



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

Evaluación analítica de vibraciones en puentes  
peatonales debido a carga peatonal, caso puentes  
de la Panamericana Norte km19+000- km25+500  
lima

**TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniero Civil

**AUTOR:**

Ccaso Palma, Noel

**ASESOR:**

Mg. Delgado Ramirez felix

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño Sísmico Y Estructural

**LIMA – PERU**

2017

## PÁGINA DEL JURADO

---

Mg. Carbajal Reyes Lilia Rosa  
PRESIDENTE

---

Mg. Cordova Salcedo, Felimon  
SECRETARIO

---

Mg. Delgado Ramirez felix  
VOCAL

### **DEDICATORIA:**

A Dios por guiarme y bendecirme en cada adversidad, además de su infinito amor y bondad; a mi hermano Ruisel Uribe por estar conmigo y apoyarme siempre, a mis hermanas Esther, Norca y Brenda que me tuvieron paciencia y saben que las quiero mucho. A mis padres Cleofé y Esperanza por su ayuda incondicional.

## **AGRADECIMIENTOS**

El más sincero agradecimiento al Dr. Ing. Quiroz Torres Luis Gabriel por el apoyo incondicional en el asesoramiento, revisión y culminación de la presente investigación.

Agradecer a aquellas personas que me apoyaron en la recolección de información de los puentes peatonales.



## DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Noel Ccaso Palma, identificado con DNI N° 46036421, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el reglamento de Grados y Títulos de la universidad cesar vallejo, facultad de ingeniería, escuela de ingeniería civil, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y autentica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como la información aportada por la cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la universidad cesar vallejo.

Lima, 02 de diciembre del 2017

---

Ccaso Palma Noel

## **PRESENTACIÓN**

Señores miembros del jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Cesar Vallejo presento ante ustedes la tesis titulada “Evaluación analítica de vibraciones en puentes peatonales debido a carga peatonal, caso puentes de la panamericana norte km19+000 - km25+500 lima”, la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título profesional de ingeniero civil.

Ccaso Palma, Noel

## INDICE

<b>PAGINA DE JURADO</b> .....	<b>ii</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>iv</b>
<b>DECLARACION DE AUTENTICIDA</b> .....	<b>v</b>
<b>PRESENTACION</b> .....	<b>vi</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xvii</b>
<b>*ABSTRAC</b> .....	<b>xviii</b>

### I. INTRODUCCION

1.1. Realidad problemática .....	20
1.2. Trabajos previos .....	21
1.3. Teorías relacionadas al tema .....	24
1.3.1. Vibración de puentes peatonales.....	24
1.3.2. Cargas dinámicas producidas por peatones.....	26
1.3.3. Modelos de carga peatonal periódica .....	29
1.3.4. Criterios de servicio en puentes peatonales .....	34
1.3.5. Normas nacionales e internacionales .....	35
1.3.6. Marco conceptual .....	37
1.4. Formulación del problema.....	39
1.5. Justificación de estudio.....	40
1.6. Hipótesis .....	41
1.7. Objetivos .....	41

### II. METODOLOGIA

2.1. Diseño, tipo y nivel de investigación.....	44
2.1.1. Diseño de investigación.....	44
2.1.2. Tipo de investigación .....	44
2.1.3. Nivel de estudio .....	44
2.2. Variables, Operacionalización .....	45
2.2.1. Variables .....	45
2.2.2. Operacionalización de variables .....	46
2.3. Población y muestra.....	47
2.3.1. Población .....	47
2.3.2. Muestra .....	47
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad .....	47
2.4.1. Técnicas.....	48

2.4.1.1.	Modelado en software SAP2000 de elementos finitos .....	48
2.4.2.	Instrumento.....	48
2.4.2.1.	Medición de vibraciones .....	48
2.4.3.	Validez del instrumento .....	48
2.4.4.	Confiabilidad.....	49
2.5.	Método de análisis de datos .....	49

### **III. ANALISIS Y RESULTADO**

3.1.	Descripción, clasificación de estructuras y selección de puentes para la evaluación.....	51
3.1.1.	Descripción de las estructuras existentes .....	51
3.1.2.	Clasificación por tipo de estructura.....	75
3.1.3.	Selección de puentes peatonales para la evaluación analítica.....	75
3.2.	Ensayos de campo y procesamiento de datos .....	75
3.2.1.	Ensayos de campo.....	75
3.2.1.1.	Vibración ambiental.....	76
3.2.1.2.	Vibración libre.....	76
3.2.1.3.	Vibración forzada.....	76
3.2.2.	Métodos de análisis de vibraciones.....	76
3.2.3.	Uso del equipo para medir vibraciones.....	77
3.2.4.	Análisis de microtremors .....	77
3.2.5.	equipo a utilizar .....	77
3.2.6.	Trabajos de campo.....	78
3.2.7.	Ubicación del equipo monitor de vibraciones para el ensayo .....	81
3.2.8.	Procesamiento de datos.....	83
3.2.9.	Resultados del ensayo de vibración experimental .....	84
3.3.	Evaluación del comportamiento vibracional de los puentes peatonales .....	86
3.4.	Modelamiento del puente independencia usando programación de cómputo	87
3.4.1.	Modelamiento estructural de puente independencia .....	87
3.4.2.	Resultados de vibración teórica del puente peatonal independencia .....	90
3.5.	Comparación de las frecuencias de vibración experimental y teórica del puente peatonal independencia .....	91
3.6.	Propuesta de mejoramiento al problema identificado.....	92
3.6.1.	Simulación modal .....	93
3.6.2.	Resultados de vibración teórica del puente peatonal independencia .....	94

### **IV. DISCUSION**

### **V. CONCLUSIONES**

### **VI. RECOMENDACIONES**

## **VII. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA**

## **VIII. ANEXOS**

- A.1. Ensayos de vibración experimental – puente peatonal independencia
  - A.1.1. Ensayos de vibración ambiental
  - A.1.2. Ensayo de vibración forzada – 1 persona
  - A.1.3. Ensayo de vibración forzada – 10 personas
  - A.1.4. Ensayo de vibración forzada – flujo continuo de peatones
- A.2. Ensayo de vibración experimental – puente peatonal pro lima
  - A.2.1. Ensayo de vibración ambiental
  - A.2.2. Ensayo de vibración forzada – 1 persona
  - A.2.3. Ensayo de vibración forzada – 10 personas
  - A.2.4. Ensayo de vibración forzada – flujo continuo de peatones
- B.1. Resumen de datos para el diseño de los puentes peatonales (materiales, cargas)
  - B.1.1. Puente peatonal Independencia:
- C.1. Matriz de consistencia
- E.1. Certificación de calibración

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1. Factor de carga dinámica para una simple persona, de diferentes autores. ....	31
Tabla 1. 2. Criterios de aceleraciones máximas para vibraciones verticales por diferentes normas.....	35
Tabla 1. 3. Rango de aceleraciones (m/s <sup>2</sup> ) para vibración vertical .....	36
Tabla 1. 4. Rango de aceleraciones (m/s <sup>2</sup> ) para vibración horizontal.....	36
Tabla 1. 5. Rango de frecuencias (Hz) para vibración vertical y longitudinal. ..	37
Tabla 1. 6. Rango de frecuencias (Hz) para vibración lateral.....	37
Tabla 2. 1. Operacionalización de variables.....	46
Tabla 3. 1. Puentes peatonales entre el km19+000 hasta el km25+500 .....	51
Tabla 3. 2. Clasificación de puentes peatonales por tipo de estructura .....	75
Tabla 3. 3. Resultados de vibración ambiental.....	84
Tabla 3. 4. Resultados de vibración forzada – 1 persona .....	84
Tabla 3. 5. Resultados de vibración forzada – 10 personas.....	85
Tabla 3. 6. Resultados de vibración forzada – vandálica .....	85
Tabla 3. 7. Valores limites de normas internacionales .....	86
Tabla 3. 8. Tabla de porcentaje de participacion de masa puente peatonal independencia. ....	81
Tabla 3.9. Tabla de periodos y frecuencias modales del puente peatonal independencia.....	91
Tabla 3.10. Tabla de comparación de frecuencias modales del puente peatonal independencia.....	91
Tabla 3.11. Tabla de porcentaje de participación de masa puente independencia reforzado .....	94
Tabla 3.12. Tabla de periodos y frecuencias modales del puente peatonal independencia reforzado.....	95
Tabla B.1. Resumen de datos para el diseño	

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Curvas de resonancia.....	26
Figura 1.2. Carga de un peatón.....	27
Figura 1.3. Cargas de un grupo de peatones.....	27
Figura 1.4. Cargas vandálicas.....	27
Figura 1.5. Forma típica de las fuerzas de la caminata de peatones en a) vertical, b) lateral, c) longitudinal.....	28
Figura 1.6. Tiempo historia de la caminata periódica en las direcciones vertical, lateral y longitudinal.....	29
Figura 1.7. Aceleraciones máximas verticales por diferentes normas.....	34
Figura 1.8. Aceleraciones máximas laterales por diferentes normas.....	35
Figura 2.1. Equipo portátil de adquisición de datos.....	48
Figura 3.1. Plano satelital de los 11 puentes en estudio.....	52
Figura 3.2. Vista fotográfica frontal del puente peatonal Villa Sol.....	54
Figura 3.3. Vista fotográfica isométrico del puente peatonal Villa Sol.....	54
Figura 3.4. Vista fotográfica frontal del puente peatonal Independencia.....	56
Figura 3.5. Vista fotográfica isométrico del puente peatonal Independencia.....	56
Figura 3.6. Vista fotográfica frontal del puente peatonal Santa Luisa.....	58
Figura 3.7. Vista fotográfica isométrico del puente peatonal Santa Luisa.....	58
Figura 3.8. Vista fotográfica frontal del puente peatonal San Martin.....	60
Figura 3.9. Vista fotográfica isométrico del puente peatonal San Martin.....	60
Figura 3.10. Vista fotográfica frontal del puente peatonal Entrada de Pro.....	62
Figura 3.11. Vista fotográfica isométrico del puente peatonal Entrada de Pro.....	62
Figura 3.12. Vista fotográfica frontal del puente peatonal Plaza Vea.....	64
Figura 3.13. Vista fotográfica isométrico del puente peatonal Plaza Vea.....	64
Figura 3.14. Vista fotográfica frontal del puente peatonal La Amistad.....	66
Figura 3.15. Vista fotográfica isométrico del puente peatonal La Amistad.....	66
Figura 3.16. Vista fotográfica frontal del puente peatonal Pro Lima.....	68
Figura 3.17. Vista fotográfica isométrico del puente peatonal Pro Lima.....	68
Figura 3.18. Vista fotográfica frontal del puente peatonal Acobamba.....	70
Figura 3.19. Vista fotográfica isométrico del puente peatonal Acobamba.....	70
Figura 3.20. Vista fotográfica frontal del puente peatonal Shangrilla.....	72
Figura 3.21. Vista fotográfica isométrico del puente peatonal Shangrilla.....	72

Figura 3.22. Vista fotográfica frontal del puente peatonal Mariátegui.....	74
Figura 3.23. Vista fotográfica isométrico del puente peatonal Mariátegui.....	74
Figura 3.24. Equipo medidor de vibraciones.....	78
Figura 3.25. Prueba de vibración ambiental.....	79
Figura 3.26. Prueba de vibración forzada - 1 peatón.....	80
Figura 3. 27. Prueba de vibración forzada - 10 peatones.....	80
Figura 3. 28. Prueba de vibración forzada – flujo continuo de peatones.....	80
Figura 3.29. Ubicación del equipo en el puente peatonal Independencia.....	81
Figura 3.30. Elevación (puente peatonal Independencia) .....	81
Figura 3.31. Ubicación del equipo en el puente peatonal Pro Lima.....	82
Figura 3.32. Elevación (puente peatonal Pro Lima) .....	82
Figura 3.33. Procesamiento de datos con el software sismograph data analysisv11.....	83
Figura 3.34. Vista isométrica 1 (puente peatonal Independencia)	
Figura 3.35. Vista frontal 1 (puente peatonal Independencia) .....	87
Figura 3.36. Vista lateral 1 (puente peatonal Independencia) .....	88
Figura 3.37. Modo 1 (puente peatonal Independencia) .....	88
Figura 3.38. Modo 2 (puente peatonal Independencia).....	89
Figura 3.39. Modo 3 (puente peatonal Independencia).....	89
Figura 3.40. Vista isométrica 2 (puente peatonal Independencia).....	92
Figura 3.41. Modo 1 vibración longitudinal 2 (puente peatonal Independencia)..	93
Figura 3.42. Modo 2 vibración transversal 2 (puente peatonal Independencia)..	93
Figura 3.43. Modo 3 vibración vertical 2 (puente peatonal independencia).....	94
Figura A.1.1.1. Señales temporales de vibración, punto 01, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)	
Figura A.1.1.2. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 01, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)	
Figura A.1.1.3. Señales temporales de vibración, punto 02, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)	
Figura A.1.1.4. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 02, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)	
Figura A.1.1.5. Señales temporales de vibración, punto 03, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)	



- Figura A.1.1.6. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 03, del puente peatonal  
Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.1.1.7. Señales temporales de vibración, punto 04, del puente peatonal  
Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.1.1.8. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 04, del puente peatonal  
Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.1.2.1. Señales temporales de vibración, punto 05, del puente peatonal  
Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.1.2.2. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 05, del puente peatonal  
Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.1.2.3. Señales temporales de vibración, punto 06, del puente peatonal  
Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.1.2.4. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 06, del puente peatonal  
Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.1.2.5. Señales temporales de vibración, punto 07, del puente peatonal  
Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.1.2.6. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 07, del puente peatonal  
Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.1.2.7. Señales temporales de vibración, punto 08, del puente peatonal  
Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.1.2.8. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 08, del puente peatonal  
Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.1.3.1. Señales temporales de vibración, punto 09, del puente peatonal  
Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.1.3.2. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 09, del puente peatonal  
Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.1.3.3. Señales temporales de vibración, punto 10, del puente peatonal  
Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.1.3.4. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 10, del puente peatonal  
Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.1.3.5. Señales temporales de vibración, punto 11, del puente peatonal  
Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.1.3.6. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 11, del puente peatonal  
Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)

- Figura A.1.3.7. Señales temporales de vibración, punto 12, del puente peatonal  
Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.1.3.8. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 12, del puente peatonal  
Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.1.4.1. Señales temporales de vibración, punto 13, del puente peatonal  
Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.1.4.2. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 13, del puente peatonal  
Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.1.4.3. Señales temporales de vibración, punto 14, del puente peatonal  
Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.1.4.4. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 14, del puente peatonal  
Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.1.4.5. Señales temporales de vibración, punto 15, del puente peatonal  
Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.1.4.6. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 15, del puente peatonal  
Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.1.4.7. Señales temporales de vibración, punto 16, del puente peatonal  
Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.1.4.8. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 16, del puente peatonal  
Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.2.1.1. Señales temporales de vibración, punto 17, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.2.1.2. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 17, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.2.1.3. Señales temporales de vibración, punto 18, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.2.1.4. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 18, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.2.1.5. Señales temporales de vibración, punto 19, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.2.1.6. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 19, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.2.1.7. Señales temporales de vibración, punto 20, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

- Figura A.2.1.8. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 20, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.2.2.1. Señales temporales de vibración, punto 21, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.2.2.2. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 21, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.2.2.3. Señales temporales de vibración, punto 22, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.2.2.4. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 22, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.2.2.5. Señales temporales de vibración, punto 23, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.2.2.6. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 23, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.2.2.7. Señales temporales de vibración, punto 24, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.2.2.8. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 24, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.2.3.1. Señales temporales de vibración, punto 25, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.2.3.2. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 25, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.2.3.3. Señales temporales de vibración, punto 26, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.2.3.4. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 26, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.2.3.5. Señales temporales de vibración, punto 27, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.2.3.6. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 27, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.2.3.7. Señales temporales de vibración, punto 28, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.2.3.8. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 28, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

- Figura A.2.4.1. Señales temporales de vibración, punto 29, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.2.4.2. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 29, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.2.4.3. Señales temporales de vibración, punto 30, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.2.4.4. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 30, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.2.4.5. Señales temporales de vibración, punto 31, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.2.4.6. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 31, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.2.4.7. Señales temporales de vibración, punto 32, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)
- Figura A.2.4.8. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 32, del puente peatonal  
Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

## RESUMEN

El presente informe tiene como objetivo evaluar las vibraciones en los puentes peatonales causadas por los peatones, usando el equipo medidor de vibraciones y el software de diseño SAP2000 de elementos finitos que es manejo diario en las oficinas de ingeniería; en el informe se da una breve introducción al problema de las vibraciones causadas por cargas dinámicas producidas por los peatones describiendo como estas son generadas por el caminar humano y estas a su vez afectan la estructura del puente peatonal y porque al final se ven traducidas en una molestia para los usuarios; posteriormente se hace una comparación de los métodos de análisis que son: el método experimental con el equipo medidor de vibraciones y el método numérico con el software SAP2000 de elementos finitos; para concluir con los resultados se verifica las frecuencias natural y forzada con las normas internacionales (AASHTO, 1994), (Sétra, 2006).

Finalmente se da una propuesta de mejoramiento o eliminación al problema de vibraciones en el puente peatonal para que no cause molestia a los usuarios.

**Palabra clave** – Vibraciones, equipo medidor de vibraciones, SAP2000, puentes peatonales, elementos finitos, método experimental, método teórico, frecuencia natural y frecuencia forzada.

## ABSTRACT

The purpose of this report is to evaluate the vibrations in pedestrian bridges caused by pedestrians, using the vibration measuring equipment and the SAP2000 finite element design software that is daily management in the engineering offices; The report gives a brief introduction to the problem of vibrations caused by dynamic loads produced by pedestrians describing how they are generated by human walking and these in turn affect the structure of the pedestrian bridge and because in the end they are translated into a annoyance for users; later a comparison of the methods of analysis is made, which are: the experimental method with the vibration measuring equipment and the numerical method with the SAP2000 finite element software; To conclude with the results, natural and forced frequencies are verified with international standards (AASHTO, 1994), (Sétra, 2006).

Finally there is a proposal for improvement or elimination of the problem of vibrations in the pedestrian bridge so that it does not cause any inconvenience to the users.

**Keywords** - Vibrations, vibration measuring equipment, SAP2000, pedestrian bridges, finite elements, experimental method, theoretical method, natural frequency and forced frequency.

## **I. INTRODUCCION**

## 1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA

Los puentes peatonales en la actualidad son estructuras delgadas y flexibles. Estos puentes peatonales son más susceptibles en lugares de mayor tránsito humano como por ejemplo cerca a: estaciones del metropolitano, estaciones de tren, paraderos de autobuses, mercados, etc.) Y se diseñan para el traslado de personas de un lado a otro.

Los puentes peatonales son estructuras fáciles de percibir las vibraciones por las cargas de peatones, el cuerpo humano es capaz de detectar amplitudes muy pequeñas de vibración.

“Ha habido casos de destrucción de puentes, en 1154 en Inglaterra un puente de madera se derrumbó bajo una multitud; En 1831 en broughton (reino unido), se desploma un puente peatonal, mientras que 60 soldados marchaban a paso firme a través de él y fue este acción que llevó a la colocación de carteles de avisos en los puentes para que las tropas deben de romper el paso cuando cruzan. En 1994 también un puente peatonal se derrumbó en china” (Ortiz, 2013, p.5).

Muchos puentes famosos a nivel mundial tienen problemas de comportamiento dinámico debido a la vibración causado por caminar, saltar o correr de los peatones. Los problemas causados por cargas dinámicas o cargas de los peatones son más frecuentes y están relacionados más con la capacidad de servicio que con el problema de la seguridad estructural.

Las pisadas pueden causar vibraciones significativas en puentes peatonales. En las últimas décadas muchos investigadores se ocupan del problema de una predicción fiable de la respuesta dinámica causado por el movimiento humano. La mayoría de las normas para el diseño de puentes define ciertos criterios que se debe cumplir para limitar los estados relacionados con las vibraciones.

A nivel nacional, La interacción humano - estructura en nuestro país es poco conocido. Conocer o profundizar más el estudio en esta área de conocimiento genera herramientas adicionales con lo que se tendrían otros conceptos al aplicar este estudio para diseñar estructuras de puentes peatonales. Más aun permitiría un mejor entendimiento y comprensión de cargas dinámicas por parte



de los ingenieros que se encargan del diseño y evaluación de puentes peatonales. En algunos puentes peatonales se siente la vibración excesiva causado por peatones, caso del puente rayito de sol. Por lo tanto, la susceptibilidad de la vibración en los puentes peatonales es un tema importante de investigación.

## 1.2. Trabajos previos

### Nacionales

MTC, 2016. Dirección general de caminos y ferrocarriles, “*NORMA TECNICA PERUANA-MANUAL DE PUESTES*”. La vibración de la estructura no debe producir incomodidades o preocupaciones a los usuarios de un puente peatonal” Según la norma técnica peruana indica que los puentes peatonales no deben causar temor ni preocupación a los usuarios al trasladarse de un lugar a otro. La frecuencia natural de vibración vertical debe ser mayor a 3.0 Hz para poder evitar la primera armónica; la frecuencia fundamental de la vibración lateral tiene que ser mayor a 1.5 Hz. Si no cumple con las frecuencias fundamentales de vibración mencionadas líneas arriba, entonces la norma dice que debe evaluarse el comportamiento dinámico con los parámetros mínimos descritos en la norma, para poder así llegar a las frecuencias de vibraciones requeridas para puentes peatonales. **En conclusión** se debe tener mucho cuidado con el análisis vibratorio en el momento de diseño de puentes peatonales ya que en zonas donde hay bastante tránsito peatonal como por ejemplo en puentes peatonales cerca a: estadios, supermercados, tiendas estaciones de tren, estaciones del metropolitano, paraderos, etc. Para evitar problemas de vibraciones futuras.

Ortiz, P. 2013. En su tesis de “*EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO VIBRATORIO DE PUENTES PEATONALES BAJO CARGA PEATONAL*”. Fijo como **objetivo** evaluar puentes peatonales bajo cargas peatonales, y los resultados obtenidos están dentro de los rangos de vibraciones insignificantes. El autor **determino** la frecuencia de uno de los tramos con mayor luz del puente peatonal y el **resultado** que obtuvo es de 5.457. Hz de frecuencia vertical y según las normas: Si la frecuencia vertical y longitudinal es mayor a 5 Hz entonces el riesgo es insignificante de resonancia (Sétra, 2006); si la frecuencia lateral es mayor a 2.5 Hz entonces el riesgo es insignificante de resonancia

(Sétra, 2006); la frecuencia de vibración vertical y lateral es mayor a 5 Hz y 1.5 Hz respectivamente, según los estándares británicos (BD 37/01 2002); la frecuencia de vibración vertical y lateral es mayor a 5 Hz y 2.5 Hz respectivamente, indica la norma EUROCODE (1995-2, 2004); la frecuencia de vibración vertical en mayor a 3.5 Hz, indica la norma BRO, (Bro, 2004); en **conclusión** luego de ver estos resultados analizaron una losa de concreto armado con una malla de elementos finitos el cual dividieron en elementos progresivamente más pequeños para poder incrementar la frecuencia, el resultado fue un éxito ya que la frecuencia que obtuvieron anteriormente de 5.457 Hz se pudo incrementar a 8.0945 Hz. Y así hay métodos de alejar las vibraciones naturales de las vibraciones de personas.

### **Internacionales**

Cala, y otros. 2014. *En su tesis "PREDICCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE PUENTES PEATONALES DEBIDO A LA ACTIVIDAD HUMANA USANDO, MODELOS DE COMPUTADOR"*. El autor asegura que el uso de modelos en la computadora para la predicción del comportamiento de los efectos de vibración de estructuras de puentes peatonales bajo cargas peatonales tiene bastante confiabilidad y permite evaluar efectos inesperados por el tránsito humano. En **conclusión** lo que se debe tener en cuenta en el modelado son las características de las secciones de la estructura, las medidas de cada elemento, las posiciones y la interacción de cada elemento con los otros del puente, ya que al modelar con las verdaderas dimensiones el resultado será real. Además, **recomienda** que si se modela una parte de la estructura del puente se debe tener mucho cuidado con la selección de las condiciones de borde, con la masa desplazada, con las uniones, las separaciones de dos estructuras; es mucho mejor modelar todo el sistema ya que actúan otras fuerzas externas y luego analizar el foco del análisis dinámica causado por personas. Posiblemente el parámetro más difícil de manejar en el estudio de vibraciones es el amortiguamiento de la estructura, aplicando los correctos parámetros en el modelaje de las estructuras nos llevan a resultados más precisos y acertados.

Sanchez, J. 2012. En su tesis de “*ANALISIS DE LA INTERACCION DINAMICA HUMANO-ESTRUCTURA EN PUENTES PEATONALES DE SANTIAGO DE CALI*”. En el presente trabajo, el autor escogió 19 puentes peatonales, y fijo como **objetivo** el análisis de la interacción dinámica humano – estructura, el autor asegura en el **resultado** que “16 de ellos poseen a lo menos una luz con frecuencia natural vertical por debajo de 5 Hz (esta frecuencia es el límite establecido por la NSR-10) para los registros ambientales (mientras la estructura está de servicio), ni un puente superó los límites de aceleraciones máximas establecidos por las normas ISO10137, Bro 2004, BS5400 o el EUROCODE.” **En conclusión** es indispensable que los calculistas tengan en cuenta el efecto dinámico de cargas vivas, para así evitar problemas de vibraciones que sienten las personas al caminar, correr o saltar. Además, asegura que los puentes peatonales con apoyos simples y de sección transversal se obtuvieron excelentes resultados al evaluar dicho puente peatonal analíticamente las vibraciones que causa un solo peatón. La diferencia entre las soluciones experimentales y las simulaciones que se realizaron, dan a conocer que algunos códigos y guías de diseño solo limitan evaluaciones para aceleraciones máximas con un solo peatón, y el resultado es perfecta resonancia; pero sabemos que por los puentes pasan cantidades de personas, la evaluación dinámica debe hacerse para un grupo de personas. **Recomienda** que, para evitar estos efectos, las frecuencias naturales no deben ser cercanas a la frecuencia de excitación de personas, también se puede evitar mediante la generación de amortiguadores adicionales por medio de dispositivos de control.

Newlan, D. 2003. En su tesis “*PEDESTRIAN EXCITATION OF BRIDGES RESENT RESULTS*”– Inglaterra. La investigación trata de la vibración generada de peatones con excitaciones inesperadas del Puente del Milenio de Londres que fue causado por su bajo amortiguamiento y de alta carga viva. **El objetivo** de este trabajo es analizar los **resultados** para la carga peatonal dinámica causada por movimientos, para la vibración vertical y lateral. El fenómeno de la sincronización con que las personas responden de forma natural a un puente oscilante cuando este tiene una frecuencia cercana a su caminar natural. **En conclusión** al aumentar la amortiguación modal, la sincronización se puede prevenir. Se trata de cómo se resolvió el problema del Milenio Puente de

Londres. Pero la cantidad de amortiguación se necesita en cualquier situación particular; al hacer algunos supuestos simplificadores sobre cómo la gente camina o corre, es posible predecir los niveles mínimos requeridos de amortiguación para asegurar que la sincronización no conduce a altos niveles de vibración.

### 1.3. Teorías relacionadas al tema

#### 1.3.1. Vibración de puentes peatonales

“Los investigadores aseguran que las cargas generadas por personas son cambiantes en el tiempo y a su vez se clasifican como cargas periódicas; los puentes vehiculares son de alta intensidad por mayor carga dinámica, en cambio las cargas de puentes peatonales son de baja intensidad. Si se aplican las cargas de peatones a grandes estructuras y más rígidas, difícilmente las harían vibrar” (Ortiz, 2013, p. 7).

Lo que da buenas ideas de análisis dinámico, son estudios previos de modelos básicos de puentes peatonales. La ecuación modal de movimiento es:

$$a(t) + 2\xi(2\pi fn)v(t) + (2\pi fn)^2 d(t) = \frac{p(t)}{m} \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

- |                                  |                      |
|----------------------------------|----------------------|
| m: masa modal                    | a(t): aceleración    |
| $\xi$ : razón de amortiguamiento | v(t): velocidad      |
| $fn$ : frecuencia natural        | d(t): desplazamiento |

En la ecuación modal de movimiento (1), p(t) es la carga dinámica que producen los peatones; Además ésta carga dinámica está afectada por el factor  $\alpha$  que significa en mi caso la masa de la persona. La ecuación modal de dinámica sometido a la carga armónica es:

$$a(t) + 2\xi(2\pi fn)v(t) + (2\pi fn)^2 d(t) = \frac{\alpha w_p \text{sen}(2\pi f_e t)}{m} \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

- Wp: peso de la persona
- fe: frecuencia de excitación

“La resonancia es claro cuando el sistema esta excitado por la carga de una armónica o sinusoidal, se aprecia en la formula (2),  $\propto Wp \text{sen}(2\pi fet)$ ” (Piqué, 1998, p.1-37).

Por determinación de la respuesta estática del sistema con una fuerza constante igual a  $Wp$  es:

$$destatica = \frac{wp/m}{(2\pi fn)^2} \dots\dots\dots (3)$$

Además necesitamos amplificar la respuesta dinámica del sistema por  $A(\Omega)$  por lo tanto tenemos:

$$dmax = destaticaA(\Omega) \dots\dots\dots (4)$$

$$A(\Omega) = \frac{1}{\sqrt{(1-\Omega^2)^2 + 4\xi^2\Omega^2}} \dots\dots\dots (5)$$

$$\Omega = \frac{fe}{fn} \dots\dots\dots (6)$$

Según la gráfica vemos que la amplificación de movimiento se puede obtener como una función de  $\Omega$  y  $\xi$ , es representada por curvas paramétricas por  $\xi$ . En la gráfica se observa curvas más elevadas o también llamados picos y están dadas por:

$$\Omega r = \sqrt{1 - 2\xi^2} \dots\dots\dots (7)$$

La frecuencia resonante es entonces

$$fr = fe\sqrt{1 - 2\xi^2} \dots\dots\dots (8)$$

La resonancia no se da para  $fn = fe$ , sino para  $fn = fr$ . Lo que nos interesa es como consideras la resonancia ya que el amortiguamiento estructural es bastante bajo en la práctica diaria, entonces hacemos que  $fn = fe$  y la amplitud dinámica  $A(\Omega)$  es igual a:

$$A(\Omega = 1) \cong \frac{1}{2\xi} \dots\dots\dots (9)$$

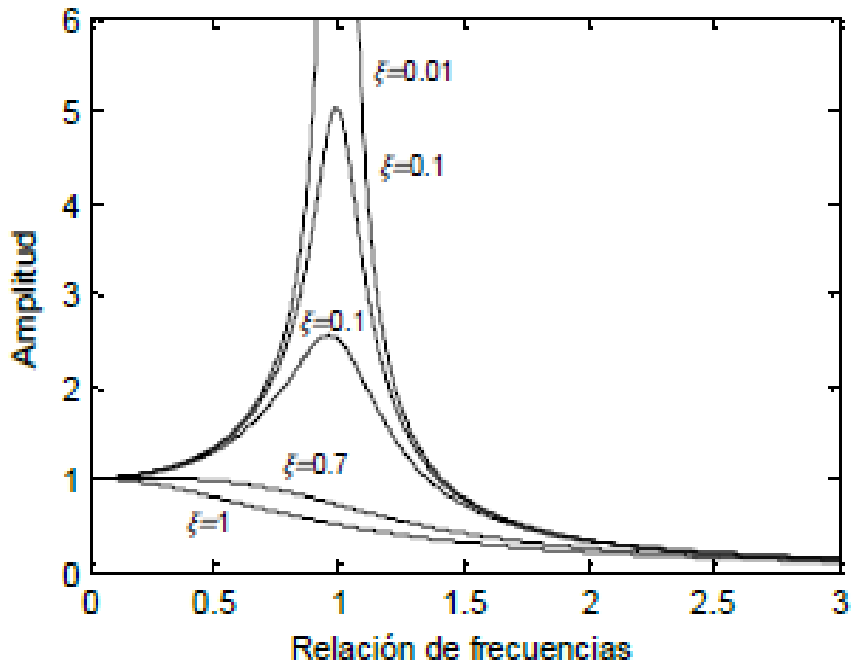


Figura 1.1. Curvas de resonancia  
Fuente: (Piqué, 1998, p. 31).

### 1.3.2. Cargas dinámicas producidas por peatones

Las cargas peatonales son pesos causadas por las personas al pasar o transitar por la plataforma del puente; Las cargas que producen los peatones para mayor entendimiento podemos clasificarlo en dos cargas generales y son: cargas in-situ (figura 1.2) y cargas móviles (figura 1.3). El saltar periódicamente en el mismo sitio, hacer movimientos dinámicos casuales en el mismo sitio son ejemplo de actividades in-situ. Correr, caminar despacio o rápido son actividades móviles.

Cuando un peatón pasa sobre el puente genera dos fenómenos. Primero cambia de la estructura las propiedades dinámicas, es decir cambia la frecuencia natural y segundo en el incremento de las propiedades de amortiguamiento. La carga producida por un peatón genera componentes en tres direcciones: vertical, horizontal y longitudinal y estos dependen de la frecuencia, velocidad y longitud

de paso respectivamente. Ahora los conocimientos ya señalados para un solo peatón es necesario para entender las fuerzas que producen varios peatones (figura 1.4) sobre un puente peatonal, en esta investigación para un grupo de personas se descubrió un fenómeno de la sincronización estructura-humana (Zivanovic, 2005,p.12).

Con la investigación para un grupo de personas se ha podido ver dos aspectos generales al vibrar el puente peatonal. Primero cambios en sus propiedades dinámicas, fundamentalmente la frecuencia natural y la amortiguación, y segundo la sincronización de movimiento (interacción estructura – humana).

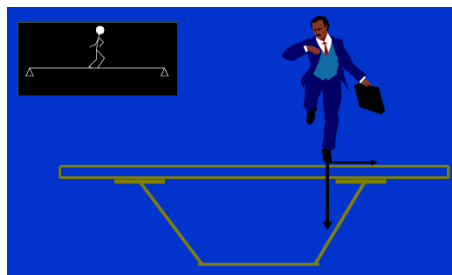


Figura 1.2. Carga de un peatón; Fuente: (vibration of footbridges under pedestrian loads p. 9)

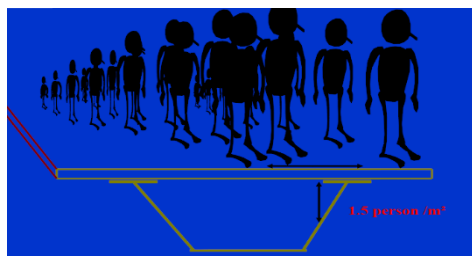


Figura 1.3. Cargas de un grupo de peatones; Fuente: (vibration of footbridges under pedestrian loads p. 8)



Figura 1.4. Cargas vandálicas; Fuente: (vibration of footbridges under pedestrian loads p. 7)

Cuando un peatón transita sobre el puente peatonal, genera cargas dinámicas en tres direcciones y son de tipo vertical, longitudinal, lateral y toda esta carga en función del tiempo.

En esta parte se trata de determinar las fuerzas que provoca un peatón al caminar por un lugar en el puente peatonal, estas fuerzas provocadas fueron estudiadas en un laboratorio, que constaba de una plataforma de puente, con el objetivo de estudiar el deslizamiento y la fricción en la superficie. En esta investigación encontraron la forma general de la fuerza en dirección vertical con dos picos (The Forces Applied to the Floor by the Foot in Walking, National Building Studies, Department of Scientific and Industrial Research, Building Research Station, London, 1961, p.16 ) y ( Harper, 1962, p.56) Posteriormente hicieron investigaciones de la fuerza de un peatón sobre la plataforma, pero estos estudios también dieron resultados parecidos a la fuerza vertical de la investigación de( Harper, 1962, p.58); por otra parte encontraron formas de caminata en tres direcciones (figura 1.5) vertical, lateral y longitudinal (Andriacchi y otros, 1977, p.35).

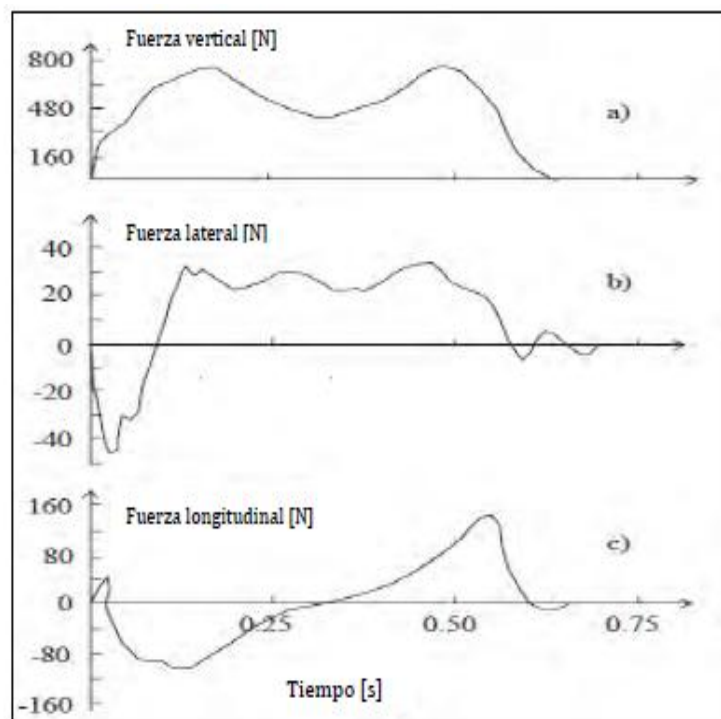


Figura 1.5. Forma típica de las fuerzas de la caminata de peatones en a) vertical, b) lateral, c) longitudinal.

Fuente: (Andriacchi, Ogle y Galante, 1977)



### 1.3.3. Modelos de carga peatonal periódica

#### 1.3.3.1. Modelo de carga peatonal periódica de un peatón

Al tener contacto los pies respecto a la plataforma del puente peatonal, se produce fuerzas dinámicas en el tiempo, además los modelos se basan en el supuesto de que cada pie genera cabalmente la misma fuerza y también asegura que la fuerza es periódica; está representada tiempo - historia vertical, lateral y longitudinal (figura 1.6),( Zivanovic, 2005,p.32).

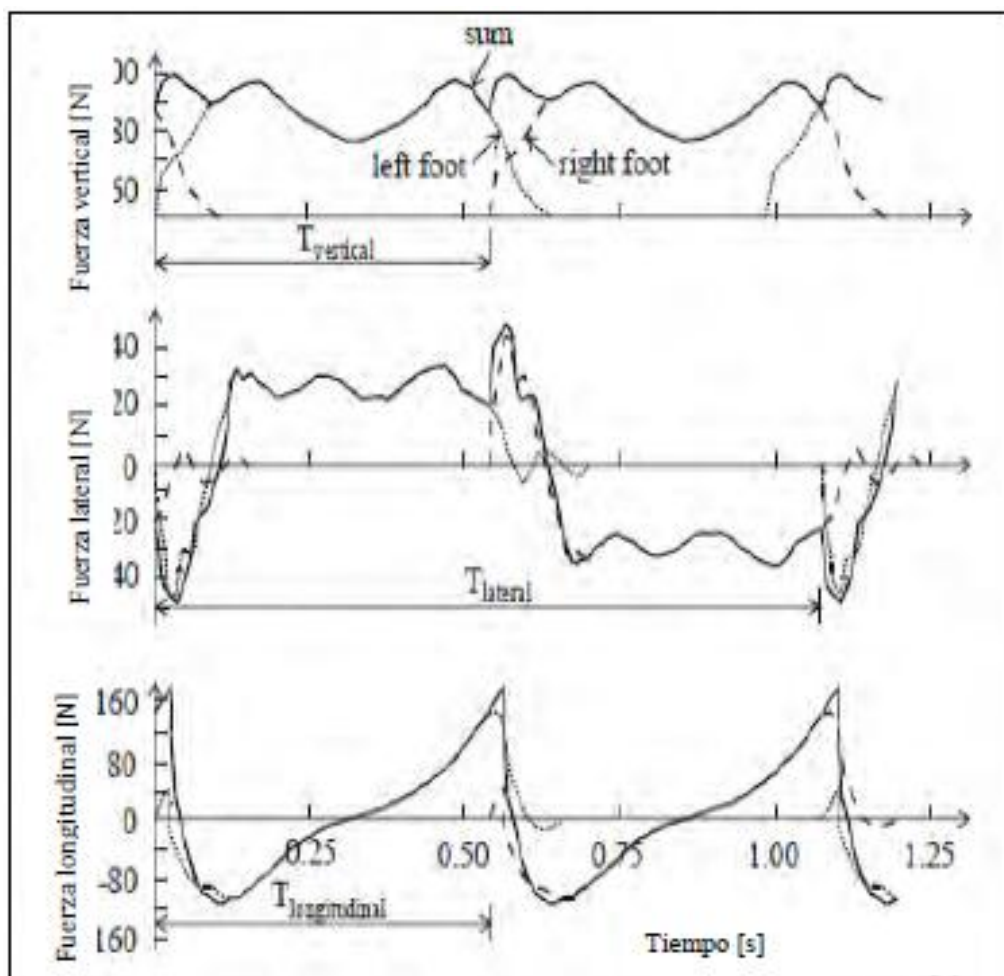


Figura 1.6. Tiempo historia de la caminata periódica en las direcciones vertical, lateral y longitudinal

Fuente: (Zivanovic, Pavis, y Reynolds, 2005)

Además, se puede representar la fuerza periódica como una serie de Fourier, es decir con frecuencias como múltiplo de fuerzas de pisadas lateral con sumas de funciones armónicas.

Dichas series de Fourier explican las señales periódicas como una combinación de señales armónicas. Con dichas series de Fourier se puede analizar la señal periódica en sus términos de frecuencia o de espectro. Ambos términos permiten establecer el tiempo y la frecuencia, mediante esta fórmula representaremos la carga de un peatón:

$$f_p(t) = Q + \sum_{n=1}^k Q \alpha_n \text{sen}(2\pi n f t + \phi_n)$$

**Donde:**

$\alpha_n$  = factor de carga dinámica (DLF, “Dynamic Load Factor”) de la  $n$ ésima armónica.

$Q$  = Peso del peatón en (N)

$f$  = frecuencia de la fuerza lateral de la pisada

$\phi_n$  = Cambio de fase de la  $n$ ésima armónica

$n$  = número de la armónica

$k$  = número total de armónicos que contribuyen

$f_p(t)$  = fuerza periódica de una persona

Muchos autores trataron de determinar el factor de carga dinámica inducido por la fuerza, teniendo como base las series de Fourier, en la tabla (tabla 1.1) tenemos los factores de carga dinámica para una sola persona, de distintos autores.

Tabla 1. 1. Factor de carga dinámica para una simple persona, de diferentes autores.

autor	factor de carga dinámica			comentario	dirección
(blanchard et al, 1977)	$\alpha_1 = 0.257$			De 4 a 5 Hz	caminata vertical
(bachmann y Ammann, 1987)	$\alpha_1 = 0.4-0.5$			Entre 2.0 Hz y 2.4 Hz aproximada a 2 Hz	caminata vertical
	$\alpha_2 = \alpha_3 = 0.1$				
(después de Bachmann y Ammann, 1987)	$\alpha_1 = 0.37$	$\alpha_2 = 0.10$	$\alpha_3 = 0.12$	2Hz	caminata vertical
	$\alpha_4 = 0.04$	$\alpha_5 = 0.08$			
	$\alpha_1 = 0.039$	$\alpha_2 = 0.010$	$\alpha_3 = 0.043$	2Hz	caminata vertical
	$\alpha_4 = 0.012$	$\alpha_5 = 0.015$			
	$\alpha_{1/2} = 0.039$	$\alpha_1 = 0.204$		2Hz	caminata longitudinal
$\alpha_{3/2} = 0.026$	$\alpha_2 = 0.083$				
(Bachmann et al, 1995)	$\alpha_1 = 0.4/0.5$	$\alpha_2 = \alpha_3 = 0.10$		2Hz/2.4Hz	caminata vertical
	$\alpha_1 = \alpha_3 = 0.1$			2Hz	caminata lateral
	$\alpha_{1/2} = 0.1$	$\alpha_1 = 0.2$	$\alpha_2 = 0.10$	2Hz	caminata longitudinal
(Young P, 2001)	$\alpha_1 = 0.37 (f-0.92) < 0.5$			son valores medios para factores de carga dinámica	caminata vertical
	$\alpha_2 = 0.054 + 0.0044f$				
	$\alpha_3 = 0.026 + 0.0050f$				
	$\alpha_4 = 0.010 + 0.0051f$				
(Bachmann et al, 1995)	$\alpha_1 = 0.18/1.7$	$\alpha_2 = 1.3/1.1$		salto normal	salto vertical
	$\alpha_3 = 0.7/0.5$			2.0/3.0Hz	
	$\alpha_1 = 1.9/1.8$	$\alpha_2 = 1.6/1.3$		salto alto	salto vertical
	$\alpha_3 = 1.1/0.8$			2.0/3.0Hz	
	$\alpha_1 = 0.17/0.38$	$\alpha_2 = 0.10/0.12$		1.6/2.4Hz	rebote vertical
$\alpha_3 = 0.04/0.02$					

Fuente: (Ortiz , 2013 , p. 39).

### 1.3.3.2. Modelos de carga peatonal periódica de grupos y multitud de peatones

Por la acción continua de varias personas los puentes sufren cambios de acuerdo a sus propias características (velocidad, frecuencia y peso).

Las personas que transcurren por el puente peatonal pueden estar sincronizado (humano – estructura), no obstante, el ángulo de fase cambia cuando ingresan más personas al puente peatonal.

“Para definir bien los modelos de carga de peatones de grupos y multitud de personas, se tiene dos preguntas fundamentales, ¿los peatones están sincronizados entre sí?, ¿los peatones están sincronizados con el movimiento del puente?; la sincronización de grupos depende de la densidad de peatones y la frecuencia natural del puente peatonal, la sincronización de multitudes con el movimiento del puente depende de la aceleración, amplitud y frecuencia del movimiento del puente peatonal” (Synchronous, 2009, p. 40)

Al problema de la carga peatonal de grupos de personas, la primera solución fue multiplicar por un constante a la carga generada de una persona sobre la plataforma del puente peatonal para conseguir la carga de una multitud de personas; la investigación de (Dynamic Design of Footbridges., 1978) probó determinar las constantes que se multiplicaron para que entren al puente sin ninguna sincronización, además siguiendo la fórmula de distribución de Poisson, ya que el ángulo de fase se distribuye aleatoriamente, el factor “m” de multiplicidad a la amplitud de vibraciones se ha evaluado para una persona y la siguiente formula:

$$m = \sqrt{\lambda T_o}$$

Donde:

m = factor de mejora.

$\lambda$  = caudal medio de personas en ancho de la cubierta (personas/s).

$T_o$  = tiempo necesario de la caminata del peatón para cruzar el puente.

$n = \lambda T_o$  = cantidad de peatones en puente en cualquier momento de tiempo.

Se indica  $m$ , como un factor de multiplicación  $m = \sqrt{n}$  similar a la carga debido a la única no sincronización de las personas que transitan. Así mismo el factor de multiplicación  $m = n$  es similar a la carga debido a la absoluta sincronización de peatones; por ejemplo este sería el caso cuando los soldados desfilan en el puente peatonal.

Ahora está claro, que si una multitud pasa el puente peatonal se sincroniza con algunos en algún grado, además se sabe que el factor de multiplicación se encuentra entre  $m = (\sqrt{n}, n)$ . Se demuestra este resultado haciendo que todos los peatones entren con la misma frecuencia y con la distribución de fase aleatoria.

En conclusión, lo que nos interesa es calcular la carga total de un grupo o multitud tras haber decidido el grado de sincronización y para calcular es la siguiente formula.

$$Fp(t) = mfp(t)$$

Donde:

$Fp(t)$  = fuerza periódica de grupo de peatones

$fp(t)$  = fuerza periódica de un peatón

### **1.3.3.3. Trote y cargas vandálicas**

“Varios autores afirman respecto a este tema, que no es posible que la carga producida por la multitud no genere daños estructurales a un puente peatonal, además en la actualidad las estructuras de los puentes peatonales modernos son cada vez más ligeros. Ha habido casos como por ejemplo en china en 1994, un grupo de estudiantes por diversión excitaron el puente peatonal y ésta falló, como consecuencia dejó 38 muertos” (Sánchez, 2012, p.12).

Las cargas de las personas inducidas al saltar o correr son mucho más que las cargas inducidas al caminar; las frecuencias típicas para el trote están entre 2.5 Hz a 3.2 Hz, y para salto están entre 1.3 Hz a 2.4 Hz. El modelo de la carga está compuesto por media función seno para el tiempo de contacto en la plataforma del puente y cero para el tiempo de no contacto de la plataforma de éste.

$$F(t) = \begin{cases} k_p W_p \text{sen}(t_p), & t \leq t_c \\ 0, & t_c < t \leq T \end{cases}$$

$$k_p(t_c/T) = \frac{\pi}{2 t_c/T}$$

**Donde:**

**tc** = tiempo de contacto

**T** = periodo de la actividad (trotar/saltar)

**Kp** = factor dinámico de impacto (llamada también razón de contacto)

#### 1.3.4. Criterios de servicio en puentes peatonales

Las guías de diseño y los códigos actuales poseen distintos criterios para determinar valores de aceleraciones límites en edificaciones; para los puentes peatonales también determinaron, como se muestra en la (figura 1.7), (figura 1.8) y (tabla 1.2) para vibraciones verticales y horizontales.

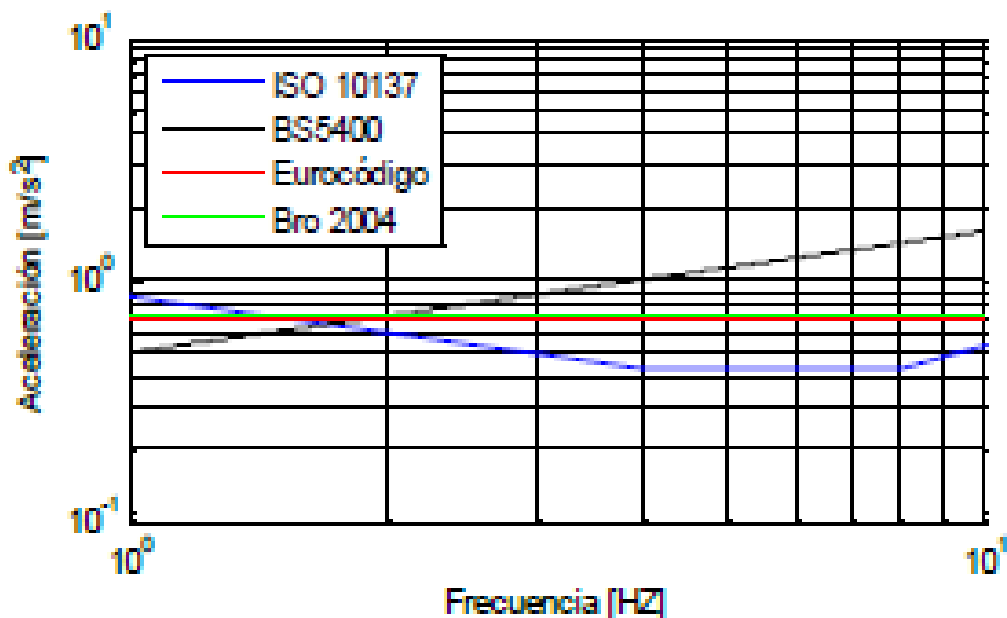


Figura 1.7. Aceleraciones máximas verticales por diferentes normas  
Fuente: (Sánchez, 2012, p. 13).

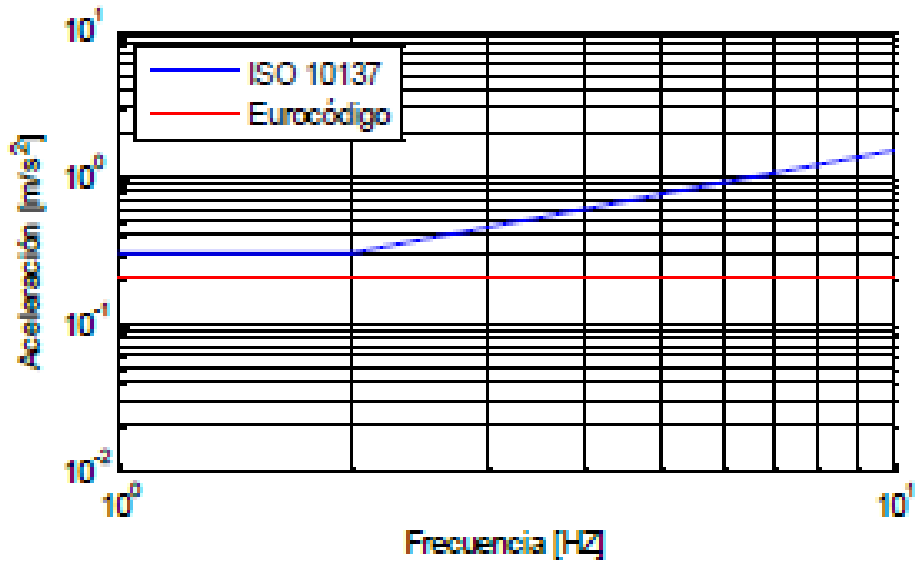


Figura 1.8. Aceleraciones máximas laterales por diferentes normas  
Fuente: (Sánchez , 2012, p. 13).

Tabla 1. 2. Criterios de aceleraciones máximas para vibraciones verticales por diferentes normas.

Norma	Aceleración vertical	Aceleración horizontal
BS 5400	$a_{m\acute{a}x} \leq 0.5\sqrt{f} [m/s^2]$	Sin especificar
Eurocódigo	$a_{m\acute{a}x} \leq 0.7 [m/s^2]$	$a_{m\acute{a}x} \leq 0.2 [m/s^2]$
Bro 2004	$a_{RMS} \leq 0.5 [m/s^2]$	Sin especificar

Fuente: (Sánchez , 2012, p. 13).

### 1.3.5. Normas nacionales e internacionales

#### a. Norma nacional

Ministerio de transportes y comunicaciones menciona que,

En el manual de diseño de puentes indica que la frecuencia fundamental en vibración vertical sin carga peatonal será mayor a 3.0 Hz y en la dirección lateral la frecuencia fundamental del puente peatonal será mayor a 1.5. Hz. (2016, p. 627).

## b. Normas internacionales

### b.1. Guía técnica - para diseño de puentes peatonales (AASHTO, 1997, p.9).

La asociación americana de carreteras de estado y funcionarios del transporte publica esta guía de diseño para puentes peatonales; en donde la frecuencia sin carga viva debe ser superior a 3.0 Hz. Si no satisface esta limitación se debe realizar una evaluación de desempeño dinámico.

### b.2. guía técnica – evaluación del comportamiento vibratorio de puentes peatonales bajo carga de peatones (Setra, 2006, p.32).

Del inglés (technical guide - assessment of vibrational behaviour of footbridges under pedestrian loading), en esta guía, se dan criterios para poder determinar el nivel de confort con el que se debe analizar y diseñar los puentes peatonales, a continuación se hace un resumen de lo indicado.

#### b.2.1. aceleraciones rangos asociados a niveles de confort

Se muestra en la tabla los rangos de aceleraciones (m/s<sup>2</sup>) de vibración vertical y vibración lateral.

Tabla 1. 3. Rango de aceleraciones (m/s<sup>2</sup>) para vibración vertical

rango de aceleraciones	0	0.5	1	2.5
rango 1	máximo			
rango 2		medio		
rango 3			mínimo	
rango 4				peligro

Fuente. Setra, (2006) p.32

Tabla 1. 4. Rango de aceleraciones (m/s<sup>2</sup>) para vibración horizontal.

rango de aceleraciones	0	0.5	1	2.5
rango 1	máximo			
rango 2		medio		
rango 3			mínimo	
rango 4				peligro

Fuente. Setra, (2006) p.32



### b.2.1. Frecuencias rangos asociados a niveles de confort

Se muestra en la tabla los rangos de aceleraciones (m/s<sup>2</sup>) de vibración vertical y vibración lateral.

**Tabla 1. 5.** Rango de frecuencias (Hz) para vibración vertical y longitudinal.

Rango de frecuencias	0	1	1.7	2.1	2.6	5
Rango 1						
Rango 2						
Rango 3						
Rango 4						

Fuente. Setra, (2006), p.33

**Tabla 1. 6.** Rango de frecuencias (Hz) para vibración lateral.

Rango de frecuencias	0	0.3	0.5	1.1	1.3	2.5
Rango 1						
Rango 2						
Rango 3						
Rango 4						

Fuente. Setra, (2006), p.33

### b.3. BS 5400

Los estándares BD 37/01 Apéndice B5.5, indican,

Que los diseñadores deben tener en cuenta los puentes peatonales con frecuencia inferior a 5 Hz para movimientos verticales de la cubierta y menos de 1,5 Hz para los movimientos laterales de la cubierta. Por otro lado, la máxima aceleración vertical de cualquier parte del puente se limitará a  $0.5(f)^{0.5}$  m/s<sup>2</sup>.(2002, p.23).

### 1.3.6. Marco conceptual

#### ➤ Rigidez

Piqué menciona que,

La rigidez es la capacidad para limitar las deformaciones bajo cargas, siempre fue un criterio de diseño. En el caso de cargas sísmicas la rigidez ha cobrado mayor importancia en los últimos años como consecuencia de la observación de los daños

producidos por los sismos de los últimos 10 años a las estructuras flexibles y muy deformables. (1998, p. 14).

➤ **Vibración**

“Es cuando un elemento experimenta una vibración mecánica cuando pasa por las mismas posiciones con la misma velocidad. Se caracteriza por su frecuencia, velocidad, aceleración y desplazamiento” (AASHTO, 1997, p.9).

➤ **Resistencia**

“La estructura debe tener la resistencia adecuada para resistir las acciones sísmicas al nivel del sismo de diseño. Normalmente esta es una condición que si se satisface. Sin embargo a esta debe ir el necesario detallado del refuerzo para permitir desarrollar la ductilidad que se supone se requerirá de la estructura cuando sus elementos incursionen en el rango inelástico” (Piqué, 1998, p. 15-16).

➤ **Ductilidad**

“La ductilidad es una característica importante en el buen comportamiento sismo resistente de cualquier tipo estructural. La necesidad de contar con ella inicia de la metodología de diseño utilizada en la actualidad que confía en la disipación de energía por acción inelástica para resistir adecuadamente un terremoto severo” (Piqué, 1998, p.16).

➤ **Resonancia**

“Es Cuando un elemento es excitado un sistema por una fuerza armónica externa, la amplitud vibraciones crece y a este sistema se le conoce como resonancia; además la frecuencia es igual a la frecuencia ambiental del sistema” (Piqué, 1998, p.17).

➤ **Cargas del viento**

“Las cargas del viento son fuerzas debidas a la presión del viento, por metro cuadrado de área, deben aplicarse a todas las estructuras. Es un factor importante para el diseño de estructuras de todas las edificaciones” (Sanchez, 2012, p.18).

➤ **Vibración natural**

“El registro de vibración natural consiste en establecer las vibraciones causadas por: el tráfico, el viento, los microsismos, las actividades humanas, etc. En vibración natural se tomarán registros de vibraciones natural vertical y horizontal o lateral” (Sanchez, 2012, p.18).

➤ **Vibración libre**

“Para este registro de vibración necesitamos una fuerza inicial para que genere desplazamiento o velocidad inicial para que la estructura en estudio oscile libremente” (Sanchez, 2012, p.18).

➤ **Vibración forzada**

“El ensayo de vibración forzada se basa en aplicar una fuerza externa (fuerzas inducidas por los peatones) a la estructura en estudio; para los puentes seleccionados por tipo de estructura se clasificaron las pruebas en: caminatas, trotes y excitación (cargas vandálicas)” (Sanchez, 2012 ,p. 18).

➤ **Análisis modal**

“Es una técnica para poder calcular las características vibratorias de una estructura con comportamiento lineal y elástico” (Piqué, 1998, p.17).

#### **1.4. Formulación del problema**

La plataforma de puentes peatonales, están directamente en reacción a las cargas de los peatones frecuentemente, ya que éstas cargas producen movimientos vibratorios en distintas direcciones ya sea: vertical, longitudinal y transversal; el movimiento vibratorio transversal es la que genera el vaivén de la plataforma de puentes peatonales que producen miedo a las personas que transcurren.

En ocasiones el problema de movimientos vibratorios transversal en los puentes peatonales, no es resuelto por los ingenieros en la etapa de ejecución del proyecto, trae consecuencias en obra, como el caso de los puentes peatonales, causa temor a las personas que transitan.

### **1.4.1. Problema general**

¿Son los puentes peatonales de la Panamericana Norte entre el KM 19+000 - KM 25+500 en Lima susceptibles a problemas de vibración por carga peatonal?

### **1.4.2. Problema específico**

1. ¿Son las frecuencias de vibración de los puentes peatonales ubicados en la Panamericana Norte entre los km 19+000 y el km 25+500 en Lima mayores a los valores permitidos según normas internacionales?
2. ¿son las aceleraciones de vibración de los puentes peatonales de la Panamericana Norte entre el km 19+000 y el km 25+500 en Lima menores a los valores límites permitidos según normas internacionales?
3. ¿Cuál sería la solución a problemas vibracionales en puentes peatonales de la Panamericana Norte entre el km 19+000 y el km 25+500 en Lima?

## **1.5. Justificación de estudio**

### **1.5.1 justificación económica**

En lo económico sería más factible construir puentes peatonales seguros para el tránsito humano, para así poder evitar adicionales que son casi el 30% del presupuesto; por ejemplo, al puente Rayito de Sol tiene problemas de vibración y para evitar dichos problemas están reforzando las cimentaciones y los elementos verticales.

### **1.5.2 justificación técnica**

Es técnica porque se da a conocer los principios que gobiernan las estructuras como son las frecuencias, aceleraciones, causadas por cargas peatonales que gobiernan el comportamiento vibratorio; es recomendable realizar el estudio dinámico aplicando cargas dinámicas producidas por peatones en el diseño y hacer una modelación en un software y analizarlo, para tener cálculos mucho más confiables.

### **1.5.3 justificación social**

Varias personas que transitan serán perjudicadas por fallas de puentes peatonales, por eso la realización de este estudio ayude a establecer criterios de diseños para construcciones futuras, no únicamente basarse en cumplir las frecuencias naturales verticales mínimas sino también tener en cuenta los diferentes componentes de cargas vivas.

## **1.6. Hipótesis**

### **1.6.1. Hipótesis general**

Los puentes peatonales ubicados en la Panamericana Norte entre los KM 19+000 - KM 25+500 en Lima presentan problemas de vibración ante carga peatonal.

### **1.6.2. Hipótesis específico**

1. Las frecuencias de vibración de los puentes peatonales ubicados en la Panamericana Norte entre el km 19+000 y el km 25+500 en Lima son menores a los valores permitidos según normas internacionales.
2. Las aceleraciones de vibración de los puentes peatonales ubicados en la Panamericana Norte entre el km 19+000 y el 25+500 en Lima son menores a los valores permitidos según normas internacionales.
3. La solución a problemas vibratoriales en puentes peatonales de la Panamericana Norte entre el km 19+000 y el km 25+500 en Lima, sería aumentar la rigidez de la loza.

## **1.7. Objetivos**

Los objetivos se dividen en general y específicos para su mejor entendimiento.

### **1.7.1 General**

Evaluación del comportamiento vibratorio de puentes peatonales en la Panamericana Norte entre los km 19+000 - km 25+500

### **1.7.2 Específicos**

1. Evaluar las frecuencias de la estructura de puentes peatonales y hacer una comparación con las frecuencias establecidas por normas internacionales.
2. Evaluar las aceleraciones de la estructura de puentes peatonales y hacer una comparación con las aceleraciones establecidas por normas internacionales.
3. Incrementar la rigidez de la losa del puente para reducir o eliminar problemas de vibración.

## **II. METODOLOGIA**

## **2.1. Diseño, tipo y nivel de investigación**

### **2.1.1. Diseño de investigación**

Según Murillo esta investigación se considera de nivel experimental porque,

La investigación de enfoque experimental el investigador manipula una o más variables de estudio, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas. Dicho de otra forma, un experimento consiste en hacer un cambio en el valor de una variable (variable independiente) y observar su efecto en otra variable (variable dependiente). Esto se lleva a cabo en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular. (2014, p.5).

El presente proyecto de investigación se ubica en el diseño de corte transversal experimental, ya que los datos se recolectan en un momento determinado, y se manipulan las variables.

### **2.1.2. Tipo de investigación**

Para Valderrama menciona que,

La investigación aplicada también se le llama dinámica, activa, práctica o empírica. Se localiza íntimamente ligada a la investigación básica, ya que depende de sus descubrimientos y aportes teóricos para llevar a cabo la solución de problemas, con el propósito de crear bienestar a las personas. (2013, p.164).

Por lo tanto, la presente investigación es de tipo aplicada por que analizaremos los problemas de vibración en puentes peatonales.

### **2.1.3. Nivel de estudio**

Para Valderrama, (2013, p.169-170) menciona que: “El nivel de estudio correlacional tiene como objetivo conocer la relación o grado de asociación que existe entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto en particular”.

El nivel de estudio de la investigación es correlacional porque tiene como objetivo conocer la relación de asociación que existe entre dos o más variables.



## **2.2. Variables, Operacionalización**

### **2.2.1. Variables**

**V1:** respuesta dinámica

**V2:** carga peatonal

## 2.2.2. Operacionalización de variables

Tabla 2. 1. Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES
<b>respuesta dinámica</b>	La respuesta dinámica es la reacción generada por las cargas dinámicas de peatones al cruzar el puente peatonal. Además es describir el movimiento oscilatorio. (Ortiz Albino, 2013)	La respuesta dinámica en nuestro caso es básicamente la aceleración y el periodo de vibración en distintas direcciones; Los indicadores se obtendrán con el equipo portátil de adquisición de datos	frecuencia vertical
			aceleración vertical
			frecuencia lateral
			aceleración lateral
<b>carga peatonal</b>	Carga peatonal son pesos causadas por las personas al pasar o transitar por la plataforma del puente; Las cargas que producen los peatones, para mayor entendimiento podemos clasificarlo en dos cargas generales y son: cargas in-situ y cargas móviles. (Sanchez Vargas, 2012)	Las cargas peatonales móviles se clasifican en tres tipos: carga de un peatón, carga de multitud de peatones y cargas vandálicas; estas cargas serán aplicadas a la pasarela del puente en el modelado en el software SAP2000 para poder determinar los indicadores propuestos.	peso de un peatón
			frecuencia de la fuerza lateral de la pisada de un peatón
			fuerza periódica de un peatón
			peso de grupo de peatones
			frecuencia de la fuerza lateral de las pisadas de grupo de peatones
			fuerza periódica de grupo de peatones
			Peso vandálica
			frecuencia de la fuerza lateral de las pisada de cargas vandálica
fuerza periódica de cargas vandálicas			

## **2.3. Población y muestra**

### **2.3.1. Población**

“La población es el grupo de todos los casos que conforman con designadas especificaciones, la población deben situarse claramente por sus características de contenido” (Hernandez, y otros, 2014, p. 174).

En el presente estudio se tomará una población de 11 puentes peatonales de la Panamericana Norte desde el kilómetro 19 hasta el kilómetro 25.5 para el desarrollo de la presente investigación.

### **2.3.2. Muestra**

Según Valderrama menciona que,

La muestra es un subconjunto representativo de una población. Es representativa porque representa fielmente las peculiaridades de la población cuando se aplica la técnica conveniente de muestreo de la cual procede, difiere de ella solo en el número de unidades incluidas y es adecuada, ya que se debe incluir un número óptimo y mínimo de unidades. (2013, p. 184).

La muestra se realizó usando un criterio de clasificación según las características estructurales y luces típicas entre apoyos, de los 11 puentes se toma como muestra solo 2 puentes.

## **2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad**

### **✓ Ensayos de campo**

Después de elaborar la respectiva clasificación de los distintos tipos de puentes peatonales por sistemas estructurales, se establecerán los ensayos a los 2 puentes con la finalidad de determinar sus características dinámicas, (frecuencias asociados a vibración natural) y su respuesta ante cargas peatonales. Para el análisis y evaluación de vibraciones en los puentes peatonales se tomará los registros producidas por peatones y son:

- Vibración natural
- Vibración libre y
- Vibración forzada

En cada una de las luces se tomará los registros de vibración natural; en las luces más grandes de los puentes peatonales clasificados se tomará los registros de vibración libre y vibración forzada.

## 2.4.1. Técnicas

### 2.4.1.1. Modelado en software SAP2000 de elementos finitos

Se realizarán modelos analíticos de los cinco puentes peatonales elegidos aplicando el software de elementos finitos SAP2000. Las estructuras en estudio serán modelados mediante elementos tridimensionales tipo frame. También se modelará aplicando las cargas dinámicas producidas por los peatones.

## 2.4.2. Instrumento

### 2.4.2.1. Medición de vibraciones

Para los registros de datos en campo el instrumento utilizado será un equipo portátil de adquisición de datos; este equipo portátil sirve para poder medir las vibraciones en las estructuras en estudio Para el procesamiento de datos de los registros levantados campo se realizará aplicando el software MATLAB.



Figura 2.1. Equipo portátil de adquisición de datos  
Fuente: (Sánchez , 2012, p. 20).

### 2.4.3. Validez del instrumento

Se realizará el proceso de validación por medio de un certificado de calibración del equipo de adquisición de datos, para obtener resultados mucho más precisos. Además, se realizará el proceso de validación por medio de los juicios de expertos, los expertos serán tres ingenieros con conocimientos en el tema, quienes contarán con responsabilidad moral y profesionalismo para realizar dicho juicio.

#### **2.4.4. Confiabilidad**

Para el proceso de confiabilidad se hará el ensayo por 10 minutos en cada luz tomado convenientemente del puente peatonal, además respecto al periodo de 8 minutos se fraccionará en periodos de 2 minutos para poder tomar un promedio de espectrograma.

#### **2.5. Método de análisis de datos**

La metodología empleada para hacer el análisis vibracional de puentes peatonales en la Panamericana Norte, será con equipo portátil de adquisición de datos. En cada tramo elegido del puente; se colocará el equipo de análisis de datos durante 8 minutos para poder extraer la información necesaria, esta prueba se hará en los 2 puentes elegidos por el autor de esta investigación, luego serán llevados a gabinete los datos obtenidos en campo, para poder estudiarlo y analizarlo; el procedimiento de datos obtenidos en campo se realizara con el software SISMOGRAPH DATA ANALISYSV11, mediante la transformada de Fourier, el análisis tomado durante 10 minutos se fraccionara en 20 segundos con la finalidad de transponer los registros de vibraciones y elegir un promedio de esta, esta prueba nos proporciona las frecuencias y periodos. Se hará un levantamiento de elementos estructurales por tipo de puente ya sea de acero, concreto armado y mixta. Con los datos levantados se hará un análisis modal para determinar las características vibratorias en el software SAP2000 de los puentes en estudio, se recomienda modelar todo el sistema estructural ya que así tendremos valores más reales y mejores resultados. A los puentes modelados se le aplicará cargas vivas es decir cargas puntuales para poder calcular las respuestas dinámicas en diferentes direcciones.

Según Sánchez, (2012, p.50) manifiesta que: “Las frecuencias verticales deberán ser mayores a 5 Hz que indica riesgo insignificante de resonancia, luego se compatibilizara con las normas internacionales de vibraciones en puentes peatonales”.

### **III. ANALISIS Y RESULTADOS**

### 3.1. Descripción, clasificación de estructuras y selección de puentes para la evaluación

#### 3.1.1. Descripción de las estructuras existentes

En la primera etapa se hizo un bosquejo de puentes peatonales en toda la carretera Panamericana Norte, con el fin de encontrar puentes peatonales más transcurridos por peatones, estos puentes peatonales se encuentran cerca de universidades, colegios, supermercados y fábricas. Con la información adquirida se eligió el tramo desde el kilómetro 19+000 hasta el kilómetro 25+500, en dicho tramo existen 11 puentes peatonales con diferentes tipos de estructuras y son:

Tabla 3. 1. Puentes peatonales entre el km19+000 hasta el km25+500

<b>puentes peatonales entre el km19+000 hasta el km25+500</b>	
<b>nombre de puente peatonal</b>	<b>ubicación (km)</b>
a. puente peatonal Villa Sol	km 19+711
b. puente peatonal Independencia	km 19+869
c. puente peatonal Santa Luisa	km 20+372
d. puente peatonal San Martin	km 20+981
e. puente peatonal Puerta de Pro	km 21+525
f. puente peatonal Plaza Vea	km 21+892
g. puente peatonal La Amistad	km 22+382
h. puente peatonal Pro Lima	km 23+207
i. puente peatonal Acobamba	km 23+857
j. puente peatonal Shangrilla	km 24+809
k. puente peatonal Mariátegui	km 25+500




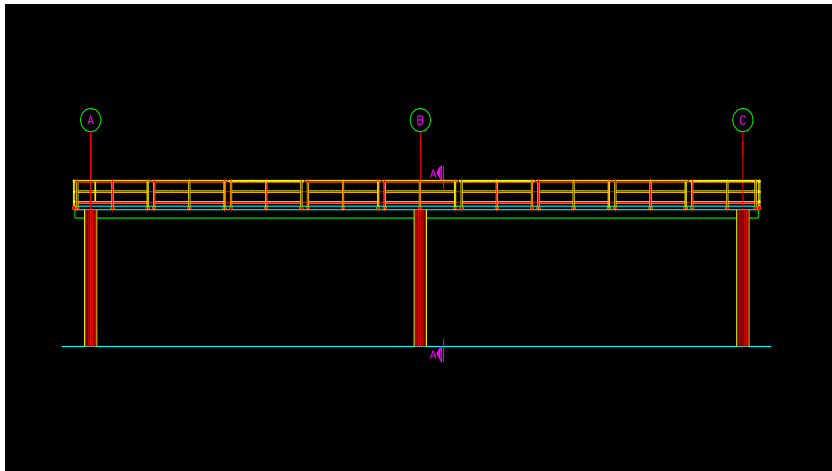



Figura 3.1. Plano satelital de los 11 puentes en estudio.  
 Fuente: Google Earth



**a. Puente peatonal Villa Sol**

El puente peatonal Villa Sol es de estructura de concreto armado; con viga tipo “T” como viga principal, apoyada simplemente sobre tres columnas de sección rectangulares iguales; dicha viga también cumple la función de losa, solo tiene una luz, además cuenta con barandas metálicas.

 <b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b>		<b>ROLLO DE PROYECTO DE INVESTIGACION</b>	
<u>elevacion</u>		<u>corte A-A</u>	
			
<b>I. IDENTIFICACION Y UBICACIÓN</b>			
Departamento :		Lima	
Provincia:		Lima	
Distrito:		Los olivos	
Kilometro:		km 19+711	
<b>II. DATOS GENERALES</b>			
Nombre:		puente peatonal Villa Sol	
Longitud total:		31.00 m	
Ancho total:		1.50 m	
Tipo de estructura:		concreto armado	
<b>III. TRAMOS</b>			
Número de tramos:		2	
Longitud 1° tramo:		12.00 m	
Longitud 2° tramo:		13.60 m	
Longitud 3° tramo:		-----	
Longitud 4° tramo:		-----	
Luz principal:		13.60 m	
<b>IV. LOSA</b>			

Material:	concreto armado
Espesor:	0.12 m
<b>V. VIGA</b>	
Sección:	trapezoidal
N° de vigas:	1
Material:	concreto armado
Longitud:	31.00 m
Peralte:	0.35
<b>VI. PILARES</b>	
Sección:	rectangulares (0.60x0.50)
N° de pilares:	3
Material:	concreto armado
Elevación:	5.35 m
<b>VII. CIMIENTOS</b>	
Material:	concreto armado
Medidas:	-----
<b>VIII. BARANDAS</b>	
Sección:	circular $\varnothing = 2''$
Material:	acero
Altura:	0.92 m
<b>IX. OTROS</b>	
Otros	-----




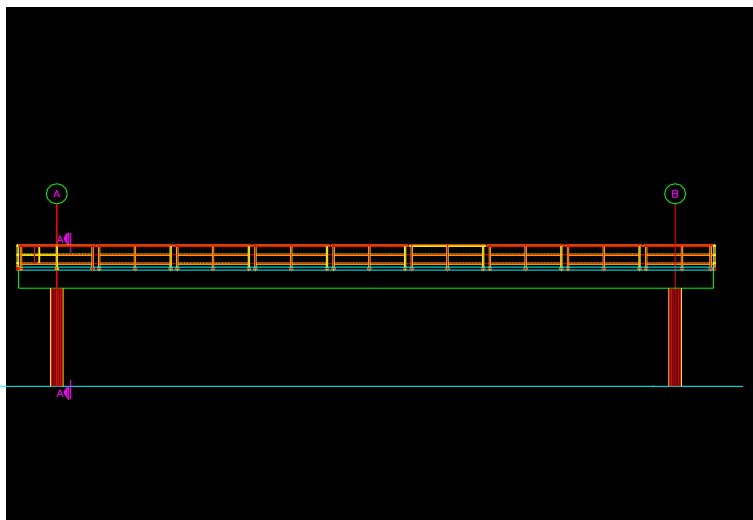

Figura 3.2. Vista fotográfica frontal del puente peatonal Villa Sol



Figura 3.3. Vista fotográfica isométrico del puente peatonal Villa Sol

**b. Puente peatonal Independencia (Yambal)**

El puente peatonal Independencia (Yambal) es de estructura de concreto armado; con viga de sección trapezoidal como viga principal, apoyada simplemente sobre dos columnas de sección rectangulares; tiene una losa de concreto armado, solo tiene una luz, además cuenta con barandas metálicas.

 <b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b>			
<b>FICHA TECNICA DE DESARROLLO DE PROYECTO DE INVESTIGACION</b>			
<b><u>elevación</u></b>		<b><u>corte A-A</u></b>	
			
<b>I. IDENTIFICACION Y UBICACIÓN</b>			
Departamento :		Lima	
Provincia:		Lima	
Distrito:		Los olivos	
Kilometro:		km 19+869	
<b>II. DATOS GENERALES</b>			
Nombre:		puente peatonal Independencia	
Longitud total:		30.00 m	
Ancho total:		2.20 m	
Tipo de estructura:		concreto armado	
<b>III. TRAMOS</b>			
Número de tramos:		1	
Longitud 1° tramo:		23.43 m	
Luz principal:		23.43 m	
<b>IV. LOSA</b>			
Material:		concreto armado	

Espesor:	0.15 m
<b>V. VIGA</b>	
Sección:	trapezoidal
N° de vigas:	1
Material:	concreto armado
Longitud:	30.00 m
Peralte:	0.90 m
<b>VI. PILARES</b>	
Sección:	rectangulares (0.60x0.60)
N° de pilares:	2
Material:	concreto armado
Elevación:	5.10 m
<b>VII. CIMIENTOS</b>	
Material:	concreto armado
Medidas:	-----
<b>VIII. BARANDAS</b>	
Sección:	circular $\varnothing = 2"$
Material:	acero
Altura:	1.00 m




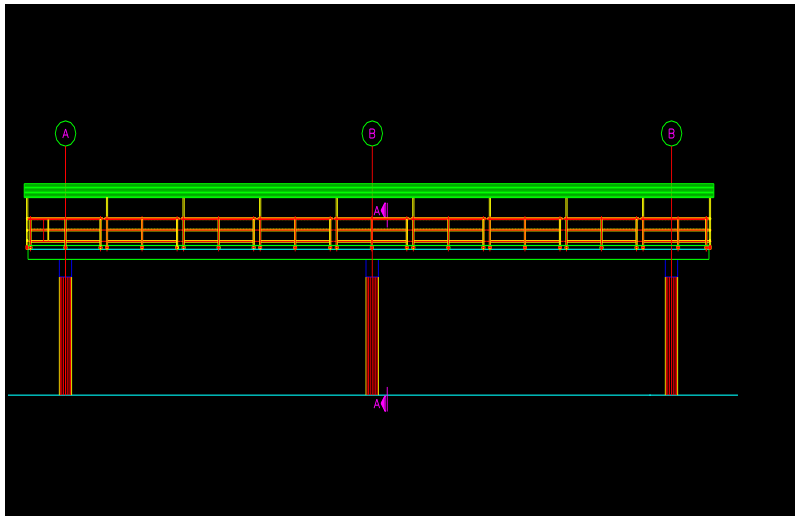
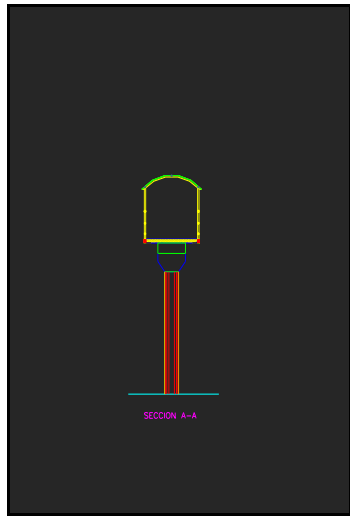
Figura 3.4. Vista fotográfica frontal del puente peatonal Independencia



Figura 3.5. Vista fotográfica isométrico del puente peatonal Independencia

### c. Puente peatonal Santa Luisa

El puente peatonal Santa Luisa es de estructura de concreto armado; con viga pretensada de sección rectangular como viga principal, apoyada simplemente sobre tres columnas de sección circular; tiene una losa de concreto armado, con dos luces, además cuenta con barandas metálicas y cobertura con estructura metálica.

 <b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b>			
<b>FICHA TECNICA DE DESARROLLO DE PROYECTO DE INVESTIGACION</b>			
<b><u>elevación</u></b>		<b> corte A-A</b>	
			
<b>I. IDENTIFICACION Y UBICACIÓN</b>			
Departamento :	Lima		
Provincia:	Lima		
Distrito:	Los olivos		
Kilometro:	km 20+372		
<b>II. DATOS GENERALES</b>			
Nombre:	puente peatonal Santa Luisa		
Longitud total:	42.00 m		
Ancho total:	3.00 m		
Tipo de estructura:	concreto armado		
<b>III. TRAMOS</b>			
Número de tramos:	2		
Longitud 1° tramo:	14.30 m		
Longitud 2° tramo:	14.30 m		
Luz principal:	14.30 m		
<b>IV. LOSA</b>			

Material:	concreto armado
Espesor:	0.10 m
<b>V. VIGA</b>	
Sección:	rectangular
N° de vigas:	1
Material:	concreto pretensado
Longitud:	42.00 m
Peralte:	0.40 m
<b>VI. PILARES</b>	
Sección:	circular, perímetro = 1.96 m
N° de pilares:	3
Material:	concreto armado
Elevación:	5.65 m
<b>VII. CIMIENTOS</b>	
Material:	concreto armado
<b>VIII. BARANDAS</b>	
Sección:	circular $\varnothing = 2"$
Material:	acero
Altura:	1.00 m
<b>IX. OTROS</b>	
Otros	consta de cobertura con estructuras de acero h = 2.45 m

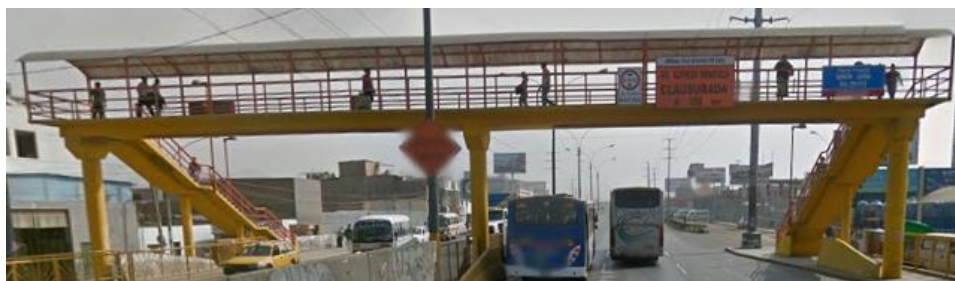



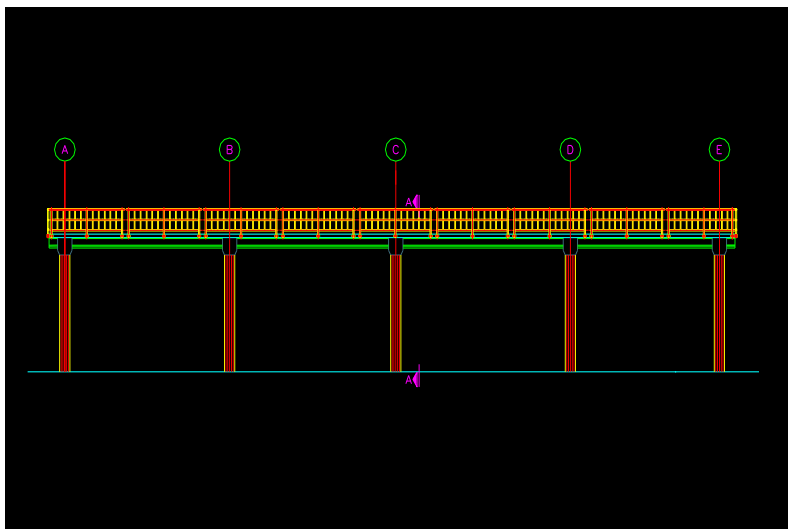
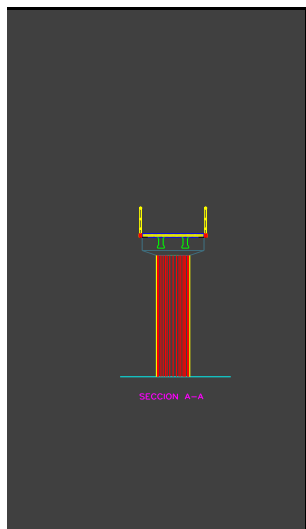
Figura 3.6. Vista fotográfica frontal del puente peatonal Santa Luisa



Figura 3.7. Vista fotográfica isométrico del puente peatonal Santa Luisa

#### d. Puente peatonal San Martin

El puente peatonal San Martin es de estructura de concreto armado; con vigas tipo "H" como vigas principales, apoyada simplemente sobre cinco columnas de sección rectangulares iguales; tiene una losa de concreto armado con cuatro luces, además cuenta con barandas metálicas.

 <b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b>			
<b>FICHA TECNICA DE DESARROLLO DE PROYECTO DE INVESTIGACION</b>			
<b><u>elevación</u></b>		<b><u>corte A-A</u></b>	
			
<b>I. IDENTIFICACION Y UBICACIÓN</b>			
Departamento :		Lima	
Provincia:		Lima	
Distrito:		Los olivos	
Kilometro:		km 20+981	
<b>II. DATOS GENERALES</b>			
Nombre:		puente peatonal San Martin	
Longitud total:		72.00 m	
Ancho total:		2.80 m	
Tipo de estructura:		concreto armado	
<b>III. TRAMOS</b>			
Número de tramos:		4	
Longitud 1° tramo:		14.40 m	
Longitud 2° tramo:		19.45 m	
Longitud 3° tramo:		19.45 m	
Longitud 4° tramo:		14.40 m	

Luz principal:	19.45 m
<b>IV. LOSA</b>	
Material:	concreto armado
Espesor:	0.15 m
<b>V. VIGA</b>	
Sección:	vigas pretensadas
N° de vigas:	2
Material:	concreto pretensado
Longitud:	72.00 m
Peralte:	0.75 m
<b>VI. PILARES</b>	
Sección:	rectangulares (1.60x0.60)
N° de pilares:	5
Material:	concreto armado
Elevación:	5.50 m
<b>VII. CIMIENTOS</b>	
Material:	concreto armado
<b>VIII. BARANDAS</b>	
Sección:	circular $\varnothing = 2''$
Material:	acero
Altura:	1.00 m



Figura 3.8. Vista fotográfica frontal del puente peatonal San Martín


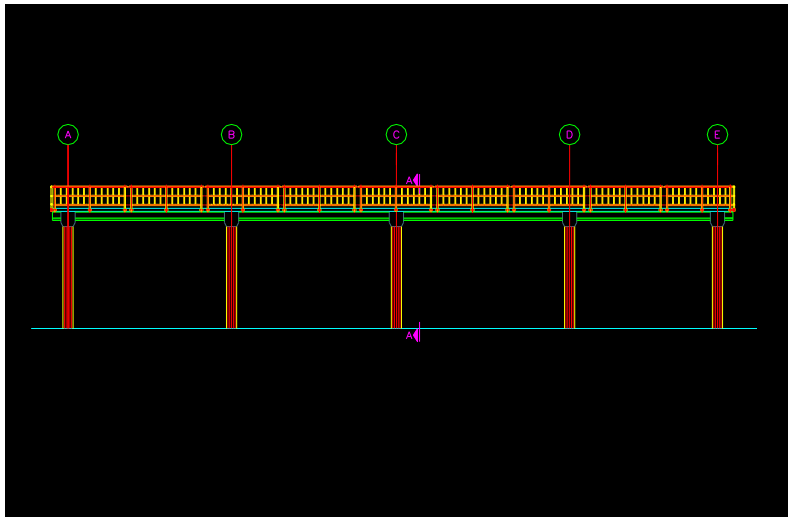
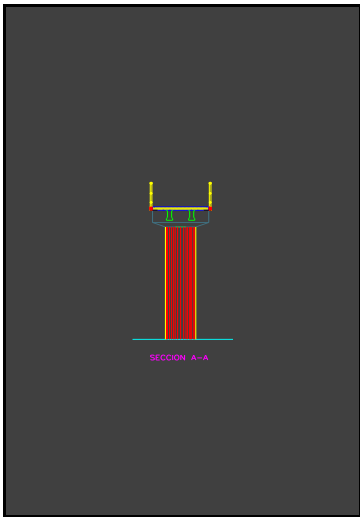


Figura 3.9. Vista fotográfica isométrica del puente peatonal San Martín



**e. Puente peatonal Entrada de Pro**

El puente peatonal Entrada de Pro es de estructura de concreto armado; con vigas tipo “H” como vigas principales, apoyada simplemente sobre cinco columnas de sección rectangulares iguales; tiene una losa de concreto armado con cuatro luces, además cuenta con barandas metálicas.

 <b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b>		
<b>FICHA TECNICA DE DESARROLLO DE PROYECTO DE INVESTIGACION</b>		
<b><u>elevación</u></b>		<b><u>corte A-A</u></b>
		
<b>I. IDENTIFICACION Y UBICACIÓN</b>		
Departamento :	Lima	
Provincia:	Lima	
Distrito:	Los olivos	
Kilometro:	km 21+525	
<b>II. DATOS GENERALES</b>		
Nombre:	puente peatonal Entrada de Pro	
Longitud total:	78.30 m	
Ancho total:	2.80 m	
Tipo de estructura:	concreto armado	
<b>III. TRAMOS</b>		
Número de tramos:	4	
Longitud 1° tramo:	14.40 m	
Longitud 2° tramo:	19.50 m	
Longitud 3° tramo:	19.50 m	
Longitud 4° tramo:	14.40 m	

Luz principal:	19.50 m
<b>IV. LOSA</b>	
Material:	concreto armado
Espesor:	0.15 m
<b>V. VIGA</b>	
Sección:	vigas pretensadas
N° de vigas:	2
Material:	concreto pretensado
Longitud:	78.30 m
Peralte:	0.75
<b>VI. PILARES</b>	
Sección:	rectangulares (1.60x0.60)
N° de pilares:	5
Material:	concreto armado
Elevación:	5.52
<b>VII. CIMIENTOS</b>	
Material:	concreto armado
<b>VIII. BARANDAS</b>	
Sección:	circular $\varnothing = 2''$
Material:	acero
Altura:	1.00 m




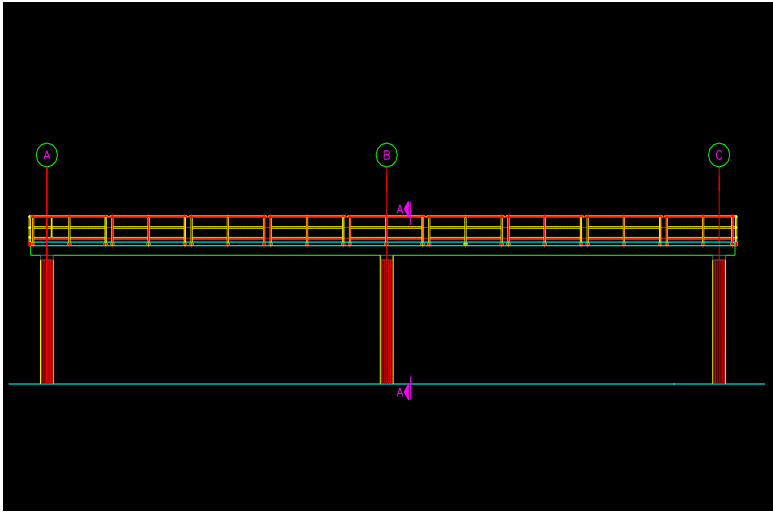

Figura 3.10. Vista fotográfica frontal del puente peatonal Entrada de Pro



Figura 3.11. Vista fotográfica isométrico del puente peatonal Entrada de Pro

**f. Puente peatonal Plaza Ve**

El puente peatonal Plaza Ve es de estructura de concreto armado; con viga pretensada como viga principal, apoyada sobre tres columnas circulares; tiene una losa de concreto armado, con dos luces además cuenta con barandas metálicas.

 <b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b>			
<b>FICHA TECNICA DE DESARROLLO DE PROYECTO DE INVESTIGACION</b>			
<u><b>elevación</b></u>		<u><b> corte A-A</b></u>	
			
<b>I. IDENTIFICACION Y UBICACIÓN</b>			
Departamento :		Lima	
Provincia:		Lima	
Distrito:		Los olivos	
Kilometro:		km 21+892	
<b>II. DATOS GENERALES</b>			
Nombre:		puente peatonal Plaza Ve	
Longitud total:		44.00 m	
Ancho total:		2.40 m	
Tipo de estructura:		concreto armado	
<b>III. TRAMOS</b>			
Número de tramos:		2	
Longitud 1° tramo:		16.18 m	
Longitud 2° tramo:		19.20 m	
Luz principal:		19.20 m	
<b>IV. LOSA</b>			

Material:	concreto armado
Espesor:	0.12 m
<b>V. VIGA</b>	
Sección:	rectangular
N° de vigas:	1
Material:	concreto pretensado
Longitud:	44.00 m
Peralte:	0.40 m
<b>VI. PILARES</b>	
Sección:	circular, perímetro = 2.26 m
N° de pilares:	3
Material:	concreto armado
Elevación:	5.70 m
<b>VII. CIMIENTOS</b>	
Material:	concreto armado
<b>VIII. BARANDAS</b>	
Sección:	circular $\varnothing = 2"$
Material:	acero
Altura:	0.92 m




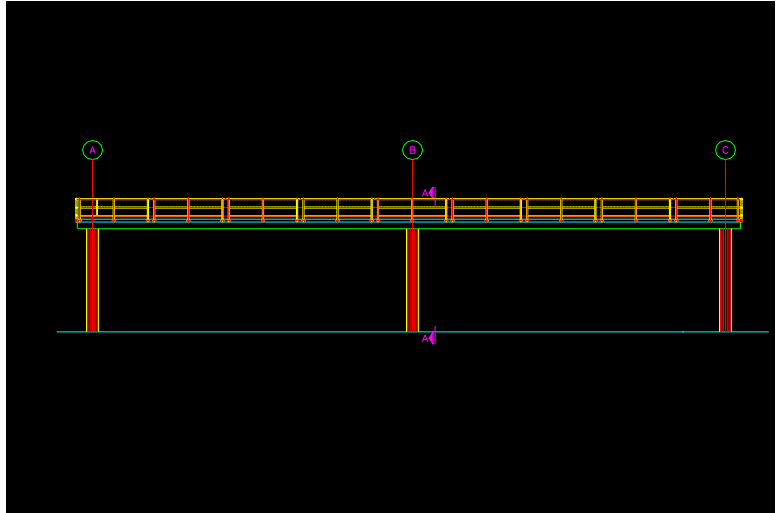
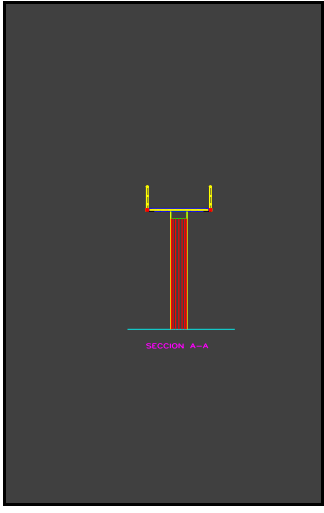
Figura 3.12. Vista fotográfica frontal del puente peatonal Plaza Ve



Figura 3.13. Vista fotográfica isométrico del puente peatonal Plaza Ve

### g. Puente peatonal La Amistad

El puente peatonal La Amistad es de estructura de concreto armado; con viga de sección trapezoidal como viga principal, apoyada simplemente sobre tres columnas de sección rectangulares; tiene una losa de concreto armado, con dos luces, además cuenta con barandas metálicas.

 <b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b>			
<b>FICHA TECNICA DE DESARROLLO DE PROYECTO DE INVESTIGACION</b>			
<b><u>elevación</u></b>		<b><u>corte A-A</u></b>	
			
<b>I. IDENTIFICACION Y UBICACIÓN</b>			
Departamento :		Lima	
Provincia:		Lima	
Distrito:		Los olivos	
Kilometro:		km 22+382	
<b>II. DATOS GENERALES</b>			
Nombre:		puente peatonal La Amistad	
Longitud total:		33.00 m	
Ancho total:		1.55 m	
Tipo de estructura:		concreto armado	
<b>III. TRAMOS</b>			
Número de tramos:		2	
Longitud 1° tramo:		14.40 m	
Longitud 2° tramo:		14.40 m	
Luz principal:		14.40 m	
<b>IV. LOSA</b>			
Material:		concreto armado	

Espesor:	0.12 m
<b>V. VIGA</b>	
Sección:	trapezoidal
N° de vigas:	1
Material:	concreto armado
Longitud:	33.00 m
Peralte:	0.45
<b>VI. PILARES</b>	
Sección:	rectangulares (0.60x0.50)
N° de pilares:	3
Material:	concreto armado
Elevación:	5.42
<b>VII. CIMIENTOS</b>	
Material:	concreto armado
<b>VIII. BARANDAS</b>	
Sección:	circular $\varnothing = 2"$
Material:	acero
Altura:	0.90 m




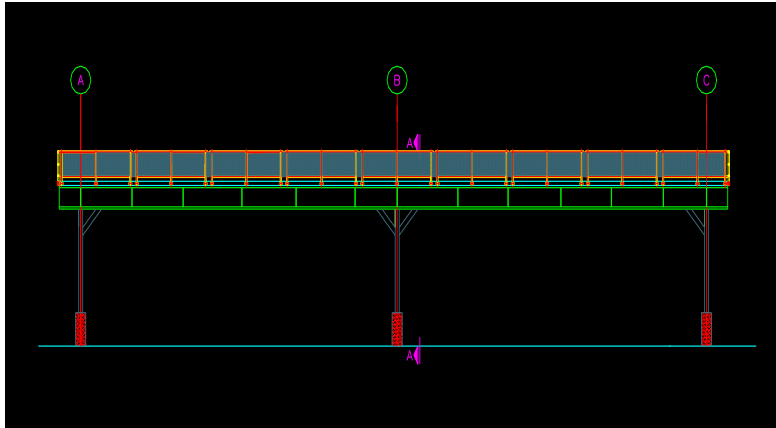
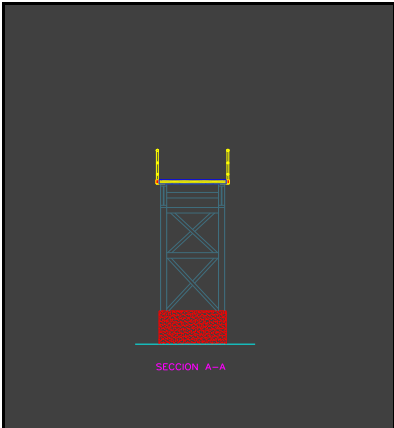
Figura 3.14. Vista fotográfica frontal del puente peatonal La Amistad



Figura 3.15. Vista fotográfica isométrico del puente peatonal La Amistad

#### h. Puente peatonal Pro Lima

El puente peatonal Pro Lima es de estructura de acero; con viga de acero de sección tipo "H" como viga principal, apoyada sobre tres estructuras de acero de sección "H"; con 13 diafragmas de acero, tiene una losa de concreto armado, con dos luces, además cuenta con barandas metálicas.

 <b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b>		<b>ROLLO DE PROYECTO DE INVESTIGACION</b>	
<b><u>elevación</u></b>		<b><u>corte A-A</u></b>	
			
<b>I. IDENTIFICACION Y UBICACIÓN</b>			
Departamento :	Lima		
Provincia:	Lima		
Distrito:	Los olivos		
Kilometro:	km 23+207		
<b>II. DATOS GENERALES</b>			
Nombre:	puente peatonal Pro Lima		
Longitud total:	36.00 m		
Ancho total:	1.35 m		
Tipo de estructura:	acero		
<b>III. TRAMOS</b>			
Número de tramos:	2		
Longitud 1° tramo:	13.35 m		
Longitud 2° tramo:	19.10 m		
Luz principal:	19.10 m		
<b>IV. LOSA</b>			
Material:	concreto + plancha de acero e = 1/2"		
Espesor:	0.12 m		

<b>V. VIGA</b>	
Sección:	tipo "H", e=1/2"
N° de vigas:	2
Material:	acero
Longitud:	36.00 m
Peralte:	0.85
<b>VI. DIAFRAGMA</b>	
Sección:	tipo "C", e=1/2"
N° de diafragmas:	13
Material:	acero
Longitud:	0.992 m
<b>VII. PILARES</b>	
Sección:	tipo "H", e=1/2"
N° de pilares:	3
Material:	acero
Elevación:	5.1
<b>VIII. CIMIENTOS</b>	
Material:	concreto armado
Medidas:	1.60x0.50xX
<b>IX. BARANDAS</b>	
Sección:	"H"
Material:	acero
Altura:	1.22 m

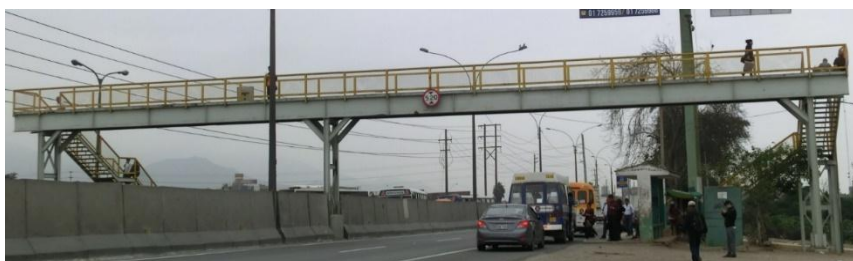


Figura 3.16. Vista fotográfica frontal del puente peatonal Pro Lima


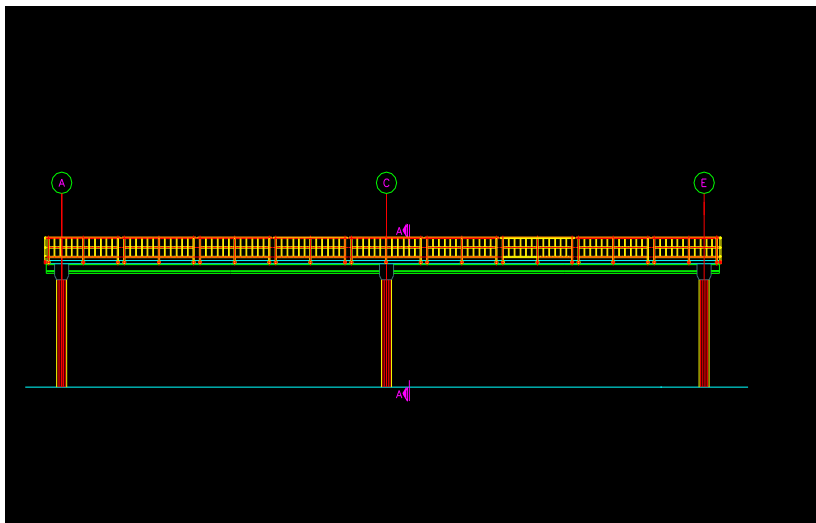



Figura 3.17. Vista fotográfica isométrico del puente peatonal Pro Lima

**i. Puente peatonal Acobamba**



El puente peatonal Acobamba es de estructura de concreto armado; con vigas de concreto pretensado tipo “H” como vigas principales, apoyada simplemente sobre tres columnas de sección rectangulares iguales; tiene una losa de concreto armado con 2 luces, además cuenta con barandas metálicas.

 <b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b>			
<b>FICHA TECNICA DE DESARROLLO DE PROYECTO DE INVESTIGACION</b>			
<b><u>elevación</u></b>		<b><u>corte A-A</u></b>	
			
<b>I. IDENTIFICACION Y UBICACIÓN</b>			
Departamento :		Lima	
Provincia:		Lima	
Distrito:		Los olivos	
Kilometro:		km 23+857	
<b>II. DATOS GENERALES</b>			
Nombre:		puente peatonal Acobamba	
Longitud total:		42	
Ancho total:		2.80 m	
Tipo de estructura:		concreto armado	
<b>III. TRAMOS</b>			
Número de tramos:		2	
Longitud 1° tramo:		17.00 m	
Longitud 2° tramo:		17.00 m	
Luz principal:		17.00 m	
<b>IV. LOSA</b>			
Material:		concreto armado	

Espesor:	0.15 m
<b>V. VIGA</b>	
Sección:	vigas pretensadas
N° de vigas:	2
Material:	concreto armado
Longitud:	42
Peralte:	0.80 m
<b>VI. PILARES</b>	
Sección:	rectangular (1.60x0.60)
N° de pilares:	3
Material:	concreto armado
Elevación:	6.00 m
<b>VII. CIMIENTOS</b>	
Material:	concreto armado
<b>VIII. BARANDAS</b>	
Sección:	circular $\varnothing = 2"$
Material:	acero
Altura:	1.20 m




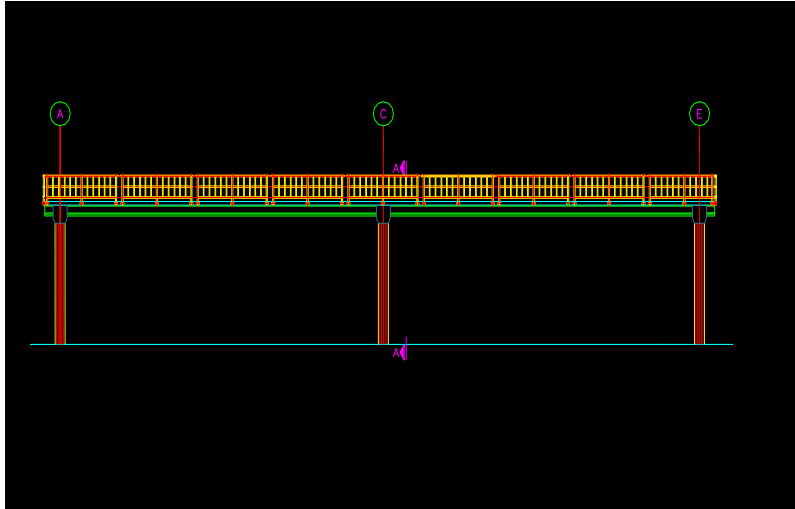
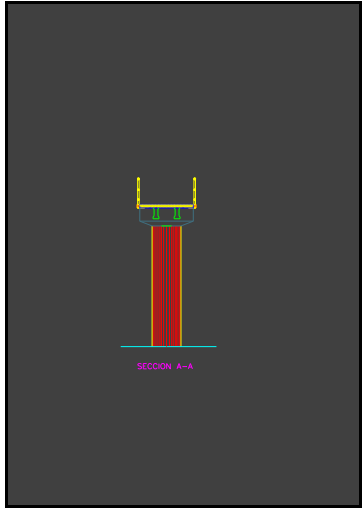
Figura 3.18. Vista fotográfica frontal del puente peatonal Acobamba



Figura 3.19. Vista fotográfica isométrico del puente peatonal Acobamba

#### j. Puente peatonal Shangrilla

El puente peatonal Shangrilla es de estructura de concreto armado; con vigas de concreto pretensado tipo “H” como vigas principales, apoyada simplemente sobre tres columnas de sección rectangulares iguales; tiene una losa de concreto armado con dos luces, además cuenta con barandas metálicas.

 <b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b>		
<b>FICHA TECNICA DE DESARROLLO DE PROYECTO DE INVESTIGACION</b>		
<b><u>elevación</u></b>		<b><u>corte A-A</u></b>
		
<b>I. IDENTIFICACION Y UBICACIÓN</b>		
Departamento :	Lima	
Provincia:	Lima	
Distrito:	Puente piedra	
Kilometro:	km 24+809	
<b>II. DATOS GENERALES</b>		
Nombre:	puente peatonal Shangrilla	
Longitud total:	36	
Ancho total:	1.50 m	
Tipo de estructura:	concreto armado	
<b>III. TRAMOS</b>		
Número de tramos:	2	
Longitud 1° tramo:	13.27 m	
Longitud 2° tramo:	15.00 m	
Luz principal:	15.00 m	
<b>IV. LOSA</b>		
Material:	concreto armado	

Espesor:	0.15 m
<b>V. VIGA</b>	
Sección:	vigas pretensadas
N° de vigas:	2
Material:	concreto armado
Longitud:	36 m
Peralte:	0.70 m
<b>VI. PILARES</b>	
Sección:	rectangulares (1.60x0.60)
N° de pilares:	3
Material:	concreto armado
Elevación:	7.00 m
<b>VII. CIMIENTOS</b>	
Material:	concreto armado
<b>VIII. BARANDAS</b>	
Sección:	circular $\varnothing = 2''$
Material:	acero
Altura:	1.20 m




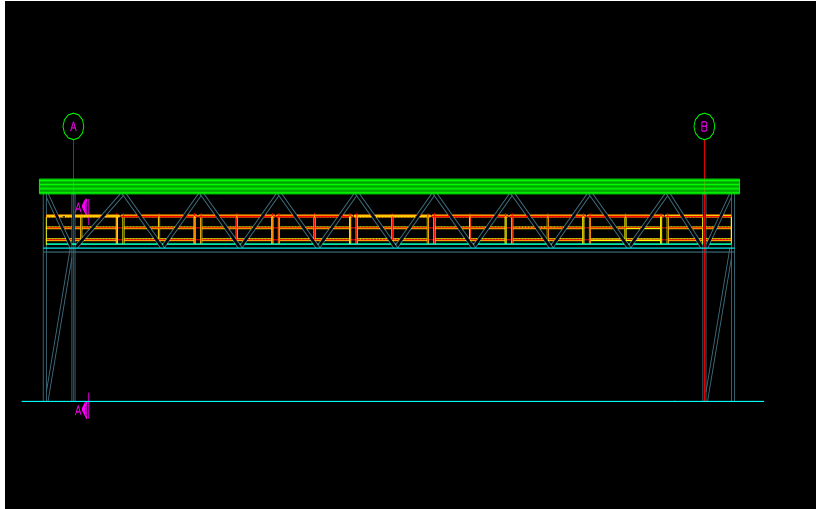
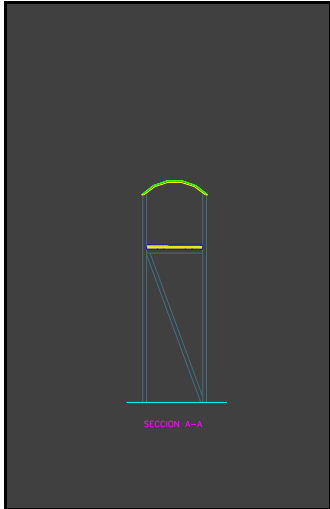
Figura 3.20. Vista fotográfica frontal del puente peatonal Shangrilla



Figura 3.21. Vista fotográfica isométrico del puente peatonal Shangrilla

**k. Puente peatonal Mariátegui**

El puente peatonal Mariátegui es de estructura de acero; con viga de acero de sección circular como vigas principales, apoyada sobre dos estructuras de acero de sección circular; tiene una losa de concreto armado, con una luz, además cuenta con barandas metálicas y coberturas con estructura en acero.

 <b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b>			
<b>FICHA TECNICA DE DESARROLLO DE PROYECTO DE INVESTIGACION</b>			
<b><u>elevación</u></b>		<b><u>corte A-A</u></b>	
			
<b>I. IDENTIFICACION Y UBICACIÓN</b>			
Departamento :		Lima	
Provincia:		Lima	
Distrito:		Puente piedra	
Kilometro:		km 25+500	
<b>II. DATOS GENERALES</b>			
Nombre:		puente peatonal Mariátegui	
Longitud total:		36.00 m	
Ancho total:		1.50 m	
Tipo de estructura:		acero	
<b>III. TRAMOS</b>			
Número de tramos:		1	
Longitud 1° tramo:		26.00 m	
Luz principal:		26.00 m	
<b>IV. LOSA</b>			
Material:		concreto armado	
Espesor:		0.12 m	

<b>V. VIGA</b>	
Sección:	circular
N° de vigas:	1
Material:	acero
Longitud:	36.00 m
Peralte:	perímetro = 0.55 m
<b>VI. PILARES</b>	
Sección:	circular , perímetro = 0.55 m
N° de pilares:	2
Material:	estructura de acero
Elevación:	5.42 m
<b>VII. CIMIENTOS</b>	
Material:	concreto armado
<b>VIII. BARANDAS</b>	
Sección:	circular $\varnothing = 2"$
Material:	acero
Altura:	0.92 m
<b>IX. OTROS</b>	
Otros	consta de cobertura con estructura de acero h = 2.47 m



Figura 3.22. Vista fotográfica frontal del puente peatonal Mariátegui



Figura 3.23. Vista fotográfica isométrico del puente peatonal Mariátegui

### 3.1.2. Clasificación por tipo de estructura

Tabla 3. 2. Clasificación de puentes peatonales por tipo de estructura

<b>PUNTES PEATONALES ENTRE EL KM19 HASTA EL KM25.5</b>	
<b><u>nombre de puente peatonal</u></b>	<b><u>tipo de estructura</u></b>
a. puente peatonal Villa Sol	concreto armado
b. puente peatonal Independencia	concreto armado
c. puente peatonal Santa Luisa	concreto armado
d. puente peatonal San Martin	concreto armado
e. puente peatonal Puerta de Pro	concreto armado
f. puente peatonal Plaza Veá	concreto armado
g. puente peatonal La Amistad	concreto armado
h. puente peatonal Pro Lima	metálico
i. puente peatonal Acobamba	concreto armado
j. puente peatonal Shangrilla	concreto armado
k. puente peatonal Mariátegui	metálico

### 3.1.3. Selección de puentes peatonales para la evaluación analítica

Los puentes peatonales para la evaluación y análisis son dos: el puente peatonal independencia de concreto armado (existen 3 puentes peatonales de este tipo) y el puente peatonal prolima de acero.

## 3.2. Ensayos de campo y procesamiento de datos

### 3.2.1. Ensayos de campo

La finalidad del análisis de los puentes peatonales mencionados es determinar sus características dinámicas, aceleraciones y frecuencias a los modos naturales y sus respuestas ante cargas producidos por peatones.

Se iniciará con la toma de registros de vibraciones en el centro de las luces de los puentes peatonales; En los tramos de mayor longitud de cada puente peatonal se tomarán registros de vibraciones ambiental y forzada. La vibración

ambiental y forzada también es conocida con el nombre de “microtremors” en la lengua inglesa.

#### **3.2.1.1. Vibración ambiental**

El análisis de vibración ambiental se caracteriza principalmente por su inestabilidad debido al tipo de fuente que los genera, consiste en medir las vibraciones generadas por: viento, tráfico, presión atmosférica, oleaje y mareas, explosiones, lanzamiento de cohetes, aterrizaje de aviones.

#### **3.2.1.2. Vibración libre**

El análisis de vibración libre consiste en que una o varias personas generen saltando en el centro de la luz del puente peatonal en reposo un movimiento oscilatorio, permitiendo que este oscile libremente; el equipo de monitor de vibraciones será instalado por un técnico en el centro de la luz de mayor longitud del puente peatonal durante 08 minutos. (Este ensayo se puso para mayor entendimiento del tema, pero no se realizará por criterio del autor por participación de la carga dinámica).

#### **3.2.1.3. Vibración forzada**

El estudio de vibración forzada consiste en medir vibraciones en distintos periodos y una variable cantidad de personas transitando; en la primera fase con el equipo monitor de vibraciones se hará el registro vibracional cuando transite solamente una persona, en la segunda fase se hará el registro vibracional cuando transiten entre 10 personas y en la tercera fase se hará en registro vibracional en hora punta es decir a las 7:00 AM o 6:00 PM o cuando los estudiantes llegan y salen de clases respectivamente. El equipo monitor de vibraciones será instalado por un técnico en el centro de la luz de mayor longitud del puente peatonal durante 08 minutos.

#### **3.2.2. Métodos de análisis de vibraciones**

En la actualidad existen muchos métodos de análisis de vibraciones, pero estos equipos se clasifican de acuerdo del tipo de resultado que se desea obtener, los métodos más utilizados son:



- El método espectral, que es utilizado para el análisis de registros de microtremors y de eventos sísmicos.
- El método de Nakamura (1989), o conocido también como H/C (cociente espectral).
- El método de auto-correlación espacial, propuesto por Aki (1957).
- El método espectral F-K propuesto por Capon (1969).

### **3.2.3. Uso del equipo para medir vibraciones**

El equipo monitor de vibraciones sirve para poder medir las propiedades dinámicas del suelo y la respuesta ante ocurrencias de vibraciones ambiental, libre y forzada como:

- Calcular el periodo de vibración y el factor de amplificación.
- Determinación de los periodos de vibración de edificios.
- Determinación de la profundidad del basamento rocoso.
- Elaboración de mapas de microzonificación.

### **3.2.4. Análisis de microtremors**

La finalidad del análisis es determinar las frecuencias, aceleraciones y desplazamientos en los tramos escogidos del puente peatonal, efectuando los ensayos de vibraciones o microtremors.

### **3.2.5. equipo a utilizar**

La elección del equipo a ser utilizado en los trabajos de ingeniería sísmica requiere de un conocimiento del espectro de frecuencias de las vibraciones, para el presente se ha utilizado el equipo, sismógrafo de marca White americano MINI SEIS III de monitorización, este equipo es ideal para monitoreo de tronaduras (voladuras en la actividad minera, actividades de construcción, demolición, monitoreo de puentes).



Figura 3.24. Equipo medidor de vibraciones

Fuente: página web de Blast Engineering

Respecto a los geófonos triaxial podemos decir que entregan una medición directa de la velocidad y consisten por lo general en un sistema de bobina móvil soportada por resorte. Al contrario del acelerómetro, el geófono opera sobre su frecuencia natural.

### 3.2.6. Trabajos de campo

Los puentes peatonales a la fecha se encuentran construidos y en funcionamiento, como es bastante transcurrido por los peatones dichos puentes entonces es conveniente efectuar los ensayos de vibración y se procedieron de la siguiente manera:

En primer lugar, los que participamos en este ensayo somos 3 profesionales: un ingeniero, una ingeniera y mi persona (bachiller); nuestro objetivo es hacer el ensayo de vibración ambiental (figura 3.24.) y vibración forzada (figura 3.25, figura 3.26 y figura 3.27) también coordinamos como distribuir a los peatones de los dos lados del puente para que no haya problemas con ellos, empezamos instalando el equipo medidor de vibraciones en el centro de las luces de mayor longitud de los puentes, después de instalar el equipo

medidor de vibraciones iniciamos con las mediciones, instalado el equipo iniciamos el ensayo de vibración ambiental (figura 3.25.), para una buena medición nos bajamos del puente los tres durante 8 minutos, luego sube la ingeniera al último escalón para poder cuidar del equipo instalado, el ingeniero y yo controlamos el pase de personas a cada lado del puente para distribuir a los peatones, primero pasó un peatón (figura 3.26.) de mi lado luego pasó otro peatón del otro lado así sucesivamente se hizo 4 veces para el ensayo de un peatón, luego pasaron un grupo de 10 personas (figura 3.27.) tanto de mi lado y del otro lado del puente también 4 veces y al final durante 8 minutos soltamos a los peatones (figura 3.28.) de los dos lados del puente y así concluimos con el ensayo de vibraciones en los dos puentes elegidos. Ha continuación, se explica detalladamente los tipos de ensayo o pruebas de vibración realizados.

**Fase 1:** prueba de vibración ambiental, en esta etapa no existe la carga dinámica es decir no hay carga de peatones transitando, más que el peso de la estructura misma; consta de instalar el equipo de medidor de vibraciones como se muestra en la (figura 3.25.) en el punto medio de la luz más grande.

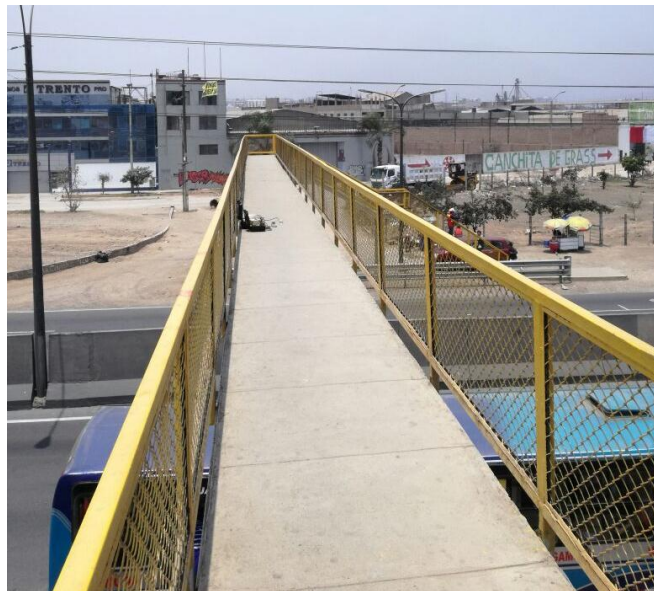


Figura 3.25. Prueba de vibración ambiental

**Fase 2:** prueba de vibración forzada, esta etapa consta de medir vibraciones de forma programada cuando pasan: 1 persona, 10 personas como se muestran en la (figura 3.26.) y (figura 3.27.) respectivamente, y cuando este repleto de personas el puente peatonal (figura 3.28), es decir en hora punta.



Figura 3. 26. Prueba de vibración forzada - 1 peatón.



Figura 3. 27. Prueba de vibración forzada - 10 peatones



Figura 3. 28. Prueba de vibración forzada – flujo continuo de peatones

### 3.2.7. Ubicación del equipo monitor de vibraciones para el ensayo

#### 3.2.7.1. puente peatonal independencia

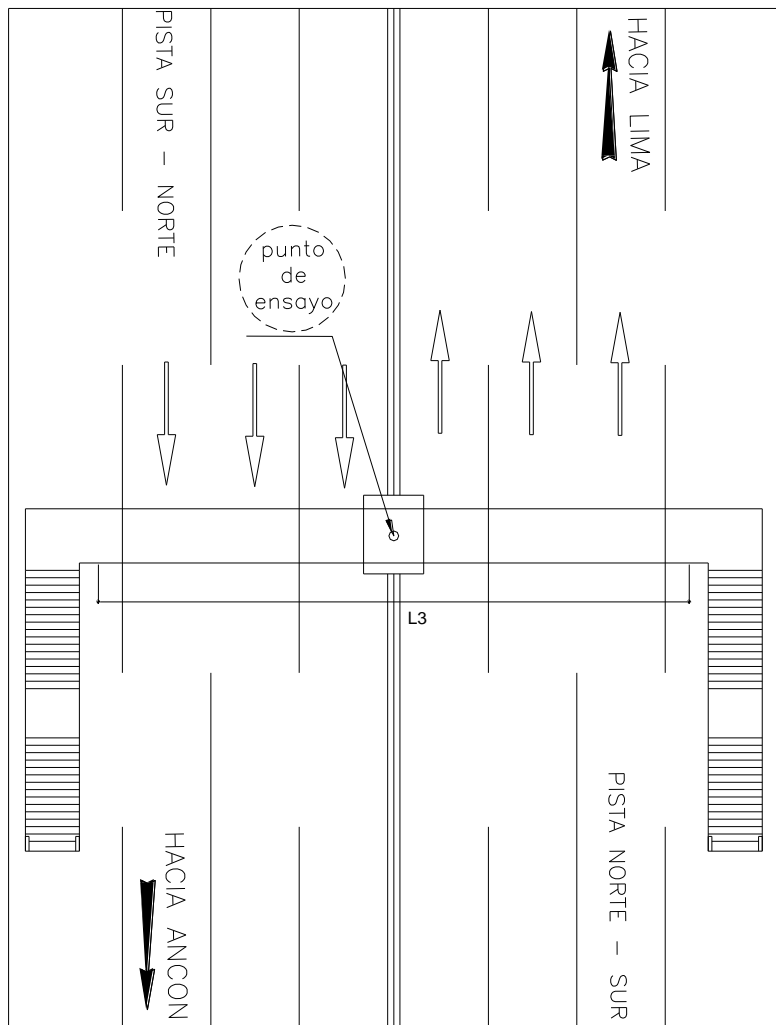


Figura 3.29. Ubicación del equipo en el puente peatonal independencia

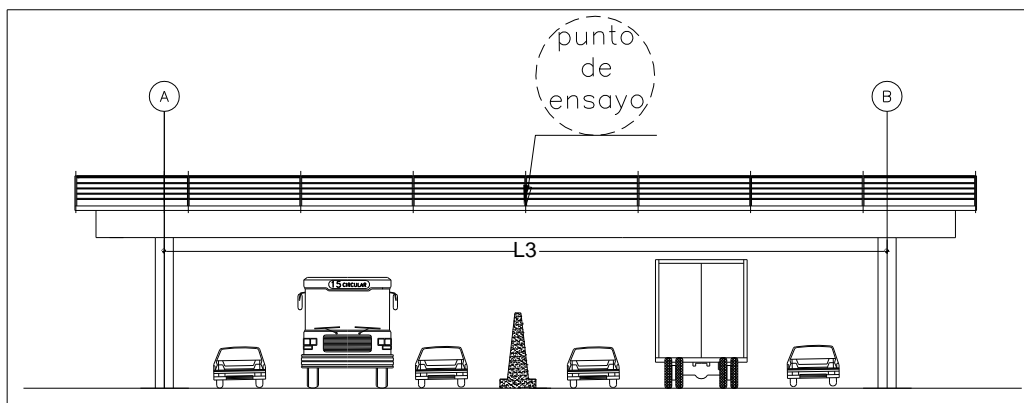


Figura 3.30. Elevación (puente peatonal Independencia)

### 3.2.7.2. puente peatonal pro lima

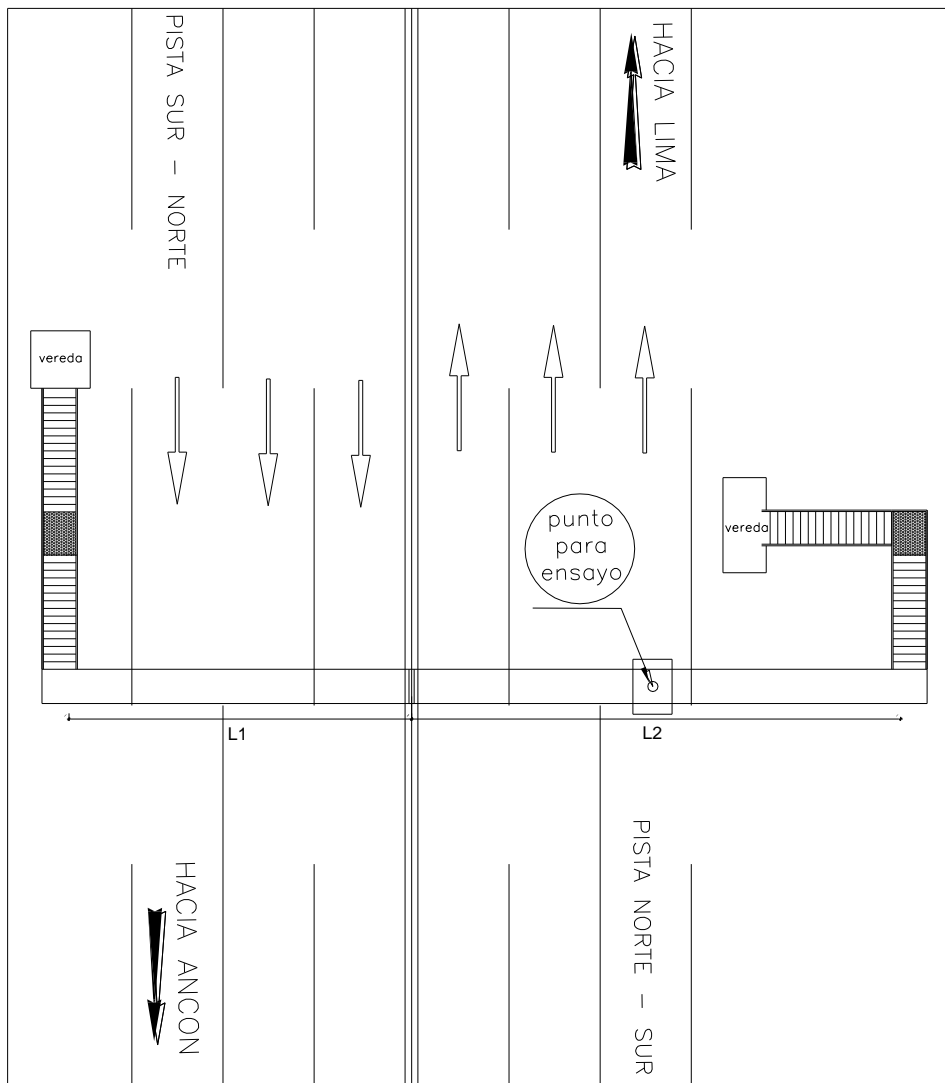


Figura 3.31. Ubicación del equipo en el puente peatonal Pro Lima

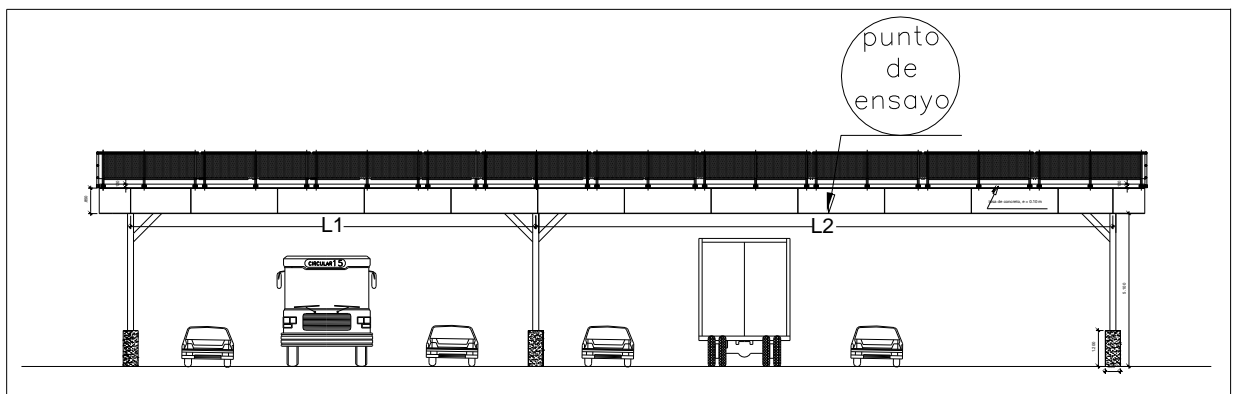


Figura 3.32. Elevación (puente peatonal Pro Lima)

### 3.2.8. Procesamiento de datos

Después de recoger los registros de las vibraciones en cada uno de los puentes peatonales para su análisis utilizamos el programa de computo SISMOGRAPH DATA ANALISYSV11. El cual ofrece características inigualables y son fáciles de usar para administrar eventos de este tipo, este programa puede ser utilizado para:

- ✓ Análisis de espectros de frecuencia, transformada rápida de Fourier (FFT, siglas en ingles de Fast Fourier Transform)
- ✓ Para estimar la aceleración radial de la partícula en (mm/s<sup>2</sup>)
- ✓ permite estimar los PPV (velocidad pico de las partículas mm/s)
- ✓ conversión de eventos a formato ASCII.

Llegando a gabinete, primero descargamos los datos registrados en campo del equipo monitor de vibraciones a una laptop, para procesarlo y analizarlo con el software SISMOGRAPH DATA ANALISYSV11 (figura 3.32.). Las mediciones hechas durante 8 minutos lo fraccionamos o cortamos cada 2 minutos para transponer las gráficas y obtener un promedio de resultados buscados.

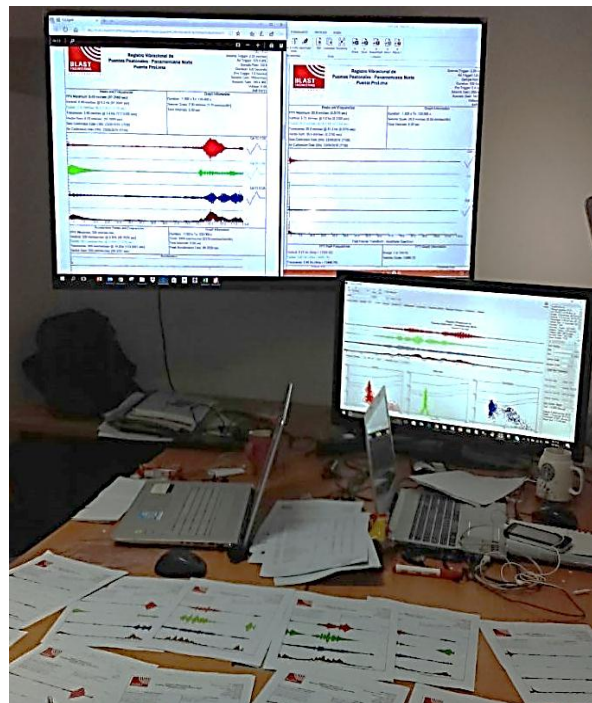


Figura 3.33. Procesamiento de datos con el software sismograph data analysis

### 3.2.9. Resultados del ensayo de vibración experimental

Tabla 3. 3. Resultados de vibración ambiental

vibración ambiental								
puente	ubicación	luz (m)	cant. De puntos de ensayo	periodo vertical (s)	frecuencia vertical (Hz)	A <sub>max</sub> vertical (m/s <sup>2</sup> )	periodo lateral (s)	frecuencia lateral (Hz)
puente independencia	km 19+869	L3 = 24	punto 01	0.373	2.68	0.819	0.290	3.45
			punto 02	0.379	2.64	0.812	0.270	3.7
			punto 03	0.439	2.28	0.755	0.279	3.58
			punto 04	0.366	2.73	0.826	0.271	3.69
puente prolima	km 23+207	L2 = 19.1	punto 17	0.257	3.89	0.986	0.535	1.87
			punto 18	0.276	3.62	0.951	0.524	1.91
			punto 19	0.256	3.91	0.989	0.575	1.74
			punto 20	0.252	3.97	0.996	0.498	2.01

Tabla 3. 4. Resultados de vibración forzada – 1 persona

vibración forzada - 1 peatones									
puente	ubicación	luz (m)	cant. puntos de ensayo	De de	periodo vertical (s)	frecuencia vertical (Hz)	A <sub>max</sub> vertical (m/s <sup>2</sup> )	periodo lateral (s)	frecuencia lateral (Hz)
puente independencia	km 19+869	L3 = 24	punto 05		0.237	4.22	1.027	0.237	4.22
			punto 06		0.236	4.24	1.030	0.203	4.92
			punto 07		0.234	4.28	1.034	0.202	4.95
			punto 08		0.231	4.32	1.039	0.203	4.92
puente prolima	km 23+207	L2 = 19.1	punto 21		0.182	5.48	1.170	0.296	3.38
			punto 22		0.183	5.47	1.169	0.293	3.41
			punto 23		0.156	6.4	1.265	0.297	3.37
			punto 24		0.156	6.43	1.268	0.294	3.4



Tabla 3. 5. Resultados de vibración forzada – 10 personas

vibración forzada - 10 peatones									
puente	ubicación	luz (m)	cant. puntos ensayo	De de	periodo vertical (s)	frecuencia vertical (Hz)	A <sub>max</sub> vertical (m/s <sup>2</sup> )	periodo lateral (s)	frecuencia lateral (Hz)
puente independencia	km 19+869	L3 = 24	punto 09		0.235	4.26	1.032	0.202	4.95
			punto 10		0.236	4.23	1.028	0.202	4.95
			punto 11		0.240	4.16	1.020	0.201	4.98
			punto 12		0.240	4.16	1.020	0.204	4.91
puente prolima	km 23+207	L2 = 19.1	punto 25		0.155	6.45	1.270	0.292	3.42
			punto 26		0.156	6.40	1.265	0.297	3.37
			punto 27		0.154	6.48	1.273	0.295	3.39
			punto 28		0.154	6.48	1.273	0.296	3.38

Tabla 3. 6. Resultados de vibración forzada – vandálica

vibración forzada - vandálica									
puente	ubicación	luz (m)	cant. puntos ensayo	De de	periodo vertical (s)	frecuencia vertical (Hz)	A <sub>max</sub> vertical (m/s <sup>2</sup> )	periodo lateral (s)	frecuencia lateral (Hz)
puente independencia	km 19+869	L3 = 24	punto 13		0.235	4.25	1.0308	0.204	4.90
			punto 14		0.236	4.24	1.0296	0.202	4.94
			punto 15		0.236	4.24	1.0296	0.204	4.91
			punto 16		0.235	4.26	1.0320	0.204	4.89
puente prolima	km 23+207	L2 = 19.1	punto 29		0.155	6.45	1.2698	0.292	3.42
			punto 30		0.156	6.41	1.2659	0.296	3.38
			punto 31		0.155	6.46	1.2708	0.292	3.42
			punto 32		0.235	4.25	1.0308	0.204	4.90

### 3.3. Evaluación del comportamiento vibracional de los puentes peatonales

Se hace una comparación del ensayo realizado de los puentes peatonales Independencia y Pro Lima con las normas ya establecidas.

Tabla 3.7. Valores límites de normas internacionales.

Límites de Normas	Frecuencia (Hz)	Aceleración (m/s <sup>2</sup> )
BS 5400 (British Standard)	$F_v > 5$	$a_{v,max} = 0.5(fn)^{0.5}$
	$F_l > 1.5$	
EUROCODE (Europa)	$F_v > 5$	$a_{vertical} > 0.7$
	$F_l > 2.5$	$a_{lateral} > 0.2$
BRO 2004 (Suecia)	$F_v > 3.5$	$a_{vertical} > 0.71$
AASHTO	$F_f > 3.0$	-

De la (tabla 3.3) se observa que el puente peatonal independencia no satisface los requisitos establecidos según normas. Porque la frecuencia natural es menor a 3.0 Hz. Que según (AASHTO, 1994, p. 9), indica que la vibración vertical sin carga peatonal debe ser mayor a 3.0 Hz. También indica que no puede ser los valores cercanos a 3.0 Hz. Porque si no la estructura entraría en resonancia.

El puente pro lima satisface con los valores obtenidos según (AASHTO, 1994, p. 9), porque la frecuencia vertical es mayor a 3.0 Hz. Por lo tanto el dicho puente no tiene problemas de vibración.

Por lo tanto para mejorar el comportamiento vibracional del puente peatonal independencia ya que no cumple con los requisitos límites establecidos según normas internacionales, se tendrá que solucionar rigidizando la estructura para que cumpla con los con valores establecidos según normas, es decir que la frecuencia ambiental sea mayor a los 3.0 Hz.

También comparamos las aceleraciones verticales según la norma (EUROCODE) de Europa, las aceleraciones con carga dinámica deben ser mayores a 0.7 m/s<sup>2</sup> que cumple los datos ensayados.

### 3.4. Modelamiento del puente independencia usando programación de cómputo.

#### 3.4.1. Modelamiento estructural de puente independencia

A continuación se muestra el modelo del puente peatonal independencia, modelado mediante el programa de simulación SAP 2000, por ser una estructura de tipo irregular en planta y en elevación se tiene que realizar un análisis dinámico que nos pueda mostrar de una manera más precisa, la participación de masa que colaborará para el movimiento lateral en vibración libre.

También se ha modelado la escalera como elemento estructural ya que va anclado directamente al puente, colaborando de esta manera con la rigidez del mismo.

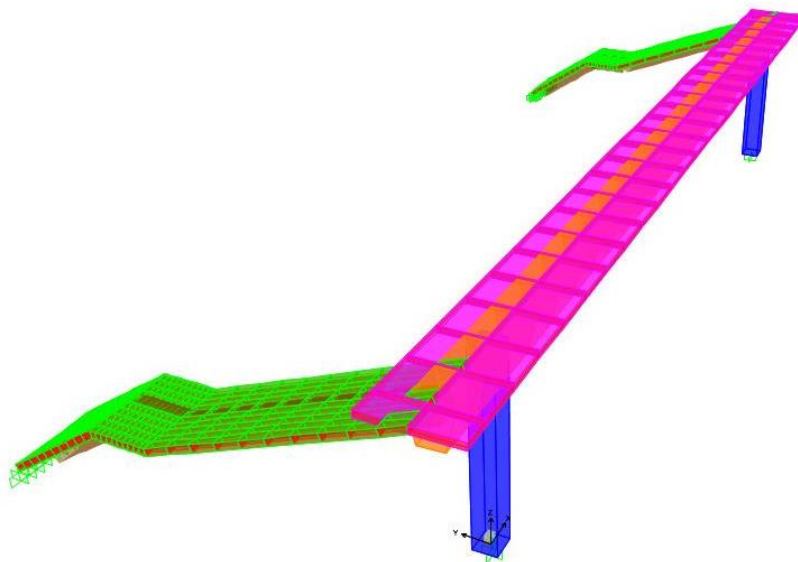


Figura 3.34. Vista isométrica 1 del modelo numérico (puente peatonal independencia)

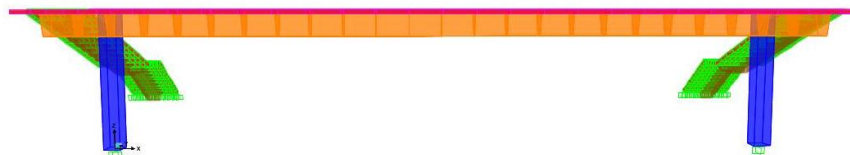


Figura 3.35. Vista frontal 1 (puente peatonal independencia)

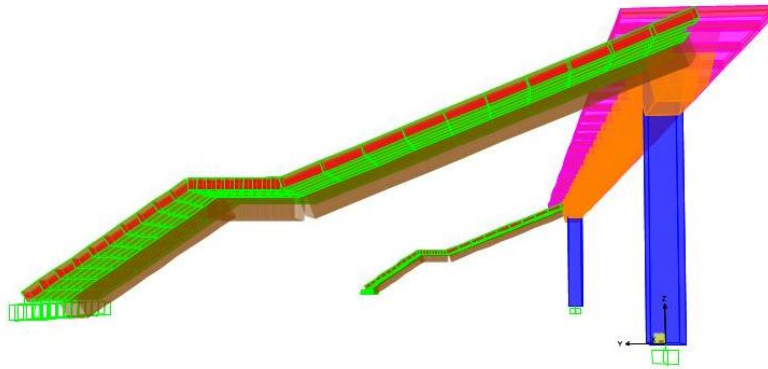


Figura 3.36. Vista lateral 1 (puente peatonal independencia)

#### 3.4.1.1.1. simulación modal - vibración libre

Se presenta 3 modos de vibración libre ya que los demás modos no son muy importantes para este tipo de estudio, lo que se evalúa son para la vibración longitudinal, vibración vertical y vibración transversal; se muestra en las figuras la dirección de la vibración, el periodo de vibración y la frecuencia.

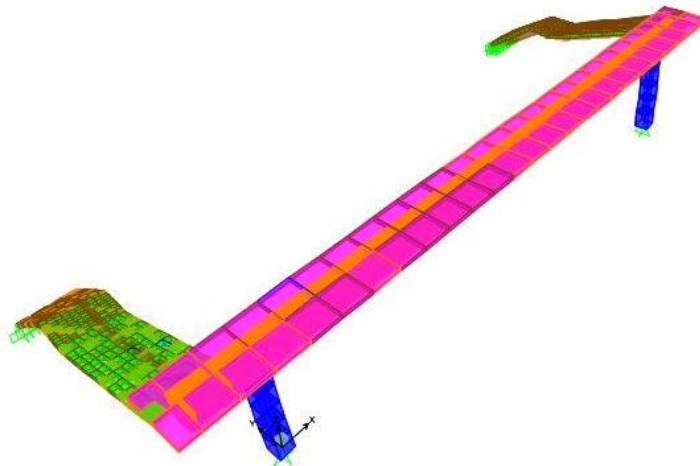


Figura 3.37. Modo 1 - Vibración longitudinal (puente peatonal independencia);  $T=0.363$  s,  
 $f=2.756$  Hz.

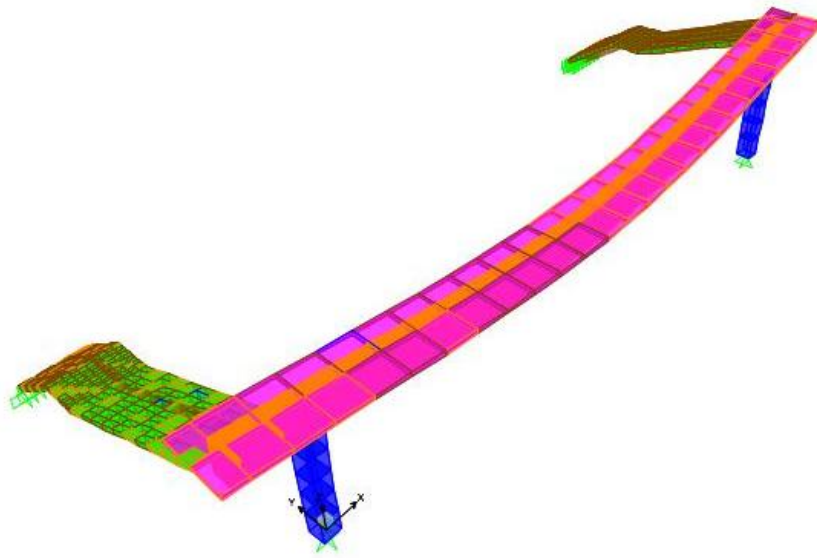


Figura 3.38. Modo 2 – Vibración vertical (puente peatonal independencia);  $T=0.341$  s,  
 $f=2.935$  Hz.

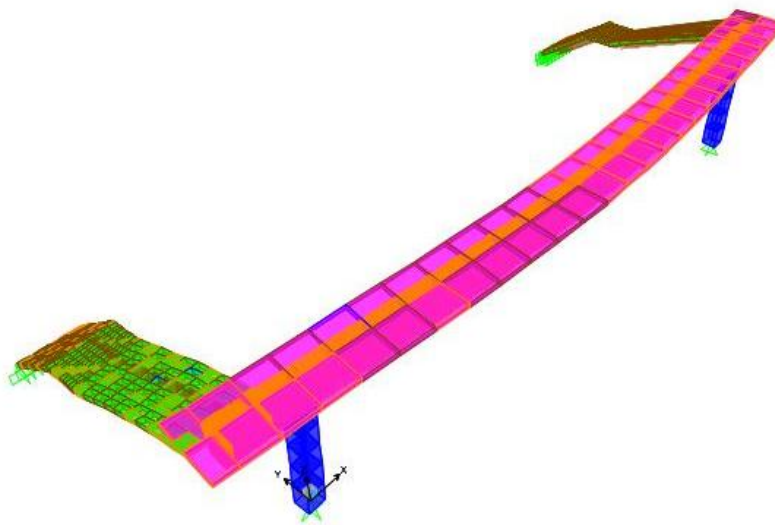


Figura 3.39. Modo 3 – Vibración transversal/lateral (puente peatonal independencia),  
 $T=0.259$  s,  $f=3.865$  Hz.

### 3.4.2. Resultados de vibración teórica del puente peatonal Independencia

Tabla 3. 8. Tabla de porcentaje de participación de masa puente peatonal independencia

TABLA: porcentaje de participación de masa							
Modo	Periodo (s)	%MX	%MY	%MZ	Suma%MX	Suma%MY	Suma%MZ
1	0.363	83.6	00.0	00.0	83.6	00.0	00.0
2	0.341	00.0	01.3	29.8	83.6	01.3	29.8
3	0.259	00.0	48.3	02.2	83.6	49.6	32.0
4	0.114	01.0	00.0	00.0	84.6	49.6	32.0
5	0.107	00.0	05.2	25.9	84.6	54.8	57.9
6	0.097	01.0	00.0	00.0	85.6	54.8	57.9
7	0.092	01.5	00.0	00.0	87.0	54.8	57.9
8	0.061	00.0	10.4	00.4	87.0	65.3	58.3
9	0.054	00.0	01.6	00.6	87.0	66.9	58.9
10	0.050	00.0	09.7	00.0	87.0	76.6	58.9
11	0.047	00.5	00.0	00.0	87.6	76.6	58.9
12	0.043	00.1	00.0	00.0	87.7	76.6	58.9

De la (tabla 3.8) se observa que en el modo 1 que es vibración longitudinal el periodo es  $T=0.363$  segundos con una frecuencia de vibración de  $f=2.0$  Hz. También se observa que el modo 2 que es la vibración que nos interesa vibración vertical el periodo es de  $T=0.341$  segundos con una frecuencia de vibración  $f=3.935$  Hz. Que es riesgo de resonancia porque es cercano a 3.0 Hz. Según las normas mencionadas en la (tabla 3.7) (AASHTO, 1994, p. 9), la frecuencias deben ser mayores a 3.0 Hz para ser un riesgo insignificante de resonancia. Además en el modo 3 que es la vibración lateral el periodo de vibración es de  $T=0.259$  segundos con una frecuencia de  $f=3.865$  Hz. Según la (BS 5400, British Standard) la frecuencia lateral debe ser mayor a  $f_l > 1.5$  Hz. Que cumple porque el valor que tenemos es mucho mayor a lo establecido de las normas.

Tabla 3. 9. Tabla de periodos y frecuencias modales del puente peatonal independencia

<b>TABLA: periodos y frecuencias modales</b>			
<b>Modo</b>	<b>Periodo (s)</b>	<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>Frecuencia circular (rad/s)</b>
sin unidad	(s)	(Hz)	(rad/s)
1	0.363	2.756	17.319
2	0.341	2.935	18.410
3	0.259	3.865	24.284
4	0.114	8.747	54.957
5	0.107	9.310	58.497
6	0.097	10.318	64.829
7	0.092	10.843	68.126
8	0.061	16.480	103.549
9	0.054	18.583	116.758
10	0.050	19.849	124.713
11	0.047	21.194	133.163
12	0.044	22.836	143.483

### 3.5. Comparación de las frecuencias de vibración experimental y teórica del puente peatonal independencia

Tabla 3. 10. Tabla de comparación de frecuencias modales del puente peatonal independencia

<b>puente</b>	<b>ubicación</b>	<b>luz (m)</b>	<b>frecuencia vertical (Hz)</b>			<b>frecuencia lateral (Hz)</b>		
			Prueba de vibración ambiental (PVA)	SAP2000	Error relativo	Prueba de vibración ambiental (PVA)	SAP2000	Error relativo
pte. Independencia	km 19+869	24	2.58	2.935	0.12	3.61	3.865	0.07

Según la tabla (3.10) se hace una comparación de vibraciones verticales y lateral del ensayo experimental prueba de vibración ambiental (PVA) Y método numérico (SAP2000) y vemos también el error relativo en porcentaje de la diferencia del ensayo numérico y el experimental sobre el ensayo numérico, estos valores son mínimos entonces podemos decir que los ensayos están correctos porque el valor obtenido es casi parecido. Según (Huerta López, y otros, 1998, p.13), en una comparación de vibraciones numéricas y experimentales, el margen de error siempre será mayor en la vibraciones verticales que en las vibraciones laterales.

### 3.6. Propuesta de mejoramiento al problema identificado

Las ecuaciones empíricas para el cálculo de la primera frecuencia vertical de vibrar solo sirven para darse una idea del intervalo de frecuencias estructurales a esperar, debido a que éstas sólo dependen del claro del puente. Por lo tanto, una manera precisa de obtener las propiedades dinámicas de puentes peatonales es mediante modelos analíticos en softwares comerciales de elemento finito. Existen varios métodos para rigidizar estructuras, en el caso del puente peatonal independencia que tiene solamente una luz se podría: implementar disipadores de energía, aumentar una columna en la parte central de la luz, aumentar la sección de las dos columnas existentes, anclar dos tubos de acero paralelo a la viga principal, aumentar el peralte de la losa o pasarela. Bien ahora para que cumpla los parámetros de diseño según AASHTO (Guía de Especificaciones para Puentes Peatonales, 1997, p.9), el puente peatonal independencia ya modelado anteriormente, se colocó una columna intermedia de 60x60 cm. Con una altura de  $h=5.10$  m. para rigidizar la losa o pasarela (figura 3.41); y lo que se buscó es que la frecuencia sea mayor a 3.0 Hz en la vibración vertical sin carga peatonal según (AASHTO, 1994, p. 9), a continuación se muestra la tabla de frecuencias y periodos así también el modelado para mayor entendimiento de los lectores.

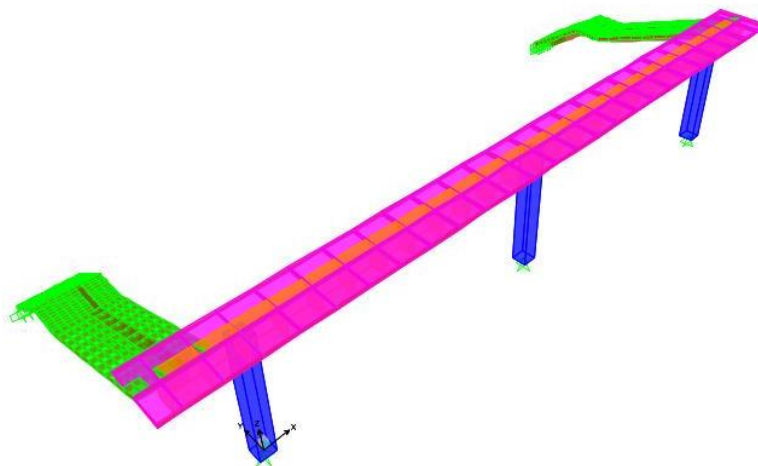


Figura 3.40. Vista isométrica 2 (puente peatonal independencia)



### 3.6.1. Simulación modal

Se presenta 3 primeros modos de vibración libre ya que los demás modos no son de mucha importancia para este tipo de estudio, lo que interesa saber es la evaluación de vibración longitudinal, vibración vertical y vibración transversal; se muestra en las figuras la dirección de la vibración, el periodo de vibración y la frecuencia, los valores es decir las frecuencias deben ser mayores a los establecidos según normas.

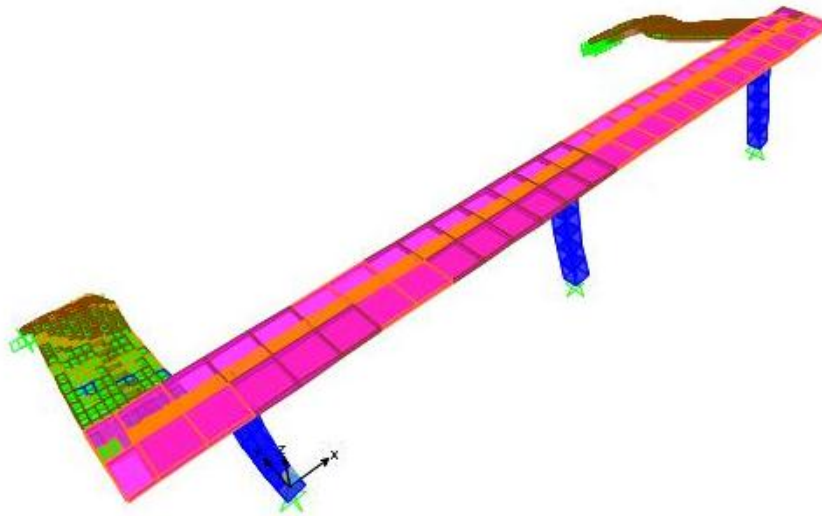


Figura 3.41. Modo 1 – vibración longitudinal 2 (puente peatonal independencia);  
 $T=0.330$  s,  $f=3.031$  Hz.

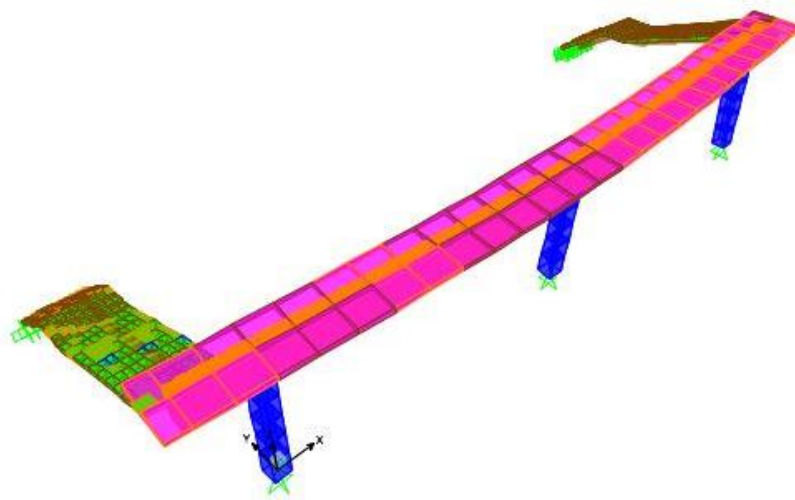


Figura 3.42. Modo 2 – vibración transversal 2 (puente peatonal independencia);  
 $T=0.261$  s,  $f=3.836$  Hz.

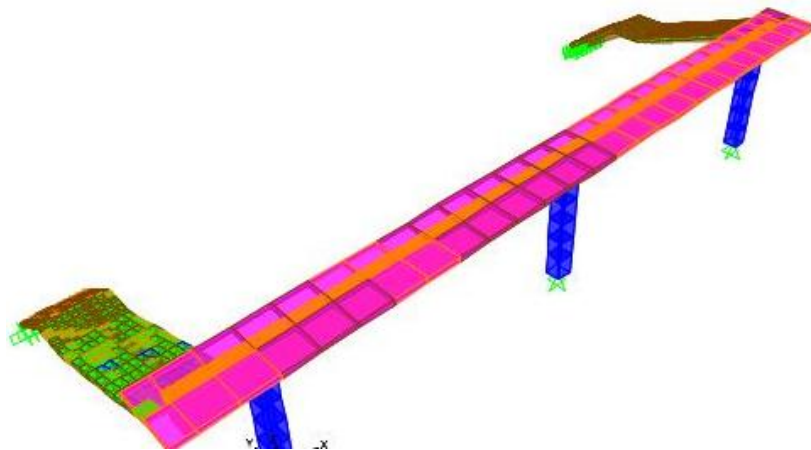


Figura 3.43. Modo 3 – vibración vertical 3 (puente peatonal independencia);  $T=0.113$  s,  
 $f=8.855$  Hz.

### 3.6.2. Resultados de vibración teórica del puente peatonal independencia

Tabla 3.11. Tabla de porcentaje de participación de masa puente independencia reforzado.

TABLA: porcentaje de participación de masa							
Modo	Periodo (s)	%MX	%MY	%MZ	Suma%MX	Suma%MY	Suma%MZ
1	0.310	84.5	00.0	00.0	84.5	00.0	00.0
2	0.261	00.0	49.5	00.0	84.5	49.5	00.0
3	0.113	00.5	00.0	00.0	85.0	49.5	00.0
4	0.107	00.0	07.0	12.2	85.0	56.5	12.2
5	0.096	01.0	00.0	00.0	86.0	56.5	12.2
6	0.092	01.3	00.0	00.0	87.3	56.5	12.2
7	0.076	00.0	00.4	32.3	87.3	56.8	44.6
8	0.055	00.0	19.2	03.8	87.3	76.0	48.4
9	0.047	00.6	00.0	00.0	87.9	76.0	48.4
10	0.046	00.0	01.4	08.1	87.9	77.4	56.5
11	0.044	00.1	00.0	00.0	88.0	77.4	56.5
12	0.042	00.0	00.4	07.6	88.0	77.9	64.0

De las (tablas 3.11 y 3.12) se observa que en el modo 1 que es vibración longitudinal el periodo es  $T=0.330$  segundos con una frecuencia de vibración de  $f=3.031$  Hz. También se observa que el modo 2 que es la vibración que es la vibración vertical el periodo es de  $T=0.261$  segundos con una frecuencia de vibración  $f=3.836$  Hz. Que es riesgo insignificante de resonancia. Según la (tabla 3.7) en la norma (BS 5400, British Standard) la frecuencia lateral debe ser mayor a  $f_l > 1.5$  Hz. Que cumple porque el valor que tenemos es mucho mayor a lo establecido. Además en el modo 3 que es objetivo de principal de este estudio la vibración vertical el periodo de vibración es de  $T=0.113$  segundos con una frecuencia de  $f=8.856$  Hz. (AASHTO, 1994, p.9) , que cumple con varias normas aparte de la norma ya mencionadas.

Tabla 3. 12. Tabla de periodos y frecuencias modales del puente peatonal independencia.

<b>TABLA: periodos y frecuencias modales</b>			
<b>Modo</b>	<b>Periodo (s)</b>	<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>Frecuencia circular (rad/s)</b>
1	0.330	3.0314	19.047
2	0.261	3.8360	24.103
3	0.113	8.8549	55.637
4	0.108	9.3025	58.450
5	0.096	10.433	65.551
6	0.092	10.877	68.341
7	0.076	13.121	82.439
8	0.055	18.132	113.929
9	0.047	21.240	133.454
10	0.046	21.880	137.479
11	0.044	22.836	143.486
12	0.042	23.536	147.883

## **IV. DISCUSIÓN**

➤ Según normas internacionales (AASHTO, 1994, p.9), (Sétra, 2006,p.32), entre otros señalan que si la frecuencia vertical es mayor a 3.0 Hz (sin carga dinámica), y mayor a 5.0 Hz (con carga dinámica) entonces el riesgo es insignificante de resonancia; ahora bien verificando nuestros resultados de vibración vertical del puente independencia, el puente en mención no satisface a los valores establecidos por que la frecuencia conseguido en el ensayo es menor a 3.0 Hz, a su vez evaluado este mismo puente con carga dinámica la frecuencia es menor a 5.0 Hz. Por lo tanto el puente peatonal independencia tiene problemas de vibración vertical.

➤ Al igual que en la tesis de Sanchez menciona que el: “análisis de la interacción dinámica humano-estructura en puentes peatonales de Santiago de Cali” – Colombia; En el presente trabajo, el autor escogió 19 puentes peatonales, para ser estudiados mediante el análisis de la interacción dinámica humano – estructura, el autor asegura que “16 de ellos poseen a lo menos una luz con frecuencia natural vertical por debajo de 5.0 Hz. Recomienda que, para evitar estos efectos, las frecuencias naturales no deben ser cercanas a la frecuencia de excitación de personas ( 2012, p.50).

➤ En el caso del puente peatonal Pro Lima los valores del ensayo son mayores a 3. Hz. (Sin carga peatonal) y mayores también a 5.0 Hz. (con carga peatonal).

Al igual que en la tesis de Ortiz menciona que se: “Evalúa el puente peatonal ubicado en la estación de Javier prado, bajo cargas peatonales, y los resultados obtenidos están dentro de los rangos de vibraciones insignificantes. Además, calculó la frecuencia de uno de los tramos con mayor luz del puente peatonal y el resultado que obtuvo es de 5.457. Hz de frecuencia vertical y según las normas: Si la frecuencia vertical y longitudinal es mayor a 5 Hz entonces el riesgo es insignificante de resonancia ”(2013, p.93).

➤ Sobre el método numérico o modelado en computador se comprobó que el puente peatonal independencia tenía problemas de vibración vertical como como se obtuvo en el ensayo experimental, y además se dio una solución a dicho problema colocando una columna intermedia por lo tanto podemos decir que es

importante modelar en un software ya que podemos casi predecir el comportamiento que tendrá dicho diseño.

Además en la tesis de Cala & Villar menciona que: “Asegura que los modelos de computador tiene bastante confiabilidad y permite evaluar efectos inesperados por el transito humano, recomienda el autor que se debe tener en cuenta en el modelado con las características de las secciones de la estructura, las medidas de cada elemento, las posiciones y la interacción de cada elemento con los otros del puente, ya que al modelar con las verdaderas dimensiones el resultado será real” (2014, p.13).

## **V. CONCLUSIONES**

## 5.1. Conclusiones

❖ La evaluación del comportamiento vibracional de los puentes peatonales, que es objetivo de la presente tesis de investigación, se puede afirmar ya que se tiene las frecuencias vertical y lateral, aceleración vertical, que el comportamiento del puente de concreto armado (puente peatonal independencia) tiene problemas de vibración vertical; en cambio el comportamiento del puente de acero (puente peatonal pro lima) tanto frecuencias vertical y lateral y aceleración vertical son mayores a los valores mínimos permitidos (riesgos insignificantes) según normas: Si la frecuencia vertical y longitudinal es mayor a 5 Hz entonces el riesgo es insignificante de resonancia (Sétra, 2006, p.32); si la frecuencia lateral es mayor a 2.5 Hz entonces el riesgo es insignificante de resonancia (Sétra, 2006, p.33); la frecuencia de vibración vertical y lateral es mayor a 5 Hz y 1.5 Hz respectivamente, según los estándares británicos (BD 37/01, 2002, p.34); la frecuencia de vibración vertical y lateral es mayor a 5 Hz y 2.5 Hz respectivamente, indica la norma EUROCODE (1995-2, 2004, P.65); la frecuencia de vibración vertical en mayor a 3.5 Hz, indica la norma BRO,( Bro, 2004.p.56).

En lo que corresponde a los modos y frecuencias calculados con el método numérico se ha obtenido valores menores a 3.0 Hz con respecto a la vibración vertical del puente peatonal independencia tal como indica la (Tabla 3.9). Modos, periodos, frecuencias. Pero la norma indica que las frecuencias ambientales deben ser mayores a 3.0 Hz.

❖ las frecuencias de vibración de los puentes peatonales seleccionados para la evaluación ubicados en la panamericana norte entre los km 19+000 y el km 25+500 en lima, la (tabla 3.3) nos muestra en la vibración ambiental en el puente peatonal independencia la frecuencia es menor a 3.0 Hz. Además, se hizo ensayos dinámicos que tampoco cumple con los valores límites, Por lo tanto, se puede afirmar que el puente peatonal Independencia tiene problemas de vibración y no satisface los requisitos límites de las normas, en cambio la frecuencia lateral es mayor a 1.5 Hz. Que si satisface los valores establecidos según normas ya mencionadas en la primera parte de la conclusión.



❖ Las aceleraciones de vibración de los puentes peatonales Independencia y Pro Lima de la Panamericana Norte entre el km 19+000 y el km 25+500 en Lima; están en el rango medio y mínimo según (Sétra, 2006, p. 32), como se muestra en la (tabla 1.3 y la tabla 1.4).

❖ La solución al problema de vibración vertical del puente peatonal independencia que está en el km 19+869 de la panamericana norte, es colocar o instalar una columna intermedia de 60x60 cm. Con una altura de  $h=5.10$  m. para rigidizar la losa o pasarela (figura 3.41); y lo que se busca es que la frecuencia sea mayor a 3.0 Hz en la vibración vertical sin carga peatonal según (AASHTO, 1994, p. 9). Po lo tanto se hizo un modelamiento proponiendo dicha solución al problema de vibración vertical para evitar la molestia o temor a los usuarios.

❖ Respecto al cuadro (tabla 3.10) comparación de ensayo experimental y método numérico los valores son cercanos, por lo tanto, para tener un valor real o cercano, en el diseño se debe tomar en cuenta las características de la estructura del puente, la posición de cada elemento, ver si la escalera tiene una junta de separación con la losa porque todos los elementos estructurales intervienes en el comportamiento estructural.

## **VI. RECOMENDACIONES**

## **6.1. Recomendaciones**

✓ Es necesario ampliar los estudios en cuanto a la variación de las propiedades dinámicas de puentes peatonales con personas en movimiento, no solo para una persona sino para grupos de personas y multitudes como se hizo en el presente estudio, caracterizando así las diferentes variables que intervienen en la variación de estas propiedades y ver el comportamiento de la estructura con distintas cargas.

✓ Cuando un puente peatonal tenga problemas de vibraciones inducidas por peatones, se recomienda realizar estudios de vibración ambiental y forzada, con el objetivo de obtener de manera precisa las propiedades y respuestas dinámicas de los mismos; ya que de éstas dependerá el diseño adecuado ante las vibraciones.

✓ Evaluar tres puentes peatonales existentes entre el tramo escogido, que son puente Villa sol, puente Santa Luisa y puente La Amistad por que los vecinos dan a conocer que también tienes temor al cruzar dichos puentes aparte de los ya evaluados.

✓ Evitar en el diseño de puentes peatonales tramos largos porque estos tienes mayor probabilidad de tener menor rigidez.

✓ Respecto al modelado, Para saber el comportamiento estructural de un puente peatonal existente es necesario tener en cuenta la interacción de cada elemento estructural, se debe evitar de modelar una porción del puente es mejor hacer el sistema completo.

## **VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- AASHTO, Guia de especificaciones para el diseño de puente peatonales, 1994.
- ANDRIACCHI, T, OGLE , J y GALANTE, J. Walking Speed as a Basis for Normal and Abnormal Gait Measurement. Journal of Biomechanics 10. 1977, p. 261-268.
- ANDRIACHI, T, OGLE, J y GALANTE, J. Walking Speed as a Basis for Normal and Abnormal Gait Measurement. s.l. : Journal of Biomechanics 10, 1977.
- BOJÓRQUEZ, Felipe. vibracion en puentes, 2016.
- BRO. General Technical Specification for new Construction and Improvement of Bridges. Swedish Building Centre, Stockholm, Sweden. Estocolmo - Suecia, 2004.
- CALA, jonathan y VILLAR, katherine. Predicción del Comportamiento de Puentes Peatonales Debido a la Actividad Humana Usando modelos de computador. alemania, 2014.
- FIB Bulletin 32. Guidelines for the design of footbridges, 2005.
- FRANCK, L. 2009. Swiss Federal Institute of Technology y Applied computing and mechanics Laboratory, 2009 p. 1-35.
- Gergy Pontoise, Cedex. vibration of footbridges under pedestrian loads. France : Bridge consultant.
- HARPER, F. The Mechanics of Walking, 1962.
- HARPER, F, WARLOW, w y CLARKE, B. The Forces Applied to the Floor by the Foot in Walking, National Building Studies, Department of Scientific and Industrial Research, Building Research Station, London - Londres. 1961.
- HERNANDEZ et al. metodologia de la investigacion, mexico, 2006.
- HERNANDEZ Sanpieri, Roberto, FERNANDEZ Collado, Carlos y BAPTISTA Lucio, Maria del pilar. 2014. Metodologia de la investigacion. mexico : Mc Graw Hill, 2014.
- JAUREGUIBERRY, Mario. Vibraciones. Lima, 1995.
- MATSUMOTO, Y, y otros. International Association for Bridge and Structural Engineers proceedings, 1978. p. 1-15.
- MTC. "Norma tecnica peruana - manual de puentes". lima, 2016.
- MURILLO, Javier. Metodos de investigacon de enfoque experimental. 2014.
- NEWLAND, David. Pedestrian excitation of bridges resent results. tenth international congress on sound and vibration, 2013. p.1-15.

ORTIZ Albino, pither Ascencion. Evaluación del comportamiento vibratorio de puentes peatonales bajo carga peatonal. lima - peru, 2013.

PIQUÉ del Pozo, Javier. "Análisis dinámico de sistemas de un grado de libertad". lima, 1998

SANCHEZ Vargas, Jhon Anderson. Analisis de la interaccion dinamica humano - estructura en puentes peatonales de santiago de chile. Santiago de cali, 2012.

SÉTRA. 2006. Footbridges, Assessment of Vibrational Behavior of Footbridges Under Pedestrian Loading, Technical guide, Paris, French. Paris - Francia. 2006.

VALDERRAMA Mendoza, Santiago. Pasos para elaborar proyectos y tesis de investigación científica. Lima : San Marcos, 2013.

ZINAMOVIC, Pavic y Reynolds. Vibration serviceability of footbridges under human-induced excitation: a literature review. Journal of Sound and vibration, 2005, p. 1-74.

ZIVANOVIC, S. Vibration Serviceability of Footbridges a Under Human-Induced Excitation - A Literature Review. 2005, p. 1 - 74.

## **VIII. ANEXOS**

## A.1. Ensayos de vibración experimental – puente peatonal Independencia

### A.1.1. Ensayos de vibración ambiental

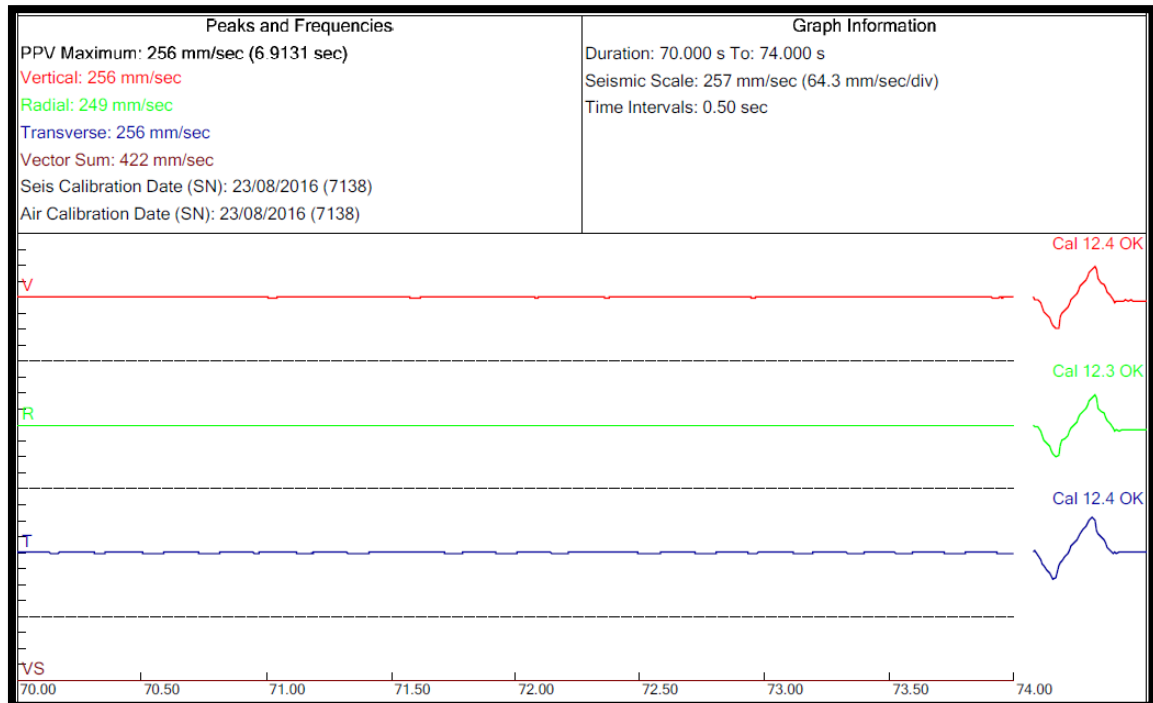


Figura A.1.1.1. Señales temporales de vibración, punto 01, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)

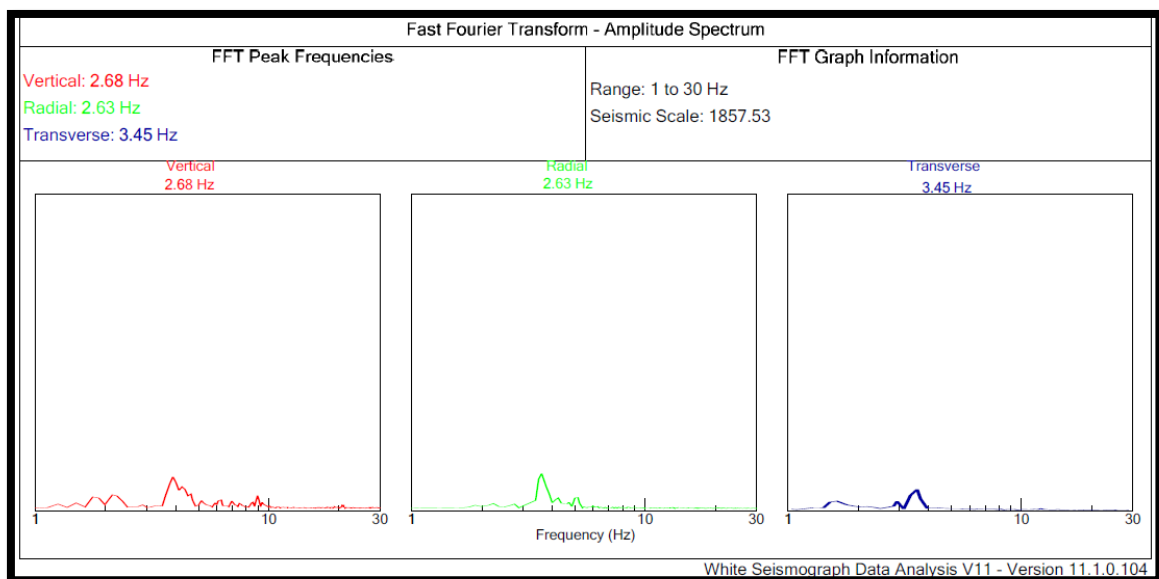


Figura A.1.1.2. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 01, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)



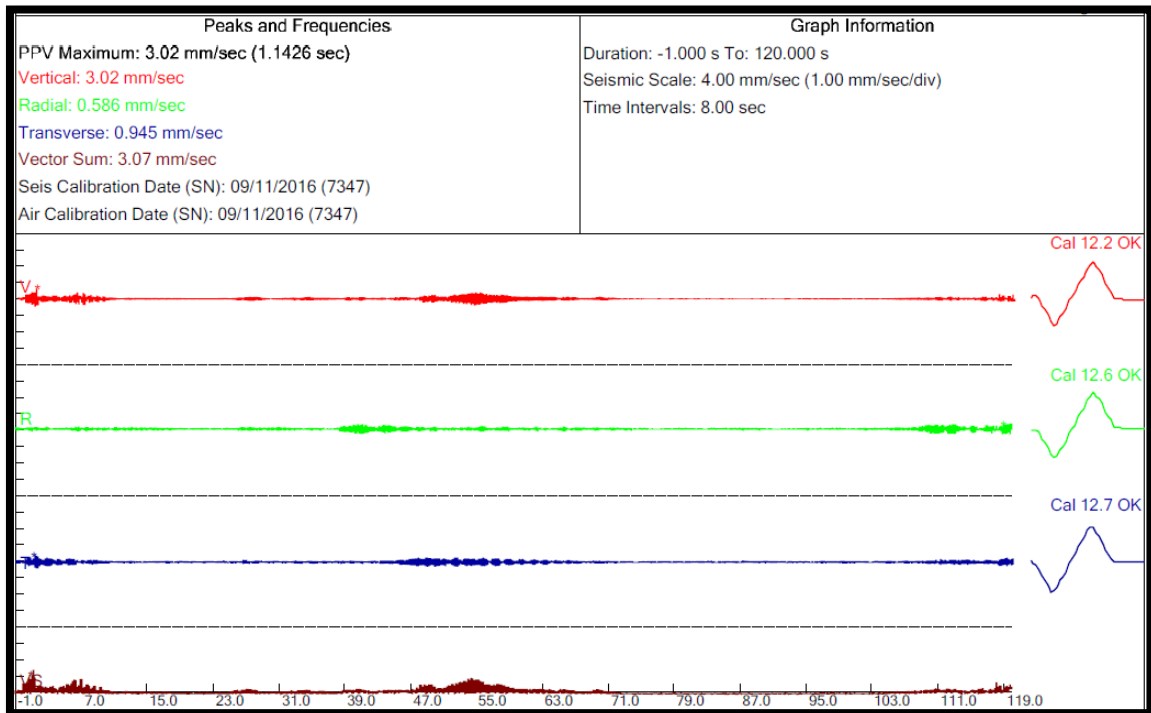


Figura A.1.1.3. Señales temporales de vibración, punto 02, del puente peatonal  
Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)

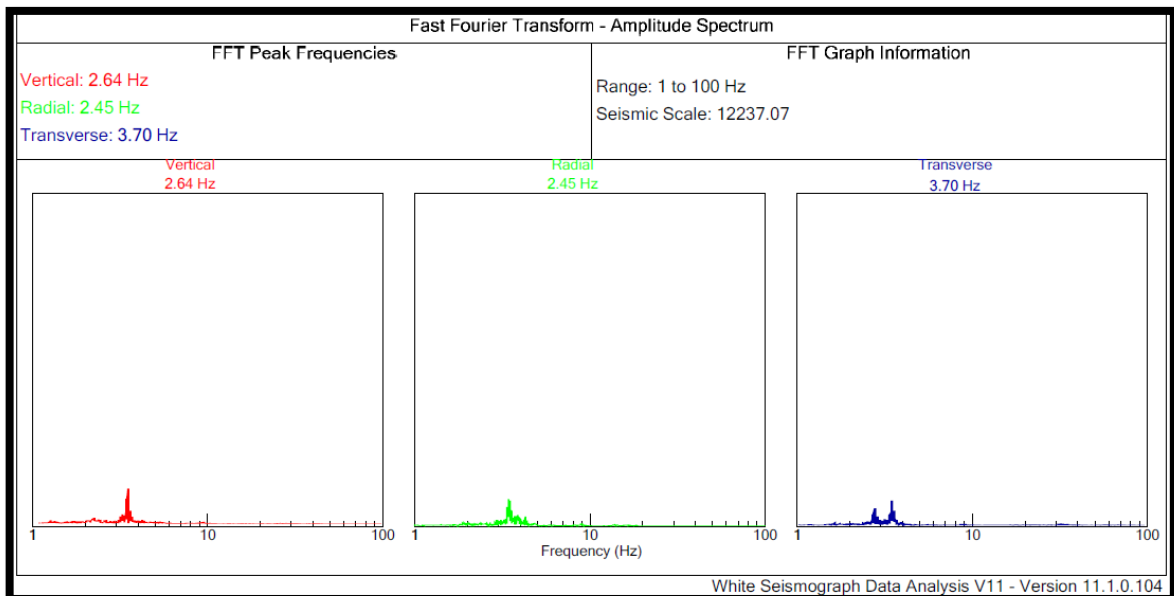


Figura A.1.1.4. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 02, del puente peatonal  
Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)

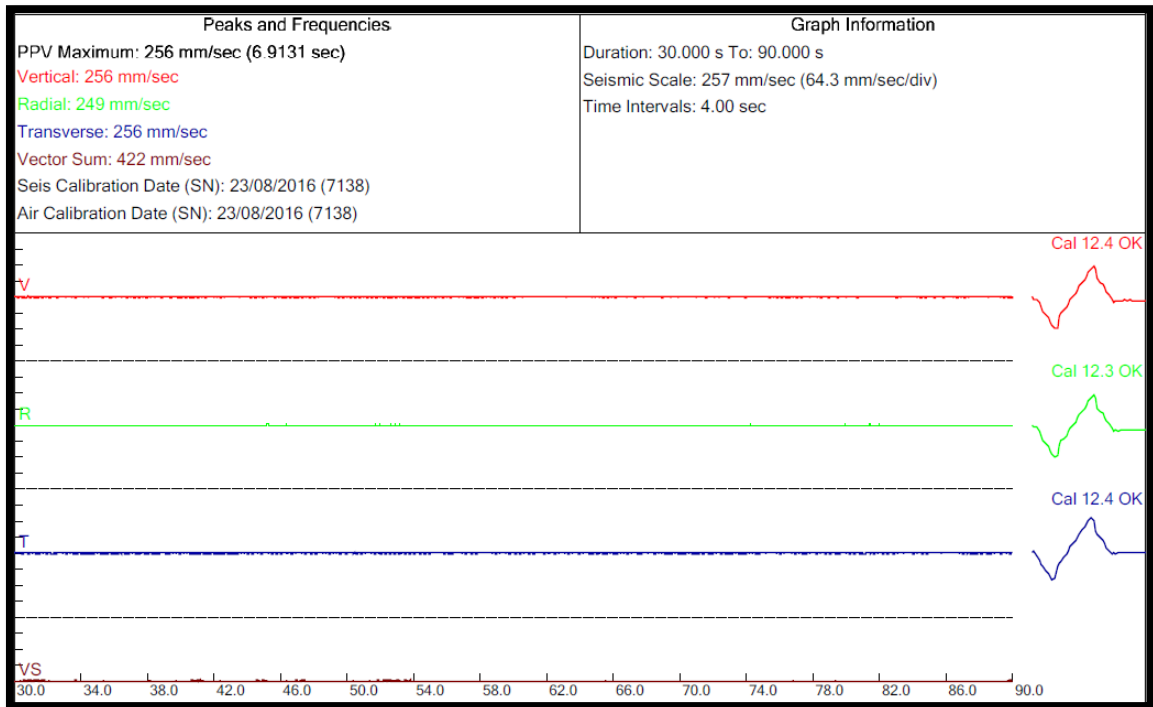


Figura A.1.1.5. Señales temporales de vibración, punto 03, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)

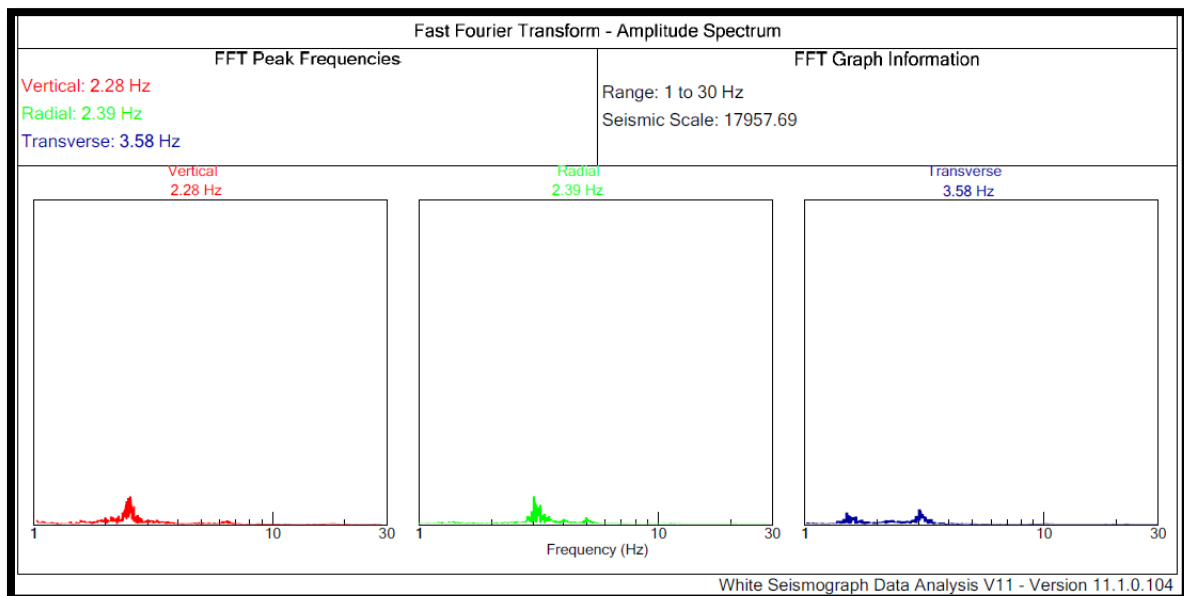


Figura A1.1.6. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 03, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)

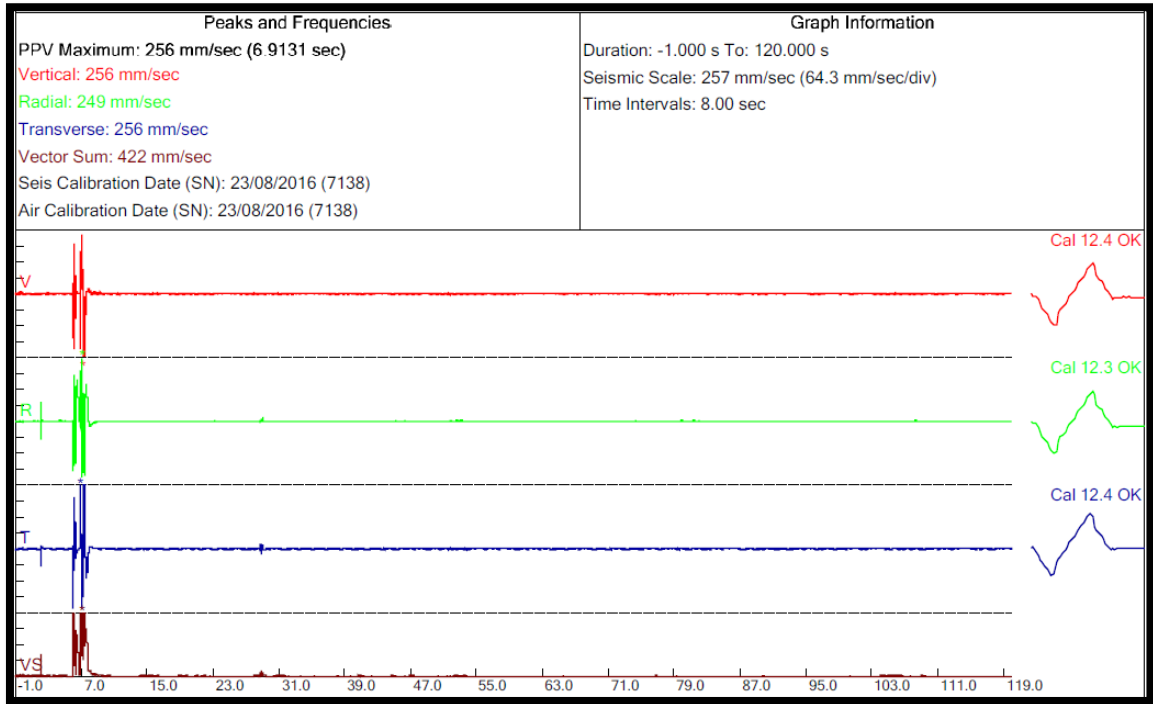


Figura A.1.1.7. Señales temporales de vibración, punto 04, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)

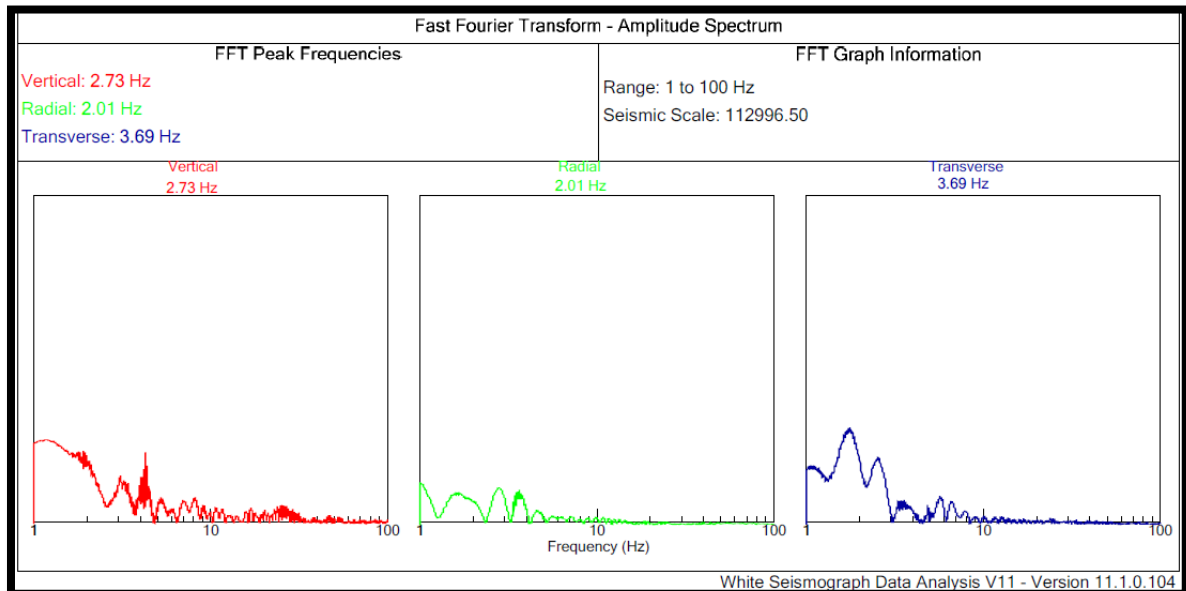


Figura A.1.1.8. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 04, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)

## A.1.2. Ensayo de vibración forzada – 1 persona

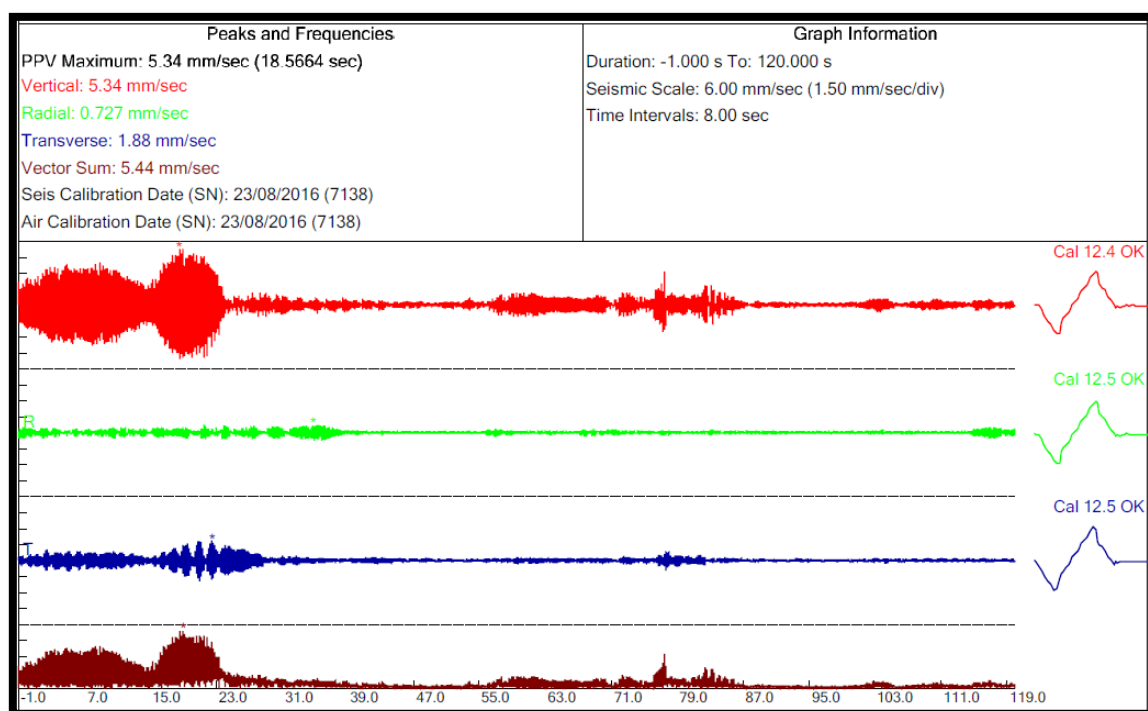


Figura A.1.2.1. Señales temporales de vibración, punto 05, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)

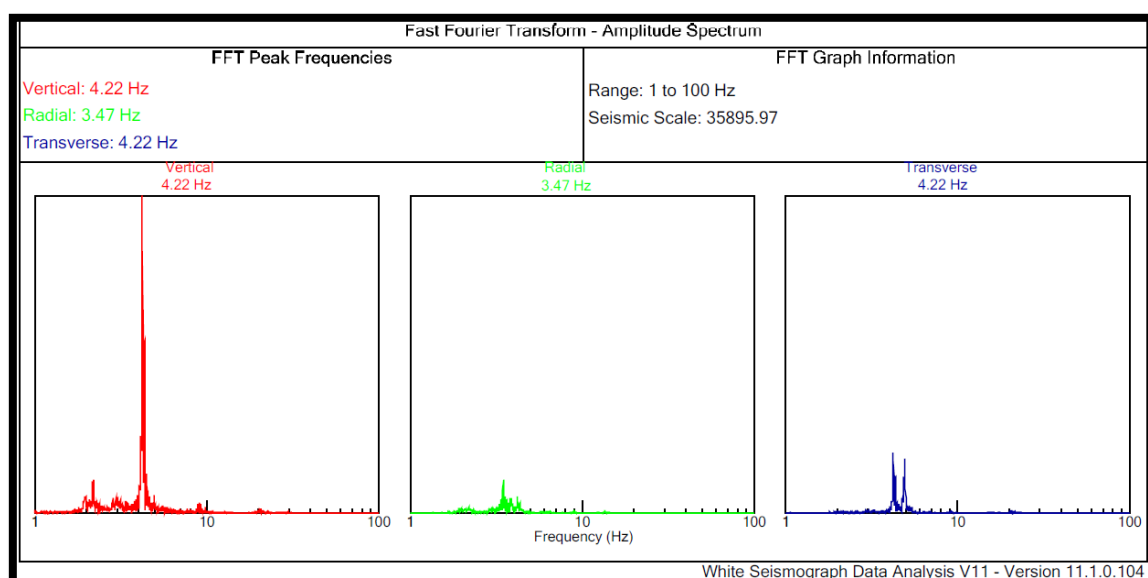


Figura A.1.2.2. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 05, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)

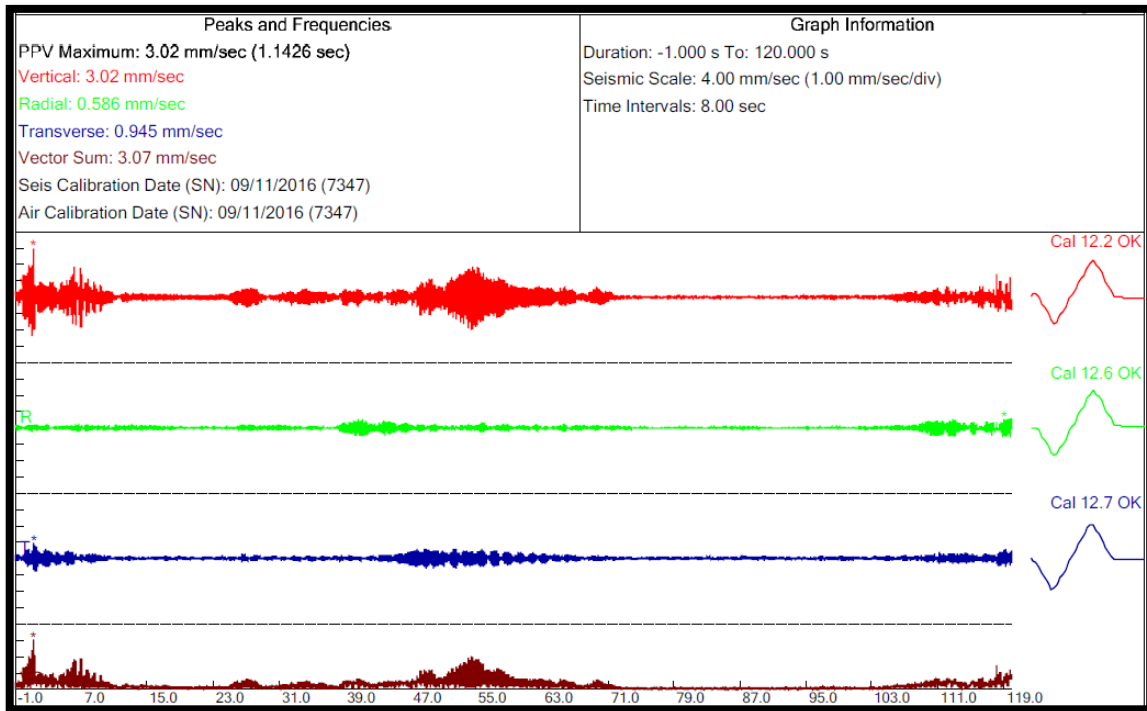


Figura A.1.2.3. Señales temporales de vibración, punto 06, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)

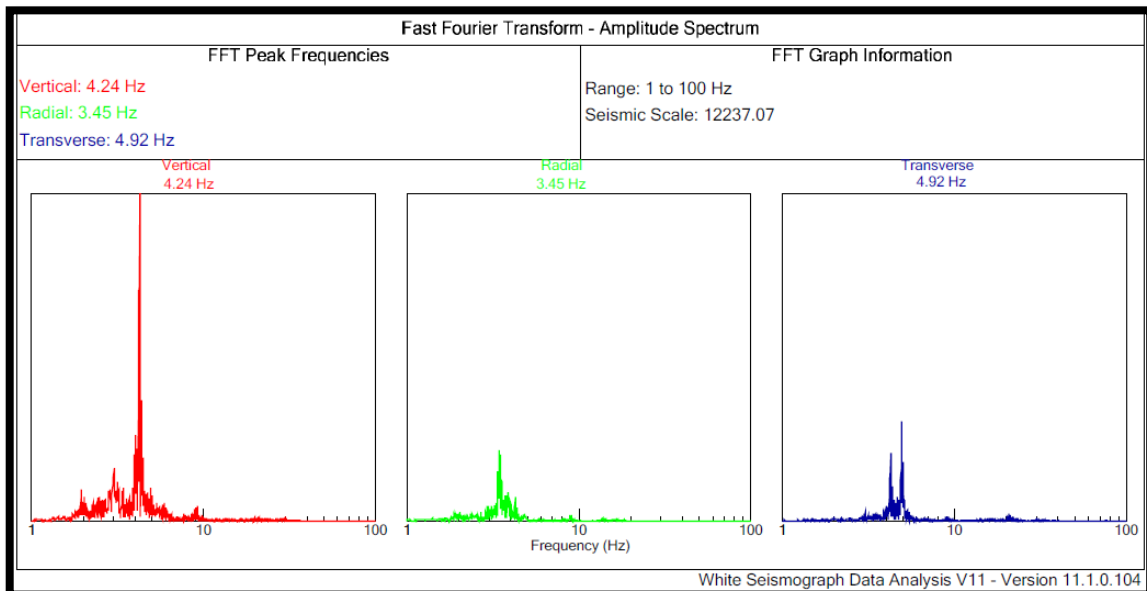


Figura A.1.2.4. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 06, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)

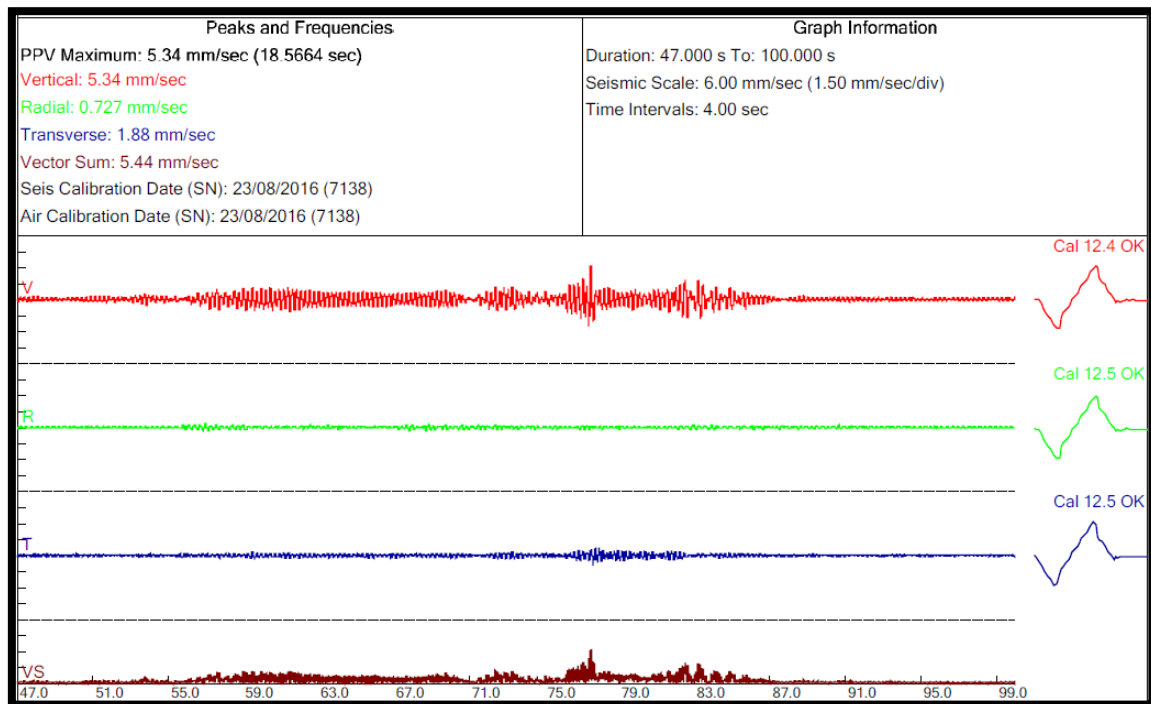


Figura A.1.2.5. Señales temporales de vibración, punto 07, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)

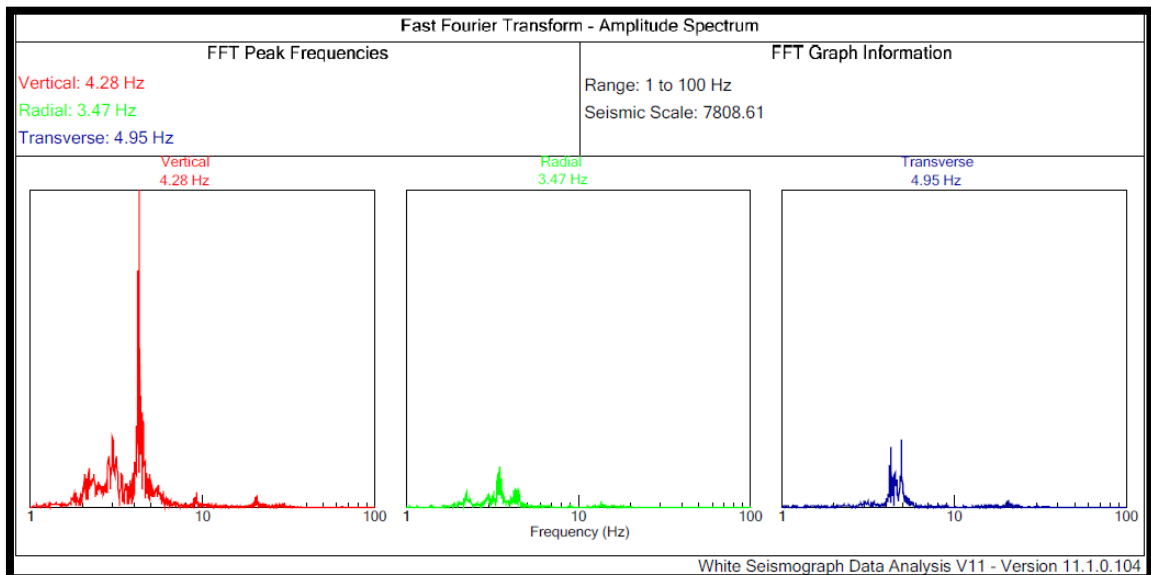


Figura A.1.2.6. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 07, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)

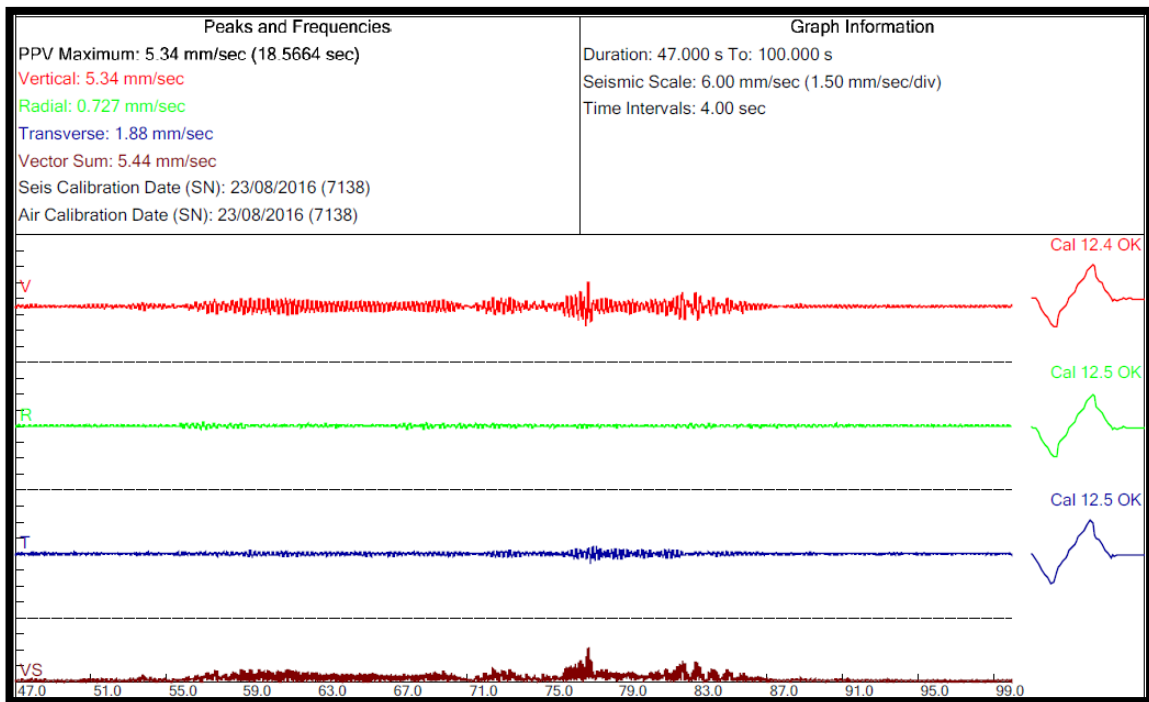


Figura A.1.2.7. Señales temporales de vibración, punto 08, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)

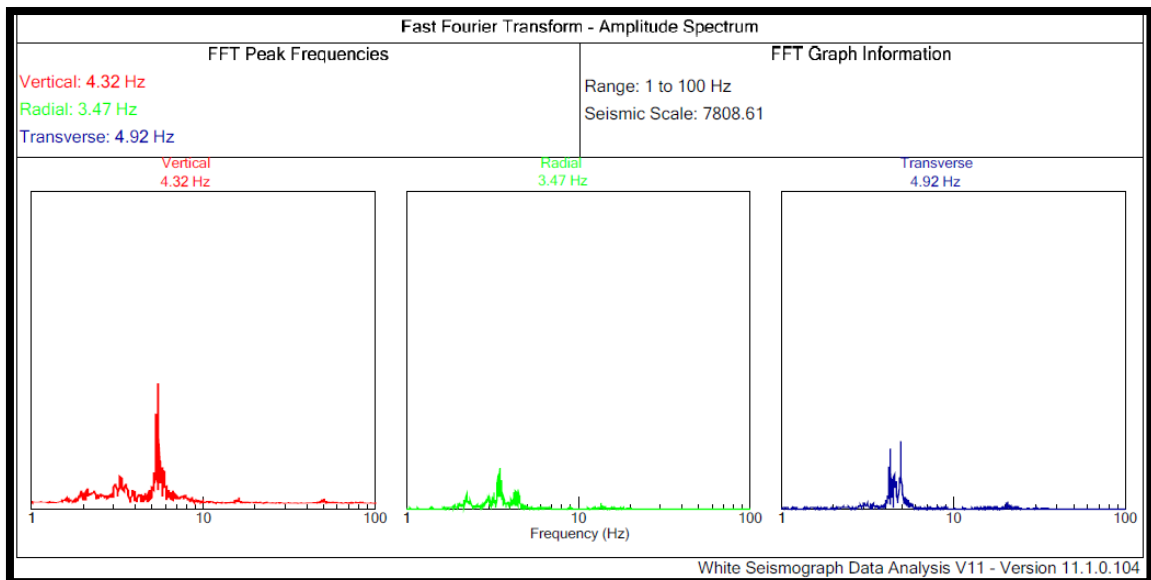


Figura A.1.2.8. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 08, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)

### A.1.3. Ensayo de vibración forzada – 10 personas

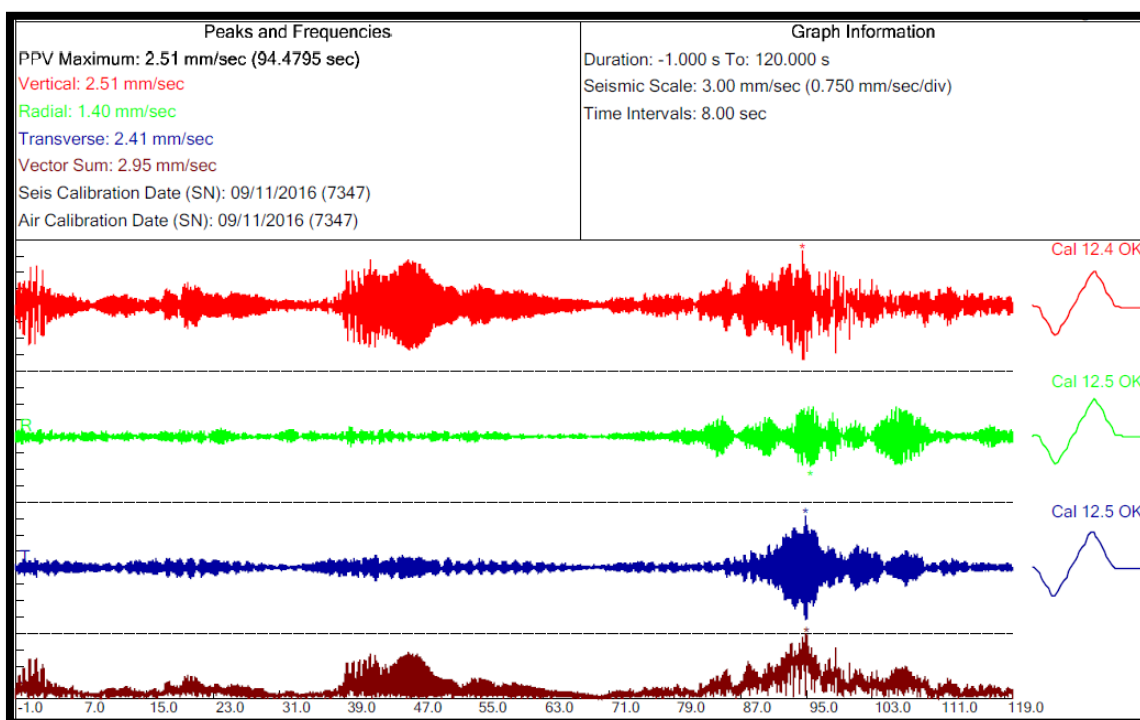


Figura A.1.3.1. Señales temporales de vibración, punto 09, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)

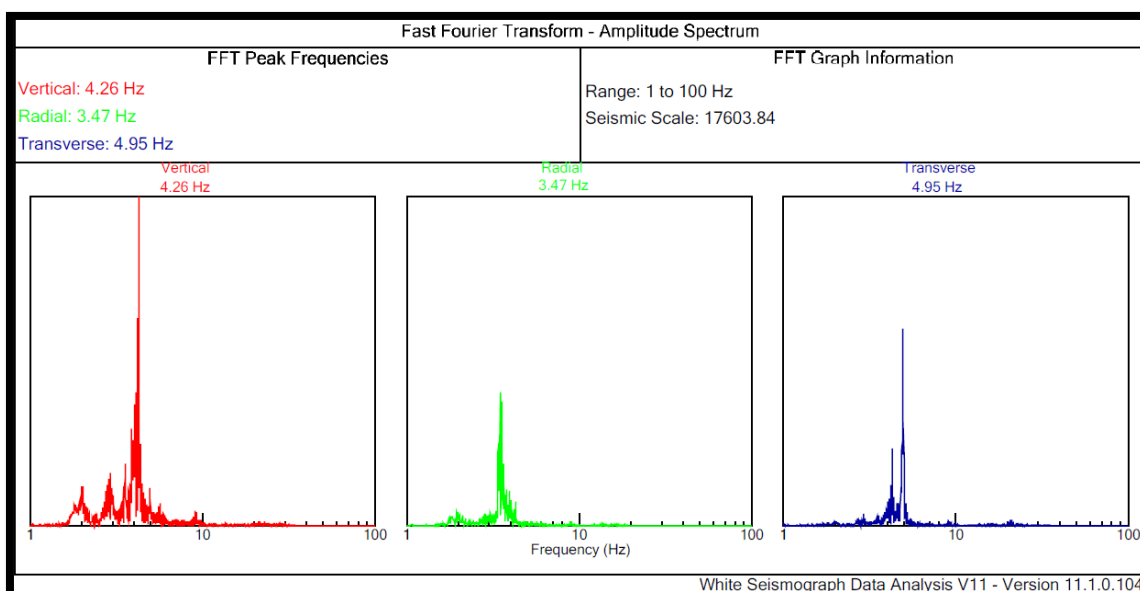


Figura A.1.3.2. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 09, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)



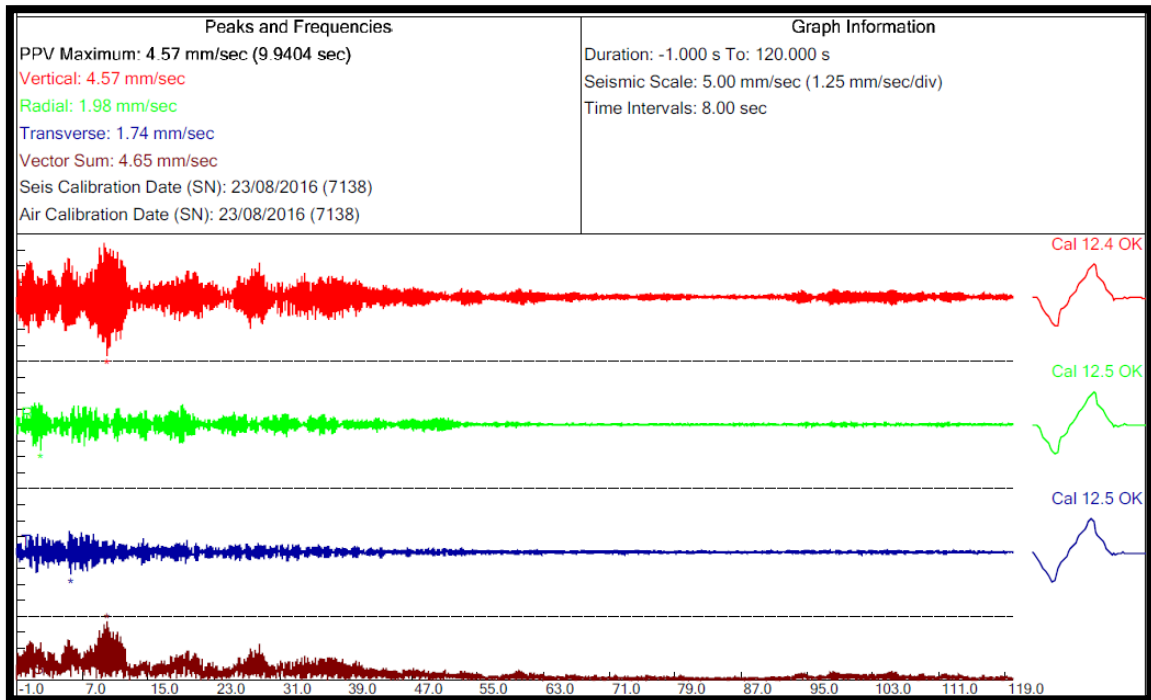


Figura A.1.3.3. Señales temporales de vibración, punto 10, del puente peatonal  
 Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)

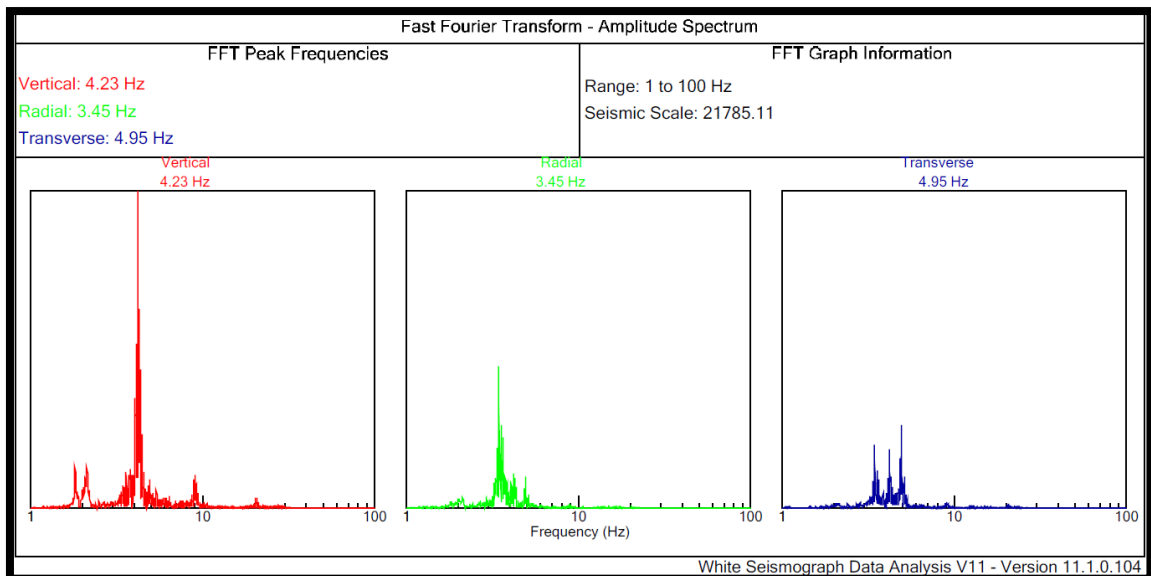


Figura A.1.3.4. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 10, del puente peatonal  
 Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)

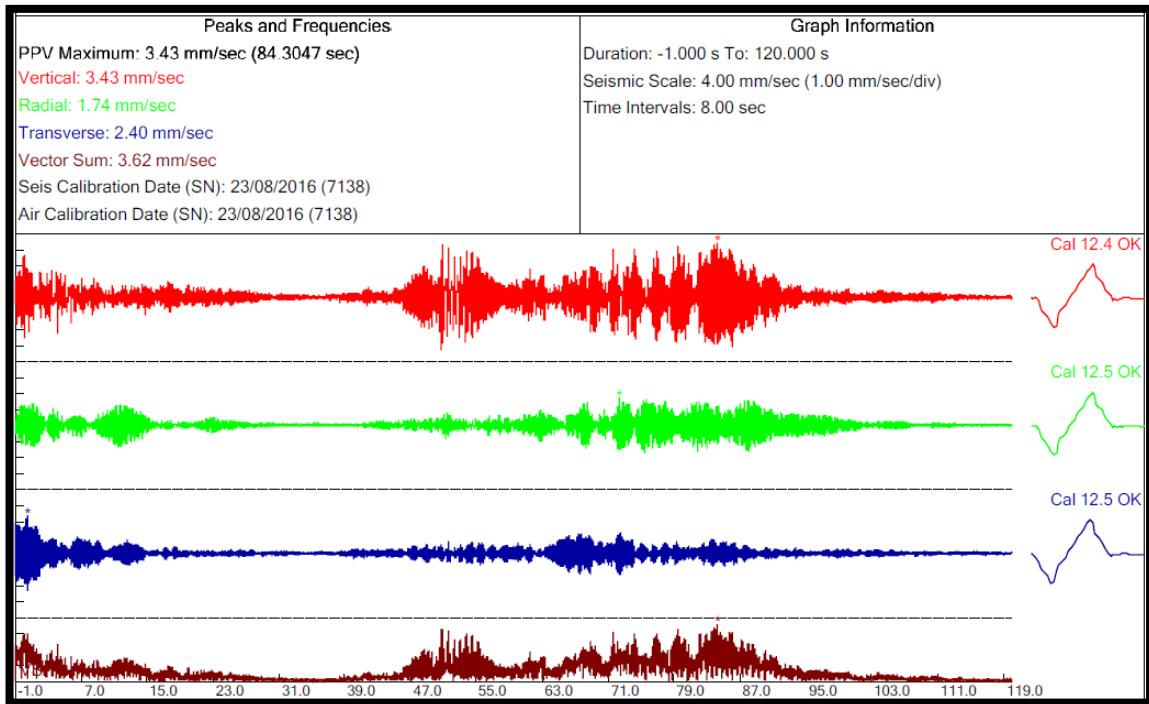


Figura A.1.3.5. Señales temporales de vibración, punto 11, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)

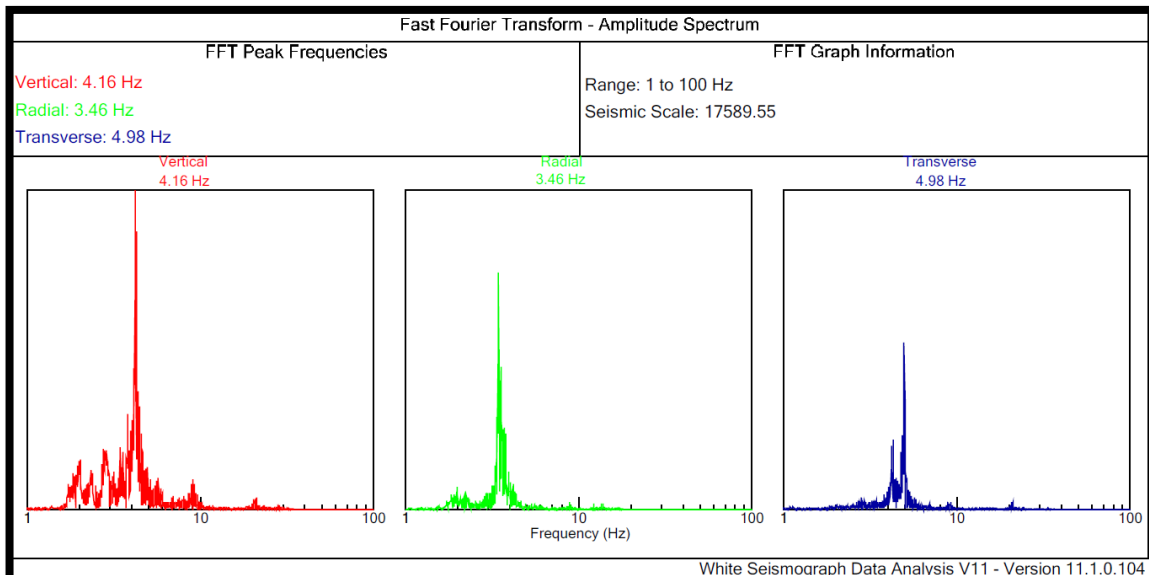


Figura A.1.3.6. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 11, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)

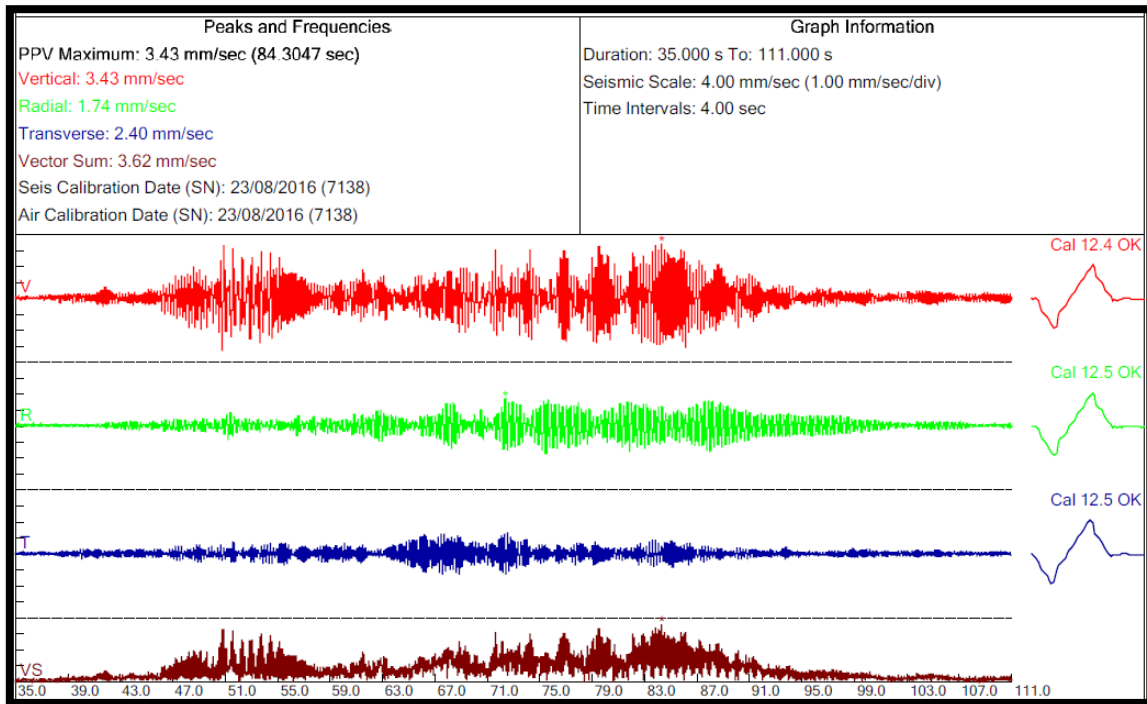


Figura A.1.3.7. Señales temporales de vibración, punto 12, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)

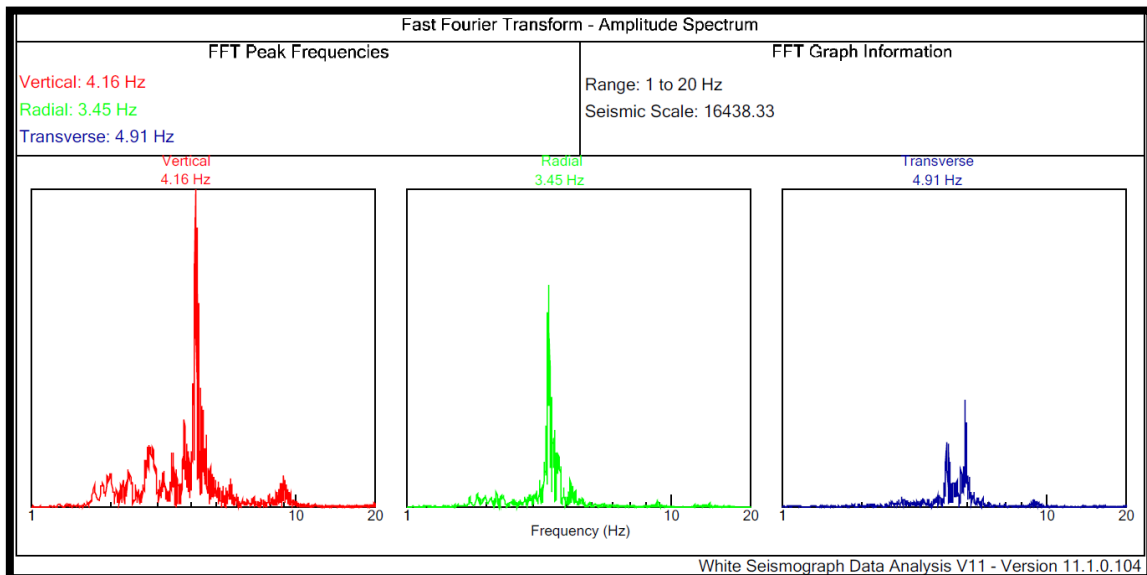


Figura A.1.3.8. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 12, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)

### A.1.4. Ensayo de vibración forzada – flujo continuo de peatones

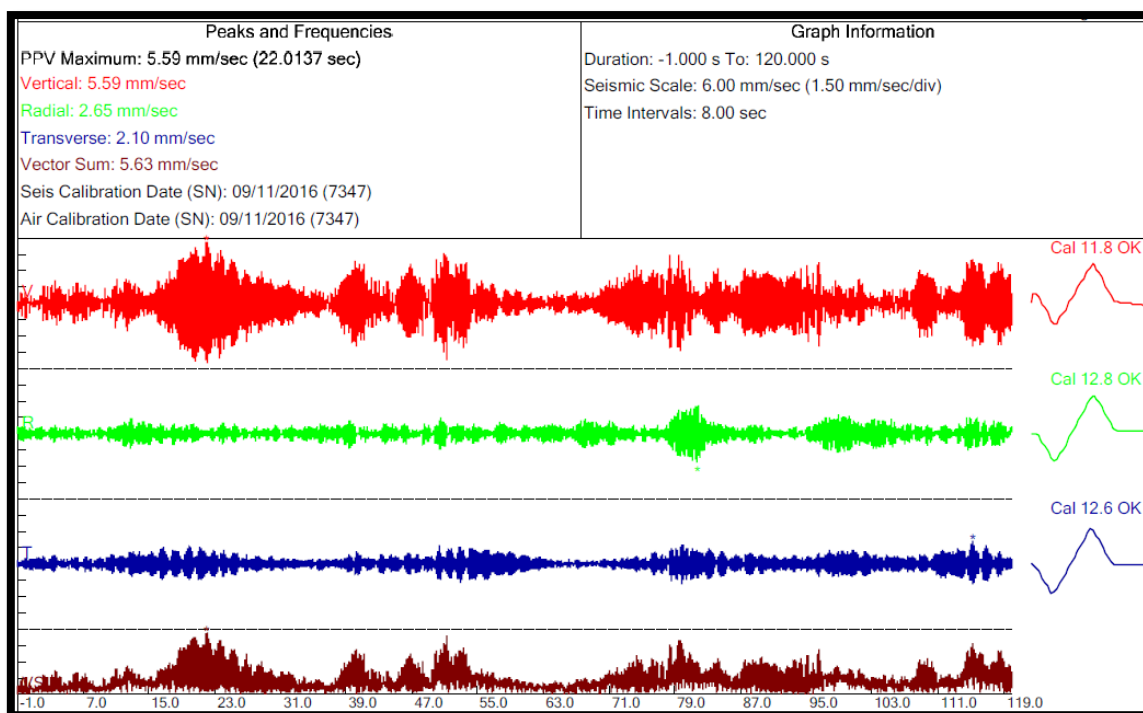


Figura A.1.4.1. Señales temporales de vibración, punto 13, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)

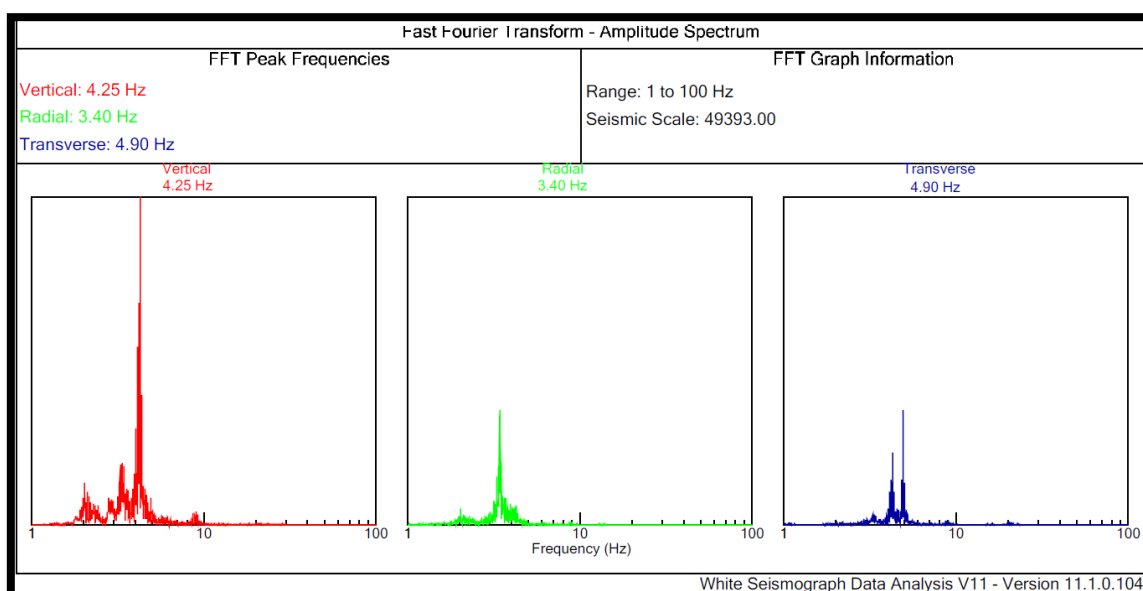


Figura A.1.4.2. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 13, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)

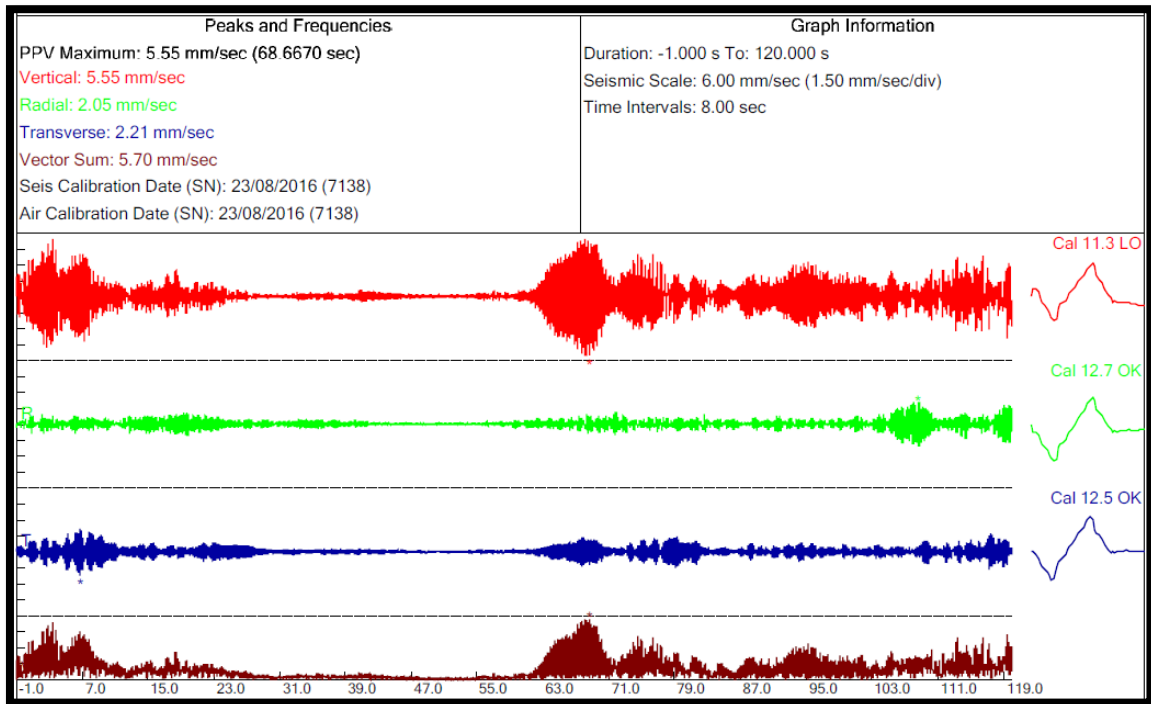


Figura A.1.4.3. Señales temporales de vibración, punto 14, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)

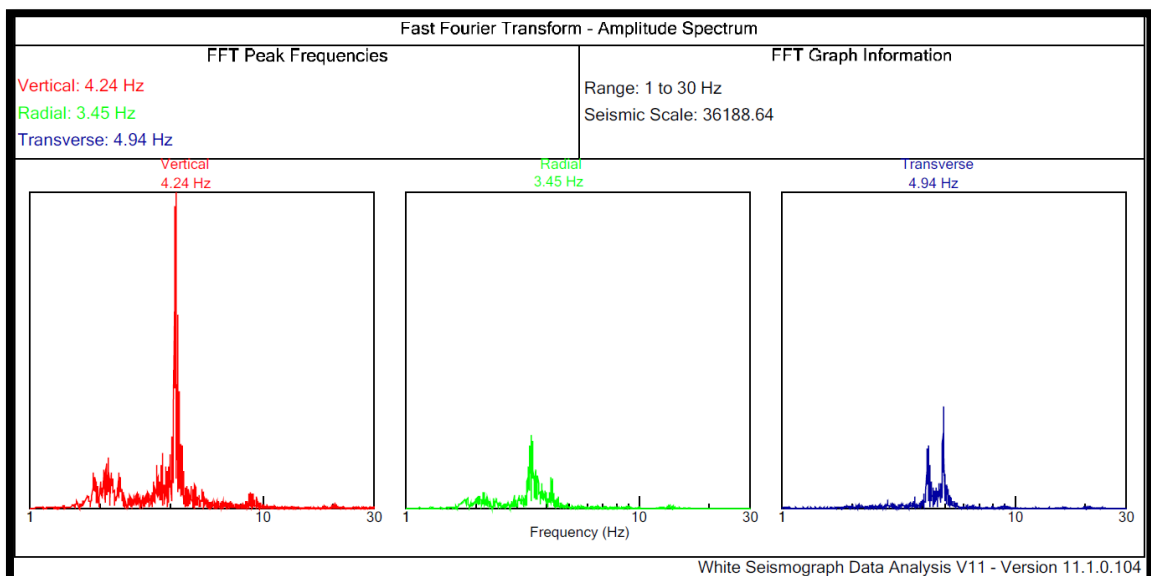


Figura A.1.4.4. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 14, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)

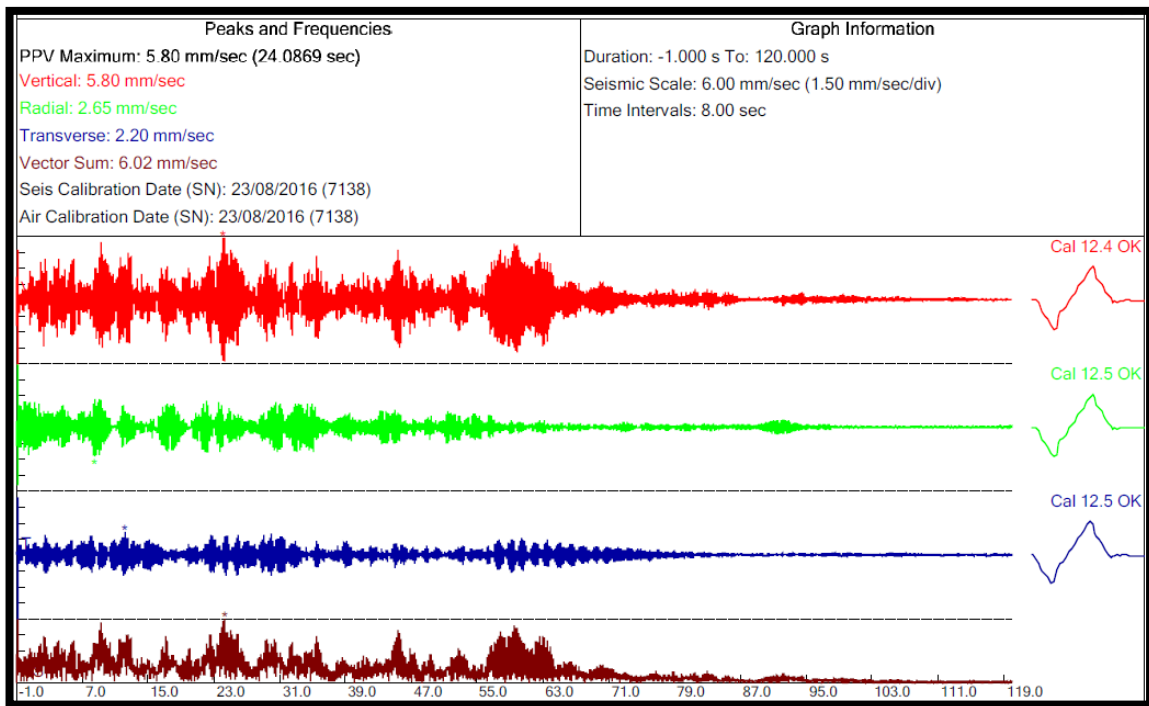


Figura A.1.4.5. Señales temporales de vibración, punto 15, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)

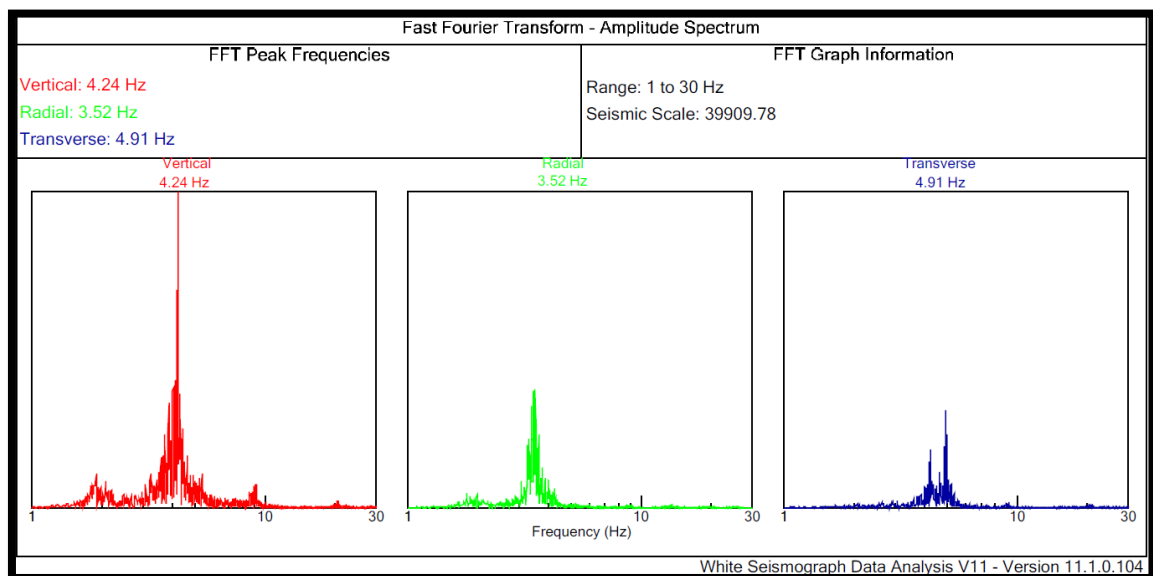


Figura A.1.4.6. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 15, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)

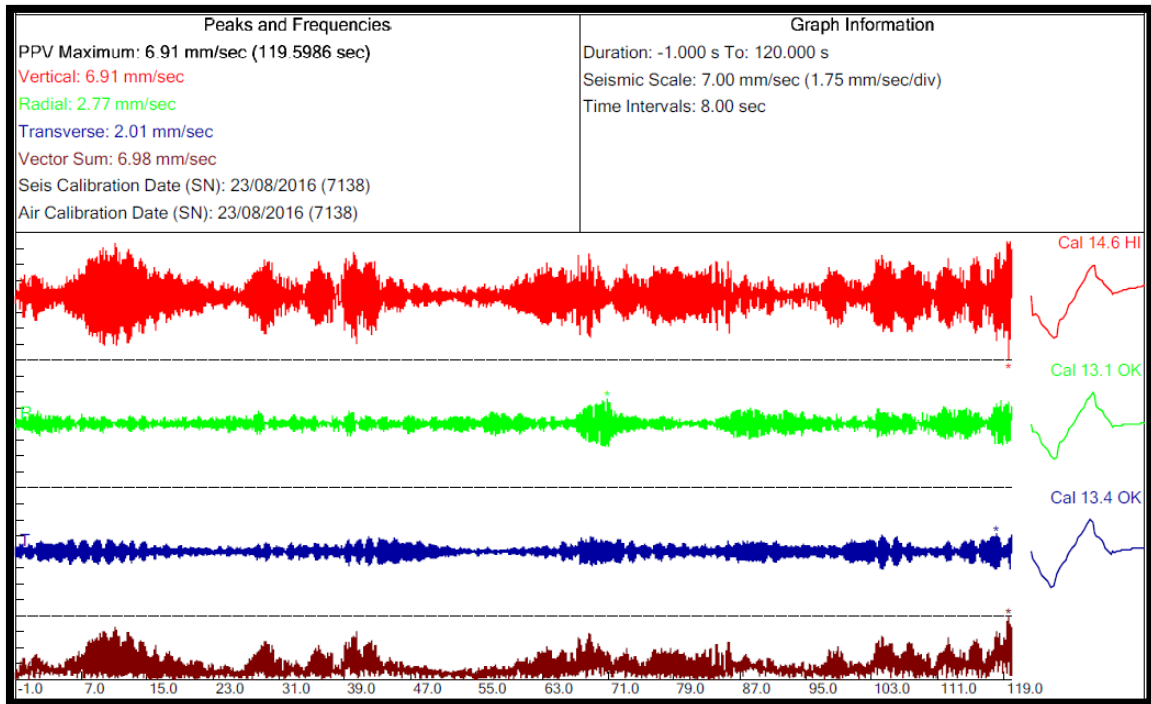


Figura A.1.4.7. Señales temporales de vibración, punto 16, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)

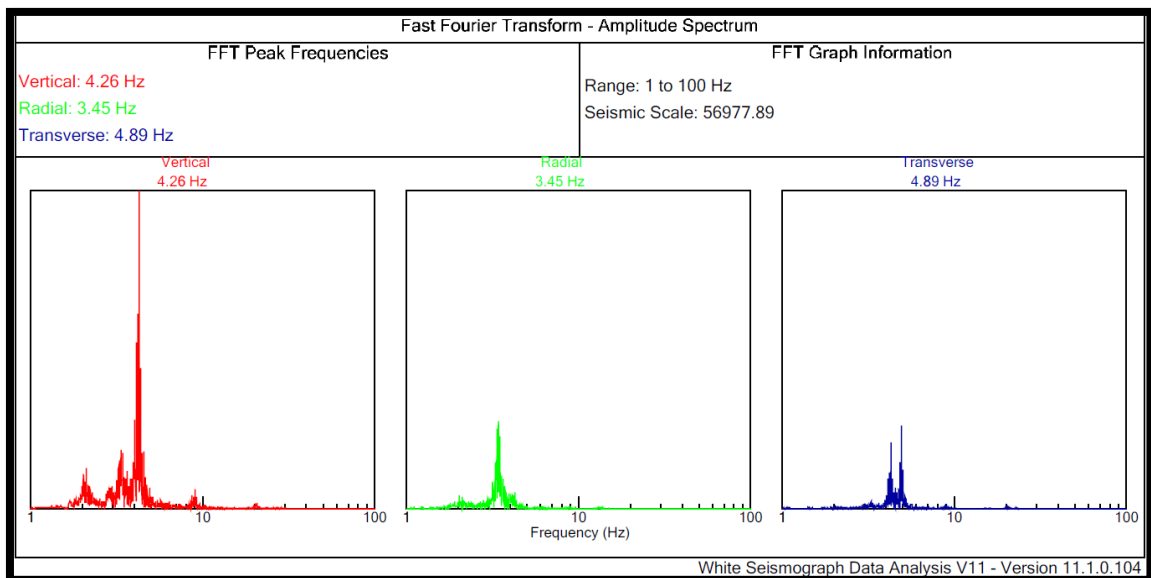


Figura A.1.4.8. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 16, del puente peatonal Independencia componente vertical (rojo) y transversal (azul)

## A.2. Ensayo de vibración experimental – puente peatonal Pro Lima

### A.2.1. Ensayo de vibración ambiental

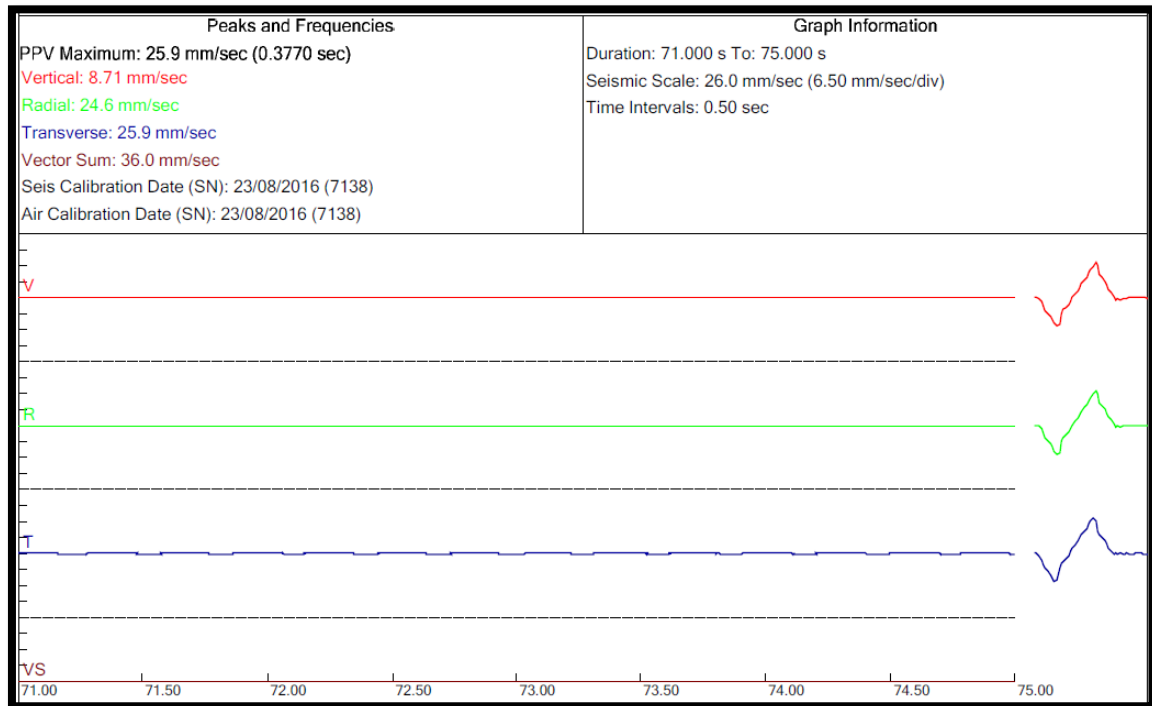


Figura A.2.1.1. Señales temporales de vibración, punto 17, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

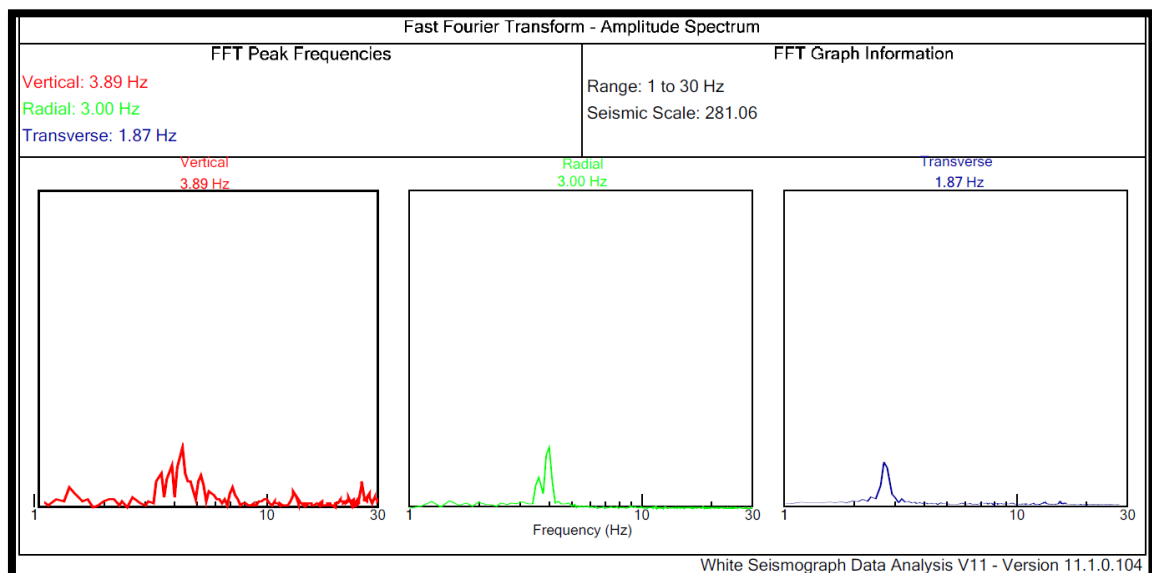


Figura A.2.1.2. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 17, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)



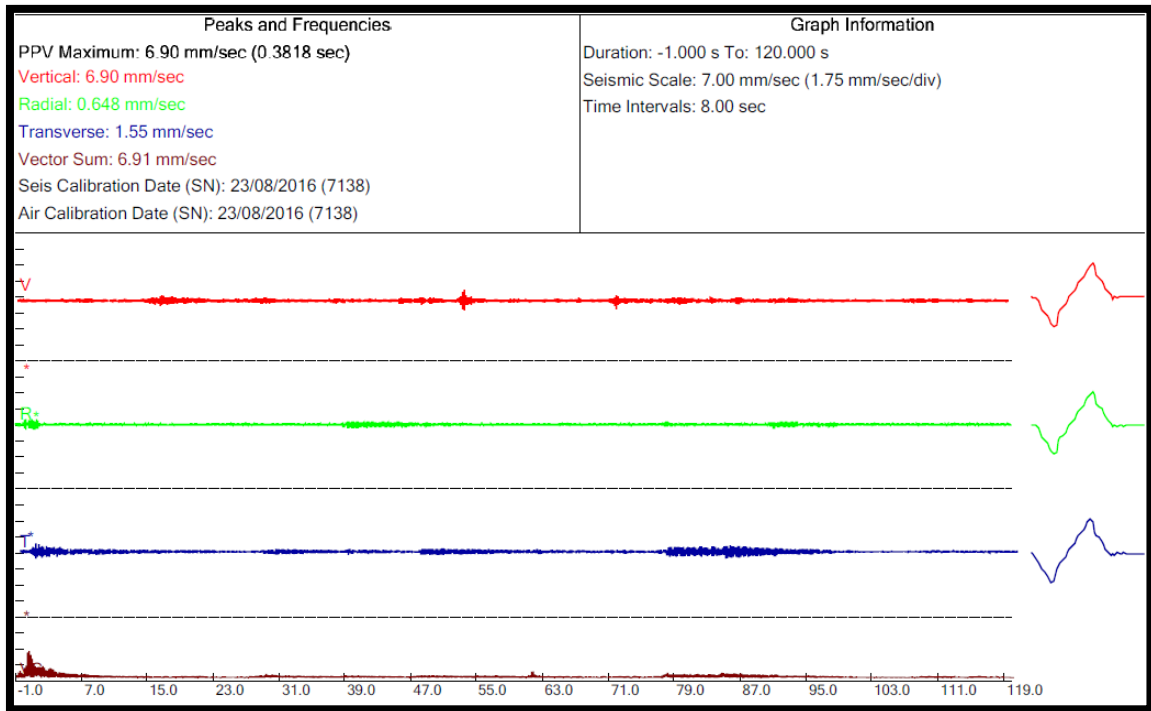


Figura A.2.1.3. Señales temporales de vibración, punto 18, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

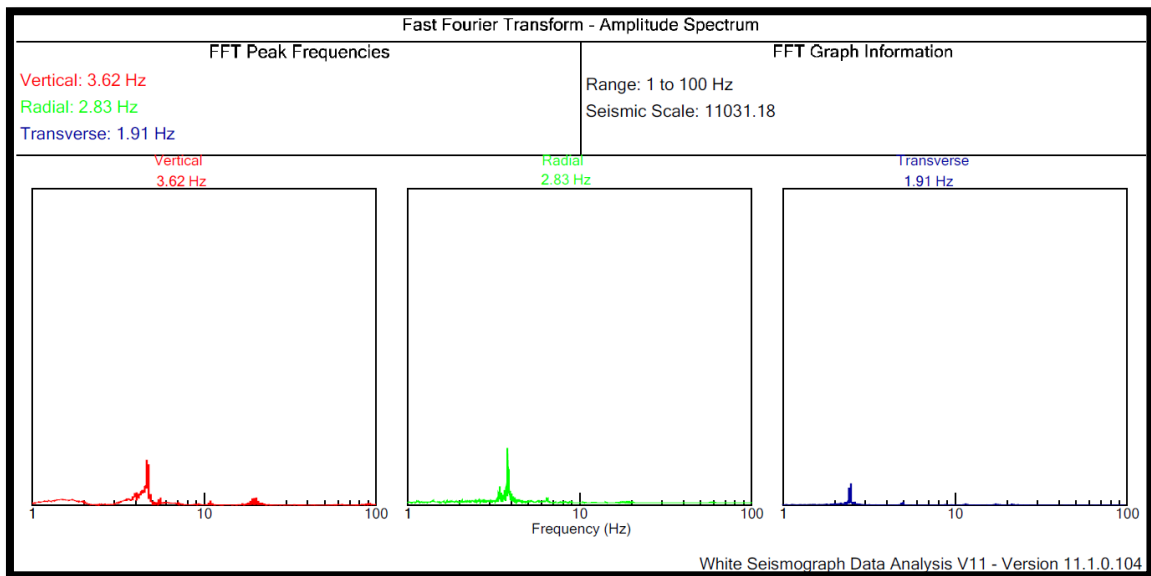


Figura A.2.1.4. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 18, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

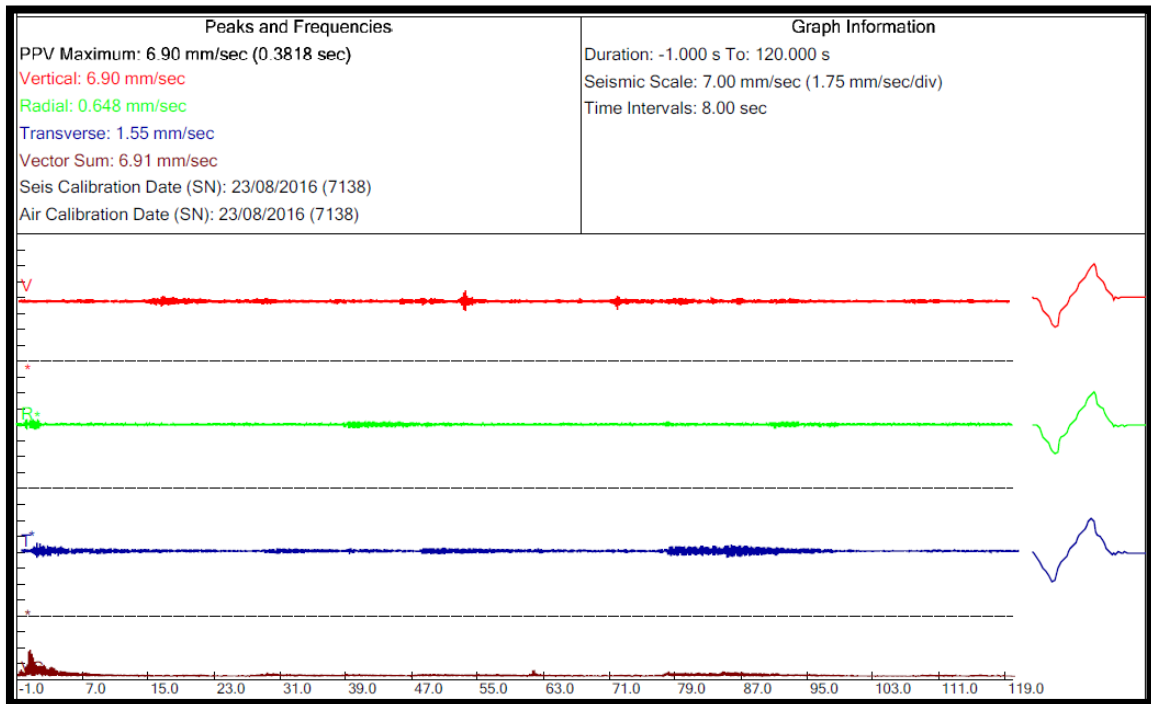


Figura A.2.1.5. Señales temporales de vibración, punto 19, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

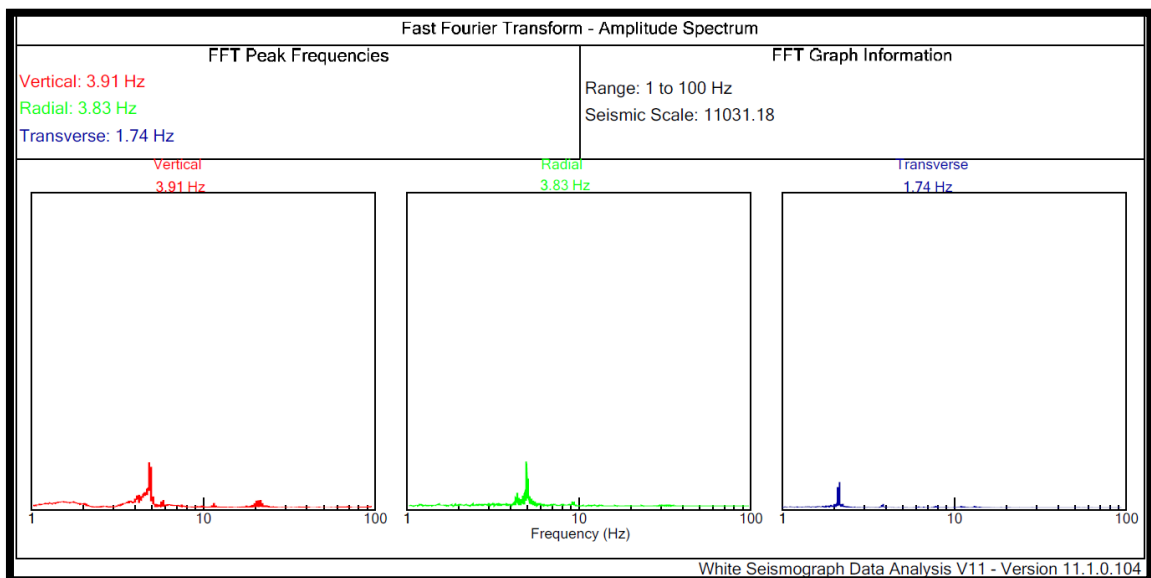


Figura A.2.1.6. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 19, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

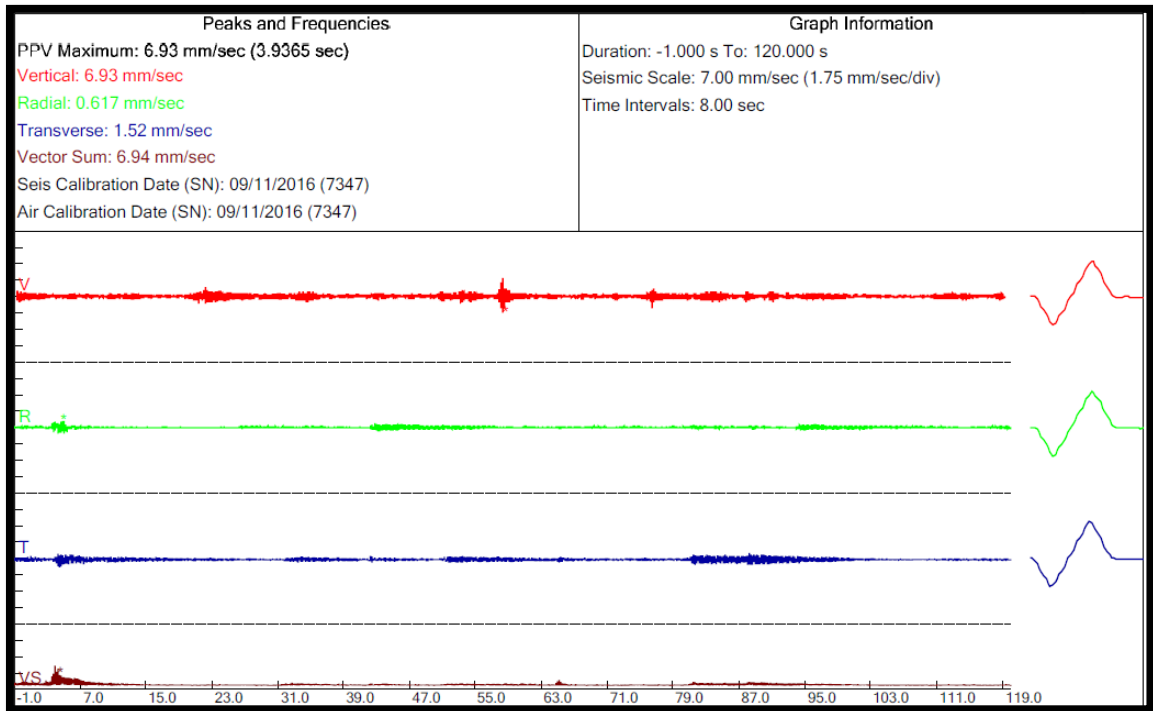


Figura A.2.1.7. Señales temporales de vibración, punto 20, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

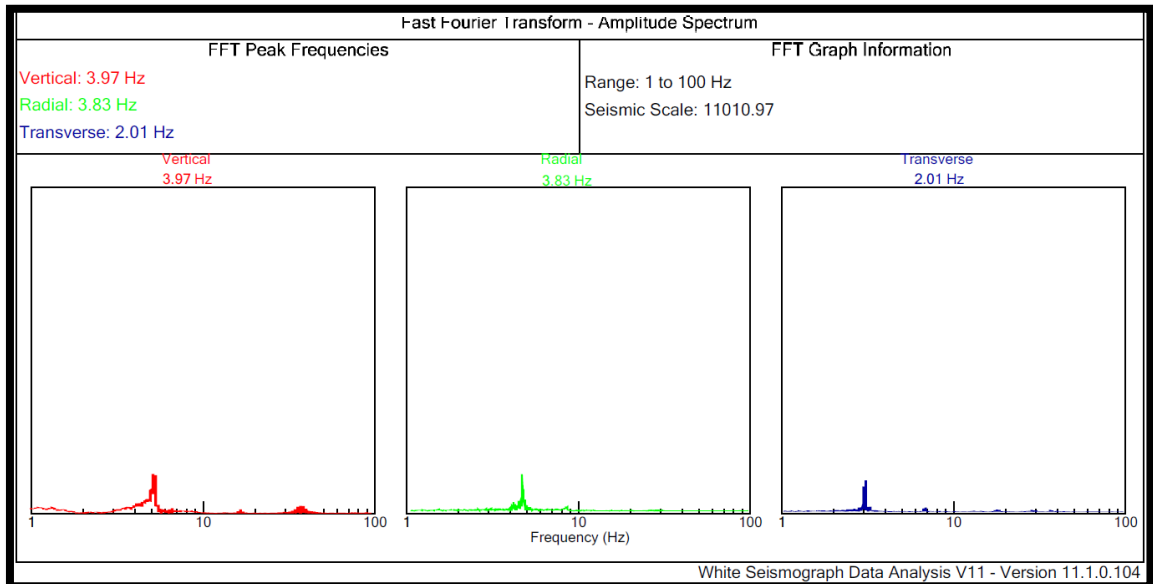


Figura A.2.1.8. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 20, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

## A.2.2. Ensayo de vibración forzada – 1 persona

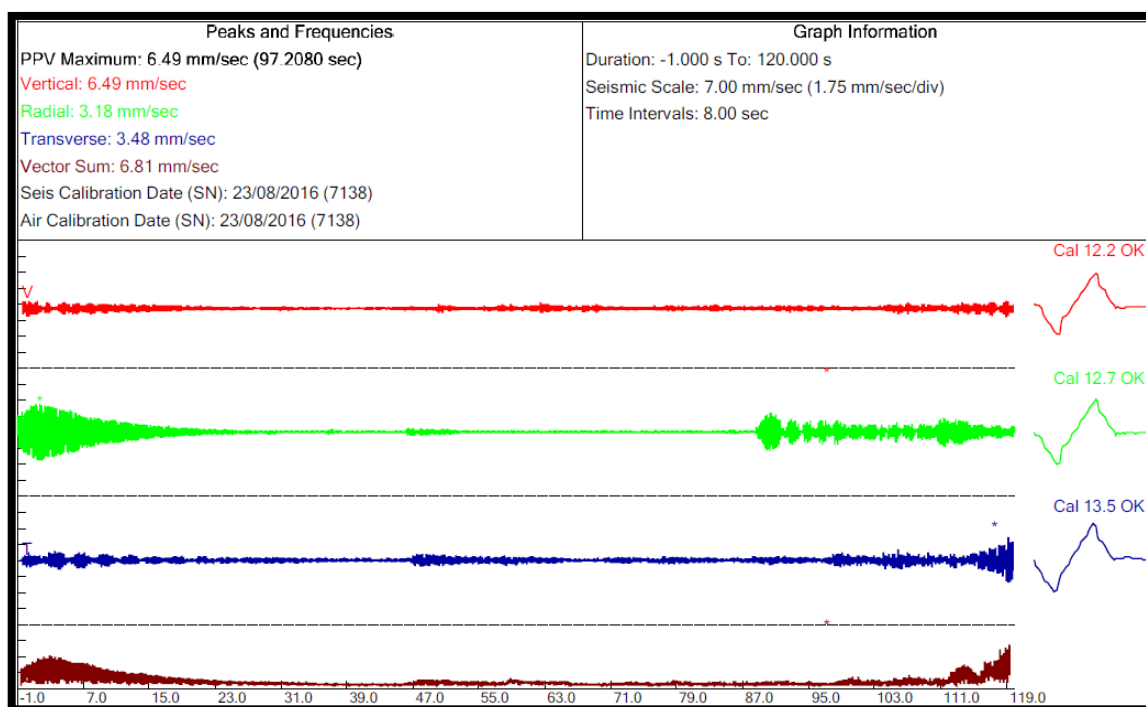


Figura A.2.2.1. Señales temporales de vibración, punto 21, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

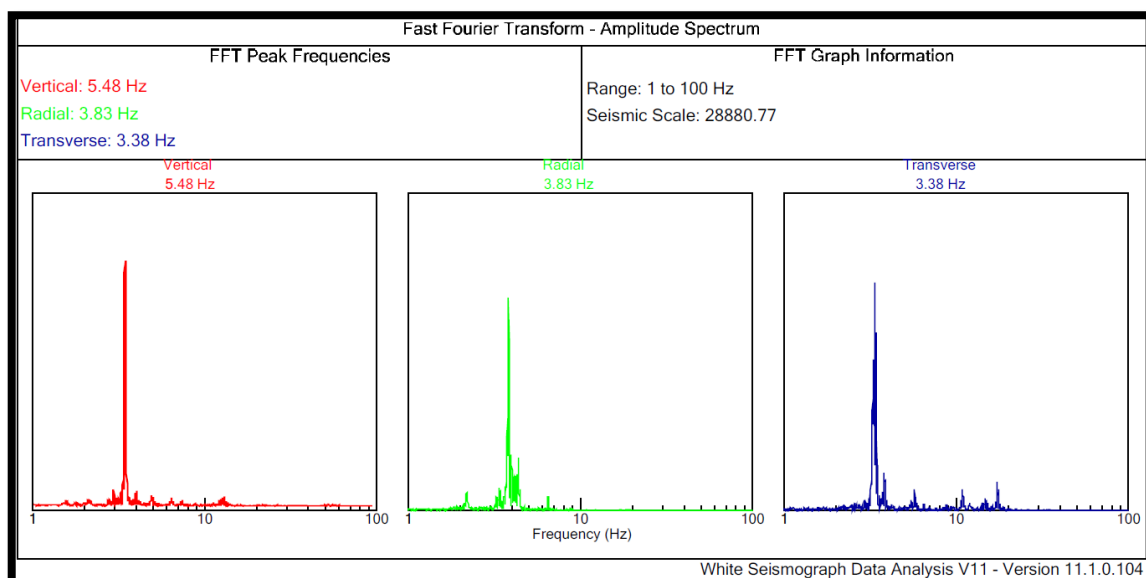


Figura A.2.2.2. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 21, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

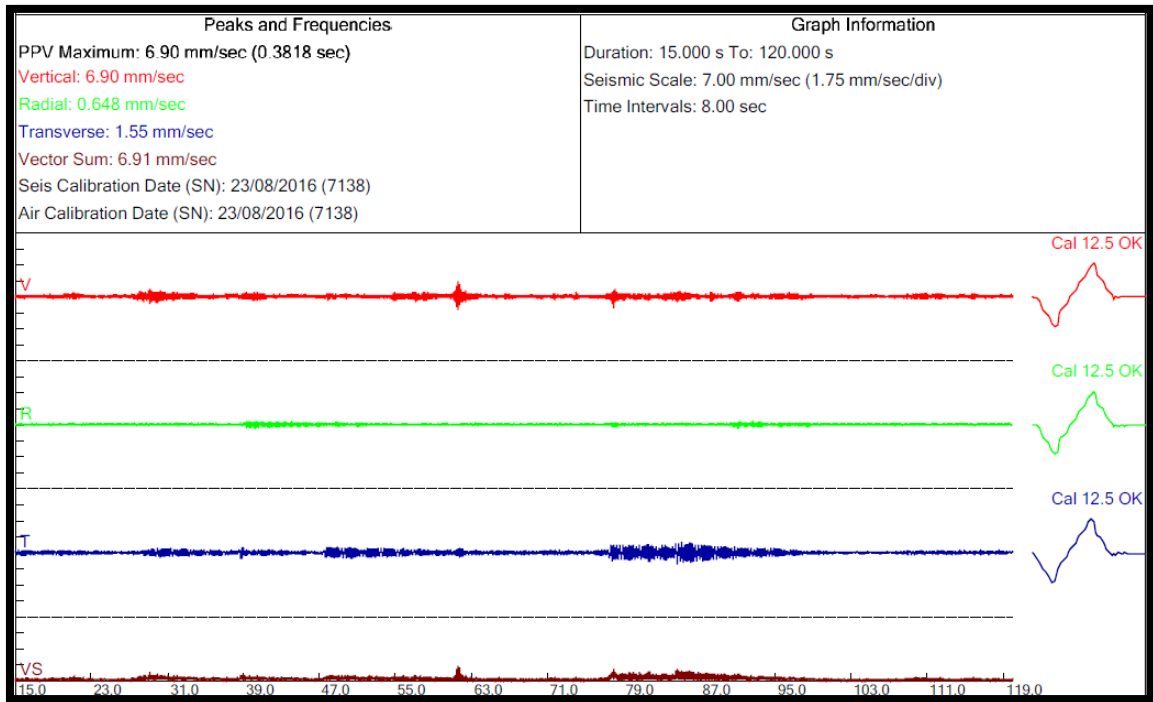


Figura A.2.2.3. Señales temporales de vibración, punto 22, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

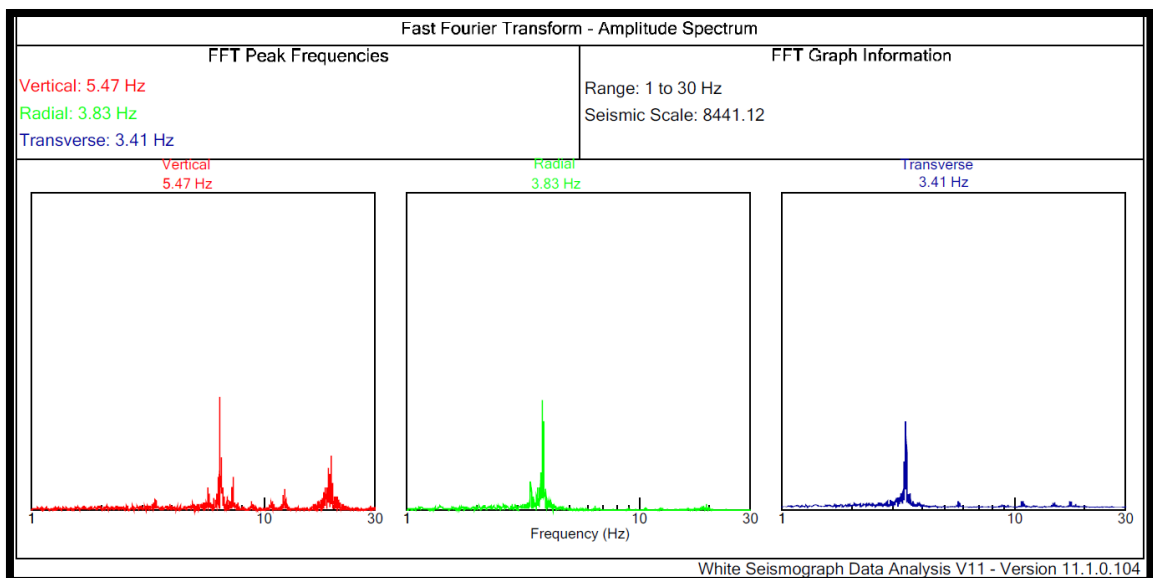


Figura A.2.2.4. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 22, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

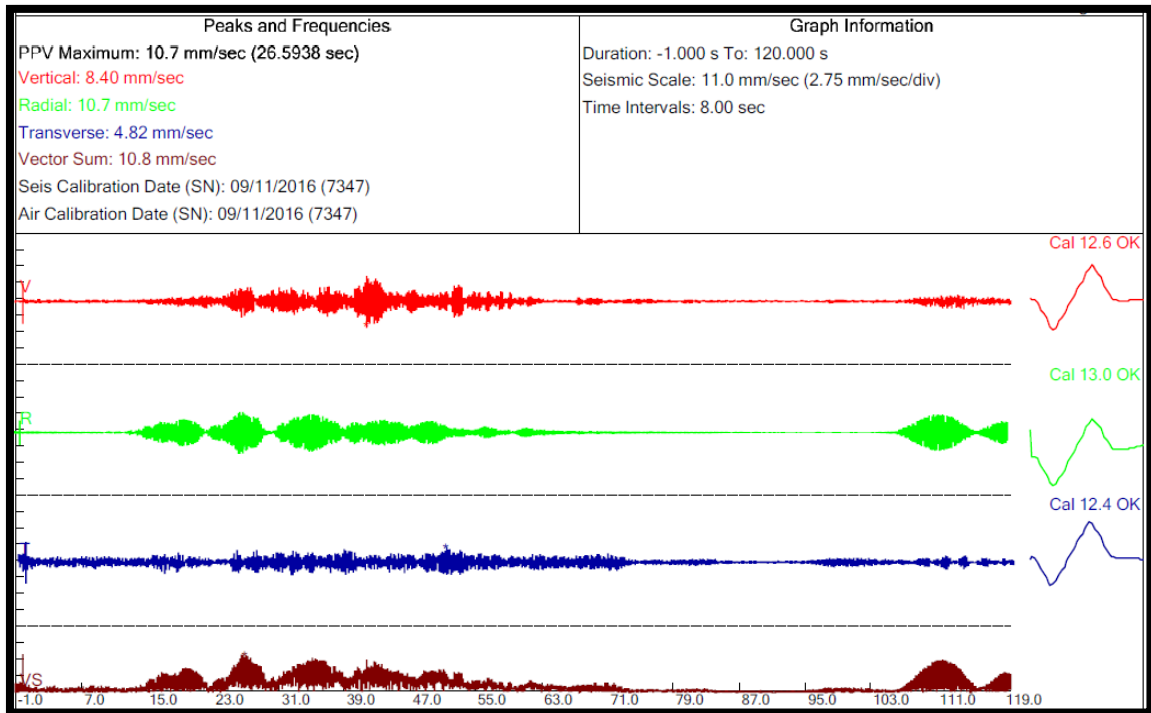


Figura A.2.2.5. Señales temporales de vibración, punto 23, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

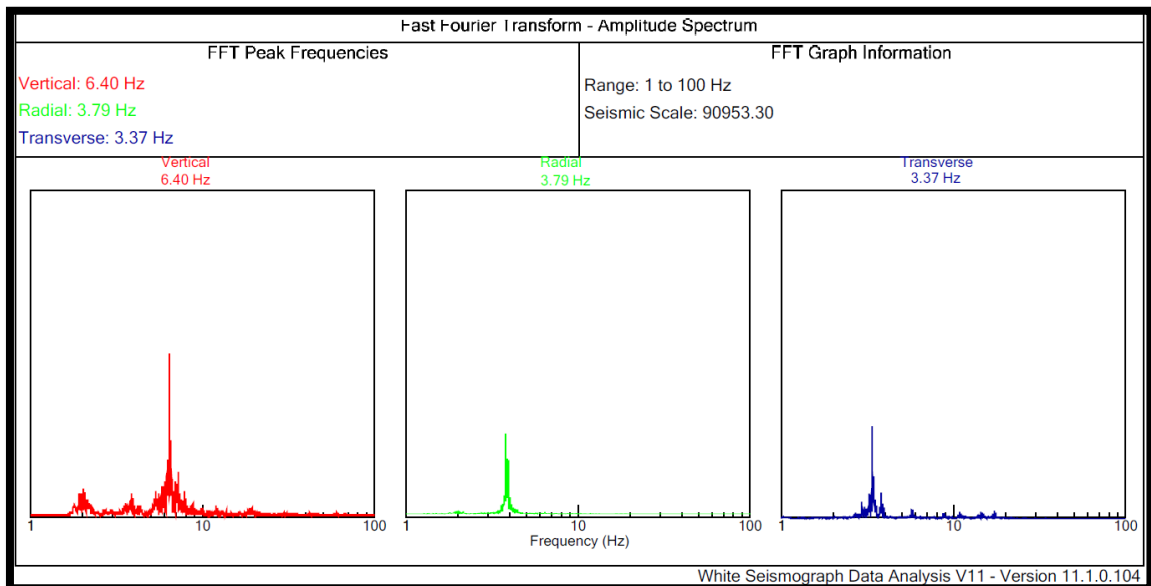


Figura A.2.2.6. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 23, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

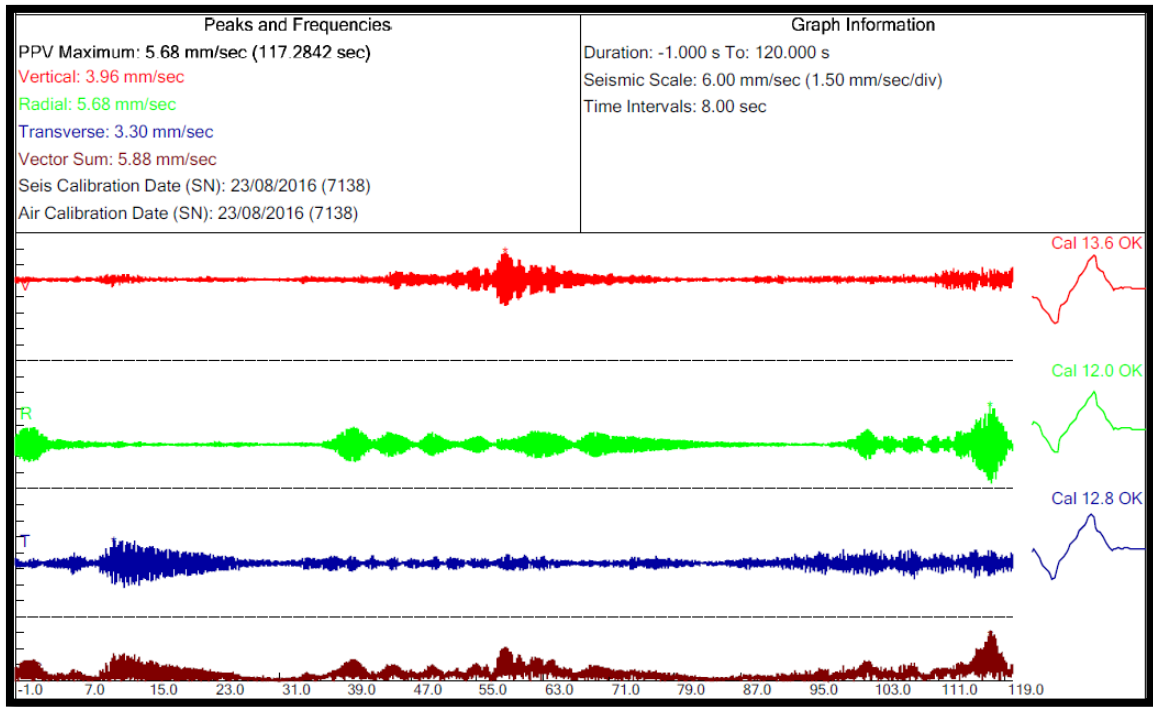


Figura A.2.2.7. Señales temporales de vibración, punto 24, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

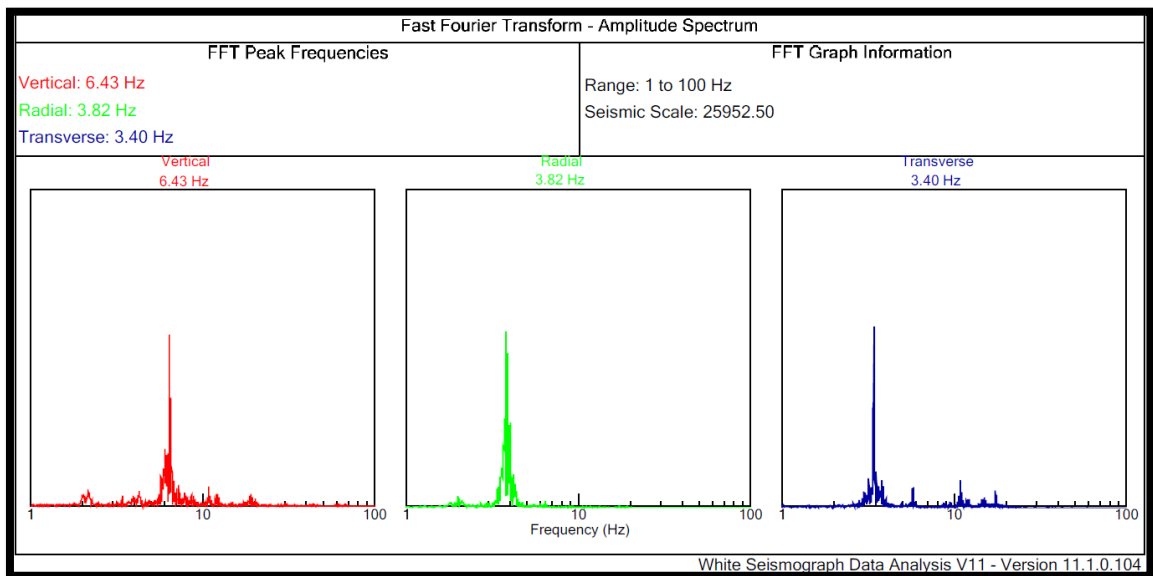


Figura A.2.2.8. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 24, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

### A.2.3. Ensayo de vibración forzada – 10 personas

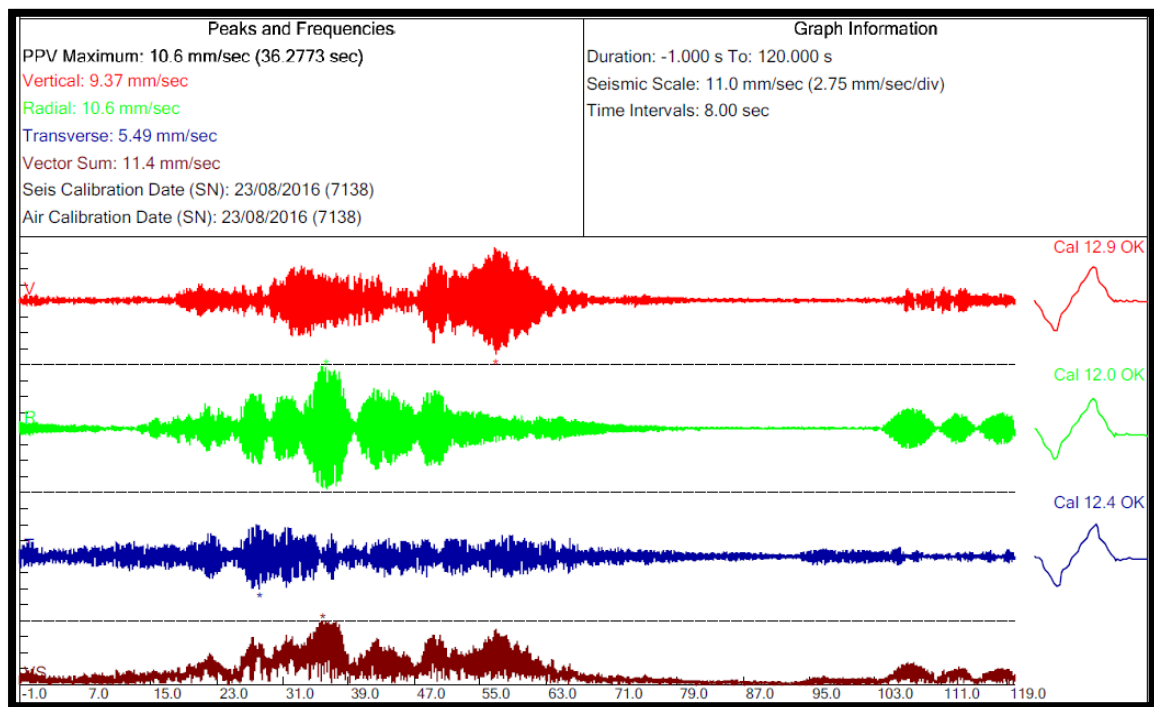


Figura A.2.3.1. Señales temporales de vibración, punto 25, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

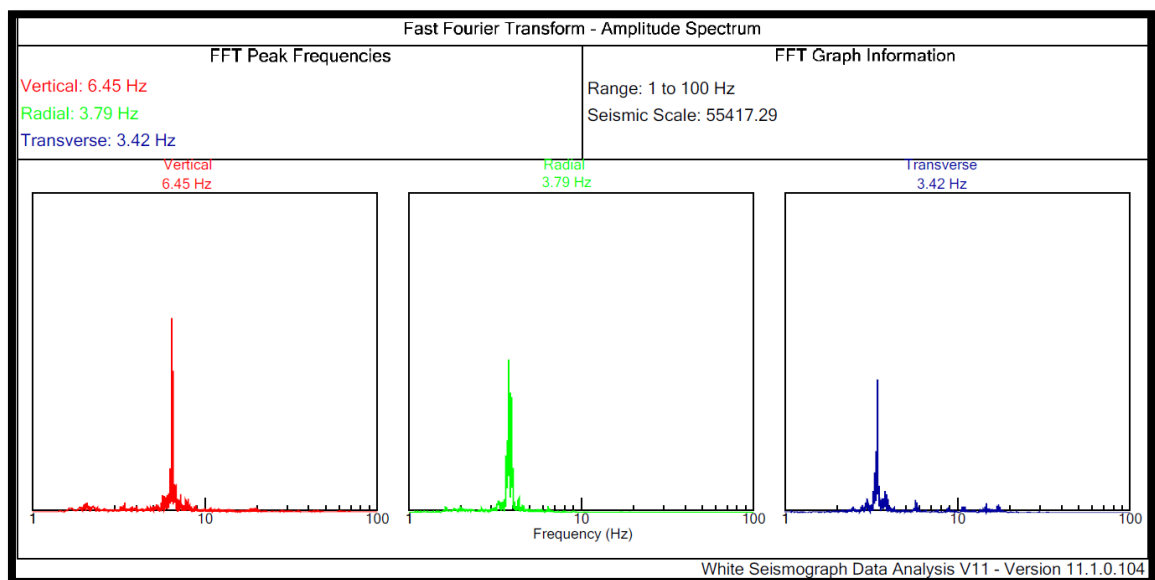


Figura A.2.3.2. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 25, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)



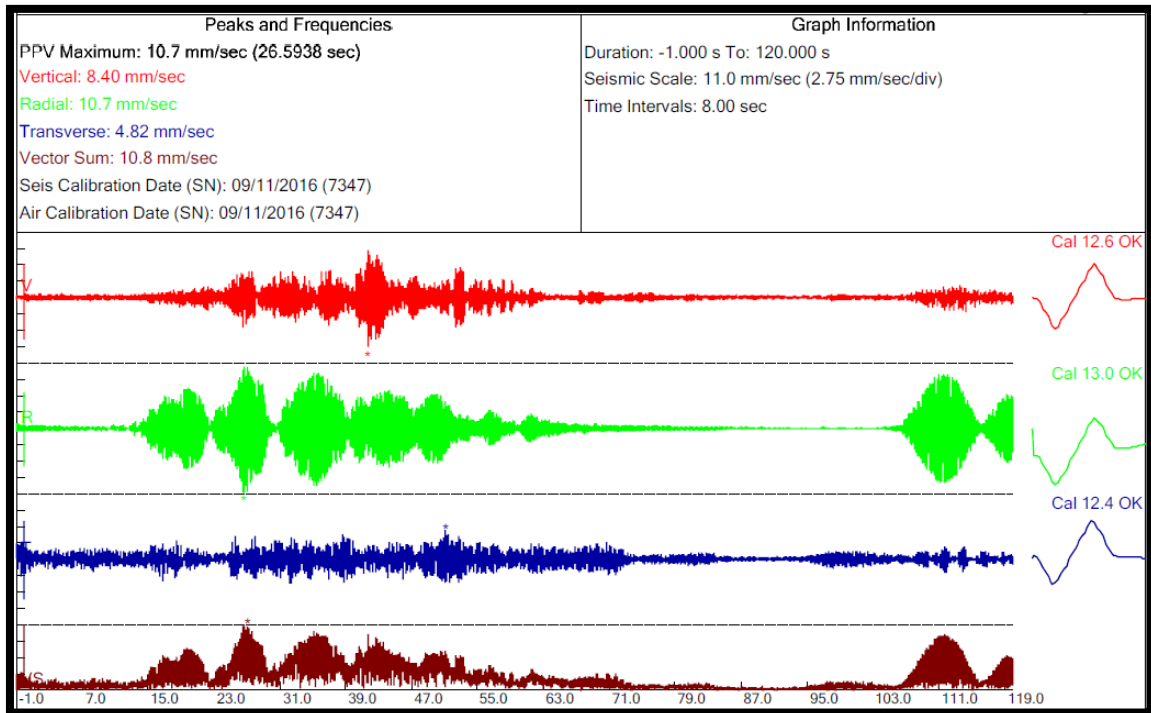


Figura A.2.3.3. Señales temporales de vibración, punto 26, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

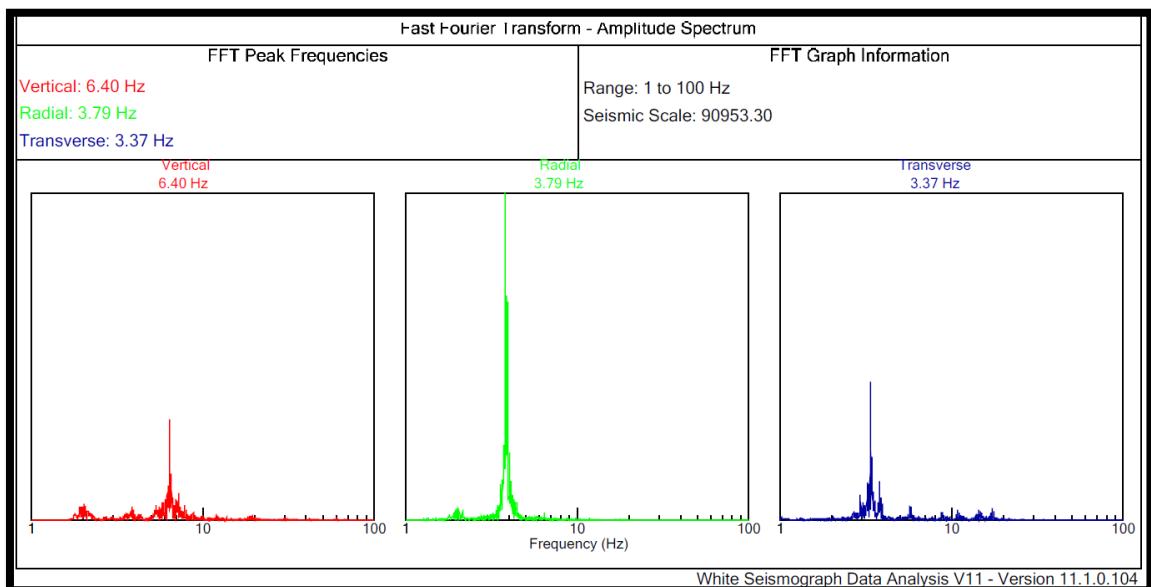


Figura A.2.3.4. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 26, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

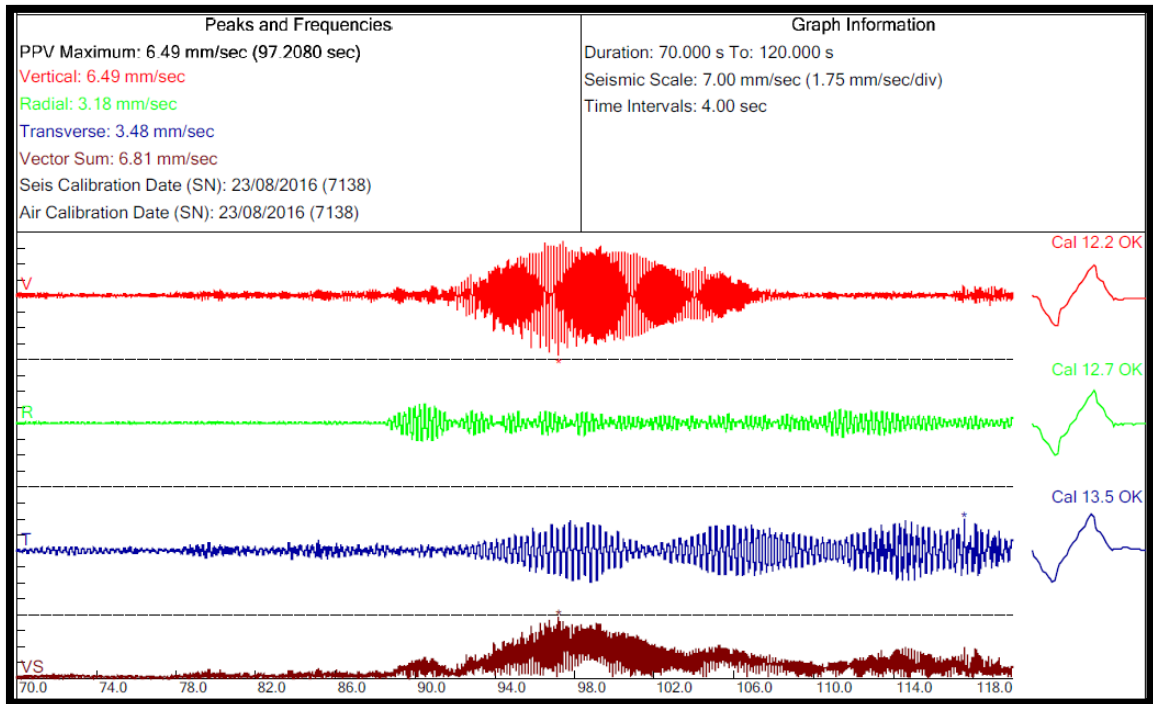


Figura A.2.3.5. Señales temporales de vibración, punto 27, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

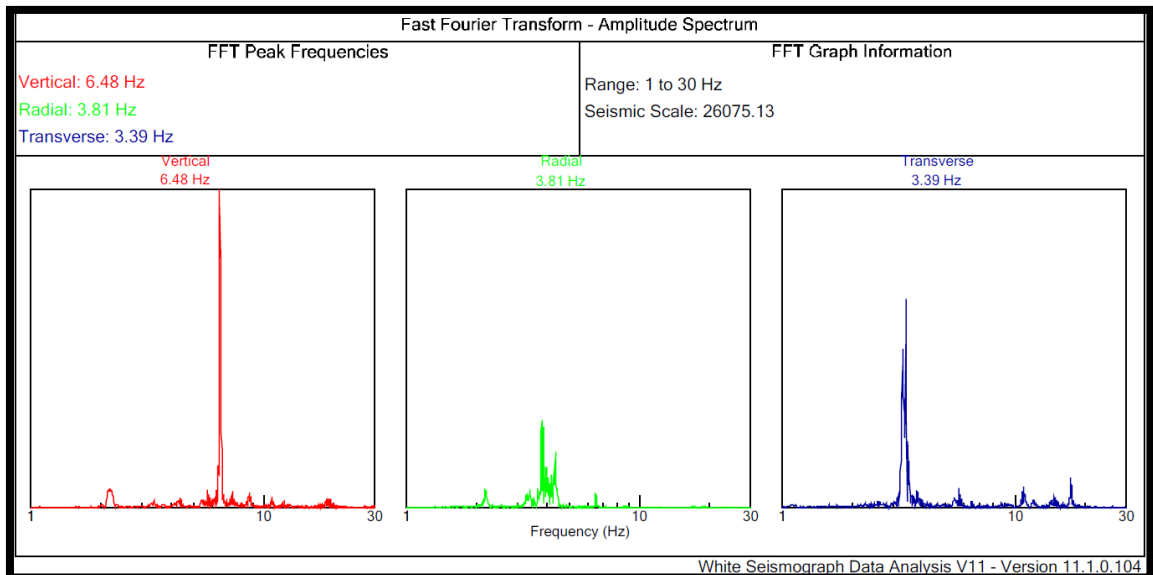


Figura A.2.3.6. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 27, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

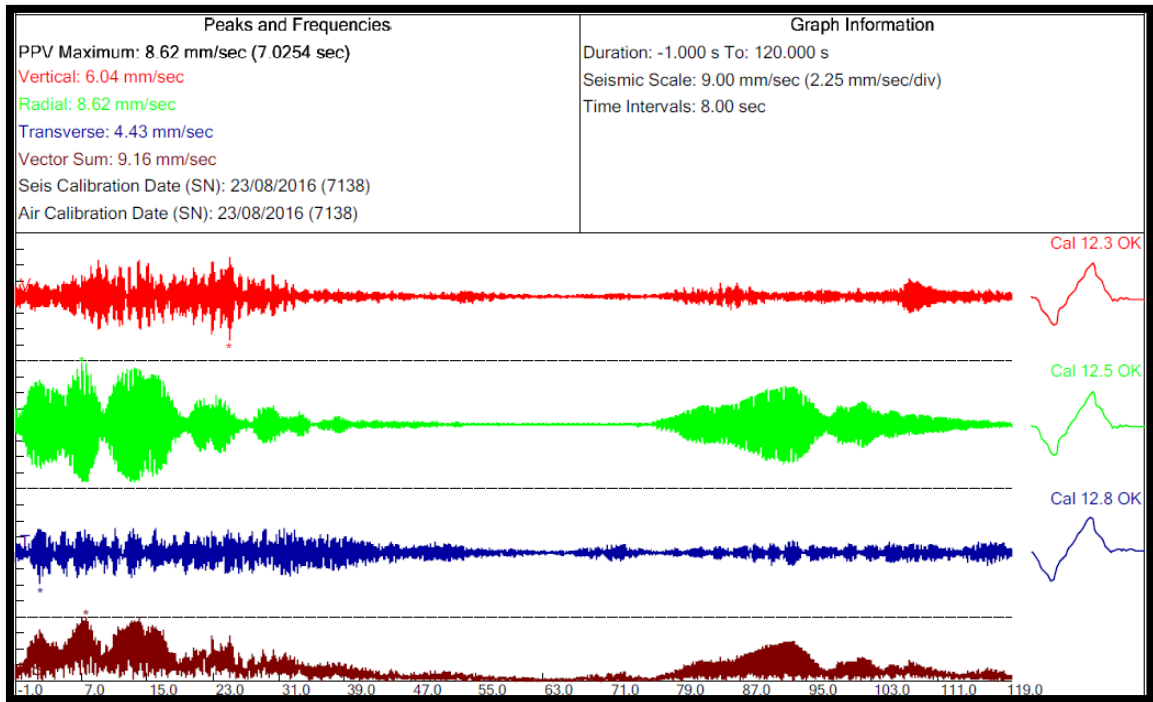


Figura A.2.3.7. Señales temporales de vibración, punto 28, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

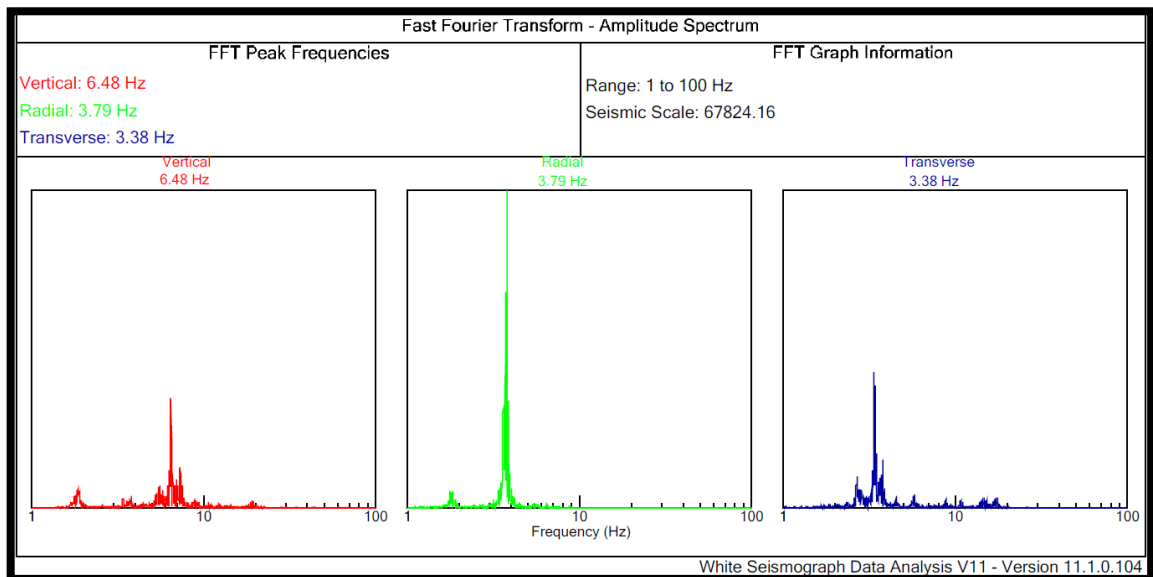


Figura A.2.3.8. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 28, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

## A.2.4. Ensayo de vibración forzada – flujo continuo de peatones

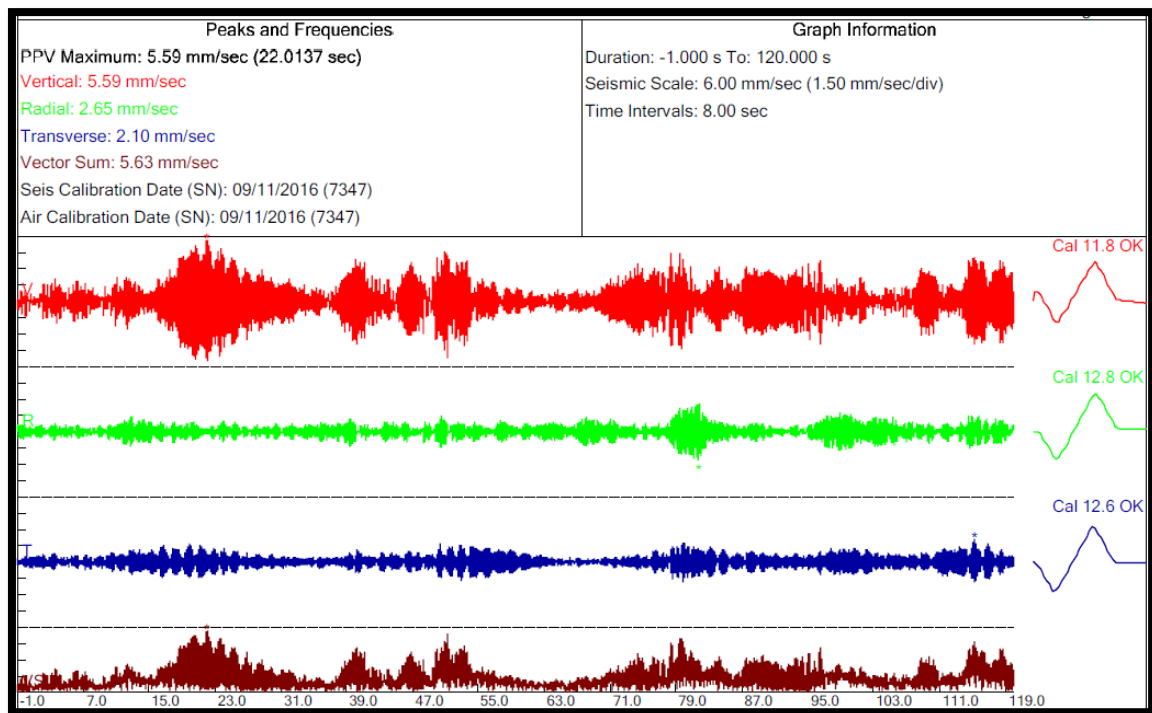


Figura A.2.4.1. Señales temporales de vibración, punto 29, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

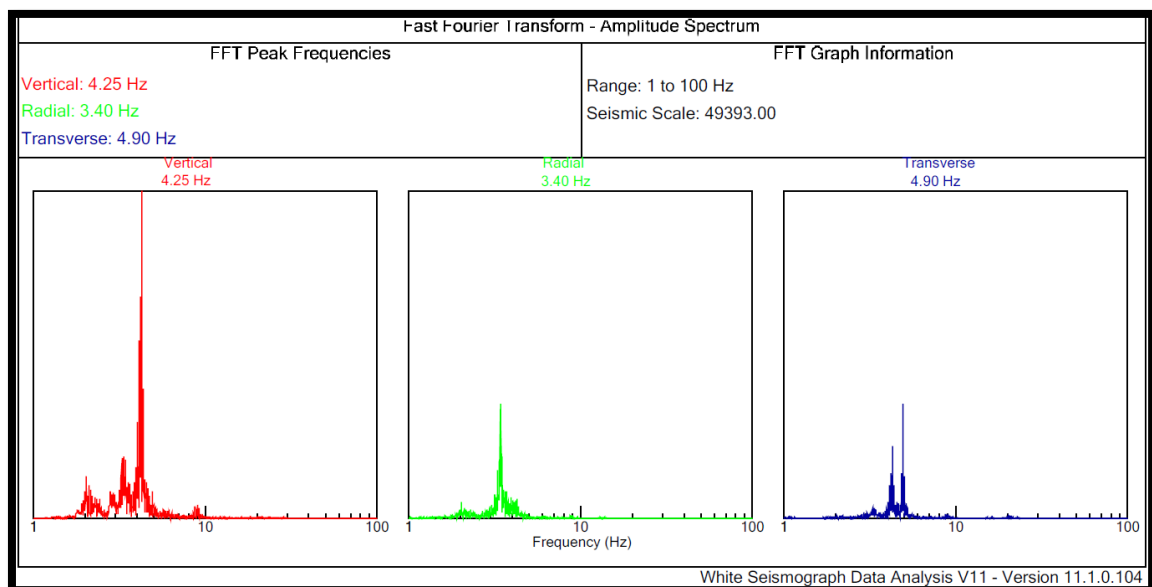


Figura A.2.4.2. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 29, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

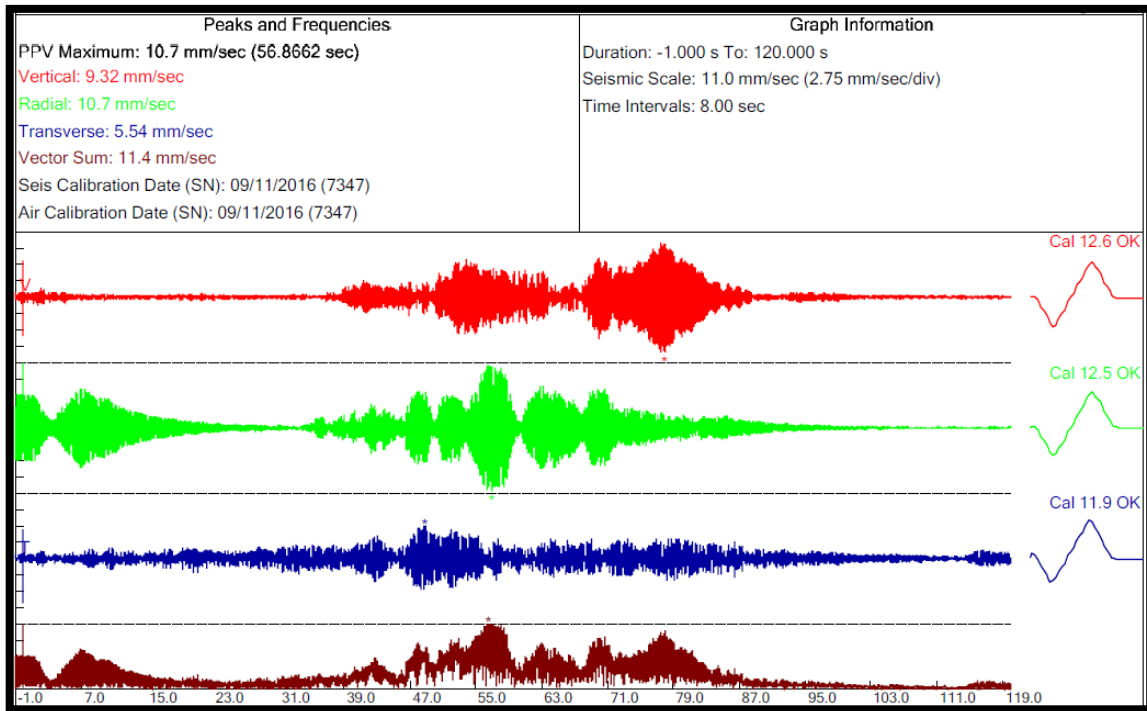


Figura A.2.4.3. Señales temporales de vibración, punto 30, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

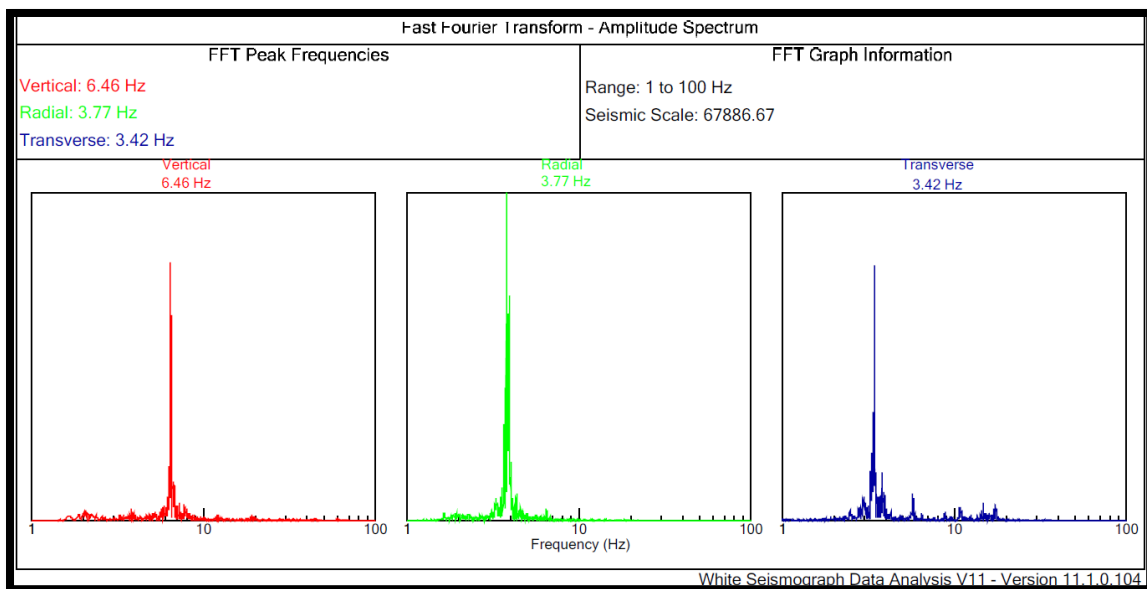


Figura A.2.4.4. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 30, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

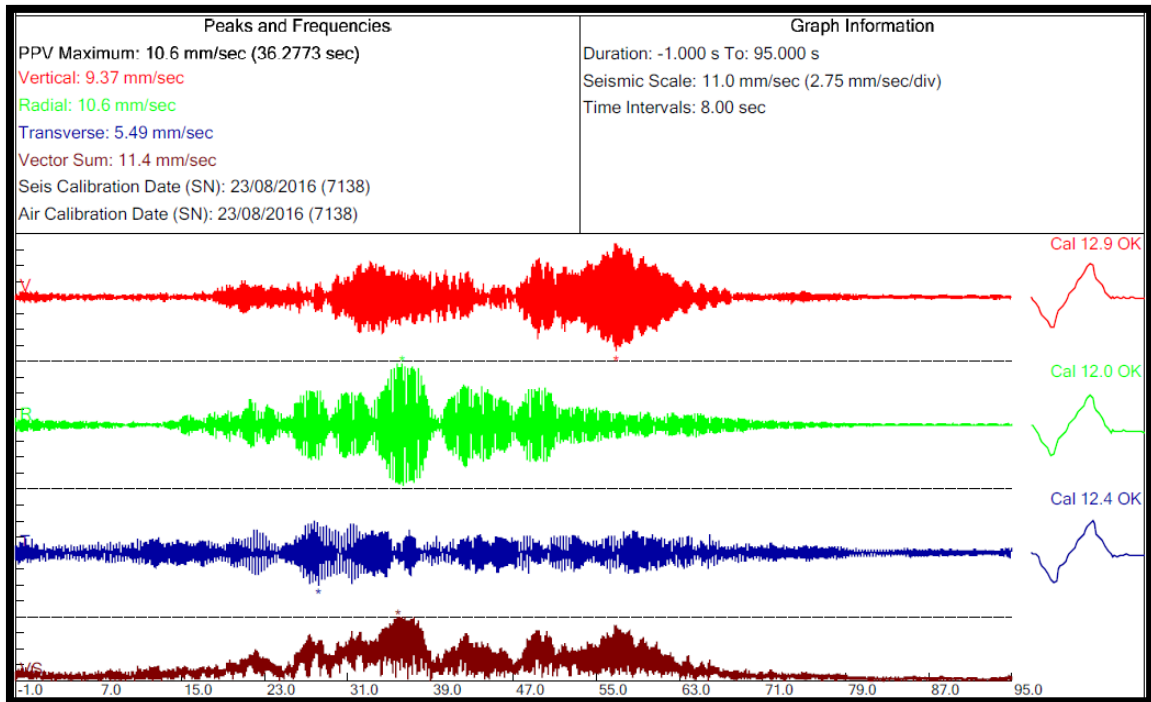


Figura A.2.4.5. Señales temporales de vibración, punto 31, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

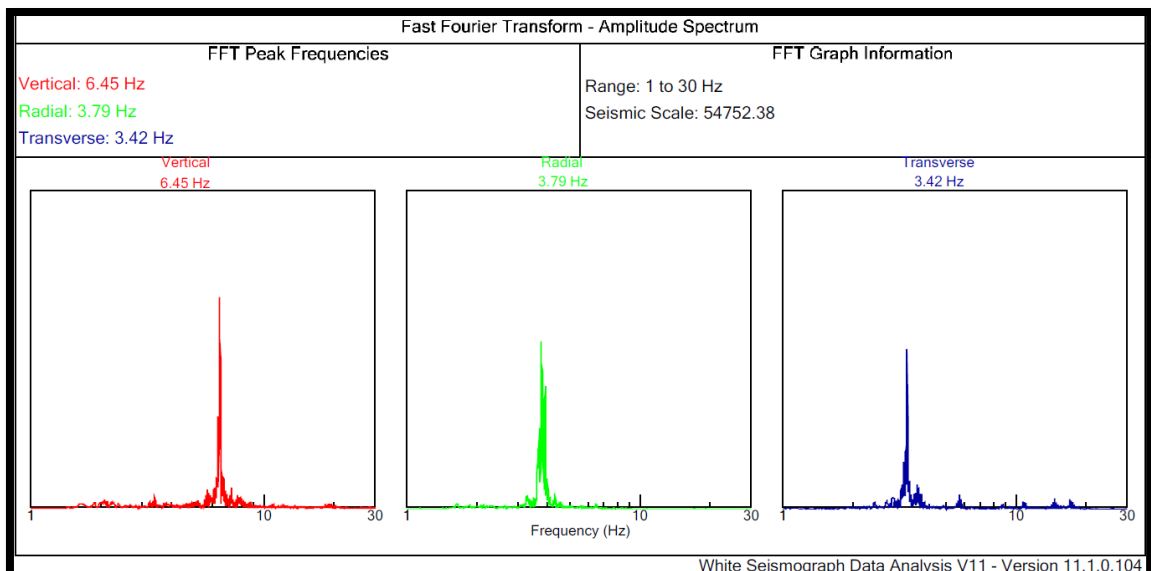


Figura A.2.4.6. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 31, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

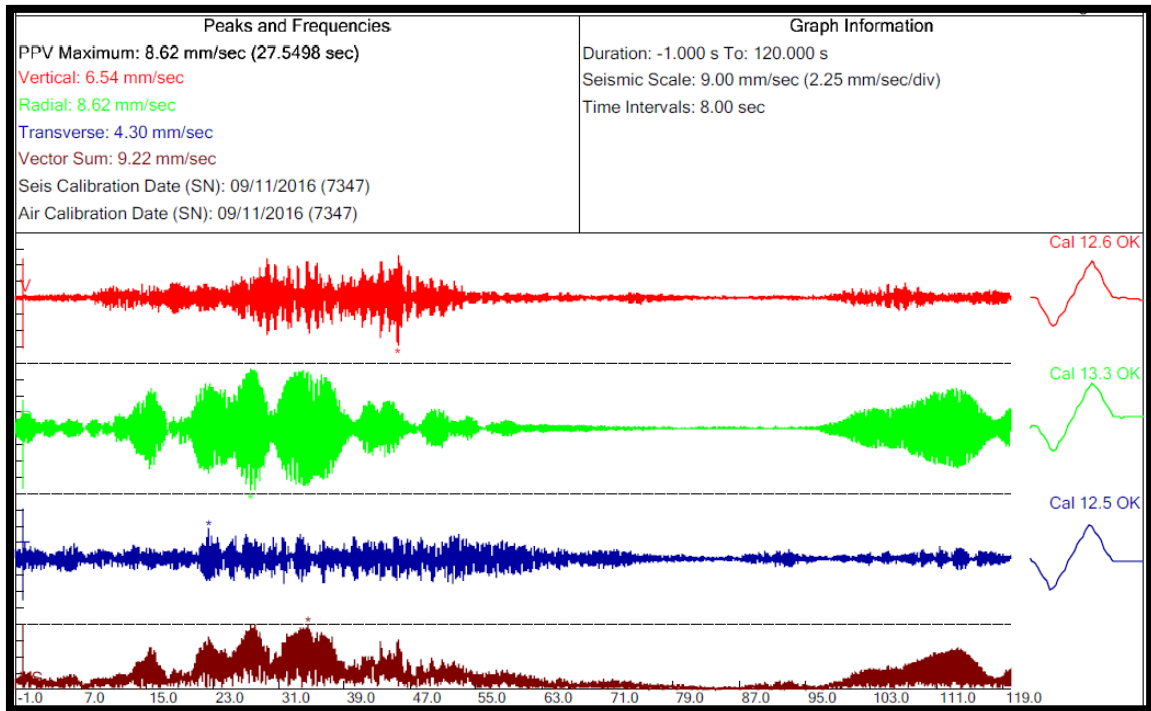


Figura A.2.4.7. Señales temporales de vibración, punto 32, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

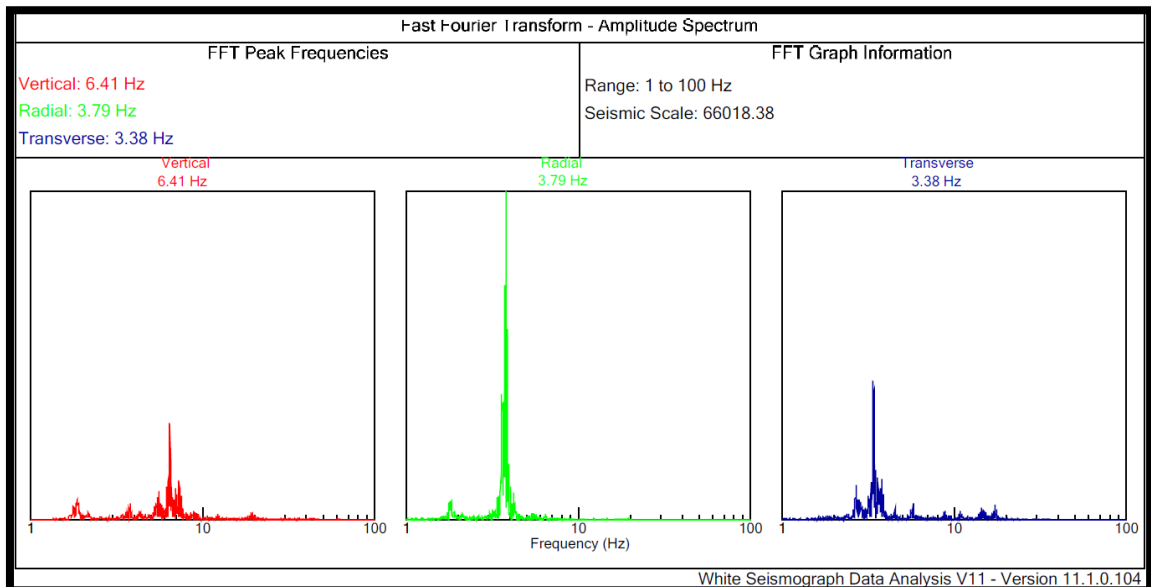


Figura A.2.4.8. Espectro de frecuencias de Fourier, punto 32, del puente peatonal Pro Lima componente vertical (rojo) y transversal (azul)

**B.1. Resumen de datos para el diseño de los puentes peatonales  
(materiales, cargas)**

**B.1.1. Puente peatonal Independencia:**

Tabla B.1. Resumen de datos para el diseño.

<b>Section Text</b>	<b>ObjectType Text</b>	<b>NumPieces Unitless</b>	<b>TotalLength</b>	<b>TotalWeight Kgf</b>
C 60x60	Frame	3	15	12960
TRAPECIO	Frame	24	28.56	49351.68
VIGA	Frame	60	22.0347	14807.32
LOSA PUENTE	Area			23728.32
LOSA ESCA...	Area			20941.78



## C.1. Matriz de consistencia

FORMULACION DEL PROBLEMA	HIPOTESIS	OBJETIVOS	VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	METODOLOGIA
<b>PROBLEMA GENERAL:</b>	<b>HIPOTESIS GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>VARIABLE 1: RESPUESTA DINAMICA</b>		<b>TIPO DE INVESTIGACION</b> experimental  <b>DISEÑO DE INVESTIGACION</b> de corte transversal  <b>NIVEL DE INVESTIGACION</b> correlacional  <b>POBLACION</b> 11 puentes peatonales  <b>MUESTRA</b> 2 puentes peatonales  <b>TECNICA</b> modelado en software de elementos finitos  <b>INSTRUMENTO</b> medicion de vibraciones con el equipo portatil de adquisicion de datos
1. ¿Son los puentes peatonales de la Panamericana Norte entre el KM 19+000 - KM 25+500 en lima susceptibles a problemas de vibración por carga peatonal?	1. Los puentes peatonales ubicados en la panamericana norte entre los KM 19+000 - KM 25+500 en lima presentan problemas de vibración ante carga peatonal.	1. Evaluación del comportamiento vibratorio de puentes peatonales en la panamericana norte entre los km 19+000 - km 25+500	<b>DIMENCIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	
			movimiento vertical	aceleracion vertical	
				periodo vertical	
			movimiento lateral	aceleracion lateral	
periodo lateral					
<b>PROBLEMA ESPECIFICO</b>	<b>HIPOTESIS ESPECIFICA</b>	<b>OBJETIVO ESPECIFICO</b>	<b>VARIABLE 2: CARGA PEATONAL</b>		
1. ¿Son las frecuencias de vibración de los puentes peatonales ubicados en la Panamericana Norte entre los km 19+000 y el km 25+500 en Lima mayores a los valores permitidos según normas internacionales?  2. ¿son las aceleraciones de vibración de los puentes peatonales de la Panamericana Norte entre el km 19+000 y el km 25+500 en Lima menores a los valores límites permitidos según normas internacionales?  3. ¿Cuál sería la solución a problemas vibracionales en puentes peatonales de la Panamericana Norte entre el km 19+000 y el km 25+500 en Lima?	1. las frecuencias de vibracion de los puentes peatonales ubicados en la panamericana norte entre el km 19+000 y el km 25+500 en lima son menores a los valores permitidos según normas internacionales.  2. las aceleraciones de vibracion de los puentes peatonales ubicados en la panamericana norte entre el km 19+000 y el 25+500 en lima son menores a los valores permitidos según normas internacionales.  3. la solucion a problemas vibracionales en puentes peatonales de la panamericana norte entre el km 19+000 y el km 25+500 en lima, seria aumentar la rigidez de la loza.	1. evaluar las frecuencias de la estructura de puentes peatonales y hacer una comparacion con las frecuencias establecidas por normas internacionales.  2. evaluar las aceleraciones de la estructura de puentes peatonales y hacer una comparacion con las aceleraciones establecidas por normas internacionales.  3. incrementar la rigidez de la losa del puente para reducir o eliminar problemas de vibracion	<b>DIMENCIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	
			carga de un peaton	peso de un peaton	
				frecuencia de la fuerza vertical de la pisada	
				aceleracion de la fuerza vertical de la pisada	
			carga periodica de grupos y multitudes	peso de 10 peatones	
				frecuencia de la fuerza lateral de la pisada	
fuerza periodica de una persona					
cargas vandalicas	peso de flujo de peatones				
	frecuencia de la fuerza lateral de la pisada				
	fuerza periodica de flujo de personas				

## E.1. Certificación de calibración



### CALIBRATION CERTIFICATION

I certify that all seismic and acoustic components of this instrument were calibrated on a shake table at the listed input level and frequencies. The results are within the International Society of Explosives Engineers (ISEE) Performance Specifications for Blasting Seismographs.

Model: MS III 10 IPS

Serial No.: 7347

Transducer No.: 7347

Microphone No.: 7347

#### Seismograph Response

Input Level	2 Hertz	3 Hertz	10 Hertz	30 Hertz
1.00 ips Vertical	<u>0.89</u>	<u>0.98</u>	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>
1.00 ips Radial	<u>0.90</u>	<u>0.98</u>	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>
1.00 ips Transverse	<u>0.91</u>	<u>0.98</u>	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>
1.40 Mb Acoustic	<u>1.01</u>	<u>1.22</u>	<u>1.41</u>	<u>1.40</u>

Date: Nov 09, 2016

Signed: \_\_\_\_\_

## ACTA DE APROBACION DE ORIGINALIDAD DE LOS TRABAJOS ACADÉMICOS DE LA UCV

Yo, **Delgado Ramírez, Félix Germán**, docente de la experiencia curricular de Desarrollo de Proyecto de Investigación, del ciclo X y revisor del trabajo académico titulado **“Evaluación analítica de vibraciones en puentes peatonales debido a carga peatonal, caso puentes de la Panamericana Norte km19+000- km25+500 lima”** del estudiante Ccaso Palma, Noel, he sido capacitado e instruido en el uso de la herramienta Turnitin y he constatado lo siguiente:

Que el citado trabajo académico tiene un índice de similitud de 22%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, grado de coincidencia mínimo que convierte el trabajo en aceptable y no constituye plagio, en tanto cumple con todas las normas del uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

Lima, 01 de diciembre del 2017



---

**Mg. Delgado Ramírez, Félix German**

Desarrollo de Proyecto de Investigación  
DNI N°22264222



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Evaluación analítica de vibraciones en puentes peatonales debido a carga peatonal, caso puentes de la Panamericana Norte km19+000- km25+500 lima

TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

AUTOR:

Ccaso Palma, Noel

ASESOR:

Mg. Delgado Ramirez felix

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:



- Feedback Studio
- Turnitin
- 22
- Download
- Info

Todas las fuentes	
Coincidencia 1 de 30	
cybertesis.uni.edu.pe Fuente de Internet: 3 URL	14 %
www.scribd.com Fuente de Internet: 24 URL	7 %
repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet: 170 URL	4 %
bibliotecadigital.univall... Fuente de Internet: 11 URL	3 %
docplayer.es Fuente de Internet: 12 URL	3 %
documents.mx Fuente de Internet: 18 URL	2 %
es.scribd.com Fuente de Internet: 15 URL	2 %
www.slideshare.net Fuente de Internet: 23 URL	2 %
Entregado a Pontificia ... Trabajos del estudiante: 06 trabajos	1 %
es.slideshare.net Fuente de Internet: 6 URL	1 %
www.coursehero.com Fuente de Internet: 2 URL	1 %
Entregado a Carlos Tes... Trabajos del estudiante: 17 trabajos	1 %
Entregado a Universida...	1 %



FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LAS TESIS

1. DATOS PERSONALES

Apellidos y Nombres: (solo los datos del que autoriza)

CCASO PALMA NOEL
D.N.I. : 46036421
Domicilio : CALLE STA. ANGELICA N° 10 HT 9 - SMP - LIMA
Teléfono : Fijo : Móvil : 967234609
E-mail : NoelPalma29@gmail.com

2. IDENTIFICACIÓN DE LA TESIS

Modalidad:

[ ] Tesis de Pregrado

Facultad : INGENIERIA
Escuela : INGENIERIA CIVIL
Carrera : INGENIERIA CIVIL
Título : INGENIERO CIVIL

[ ] Tesis de Post Grado

[ ] Maestría

[ ] Doctorado

Grado :
Mención :

3. DATOS DE LA TESIS

Autor (es) Apellidos y Nombres:

CCASO PALMA NOEL

Título de la tesis:

EVALUACION ANALITICA DE VIBRACIONES EN PUENTES PEATONALES
DEBIDO A CARGA PEATONAL, CASO PUENTES DE LA PANAMERICANA NORTE
KM 19+000 - KM 25+500 LIMA

Año de publicación : 2018

4. AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN VERSIÓN ELECTRÓNICA:

A través del presente documento, autorizo a la Biblioteca UCV-Lima Norte, a publicar en texto completo mi tesis.

Firma : [Handwritten Signature]

Fecha : 24/08/2018



FORMATO DE SOLICITUD

SOLICITA:

Visto BUENA DE LA TESIS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

NOEL CCASO PALMA con DNI N° 46036421

domiciliado (a) en CALLE STA ANGELICA MZ 10 LT 9 - SMP - LIMA
(Calle / Lote / Mz. /Urb. / Distrito / Provincia / Región)

Ante Ud. Con el debido respeto expongo lo siguiente:

Que en mi condición de alumno de la promoción: 2017 II del programa
identificado con el código de matrícula N° 6700255132 de la Escuela

Profesional de Ingeniería Civil, recorro a su honorable despacho para solicitarle lo siguiente :

SOLICITO EL VISTO BUENO PARA LA PUBLICACION DE MI TESIS.

Por lo expuesto, agradeceré ordenar a quien corresponda se me atienda mi petición por ser de justicia.

Lima..... de ..... de 2018

[Handwritten signature]
(Firma del solicitante)

Documento que adjunto:

- a. ....
b. ....
c. ....
d. ....

Cualquier consulta por favor comunicarse conmigo al:

Teléfono: 967234609
E. mail: noelpalma29@gmail.com

