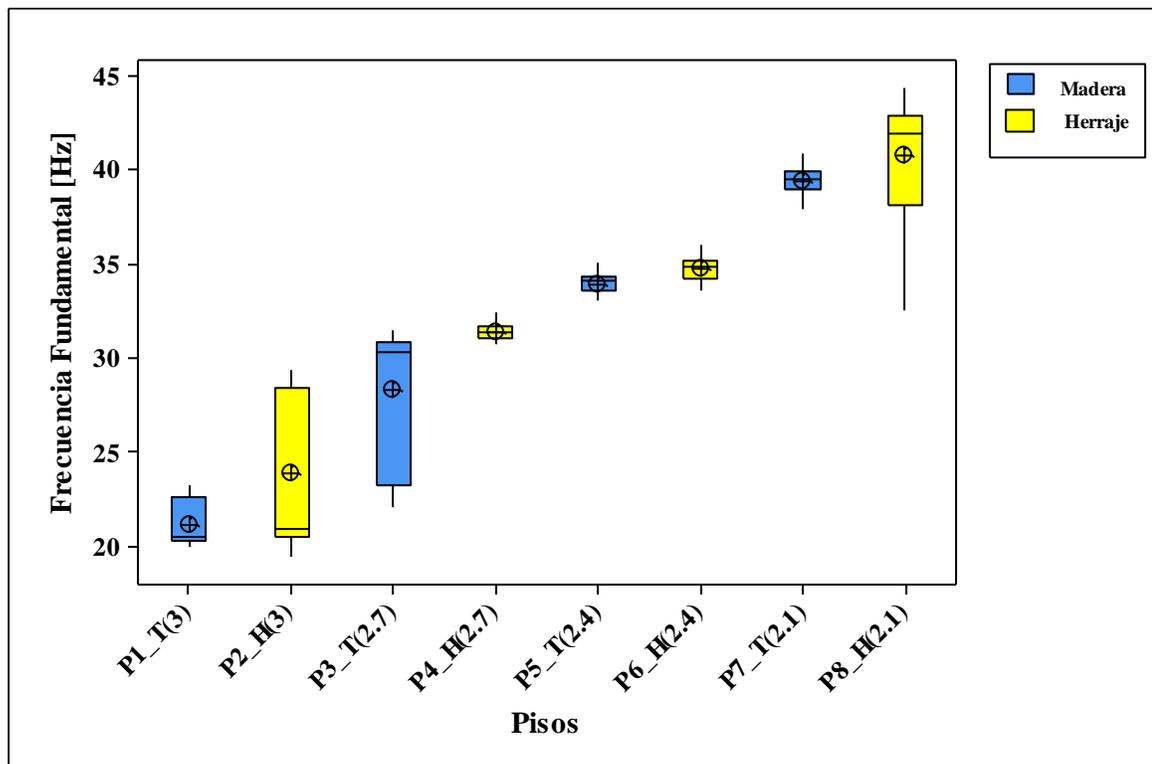


Figura N° 13. Gráfico de frecuencia fundamental versus Pisos

De la Figura N° 13 se aprecia que la estructura está en la categoría de envigados de alta frecuencia, ya que, todos los envigados de piso superan el rango de frecuencia de 7-10 Hz (Bs 2008).

La luz en los envigados de piso, es una variable que genera cambios en las propiedades dinámicas de la estructura. Se observa que hay una relación inversa entre la luz del envigado y la frecuencia fundamental de la estructura.

Se expone, que el herraje genera valores de frecuencia fundamental mayores en comparación con el taco de madera. Por lo tanto la estructura podría presentar un mejor desempeño vibratorio, para los envigados con una luz menor.

Luego, se presenta la razón de amortiguamiento para los distintos pisos evaluados en la Figura N°14.

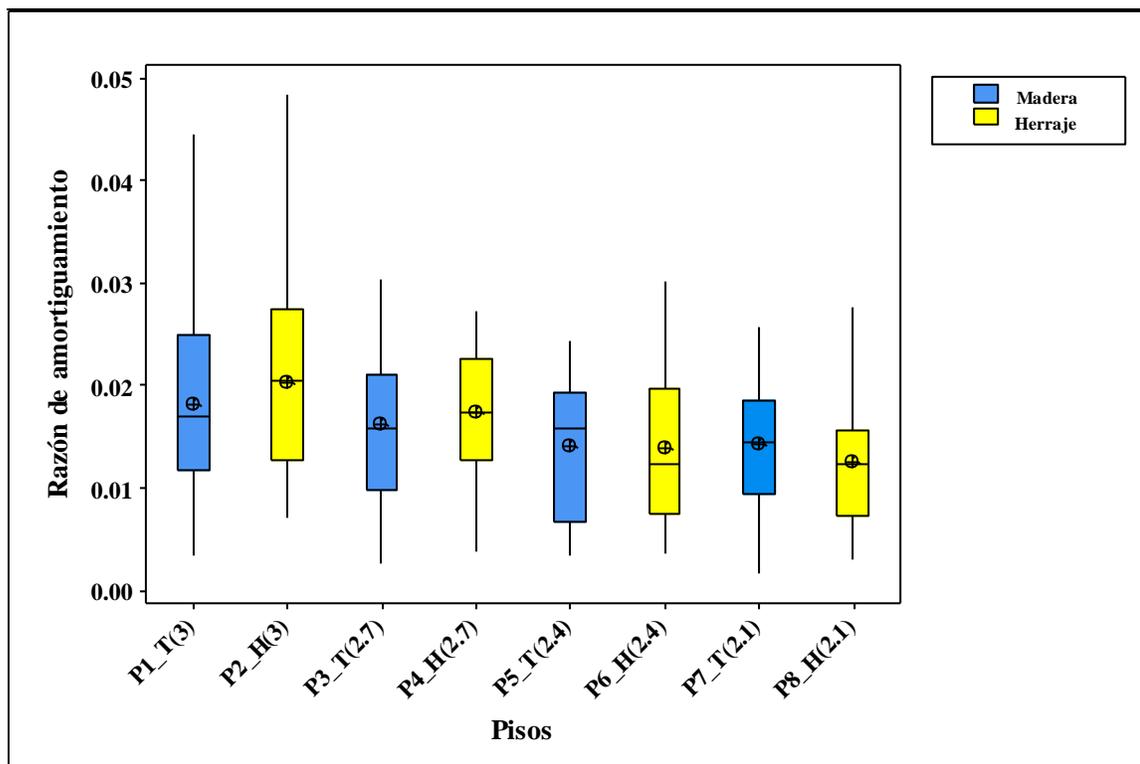


Figura N° 14. Gráfico de razón de amortiguamiento versus Pisos

En la Figura N° 14, el envigado se encuentra dentro de la clase típica que corresponden a pisos con vigas de madera, ya que todos los envigados se encuentran en el rango de razón de amortiguamiento de 1.5% a 5% (Tabla B.2, ISO 10137).

Con respecto a la Figura N° 14, no se aprecia una tendencia cuando se presenta un cambio en la geometría de los envigados de piso. Los pisos con conector herraje tienen un leve aumento en la razón de amortiguamiento, pero sus diferencias son mínimas.

4.2.- Indicador de desempeño VDV

En este ítem se presenta el indicador de desempeño VDV. Cabe destacar, que este indicador solo contempla la duración de las caminatas captadas por los acelerómetros. En la Figura N°15 se expone el indicador de desempeño VDV para cada piso evaluado. En el anexo C, se encuentran los valores del indicador de desempeño VDV, frecuencia fundamental y razón de amortiguamiento para todos los envigados evaluados.

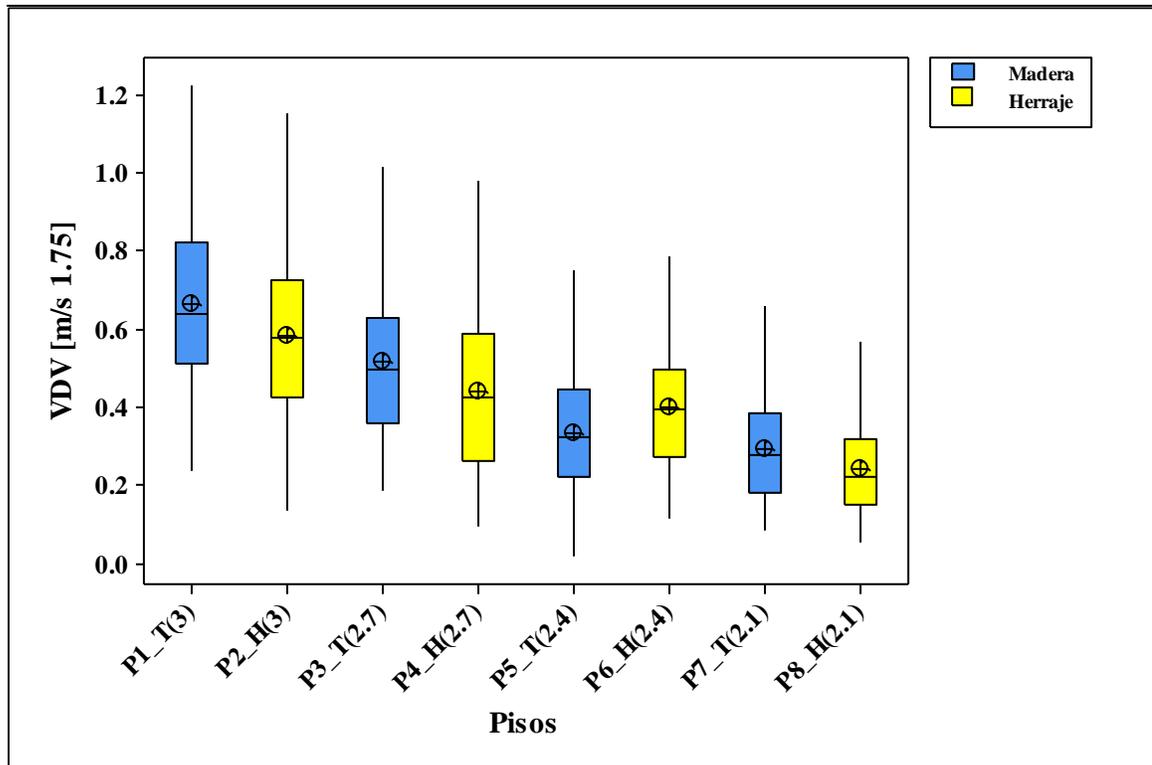


Figura N° 15. Gráfico de VDV versus Pisos

De la Figura N° 15 se aprecia una relación directa, en cuanto, a la longitud del envigado y el indicador de desempeño VDV, puesto que a menor luz del envigado el indicador de desempeño es menor. Como se aprecia en los gráficos de caja el envigado que presenta mayor indicador VDV es el de longitud 3 (m) y el envigado que muestra un menor VDV es el de luz 2.1 (m).

La prueba de Mann Whitney, permitió determinar que los envigados que tenían la misma luz, pero que tenían diferencias entre sus apoyos (Madera o Herraje), tienen características diferentes y no son iguales. Esto comprueba que el conector herraje genera un mejor desempeño vibratorio de la estructura, puesto que el VDV es menor para el caso de este tipo de apoyo.

A continuación, se exponen los gráficos del indicador de desempeño VDV frente a las tres frecuencias de paso presentadas en los capítulos anteriores. Se señalan los resultados para los envigados que poseen una luz de 3 (m) y 2.4 (m). Los envigados con longitud de 2.7 (m) y 2.1 (m) se encuentran en el anexo D.

En la figura N° 16, se presenta el gráfico con la combinación VDV, Frecuencia de paso y los envigados de piso, correspondientes a la luz de 3 (m) y 2.4 (m) (apoyo herraje y madera).

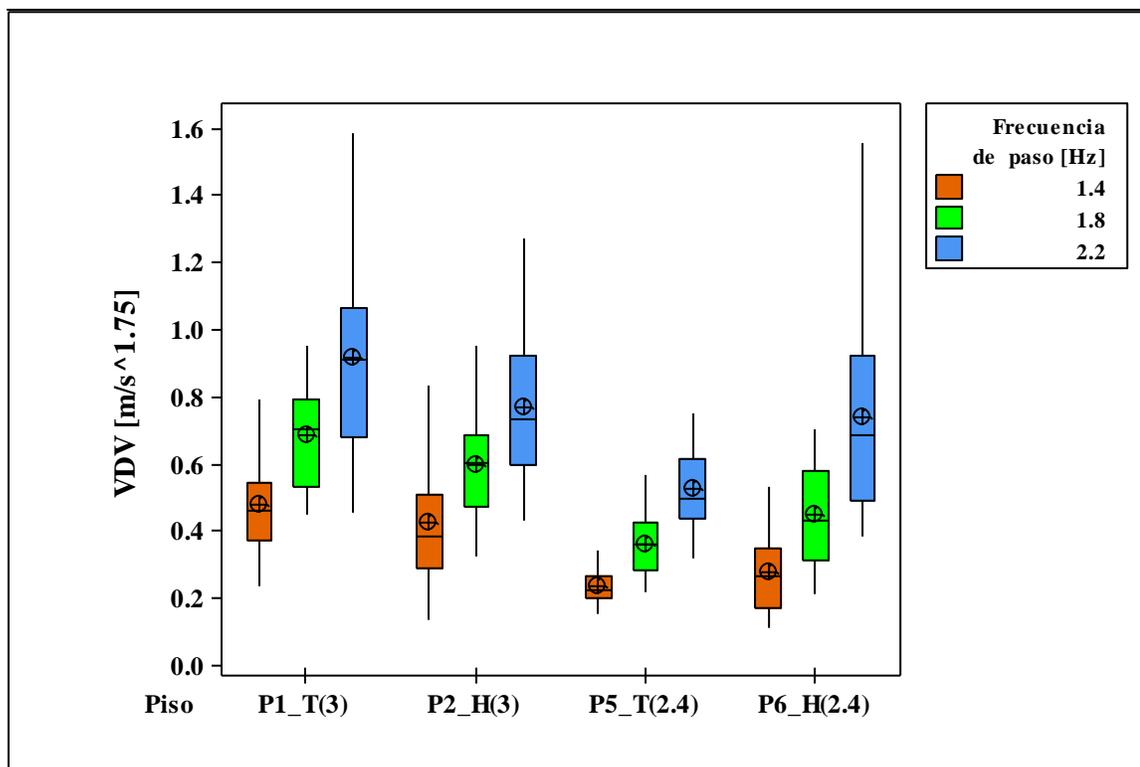


Figura N° 16. Gráfico combinación VDV, Frecuencia de paso y Piso

En la Figura N° 16, se aprecia que, la frecuencia de paso es una variable que influye directamente en el indicador de desempeño VDV. Se observa que la frecuencia de 2.2 [Hz], es la que origina los valores de VDV más altos, esto se debe a que los caminantes marcan el paso de manera más brusca, y más rápida provocando que los peak de amplitud sean más grandes. La frecuencia de paso de 1.4 [Hz], es la que genera valores de VDV menores, independiente de la luz y el tipo de apoyo que el envigado posea, esto se provoca porque los caminantes marcan el paso de manera más suave, provocando que en el envigado de piso se generen vibraciones pequeñas.

La longitud de paso y la forma de caminar son variables que influyen en el comportamiento vibratorio de una estructura. Esto se refleja en la alta variabilidad de los resultados de VDV, cuando las personas realizan caminatas a una frecuencia de paso de 2.2 [Hz].

4.3.- Evaluación de la serviciabilidad vibratoria

A continuación, en la Tabla N° 6, se presentan los valores del VDV representativo, utilizando el criterio de Ellis (2001), para cada envigado según corresponda.

Tabla N° 6.VDV representativos, utilizando criterio de Ellis (2001)

Luz (m)	Apoyo	r VDV
3	Madera	0.7590
	Herraje	0.6920
2.7	Herraje	0.5640
	Madera	0.6146
2.4	Madera	0.4416
	Herraje	0.4840
2.1	Herraje	0.3212
	Madera	0.3682

En la Figura N°17, se exponen los límites de serviciabilidad para la jornada día y noche, establecidos en el capítulo N° 2. Las líneas trazadas con color azul y rojo representan los límites para este estudio. Los e VDV (Jornada día y noche), se calcularon con los VDV representativos presentados en la Tabla anterior y la Ec. 6.

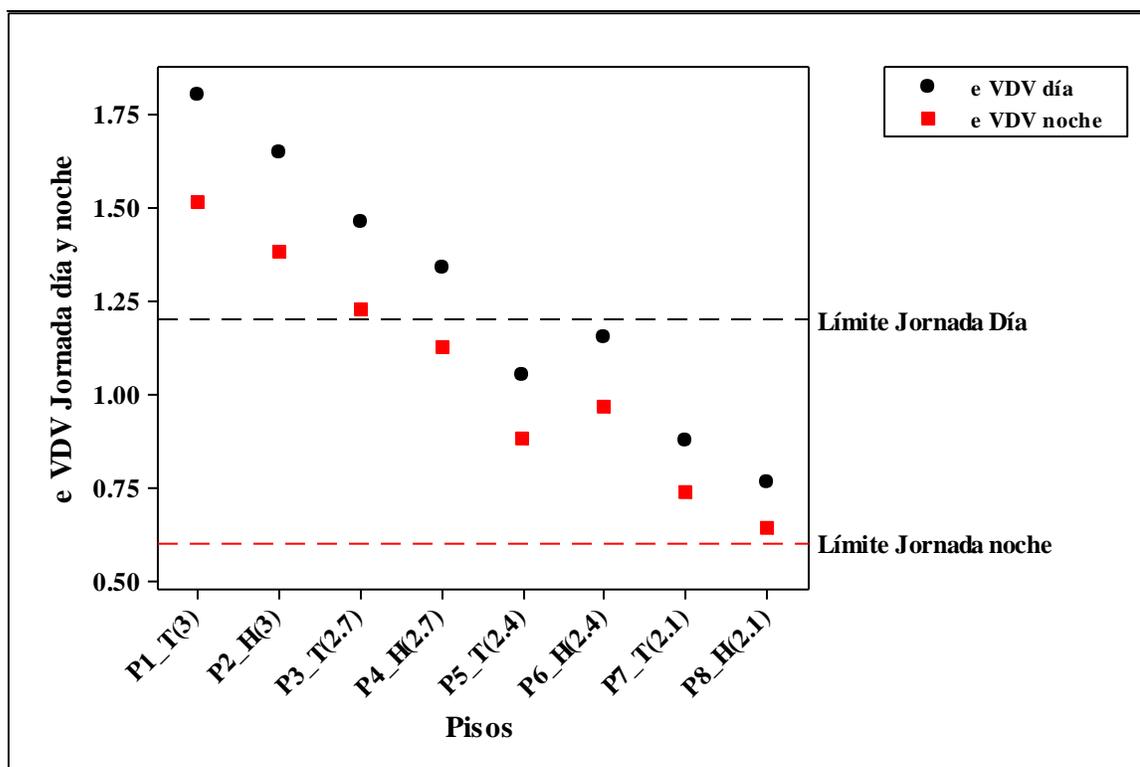


Figura N° 17. Gráfico e VDV Jornada día y noche versus Pisos (Ellis)

De acuerdo a la Figura N° 17, los envigados con longitud 2.4 (m) y 2.1 (m), independiente del tipo de conector, para la jornada día, cumplen con el límite normativo establecido. Esto implica que para estos envigados hay una menor probabilidad de comentarios adversos, por parte de los usuarios.

Por el contrario, para la jornada noche, ningún envigado cumple con el límite normativo establecido. Esto involucra que hay una alta probabilidad de comentarios adversos por parte de las personas.

El desempeño vibratorio mejora a medida que la luz del envigado se reduce y se cambia el tipo de conector. Esto se refleja gráficamente, ya que, los valores de e VDV correspondiente a la jornada de día como de noche, tienen una disminución al emplear esas condiciones.

El tipo de conector herraje mejora el desempeño vibratorio de la estructura, debido a que restringe mejor el giro en las vigas y esto se ve reflejado en las frecuencias fundamentales puesto que son mayores.

4.4.- Comparación del desempeño con criterios de serviciabilidad más simplificados

En esta investigación la normativa EN 1995-1-1, permite confirmar si la configuración del envigado de piso cumple con las normativas exigidas en cuanto a las deflexiones, es por esto, que el criterio de la carga puntual me permite validar si el piso estudiado es la configuración óptima.

A continuación en la Tabla N° 7 se presentan los valores del desplazamiento vertical, para cada envigado de piso.

Tabla N° 7 . Deflexión vertical medida experimentalmente

Luz (m)	Apoyo	Deflexión vertical (mm)
3	Madera	1.67
	Herraje	1.60
2.7	Madera	1.30
	Herraje	1.26
2.4	Madera	1.14
	Herraje	0.89
2.1	Madera	0.98
	Herraje	0.8

En la Figura N°18, se presenta el grafico correspondiente a los desplazamientos medidos en cada envigado de piso de forma experimental. Los símbolos de color rojo y negro representan el tipo de apoyo. En el eje horizontal se presenta la luz y tipo de apoyo para cada envigado de piso. En el eje vertical el desplazamiento medido de forma experimental.

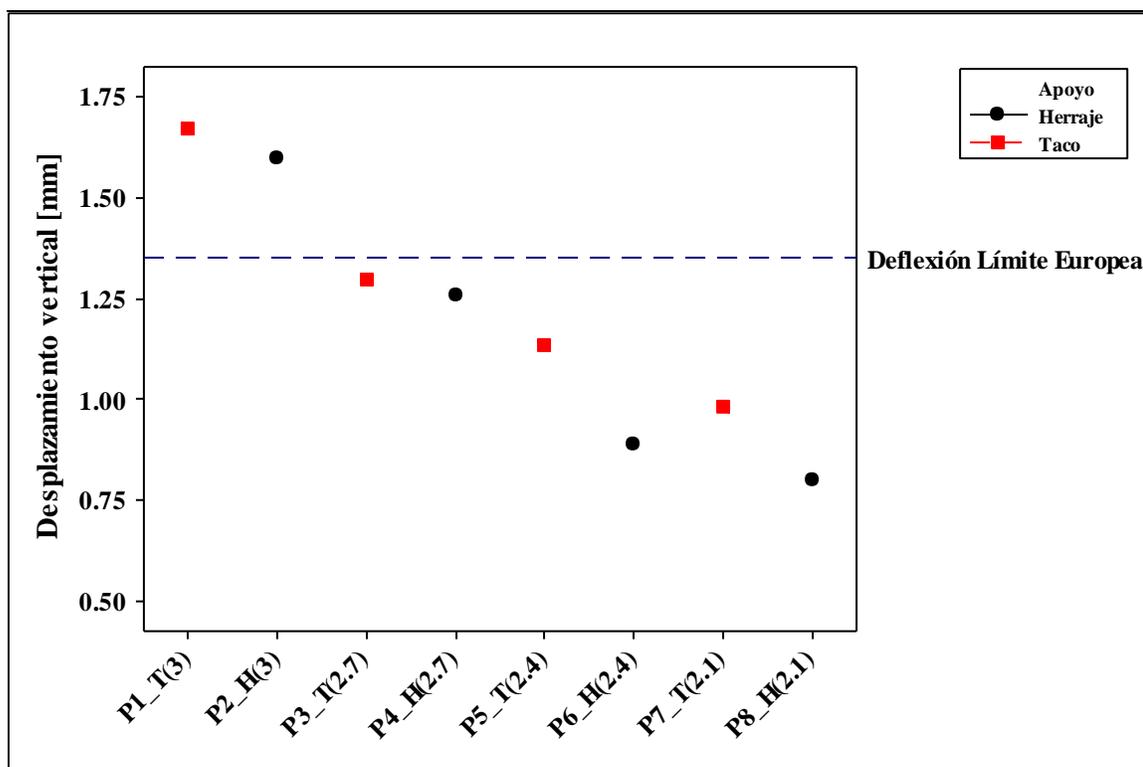


Figura N° 18. Gráfico desplazamiento medido en función a los envigados de pisos

En la Figura N° 18, se observa que los envigados con luz de 2.7 (m), 2.4 (m) y 2.1 (m), independiente del tipo de conector, cumplen con lo establecido por la normativa europea que instaure como desplazamiento vertical límite de la estructura 1.35 (mm).

Los envigados de piso que presentan herraje, tienen un comportamiento mejor, puesto que los desplazamientos verticales de la estructura son menores.

Por último, se realizó una correlación entre el e VDV (día), versus el desplazamiento vertical medido en terrero, obteniendo como resultado un R^2 igual a 88.5% con un ajuste lineal.

Por lo tanto, se puede declarar que el método detallado posee una buena correlación con el método simplificado. En la Figura N° 19 se presenta la gráfica e correlación anteriormente mencionada.

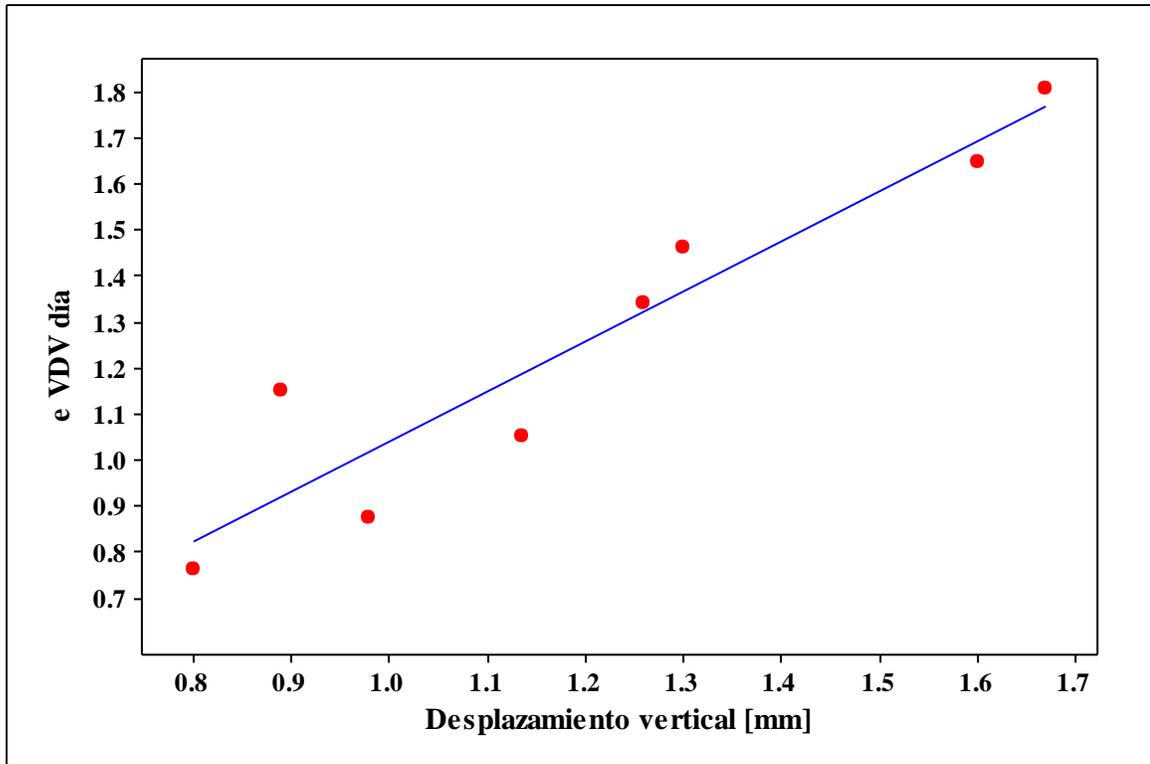


Figura N° 19. Gráfico desplazamiento medido en función a los envigados de pisos

5.- CONCLUSIONES

Desde el punto de vista de la metodología de evaluación compatible con la realidad en Chile, se tiene que:

En la presente investigación, se implementó la metodología de evaluación para los envigados de piso en Chile. Esto permite realizar mediciones correctas de las vibraciones generadas por la carga vertical que inducen las personas y conocer el desempeño vibratorio de la estructura. La metodología está diseñada bajo las especificaciones mencionadas en las Normas internacionales ISO 10137-2007 y BS 6472-2008.

De la construcción óptima del piso de madera, se concluye que:

De forma experimental, se construyó la configuración óptima del envigado de piso, de acuerdo, a los requisitos propuestos en la Norma Chilena NCh 1198. En la búsqueda del envigado óptimo, se construyeron 8 envigados de piso, en los que se realizaron las mediciones de las vibraciones. Cabe destacar que la construcción de los envigados de madera, no se realizó con mano de obra tecnicada y especializada, es por esto, que los resultados de las vibraciones y deflexiones se pueden ver afectadas.

Las mediciones de las vibraciones se desprende que:

Los envigados se encuentran en la categoría de envigados de alta frecuencia, ya que todos superan el rango de frecuencia de 7-10 Hz (Bs 200) .Se aprecia que hay un aumento en la frecuencia natural de las estructuras, a medida que se disminuye la luz del envigado de piso. La estructura al aumentar su frecuencia fundamental, genera que el periodo disminuya y esto permite que el envigado sea más rígido. Al ser más rígido el desempeño vibratorio de la estructura será eficiente.

La prueba de Mann Whitney, permitió determinar que los envigados que tenían la misma luz, pero que tenían diferencias entre sus apoyos (Madera o Herraje), tienen características diferentes y no son iguales. Esto comprueba que el conector herraje genera un mejor desempeño vibratorio de la estructura, puesto que el VDV es menor para el caso de este tipo de apoyo.

.La frecuencia de paso, es una variable que afecta directamente en el comportamiento vibratorio de la estructura. La frecuencia de 2.2 [Hz], es la que entrega mayores peak de amplitud frente a cargas verticales, esto implica que los valores del indicador de desempeño VDV son mayores, provocando un menor desempeño vibratorio en la estructura. La forma de caminar y la longitud de paso, son factores que son importantes de estudiar en los envigados de piso, puesto que influyen en el desempeño vibratorio de la estructura.

Al evaluar la serviciabilidad vibratoria, a través del autor Ellis, se presenta un valor de VDV representativo para cada envigado de piso, y los datos obtenidos indican que los envigados de piso de longitud 2.4 (m) y 2.1 (m), tienen un comportamiento eficiente, dentro de un contexto residencial, ya que, satisfacen los criterios de serviciabilidad vibratoria establecidos por las Normativas Internacionales ISO 10137.2007 y Bs 6472.2008. De acuerdo a la normativa se señala que los ocupantes de la vivienda tendrán menor “Probabilidad de comentarios adversos” en cuanto, al envigado de piso.

El desempeño vibratorio mejora a medida que la luz del envigado se reduce y se cambia el tipo de conector. Esto se refleja gráficamente, ya que, los valores de e VDV correspondiente a la jornada de día como de noche, tienen una disminución al emplear esas condiciones. El tipo de conector herraje mejora el desempeño vibratorio de la estructura, debido a que restringe mejor el giro en las vigas y esto se ve reflejado en las frecuencias fundamentales puesto que son mayores.

Por último, de la comparación de los criterios de desempeño vibratorio, se tiene:

Por un lado, del criterio de la carga puntual, establecida por la Normativa Internacional EN 1995-1-1, se realizaron las mediciones en laboratorio, y se obtuvo los desplazamientos verticales que se producen en cada envigado de piso. Esto permitió que se evaluara el comportamiento que tenían los envigados, según Normativa Internacional y se estableciera la deflexión límite para encontrar la configuración óptima.

Por otro lado, a los valores de deflexión se establece que según la Normativa Internacional EN 1995-1-1, los envigados con luz de 2.7 (m), 2.4 (m), 2.1 (m), cumplen con el promedio límite de deflexión que propone como rango 1.35 (mm).

Las mediciones de las vibraciones y la deflexión, permiten encontrar y validar la configuración óptima para los envigados de madera en Chile. Es por esto, que los envigados de 2.4 (m) y 2.1 (m)

cumplen con las Normativas Internacionales de serviciabilidad vibratoria ISO 10137.2007 y Bs 6472.2008, y además, con lo exigido en la Normativa Internacional EN 1995-1-1 para la deflexión límite.

Por lo tanto, se propone como la configuración óptima, el piso de 2.4 m de luz, y con un sistema de apoyo de madera. La escuadría de este envigado de piso es de 41x138 (mm). Desde el punto de vista de la luz, la distancia de 2.4 m cumple con ambos métodos. Por otro lado, el sistema de apoyo de madera está más cercano al límite planteado en este experimento.

Por último, de la correlación realizada se puede concluir que el método detallado posee una buena correlación con el método simplificado ($R^2 = 88.5\%$). El método de las deflexiones se podrá utilizar, con un ajuste del límite Europeo llevándolo a 1.2 (mm). El objetivo de este ajuste, es proponer un límite más conservador para la realidad en Chile, y además, obtener valores cercanos a los del método de las vibraciones.

En base al estudio realizado es necesario tener ciertas consideraciones para futuras investigaciones que se consideren en la misma línea, tales como:

- a) Los envigados de piso estudiados correspondían en un 100% a sistemas de alta frecuencia, por lo que no fue posible determinar el desempeño propuesto por los criterios internacionales, respecto a los sistemas de baja frecuencia y los métodos para evaluarlos.
- b) Son apropiados los criterios de serviciabilidad para el estudio de los envigados de madera, puesto que, los estudios y Normativas Internacionales lo respaldan.

A continuación, se plantean las siguientes líneas de investigación, que permiten complementar esta investigación:

- a) Estudiar el desempeño vibratorio, con otras funciones de ponderación de frecuencia, de esta forma se puede comparar si tienen incidencia en el estudio de la serviciabilidad.
- b) Cambiar la configuración del piso construido, la inercia de la sección, y evaluar si se produce algún cambio en cuanto al comportamiento de la estructura.

6.- BIBLIOGRAFÍA

- ARAUCO. (2014). Manual de Ingeniería y Construcción en Madera 2° Edición, Arauco. Chile.
- ARYA EBRAHIMPOUR, RONALD L. SACK. (2005). A review of vibration serviceability criteria for floors structures. *Computers & Structures*. 83. 2488-2494.
- ATALAH S, URTEAGA C, REBOLLEDO A. (2004). Autopercepción del estado nutricional en adultos de Santiago. Departamento de nutrición. Universidad de Chile. Chile.
- BINSHENG ZHANG, BIRGIT RASMUSSEN, ANDRÉ JORISSEN, ANNETTE HARTE. (2013). Comparison of vibrational comfort assessment criteria for design of timber floors among the European countries. *The Engineering Structures*. 52.592-607.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. (2008). BS 6472-1. Guide to evaluation of human exposure to vibration in buildings Part 1: Vibration sources other than blasting.
- D.LOSA, P. GONZÁLEZ, M. CUADRADO, E. ROMO. (2015). Comparative analysis of vibration standards applied to rail ways. General vibration assessment for a new hsl project in Spain.
- ELLIS, B.R. (2001). Serviceability evaluation of floor vibration induced by walking loads. *The Structural Engineer*. 79(21).30-36
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. (2007). ISO 10137. Bases for design of structures – Serviceability of buildings and walkways against vibrations.
- J.M.W. BROWNJOHN, C. J. MIDDLETON. (2008). Procedures for vibration serviceability assessment of high-frequency floors. *Engineering Structures*.30. 1548-1559.
- JOSE ROJAS. (2015). Análisis experimental de vibraciones en sistema de piso de madera, Tesis de pregrado, Universidad del Bío –Bío, Concepción, Chile.

- MEHDI SETAREH, PH.D., P.E., M.ASCE. (2010). Vibration serviceability of building floor structure. Part II: Vibration evaluation and assessment. Journal of performance of constructed facilities.
- MELANIA VASILICA ISTRATE, ANTOLIN LORENZANA IBAN, NORBERTO IBAN LORENZANA, ALI VASALLO BELVER. (2012). Cuantificación de la percepción de la vibración en pasarelas peatonales. Centro Tecnológico CARTIF.
- NORMA ANGÉLICA BENÍTEZ GONZÁLEZ. (2011). Medición y análisis de señales de vibraciones mecánicas y su efecto en la salud y el confort. Tesis de postgrado, Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Computación, México.
- RIOS. R. (2013). Análisis y evaluación de vibraciones generadas por el tránsito de multitudes en pasarelas peatonales. Tesis de pregrado, Universidad del Bio- Bio, Concepción, Chile.
- STEEL CONSTRUCTION INSTITUTE. (2009). SCI. Design of floors for vibration: A new approach. Inglaterra.
- S. ZIVANOVIC, A. PAVIC, P. REYNOLDS. (2004). Vibration serviceability of footbridges under human-induced excitation. Journal of sound and vibration.279.1-74.
- V.RACIC, A. PAVIC, J.M.W. BROWNJOHN. (2009). Experimental identification and analytical modelling of human walking forces. Journal of Sound and Vibration. 326.1-49.
- WAARTS, P.H, VAN DUIN F. (2006). Assessment procedure for floors vibrations due to walking. Holanda.
- Manual MINITAB: Manual de aplicación para el programa MINITAB 16.
- Manual LABVIEW: Manual de aplicación para el programa LABVIEW.