

ANÁLISIS DE VIBRACIONES LIBRES AMORTIGUADAS CON SMARTPHONE.



Universidad
del Cauca

Autor

JEISSON CAMILO HOYOS OBANDO

UNIVERSIDAD DEL CAUCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

POPAYÁN

2025

ANÁLISIS DE VIBRACIONES LIBRES AMORTIGUADAS CON SMARTPHONE.

Autor

JEISSON CAMILO HOYOS OBANDO

Informe final de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero Civil

Director:

Ing. Andrés Felipe Coral Vargas.

UNIVERSIDAD DEL CAUCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

POPAYÁN

2025

RESUMEN

La presente investigación está orientada a la implementación de una guía de laboratorio de vibraciones libres amortiguadas con smartphone para el laboratorio de estructuras de la Universidad del Cauca. El estudio se centra en análisis de vibraciones libres, utilizando un lector de aceleraciones integrado en los smartphones, el cual se puede utilizar para evaluar o conocer el comportamiento dinámico de las estructuras. Se ensayaron vigas en voladizo y simplemente apoyadas, con materiales de madera de pino y guadua, para el análisis teórico se considera sólo un grado de libertad. Para validar la metodología, se comparan los registros de vibraciones obtenidos en el smartphone con los resultados teóricos y herramientas computacionales como: Video Tracker y SmartVib. Como parte del estudio se desarrolla, una aplicación para la captura y filtrado de datos del acelerómetro del smartphone. Finalmente se desarrolla una guía de laboratorio con el fin de integrar esta práctica experimental a la enseñanza de estructuras. Adicionalmente, se analiza el comportamiento dinámico de un puente en Popayán evaluando si sus frecuencias de vibración cumplen con los parámetros establecidos en la NSR-10.

..

Palabras clave: Vibración libre, Dinámica estructural, Acelerómetros, Grados de libertad

ABSTRACT

The present research is focused on the implementation of a laboratory guide for damped free vibrations using a smartphone in the structural laboratory of the Universidad del Cauca. The study centers on the analysis of free vibrations using an acceleration sensor integrated into smartphones, which can be used to evaluate or understand the dynamic behavior of structures. Cantilever and simply supported beams made of pine wood and guadua were tested, considering only a single degree of freedom for the theoretical analysis. To validate the methodology, the vibration records obtained from the smartphone are compared with theoretical results and computational tools such as Video Tracker and SmartVib. As part of the study, an application is developed for capturing and filtering data from the smartphone's accelerometer. Finally, a laboratory guide is created to integrate this experimental practice into structural engineering education. Additionally, the dynamic behavior of a bridge in Popayan is analyzed to evaluate whether its vibration frequencies comply with the parameters established in the NSR-10.

Keywords: Free vibration, Structural dynamics, Accelerometers, Degrees of freedom.

DEDICATORIA

A Dios, sobre todas las cosas.

A mi madre, quien ha estado a mi lado en cada momento, apoyándome y guiándome en la vida. Le agradezco todo lo que soy y dedico a ella cada batalla que enfrente y supere, porque es su amor el que me da la fortaleza y la esperanza de lograrlo todo.

A mis hermanos, quienes han sido mi consuelo y apoyo moral a lo largo de mi trayectoria universitaria.

También quiero agradecer a mi padrastro, Jairo Berruecos, quien ha sido una parte fundamental en mi vida. Con sus consejos y su presencia, ha llenado el espacio de un padre, guiándome con sabiduría en los caminos infinitos de la vida.

Por último, mi gratitud infinita a los amigos de la vida, Carlos E. y Norvey M., por su apoyo fraternal y por haber sido una compañía invaluable en este camino.

AGRADECIMIENTOS

A mi director, Andrés Felipe Coral Vargas, por su vocación y paciencia, quien ha sido un guía fundamental en este proceso. Su conocimiento y experiencia han sido clave para alcanzar los objetivos de esta investigación.

A la Universidad del Cauca, por ser mi segundo hogar, brindándome la oportunidad de crecer tanto personal como profesionalmente. También, a todos aquellos profesores que formaron parte de mi aprendizaje, compartiendo no solo sus conocimientos, sino también sus valiosas experiencias de vida. El tiempo transcurrido en esta etapa universitaria ha sido enriquecedor, dejando recuerdos llenos de afecto por los momentos vividos y las amistades que marcaron mi crecimiento personal.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES.....	15
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.2. OBJETIVOS	16
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.3. JUSTIFICACIÓN	17
1.4. ALCANCE	18
1.5. ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO	19
CAPÍTULO 2. MARCO DE REFERENCIA.....	21
2.1. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	21
2.1.1. ANTECEDENTES.....	21
2.1.2. VIBRACIÓN LIBRE.....	22
2.1.3. GRADO DE LIBERTAD	22
2.1.4. VIBRACIÓN LIBRE AMORTIGUADA O VISCOSAMENTE AMORTIGUADA	22
2.1.5. MÉTODOS PARA MEDIR LA RAZÓN DE AMORTIGUAMIENTO	26
2.1.6. CÓMO SE MIDEN LAS ACELERACIONES	28
2.1.7. TRACKER	28
2.1.8. PRECISIÓN DE LECTURA DE SENSOR	29
2.1.9. TRANSFORMADA DE FOURIER.....	30
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA	30
3.1. Fase1: Pruebas y ensayos de laboratorio.....	31
3.2. Fase 2: Análisis y comparación de resultados	34

3.3. Fase 3: Generación guía de laboratorio y App.....	34
3.4. Fase 4: Elaboración informe final.....	34
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
4.1. Rigidez de madera de pino Probeta 1 y 2.	35
4.1.1. Cálculo de Modulo Elasticidad de la madera de pino	37
4.1.2. Comparación Módulo de referencia y experimental.....	38
4.2. Rigidez de la Guadua.....	38
4.2.1. Cálculo de Módulo de Elasticidad.....	39
4.2.2. Comparación Módulo de referencia y Calculado	40
4.3. Desarrollo de la Aplicación SmartVib	41
4.3.1. Funcionalidad de SmartVib.....	41
4.3.2. Datos de entrada	42
4.3.3. Datos de salida.....	42
4.3.4. Aplicación y uso.....	43
4.4. Análisis Dinámico Madera de pino modelo de viga en voladizo	45
4.4.1. Ensayo probeta Uno.	46
4.4.2. Ensayo Probeta dos	47
4.4.3. Pruebas adicionales a la probeta dos.....	50
4.5. Análisis Dinámico Guadua modelo de viga en voladizo	52
4.6. Análisis Dinámico Madera de pino (probeta1) modelo de viga simplemente apoyada.....	54
4.7. Análisis Dinámico Guadua modelo de viga simplemente apoyada	55
4.8. Tasa de muestreo de Acelerómetro de celular.....	57
4.9. Ensayo a puente de bosques de Pomona.....	58
4.9.1. Secciones de los perfiles transversales.....	59

4.9.2. Especificaciones técnicas de la losa de puente.....	59
4.9.3. Comparación de Inercia.....	59
4.9.4. Lecturas con SmartVib	61
4.9.5. Simulación o modelado en SAP 2000 Versión 24	64
4.9.6. Modos de vibración.....	64
4.10. Comparación de costo de un Smartphone vs un Acelerógrafo	66
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	68
CAPÍTULO 6. BIBLIOGRAFÍA	70

Lista de tablas

Tabla 1. Aplicaciones recomendadas para adquirir datos de aceleración con el smartphone.	33
Tabla 2, Lectura de deformación en la probeta de pino 1 y 2.	35
Tabla 3, Valor de Rigidez para cada incremento de carga en la madera de pino.	36
Tabla 4. Dimensiones de la madera de pino 1 y 2	37
Tabla 5. Módulo 1 y 2 de elasticidad de madera de pino	38
Tabla 6. Valor de E de madera de pino y margen de error.	38
Tabla 7. Lectura de deformación a barra de guadua.....	38
Tabla 8. Valor de K para cada incremento en la Guadua.....	39
Tabla 9. Propiedades físicas del material.....	40
Tabla 10. Módulo de elasticidad 1 y 2 de Guadua.	40
Tabla 11, Masa del sistema de probeta 1 y 2.....	45
Tabla 12. Parámetros Dinámicos teóricos sin masa Auxiliar.....	46
Tabla 13. Comparación de Datos trabajados en Excel, con Tracker y SmartVib ..	46
Tabla 14. Parámetros Dinámicos teóricos con masa Auxiliar.....	46
Tabla 15 Comparación de Datos trabajados en Excel, con Tracker y SmartVib ...	47
Tabla 16. Resumen margen de diferencia de ensayo sin masa Aux y con masa Aux.	47

Tabla 17. Parámetros dinámicos sin masa auxiliar	48
Tabla 18. Comparación de Datos trabajados en Excel, con Tracker y SmartVib ..	48
Tabla 19. Parámetros dinámicos con masa auxiliar 1	48
Tabla 20. Comparación de Datos trabajados en Excel, con Tracker y SmartVib ..	48
Tabla 21. Parámetros dinámicos con masa auxiliar 1 y 2	49
Tabla 22. Comparación de Datos trabajados en Excel, con Tracker y SmartVib ..	49
Tabla 23. Margen de diferencia con respecto a los cálculos teóricos de los tres ensayos analizados en la probeta 2.	49
Tabla 24. Resumen comparativo SmartVib y Tracker sin masa auxiliar	50
Tabla 25. Comparación SmartVib y Tracker.....	51
Tabla 26. Resumen comparativo SmartVib y Tracker con masa auxiliar	51
Tabla 27. Comparación SmartVib y Tracker.....	51
Tabla 28. Margen de diferencia SmartVib y Tracker con masa y sin masa auxiliar 1 y 2.	51
Tabla 29. Masa del sistema de guadua.....	52
Tabla 30. Parámetros dinámicos sin masa auxiliar.	52
Tabla 31. Comparación de Datos trabajados en Excel, con Tracker y SmartVib ..	53
Tabla 32. Parámetros dinámicos con masa auxiliar 1.	53
Tabla 33. Comparación de Datos trabajados en Excel, con Tracker y SmartVib ..	53
Tabla 34. Margen de diferencia con respecto a los cálculos teóricos de los ensayos con masa auxiliar y sin masa auxiliar	53
Tabla 35. Masa del sistema de madera de pino.....	54
Tabla 36. Parámetros dinámicos.....	54
Tabla 37. Comparación de Datos trabajados en Excel, con Tracker y SmartVib ..	55
Tabla 38. Margen de diferencia con respecto a los cálculos teóricos	55
Tabla 39. Masa del sistema de madera de pino.....	56
Tabla 40. Parámetros dinámicos.....	56
Tabla 41. Comparación de Datos trabajados en Excel, con Tracker y SmartVib ..	56
Tabla 42. Margen de diferencia con respecto a los cálculos teóricos	57
Tabla 43. Verificación de tasa de muestreo.	57
Tabla 44. Especificación técnica de Metaldeck.....	59

Tabla 45. Inercia de sección transversal en SAP 2000 y calculo teórico.	60
Tabla 46. Propiedades y dimensiones de la sección transversal	60
Tabla 47. Masa total y dinámica.....	61
Tabla 48. Parámetros dinámicos teóricos del puente.....	61
Tabla 49. Masa participativa de puente.....	65
Tabla 50. Tabla comparativa de período y frecuencia con la NSR-10.	66
Tabla 51. Margen de diferencia con los tres métodos de análisis.	66
Tabla 52. Evaluación de costos de acelerómetros y smartphone	67

Lista de Figuras

Figura 1. Vibración libre de sistema subamortiguado, críticamente amortiguado y sobreamortiguado	24
Figura 2. Viga simplemente apoyada	25
Figura 3. Viga en voladizo	26
Figura 4. Montaje de viga en voladizo.....	32
Figura 5, Viga simplemente apoya.	32
Figura 6. Ejes asignados al acelerómetro del smartphone.....	34
Figura 7. Probeta 1 Figura 8. Probeta 2.....	35
Figura 9. Puente peatonal simplemente apoyado.	58

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Solución de ecuación de movimiento.....	23
Ilustración 2. Lecturas del acelerómetro.....	28
Ilustración 3. Frecuencia de puente a partir de transformada de Fourier.	30
Ilustración 4, Viga bajo incrementos de carga.....	36
Ilustración 5. Selección de archivos.	42
Ilustración 6. Interfaz de SmartVib	43
Ilustración 7. Tipo de lectura de acelerómetro.....	44
Ilustración 8. Viga en voladizo madera de pino (Probeta 1)	45

Ilustración 9. Viga en voladizo madera de pino (Probeta 2)	45
Ilustración 10. Viga en voladizo guadua.....	52
Ilustración 11. Viga simplemente apoyada madera de pino	54
Ilustración 12. Viga simplemente apoyada-Guadua.....	55
Ilustración 13. Lectura de vibraciones libres en SmartVib.....	62
Ilustración 14. Modelación de puente bosques de Pomona.	64

Lista de Anexos

Anexo A. Guía de laboratorio	73
Anexo B. App SmartVib.....	79

INTRODUCCIÓN

Las estructuras están constantemente sometidas a fuerzas que alteran su estado inicial, por lo que es crucial entender su comportamiento bajo estas condiciones para asegurar su funcionamiento adecuado. Para analizar estas situaciones, se idealizan las estructuras considerando un sistema de masa concentrada con movimiento en una sola dirección, lo que corresponde a un sistema de un grado de libertad (1GDL). Cuando un sistema 1GDL experimenta vibración libre, se observa un cambio en su condición inicial, ya sea en velocidad o desplazamiento, sin una fuerza externa continua, lo que lleva a la estructura a vibrar hasta que regrese a su estado de equilibrio. Este proceso se da gracias al amortiguamiento, que disipa la energía y permite que la estructura vuelva a reposo.

Los laboratorios de vibración libre juegan un papel crucial en la dinámica experimental, proporcionando una comprensión profunda del comportamiento dinámico de las estructuras. Estos laboratorios se enfocan particularmente en sistemas de 1GDL, donde las vibraciones ocurren en una única dirección. La práctica de laboratorio consiste en un ensayo experimental con una probeta de madera, donde se estudia su comportamiento dinámico frente a una condición inicial aplicada.

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El análisis de la dinámica estructural en vibraciones libres de un grado de libertad (1GDL) presenta una dificultad considerable de comprensión para los estudiantes de ingeniería. Esta complejidad puede dificultar la asimilación de conceptos fundamentales y, por lo tanto, afectar la calidad del aprendizaje. Idealmente, el aprendizaje se facilita cuando los estudiantes se enfrentan a problemas reales que deben resolver (Frau et al., 2023). Sin embargo, la falta de recursos económicos para implementar laboratorios completos de dinámica estructural limita las oportunidades de aprendizaje práctico.

Para superar estas limitaciones, es esencial desarrollar metodologías más prácticas y accesibles. En este contexto, el diseño de experimentos de laboratorio sencillos y de bajo costo, pero con alto valor pedagógico, se presenta como una solución viable. Por lo tanto, el presente proyecto de investigación propone el uso de modelos físicos simples y describe los experimentos desarrollados con ellos, con el objetivo de mejorar la comprensión de los conceptos fundamentales de la dinámica estructural.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

- Análisis y comparación de vibraciones libres con un smartphone, con diferentes métodos y modelos.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparación de las vibraciones registradas en el celular con respecto a las teóricas y por análisis de movimiento en video.
- Generar una guía de laboratorio.
- Elaborar un programa de lectura y filtrado de datos obtenidos del acelerómetro del smartphone.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Los ingenieros y estudiantes de hoy en día tienen la ventaja de contar con dispositivos móviles que les permiten medir vibraciones libres de sistemas o modelos estructurales, a través de aplicaciones como acelerómetros. Esta accesibilidad no solo facilita la recolección de datos en tiempo real, sino que también enriquece la experiencia de aprendizaje al combinar la teoría con la práctica. Sin embargo, en la facultad existe una limitación significativa: la falta de un laboratorio de dinámica en el laboratorio de estructuras. Esta carencia impide que las bases teóricas vistas en clase, se pongan a prueba o se evalúe su veracidad, lo que dificulta la comprensión de los efectos dinámicos para estudiantes o ingenieros profesionales.

Observar en tiempo real los efectos y comportamientos de una estructura sometida a excitación, y obtener simultáneamente datos prácticos sobre lo que está sucediendo, proporciona herramientas esenciales para realizar investigaciones. Esto permite adquirir un conocimiento más completo en áreas como ingeniería sísmica y análisis estructural. Por lo tanto, se busca elaborar un ensayo o guía de laboratorio que implemente un conocimiento ya establecido en la práctica, con el propósito de crear un recurso que beneficie a futuros estudiantes y mejore su comprensión de la dinámica estructural.

1.4. ALCANCE

El proyecto se enfoca en el desarrollo de una guía práctica de laboratorio destinada para complementar el curso de estructuras y/o Dinámica estructural en la Universidad del Cauca. Dentro de este alcance, se incluye la creación de una aplicación en Matlab que facilitará la lectura y el filtrado de las aceleraciones registradas por el acelerómetro del smartphone durante los experimentos.

El estudio solo se restringe al análisis de dos modelos estructurales específicos, una viga simplemente apoyada y viga en voladizo. No obstante, la guía práctica se enfocará exclusivamente en el análisis de la viga en voladizo, excluyendo otros modelos estructurales que existen.

1.5. ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO

Capítulo 1: Generalidades

En este capítulo se presenta la visión general del informe, proporcionando el contexto del tema y destacando la relevancia de la investigación. Se presentan los objetivos generales y objetivos específicos de la investigación, así como su justificación. Se plantea la problemática y la viable solución de una práctica de laboratorio. Finalmente, se presenta el alcance del estudio.

Capítulo 2: Marco de referencia

Este capítulo se realiza la revisión literaria existente, abordando las contribuciones de diversos autores relacionados con el tema del informe. Se resaltan el uso de las herramientas computacionales y la precisión de las lecturas que toman los acelerómetros.

Capítulo 3: Metodología

En este capítulo se detalla la metodología empleada en la investigación, describiendo cada etapa del proceso. Se explica el procedimiento del ensayo, la adquisición de datos y su posterior análisis. Además, se aborda la elaboración de la guía de laboratorio, la cual se incluye como anexo, proporcionando un recurso estructurado para replicar la práctica experimental.

Capítulo 4: Resultados y discusión

Se presentan la descripción al detalle de los hallazgos, la identificación de los factores de error de la toma de datos, el desarrollo de una app (SmartVib) para la lectura confiable de las aceleraciones del sistema de análisis y la comparación de Video Tracker con la app (SmartVib).

Capítulo 5: Conclusiones y trabajos futuros

Este capítulo presenta las conclusiones del estudio práctico, destacando los resultados más relevantes y su contribución al desarrollo de la investigación. Se analizan los hallazgos en relación con las cuestiones planteadas en el primer capítulo, reflexionando sobre su impacto y significado.

Asimismo, se proponen líneas de investigación futura, formulando nuevas preguntas y sugiriendo enfoques que podrían enriquecer el estudio. Se invita a futuros investigadores a considerar estas propuestas como punto de partida para continuar explorando la temática, fortaleciendo tanto la base teórica como la práctica en esta área del conocimiento.

CAPÍTULO 2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1.1. ANTECEDENTES

Las guías de laboratorio son herramientas esenciales en la enseñanza y la práctica experimental, ya que facilitan la comprensión de los experimentos por parte de estudiantes y profesionales. En los últimos años, diversas instituciones académicas y de investigación han desarrollado guías de laboratorio para mejorar la comprensión y asegurar la repetibilidad de los experimentos, además de facilitar la adquisición de habilidades prácticas.

Un ejemplo de estos avances es el trabajo realizado por la Academia de la Universidad del Valle (Cerón & Vargas, 2023), donde se estudió el movimiento dinámico de vibración libre amortiguada mediante ensayos de laboratorio, utilizando probetas de guadua y software. En estos estudios, se analizó un sistema de un grado de libertad (1GDL) bajo diferentes condiciones iniciales de desplazamiento o velocidad. La conclusión del estudio indica que el análisis de las propiedades dinámicas y físicas de un sistema permite determinar parámetros específicos con precisión, sugiriendo que los ensayos de vibración libre en estructuras pueden reducir la incertidumbre de datos sin la necesidad de realizar pruebas destructivas. Además, se destaca la utilidad de aplicaciones móviles para medir aceleraciones de manera práctica y económica.

Otro ejemplo es el trabajo presentado por la Regional Mendoza de la Universidad Tecnológica Nacional, donde se analiza un modelo físico para la comprensión de conceptos de dinámica estructural, especialmente en ingeniería sísmica. Este modelo consiste en un marco metálico al que se le aplican acciones horizontales, y se utilizan acelerómetros de smartphones para medir las propiedades dinámicas. La conclusión del estudio destaca que estos modelos y experimentos son de fácil ejecución y bajo costo, lo que permite su replicación por parte de cualquier equipo docente interesado en mejorar la comprensión de los estudiantes en estos temas (Frau et al., 2023).

Finalmente, la Universidad Católica de Colombia presentó una investigación sobre el uso de acelerómetros de smartphones para medir la frecuencia de oscilación y amplitud de un péndulo simple, comparándolos con un acelerómetro de laboratorio, como el sensor PASCO CI-6742. Los resultados sugieren la necesidad de mejorar el arreglo experimental para obtener mediciones más precisas, aunque se enfatiza que los acelerómetros de smartphones ofrecen lecturas confiables (Monroy Sánchez, 2023).

2.1.2. VIBRACIÓN LIBRE

En el estudio de la dinámica de estructuras, la vibración libre se define como el movimiento oscilatorio que ocurre cuando una estructura es desplazada de su posición de equilibrio estático y luego se le permite vibrar sin la influencia de fuerzas externas continuas. Esta vibración se produce debido a las propiedades intrínsecas del sistema, como su masa y rigidez, y no por excitaciones externas (CHOPRA, 2014).

2.1.3. GRADO DE LIBERTAD

Un grado de libertad (GDL) en ingeniería se refiere a la cantidad de variables independientes necesarias para describir completamente el movimiento o la deformación de un sistema o estructura. Es decir, representa el número mínimo de coordenadas requeridas para definir la posición de un sistema en el espacio. En el análisis estructural, cada GDL corresponde a un posible movimiento independiente, ya sea de traslación o rotación, de una estructura o de uno de sus elementos (CHOPRA, 2014).

2.1.4. VIBRACIÓN LIBRE AMORTIGUADA O VISCOSAMENTE

AMORTIGUADA

Comenzando con la ecuación de movimiento para un sistema de un grado de libertad (1GDL),

$$m\ddot{U} + C\dot{U} + KU = p(t)$$

Ecuación 1

Donde:

$$m\ddot{U} = \text{Término de fuerza inercial.}$$

$C\dot{U} = \text{Término fuerza amortiguamiento.}$

$KU = \text{Término fuerza por rigidez.}$

$p(t) = \text{Fuerza dinámica externa}$

Si establece $p(t) = 0$ en la ecuación de movimiento, se obtiene la ecuación diferencial que rige la vibración libre de sistemas de 1GDL con amortiguamiento:

$$m\ddot{U} + C\dot{U} + KU = 0$$

Ecuación 2

Dividiendo entre m tenemos

$$\ddot{U} + \frac{C}{m}\dot{U} + \frac{K}{m}U = 0$$

Ecuación 3

Donde la Frecuencia angular es $\omega_n = \sqrt{\frac{K}{m}}$ (rad/seg), y $\zeta = \frac{C}{2m\omega_n} = \frac{C}{C_{cr}}$ (Razón de amortiguamiento crítico). La constante de amortiguamiento C indica la cantidad de energía que se disipa durante un ciclo de vibración libre. La ecuación diferencial (1) se puede resolver usando métodos comunes, ejemplo: para un desplazamiento inicial $U(0)$ y velocidad inicial $\dot{U}(0)$ dados. No obstante, antes de obtener una solución formal, se realiza un análisis cualitativo (CHOPRA, 2014).

La ecuación de movimiento se puede solucionar en diferentes condiciones de amortiguamiento, como se menciona a continuación.

Solución de la ecuación

$$u(t) = e^{-\zeta\omega_n t} \left[u(0) \cos \omega_D t + \frac{\dot{u}(0) + \zeta\omega_n u(0)}{\omega_D} \sin \omega_D t \right]$$

Ilustración 1. Solución de ecuación de movimiento

Tipos de Movimiento

Encontramos 3 tipos de movimiento el subamortiguado con una relación de amortiguamiento $\zeta < 1$, críticamente amortiguado siendo $\zeta = 1$ y el sobreamortiguado $\zeta > 1$. En la Figura 1 se representa los movimientos de amortiguamiento.

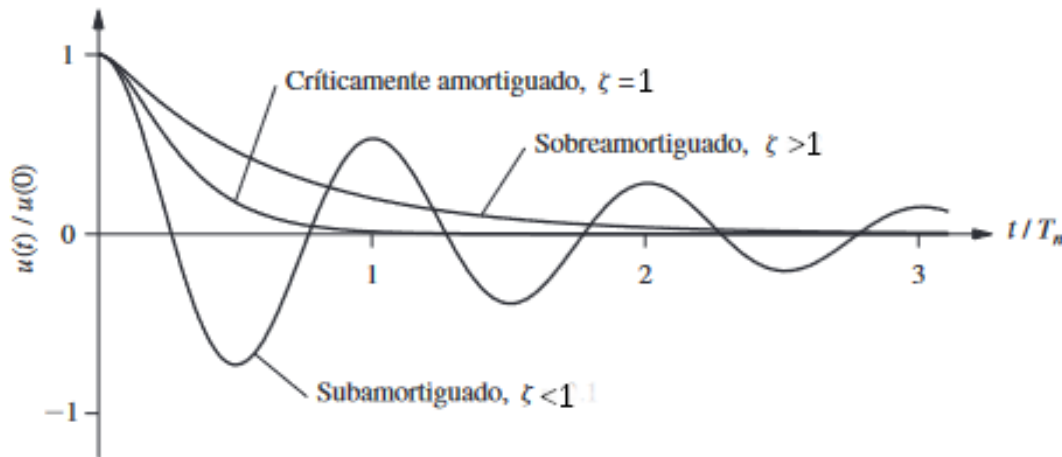


Figura 1. Vibración libre de sistema subamortiguado, críticamente amortiguado y sobreamortiguado

Nota: Gráfica del movimiento $u(t)$ debido al desplazamiento inicial $u(0)$ para tres valores. Tomado de Dinámica de estructuras (p.49), por Chopra, 2014.

Parámetros relevantes:

- La masa (m): Representa la inercia del sistema, o la resistencia del sistema a los cambios en su movimiento.
- Rigidez (K): Mide la capacidad del sistema para resistir deformaciones bajo la acción de fuerzas externas. Está relacionada con la elasticidad del sistema.
- Coeficiente de amortiguamiento (C): Es una medida de la cantidad de energía que se disipa en el sistema por unidad de desplazamiento y tiempo. Describe cómo el sistema pierde energía debido a fricción, resistencia al aire u otros mecanismos de disipación.
- La frecuencia natural o de resonancia de un sistema: es la frecuencia a la cual el sistema tiende a vibrar de manera natural o con mayor facilidad. Cada sistema tiene

una o más frecuencias naturales, y cuando el sistema es excitado a estas frecuencias, se genera un incremento significativo en la vibración. La fórmula para calcular la frecuencia natural es:

$$W_n = \sqrt{\frac{K}{m}}$$

Ecuación 4

Siendo m la masa y k la rigidez (Taboada et al., s. f.).

- **Frecuencia de vibración amortiguada (W_d):** Es la frecuencia de oscilación del sistema cuando hay amortiguamiento presente. Es menor que la frecuencia natural no amortiguada y se calcula como:

$$W_d = W_n \sqrt{1 - \zeta^2}$$

Ecuación 5.

- **Factor de amortiguamiento o razón de amortiguamiento:** Es una medida adimensional que indica el grado de amortiguamiento del sistema, dependiendo de su valor se clasificara con uno de los tipos de movimiento.
- **Periodo Amortiguado:** $T_d = \frac{2\pi}{W_d}$.

Los anteriores descripciones fueron tomados de (S.RAO, 2012).

- **Modelos asumidos para la práctica:**

Viga simplemente apoyada Figura 2 y viga en voladizo Figura 3.



Figura 2. Viga simplemente apoyada

$$K_{teórica} = \frac{48 * E * I}{L^3}$$

Ecuación 6, K simplemente apoyada.

Nota: Elaboración propia.

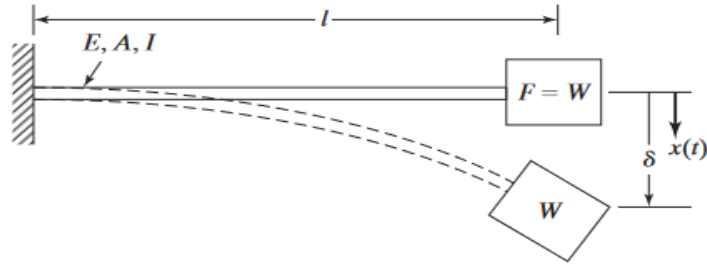


Figura 3. Viga en voladizo

Nota: Tomado de Vibraciones mecánicas (p.27), por S.R.A, 2012.

$$K = \frac{3EI}{l^3}$$

Ecuación 7, K de viga en voladizo

- Rigidez total: La rigidez se define como el inverso de la deflexión total, la cual está compuesta por la deflexión debida a momento, así como debido al cortante (Moya-Chavarría, 2011)

$$K_{total} = \frac{P}{\Delta} = \frac{E * b}{3 \frac{L}{e} + 4 \left[\frac{L}{e} \right]^3}$$

Ecuación 8, Rigidez de muro.

2.1.5. MÉTODOS PARA MEDIR LA RAZÓN DE AMORTIGUAMIENTO

El amortiguamiento en estructuras puede determinarse mediante diversos métodos experimentales y analíticos. Según (CHOPRA, 2014), los tres métodos más relevantes para estimar la razón de amortiguamiento en un sistema estructural son:

1. Método del Decremento Logarítmico (Dominio del Tiempo)

Este método se basa en la medición de la respuesta en el dominio del tiempo, observando la amplitud de oscilaciones sucesivas en una vibración libre amortiguada. La razón de amortiguamiento ζ se obtiene mediante la expresión:

$$\zeta = \frac{\delta}{\sqrt{4\pi^2 + \delta^2}}$$

Ecuación 9

donde δ es el **decremento logarítmico**, calculado como:

$$\delta = \ln \left(\frac{X_n}{x_{n+1}} \right)$$

Ecuación 10

donde X_n y X_{n+1} representan amplitudes máximas consecutivas en la respuesta del sistema. Este método es ampliamente utilizado en pruebas experimentales con sensores de desplazamiento o aceleración (CHOPRA, 2014).

2. Método del Diagrama de Fase (Desplazamiento vs Aceleración)

Este método analiza la relación entre el desplazamiento y la aceleración de la estructura mediante una gráfica de Lissajous, la cual genera una figura elíptica cuya relación de ejes permite estimar el amortiguamiento. Es particularmente útil en ensayos con sensores de aceleración y desplazamiento, donde se pueden observar patrones característicos de la disipación de energía (CHOPRA, 2014).

3. Método de la Transformada de Fourier y la Función de Transferencia (Dominio de la Frecuencia)

En este enfoque, la respuesta de la estructura se analiza en el dominio de la frecuencia mediante la Transformada de Fourier, identificando el ancho de los picos en el espectro de amplitud. La razón de amortiguamiento ζ se calcula a partir de la siguiente relación:

$$\zeta = \frac{f_2 - f_1}{2f_n}$$

Ecuación 11

donde f_1 y f_2 son las frecuencias a las que la amplitud cae al 70.7% del valor máximo -3 dB , y f_n es la frecuencia natural del sistema. Este método es ampliamente utilizado en ensayos con sensores digitales y análisis de vibraciones estructurales (CHOPRA, 2014). Estos métodos permiten caracterizar el amortiguamiento en estructuras, proporcionando herramientas fundamentales para el análisis dinámico de puentes, edificaciones y otros sistemas estructurales.

2.1.6. CÓMO SE MIDEN LAS ACELERACIONES

La mayoría de los componentes internos de un smartphone son sensores, como los acelerómetros, que convierten estímulos físicos, como la aceleración, en señales eléctricas interpretables por el dispositivo. Un acelerómetro es un chip pequeño que mide la aceleración en los tres ejes de coordenadas (X, Y, Z) en unidades de m/s^2 . Este sensor detecta cambios en la orientación del dispositivo y funciona variando la distancia entre placas metálicas dentro de un condensador al experimentar aceleración. El cambio en la capacidad del condensador se traduce en una señal eléctrica, procesada por el smartphone para ejecutar acciones específicas. Estas mediciones incluyen la aceleración debida a la gravedad, aproximadamente 9.8 m/s^2 , dependiendo de la orientación del dispositivo, y son procesadas en menos de una milésima de segundo para asegurar respuestas rápidas y precisas (López Armas, 2018).

Las lecturas del acelerómetro del celular que se toma, se visualizan como en la ilustración 2.

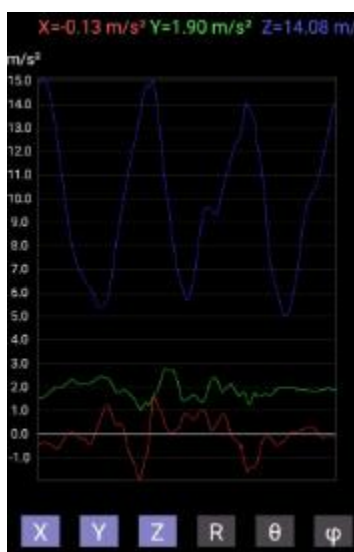


Ilustración 2. Lecturas del acelerómetro

2.1.7. TRACKER

Es una herramienta gratuita de análisis y modelado de videos, desarrollada sobre el marco de trabajo Java (Open Source Physics, s. f.) o OSP. Es una herramienta de

análisis de movimiento que permite estudiar el comportamiento dinámico de objetos en videos, convirtiendo imágenes en datos de posición, velocidad y aceleración. Es muy útil para el estudio de vibraciones libres en sistemas físicos, ya que facilita la visualización y análisis de cómo un objeto oscila o se mueve bajo ciertas condiciones. Los videos de lectura son con extensión como: mp4, avi, wmv, flv, o mov y entre otros. El funcionamiento de Tracker se desarrolla en los siguientes pasos: Captura de video del fenómeno físico, importación del video, calibrar (la longitud de la escala), marca de puntos de interés o de referencia, análisis de movimiento teniendo en cuenta el seguimiento de los puntos marcados en las fotografías de los videos, gráficas y datos de salida (observación del patrón oscilatorio), y por último análisis de frecuencia y amortiguamiento.

2.1.8. PRECISIÓN DE LECTURA DE SENSOR

Los resultados de las lecturas de los sensores de teléfonos inteligentes son una herramienta válida, que facilitan su uso en la actividad experimental (Torroba et al., 2016).

Los sensores basados en la tecnología MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems) han revolucionado la captación y procesamiento de datos en Múltiples aplicaciones, permitiendo la integración de dispositivos compactos con alta capacidad de medición. Estos sensores, como acelerómetros, giroscopios y magnetómetros, funcionan a través de estructuras microelectromecánicas que detectan variaciones en la aceleración, la orientación y los campos magnéticos. Su precisión de lectura está determinada por diversos factores, entre ellos la calidad de los materiales empleados en su fabricación, la calibración aplicada y

Si bien los MEMS presentan ciertas limitaciones en comparación con sistemas de medición tradicionales, su continua optimización ha permitido reducir el margen de error en la captura de datos. Además, su bajo costo y tamaño reducido los convierten en una alternativa viable para su implementación en dispositivos móviles, donde son utilizados para estimar coordenadas espaciales, realizar mediciones angulares y mejorar la interacción con el usuario (Sampaio et al., 2022).

2.1.1. TRANSFORMADA DE FOURIER

La Transformada de Fourier se emplea en sistemas lineales para analizar la relación entre una señal de entrada y su respuesta en el dominio de la frecuencia, permitiendo aplicar el principio de superposición. Es una herramienta clave en el análisis de señales y ecuaciones diferenciales lineales, ya que facilita la identificación de la relación entre entrada y salida mediante el producto de funciones.

En el filtrado de señales, se utiliza para modificar la amplitud de una señal en una región específica del dominio de frecuencias, mientras que en el dominio del tiempo el filtrado se expresa mediante la convolución de funciones (César, 2022).

En **MATLAB**, la Transformada de Fourier se implementa mediante la **Transformada Rápida de Fourier (FFT)**, que permite determinar la frecuencia dominante en una señal. La ecuación básica utilizada es:

$$x(f) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j2\pi fn/N}$$

Como ejemplo de uso de esta función, se presenta a continuación la representación gráfica en la Ilustración 3, siendo la determinación de la frecuencia de un puente a partir de los datos brutos tomados con un acelerómetro de celular.

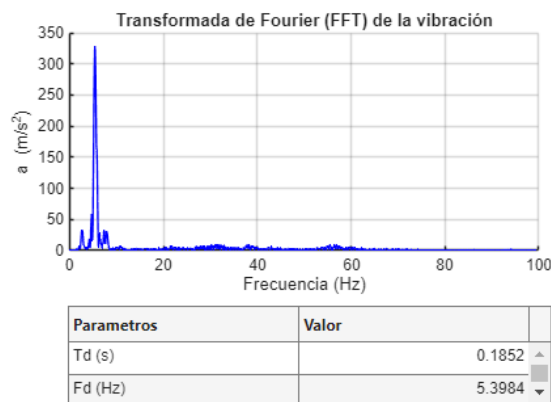


Ilustración 3. Frecuencia de puente a partir de transformada de Fourier.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

La metodología del proyecto busca fortalecer y aplicar los conceptos teóricos fundamentales de la dinámica estructural a través de experimentos prácticos y la comparación de resultados con herramientas de análisis como Video Tracker. En este contexto, se analiza la vibración libre amortiguada en un sistema de un grado de libertad (1GDL), mediante una práctica de laboratorio con un enfoque cuantitativo en la recolección de datos.

El objeto de estudio comprende sistemas estructurales que se asemejan a una viga empotrada en voladizo y una viga simplemente apoyada. En el primer caso, se simula una carga concentrada en el extremo libre del voladizo, mientras que, en el segundo, la carga se ubica en el centro de la viga.

Ensayo práctico de laboratorio se desarrolla en el siguiente orden

3.1. Fase1: Pruebas y ensayos de laboratorio.

Se lleva a cabo 6 ensayos para el estudio: Un ensayo de deformación de viga se lleva a cabo para obtener el Módulo de elasticidad (E) de la guadua y madera de pino, dos ensayos con vigas en voladizo, una de madera de pino y otra de guadua y dos con simplemente apoyada con los mismos materiales.

Ensayo 1 y 2 Deformación en vigas

El montaje del ensayo de deformación en vigas en voladizo, para los materiales de guadua y madera de pino, sigue los lineamientos establecidos en la práctica (Universidad del Cauca, s. f.)

Ensayo 3 y 4 viga en voladizo

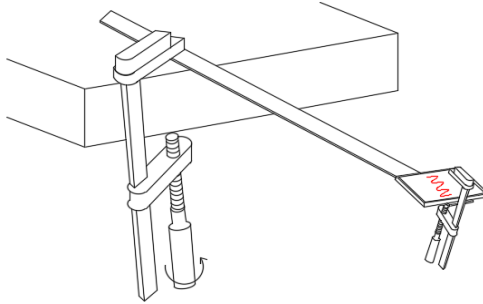


Figura 4. Montaje de viga en voladizo.

El montaje del ensayo 3 consiste en un elemento de guadua como viga en voladizo. Un extremo de la probeta se fija a un soporte rígido con las mordazas de sujeción, al igual que el otro extremo, sin embargo, se utiliza una prensa pequeña, para no afectar la pantalla del celular pero que cumpla la función de sujeción en el extremo del voladizo, creando así la configuración de voladizo. Se realiza pruebas de lectura con el celular sin la masa conocida (ver Figura 4) y con masa conocida (Masa Aux) en el extremo libre de la probeta.

La longitud de la viga y la sección transversal de la probeta de guadua, se toma a consideración de 50 a 100 cm de longitud y de sección transversal de 5 a 10cm, se debe colocar el celular, que hará las veces de acelerómetro, encima de la placa de la probeta de guadua o encima de la masa Aux, para medir su respuesta en aceleración.

A la par que se realiza el ensayo se tiene listo otro smartphone, este servirá de toma de video del ensayo. Se tiene en cuenta la marcación de un punto en común distintivo en la guadua, para el posterior análisis de video en Tracker (Software de seguimiento).

El montaje del ensayo 4 es similar al ensayo tres propuesto anteriormente.

Ensayo 5 y 6 viga simplemente apoyada

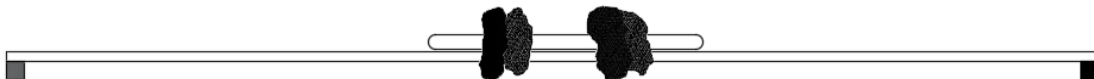


Figura 5, Viga simplemente apoya.

La descripción del siguiente ensayo es para ambos materiales tanto de guadua como madera de pino. El proceso del montaje consiste en tener a disposición unas mordazas en los dos extremos de la viga, estas se fijarán teniendo en cuenta en que no debe quedar empotradas, para así tener el sistema de viga simplemente apoyada. Se ubica el celular que hace de lector de aceleraciones en el centro de la luz, este se fija con moñas simplemente para reducir el aumento de cargas. Se hacen varios ensayos de prueba uno sin masa Aux, como se observa la figura 4, y otro con masa Aux.

Sistemas de adquisición: Para la adquisición de las aceleraciones se utilizarán los sensores incorporados en los teléfonos inteligentes. Estos dispositivos suelen contar con acelerómetros triaxiales capaces de medir la respuesta en tres direcciones perpendiculares (Figura 6). Las aplicaciones disponibles sugeridas en la Tabla 1 le permiten guardar los datos adquiridos en un archivo “.txt” o “. mat.”.

Tabla 1. Aplicaciones recomendadas para adquirir datos de aceleración con el smartphone.

Sistema Operativo	App sugerida	Frecuencia de muestreo (HZ)	Precio
Android	Accelerometer meter	~ 200	Free
iOS	Vibsensor	1-100	~ US\$
Android	Matlab Mobile	1-101	Free

En los ensayos se emplearon dos smartphones un Redmi Note 10s y LG Q-60. Durante la adquisición de datos, se considerarán aspectos esenciales como las Unidades de aceleración, frecuencia de muestreo, marca de tiempo de datos y dirección del smartphone.

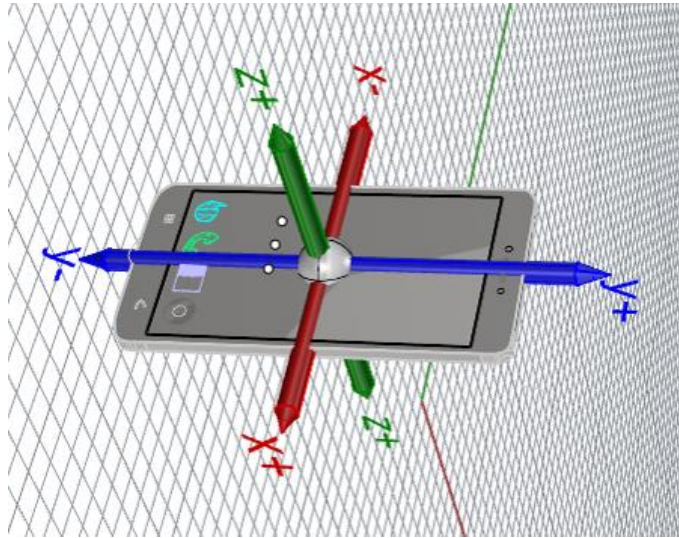


Figura 6. Ejes asignados al acelerómetro del smartphone

3.2. Fase 2: Análisis y comparación de resultados

Los resultados de vibraciones y propiedades dinámicas, tomadas con el smartphone se compararán con el modelo teórico y mediante análisis de video Tracker. Además, se realizará un análisis de ensayo físico, específicamente de las vibraciones de un puente ubicado en bosques de Pomona.

3.3. Fase 3: Generación guía de laboratorio y App

En la generación de la guía se llevará la adecuada descripción teórica de los modelos y los pasos a seguir para la correcta práctica, además de algunas sugerencias de modalidad de calificación (**Anexo A**)

El desarrollo de la app “Lectura de Archivos de Acelerómetros” se enfocará en que sea práctica, fácil de entender y de usar, e incluirá una guía para su manejo (**SmartVib**).

3.4. Fase 4: Elaboración informe final

Se detallará la recopilación, organización y presentación de toda la información, resultados y análisis obtenidos durante el desarrollo del proyecto. El objetivo de este informe es documentar minuciosamente cada etapa del proyecto, abarcando la metodología empleada, la interpretación de los resultados y las conclusiones finales.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Rigidez de madera de pino Probeta 1 y 2.

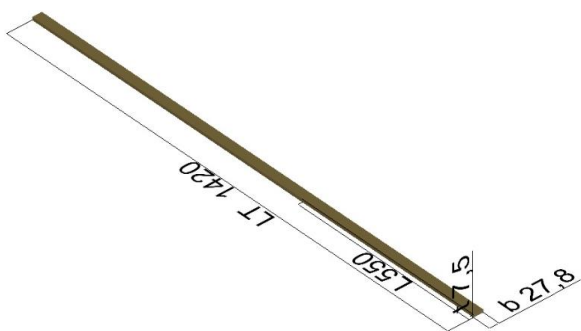


Figura 7. Probeta 1

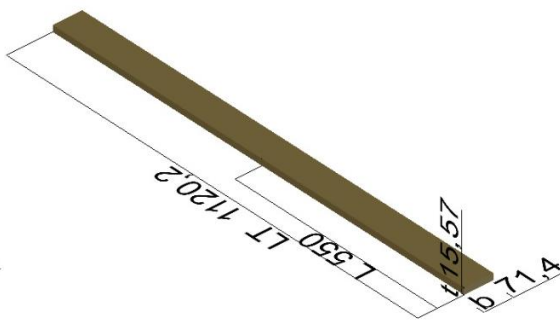


Figura 8. Probeta 2

El ensayo de deformación realizado en una viga de madera de pino con dimensiones como se ve en la Figura 7 probeta 1, y Figura 8 siendo la probeta 2 ambas en voladizo, se obtuvieron valores de rigidez (K) y módulo de elasticidad (E). La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos para cinco incrementos de carga con las dos probetas, junto con las deformaciones correspondientes.

Tabla 2, Lectura de deformación en la probeta de pino 1 y 2.

Probeta de madera de pino 1						
masa[g]	Peso [F: N]	Lectura			Promedio	Δ Def [0.01mm]
20	0.196	75	72	86	77.7	0.777
40	0.391	203	204	188	198.3	1.983
60	0.587	325	305	321	317	3.17
80	0.782	475	449	446	456.7	4.567
100	0.978	560	574	510	548	5.48
Probeta de madera de pino 2						
200	1.962	53	53	47	51.00	0.51
400	3.924	106	101	103	103.33	1.03
600	5.886	170	160	156	162.00	1.62
800	7.848	235	217	215	222.33	2.22
1000	9.81	307	285	278	290.00	2.90

Una representación del montaje en laboratorio de estructuras se visualiza en la siguiente ilustración 4.



Ilustración 4, Viga bajo incrementos de carga.

Con base en los datos presentados en la Tabla 2, se establece la relación entre la carga P y la deformación ΔDef de las probetas. Esta relación se representa gráficamente en la Gráfica 1, donde se observa su comportamiento. A partir de esta gráfica, se genera una línea de tendencia utilizando la función correspondiente de Excel. La ecuación que describe el comportamiento del gráfico se obtiene de la línea de tendencia, y la pendiente K (Rigidez) resultante de 0.1626 N/mm y de la segunda probeta, que es la de dimensión más grande que la probeta 1 se tiene un K de 3.279 N/mm . Se aclara que la rigidez de un objeto se entiende como la relación entre la fuerza aplicada sobre él y la deformación que experimenta. Cuando se utilizan probetas (o muestras) con diferentes secciones transversales, la forma en que cada probeta responde a la misma carga aplicada puede variar, lo que resulta en diferentes valores de rigidez (K).

Tabla 3, Valor de Rigidez para cada incremento de carga en la madera de pino.

Probeta de madera de pino 1			Probeta de madera de pino 2		
$P \text{ [N]}$	$\Delta\text{Def} \text{ [mm]}$	$K \text{ [N/mm]}$	$P \text{ [N]}$	$\Delta\text{Def} \text{ [mm]}$	$K \text{ [N/mm]}$
0.2	0.8	0.3	2.0	0.5	3.8
0.4	2.0	0.2	3.9	1.0	3.8
0.6	3.2	0.2	5.9	1.6	3.6
0.8	4.6	0.2	7.8	2.2	3.5
1.0	5.5	0.2	9.8	2.9	3.4

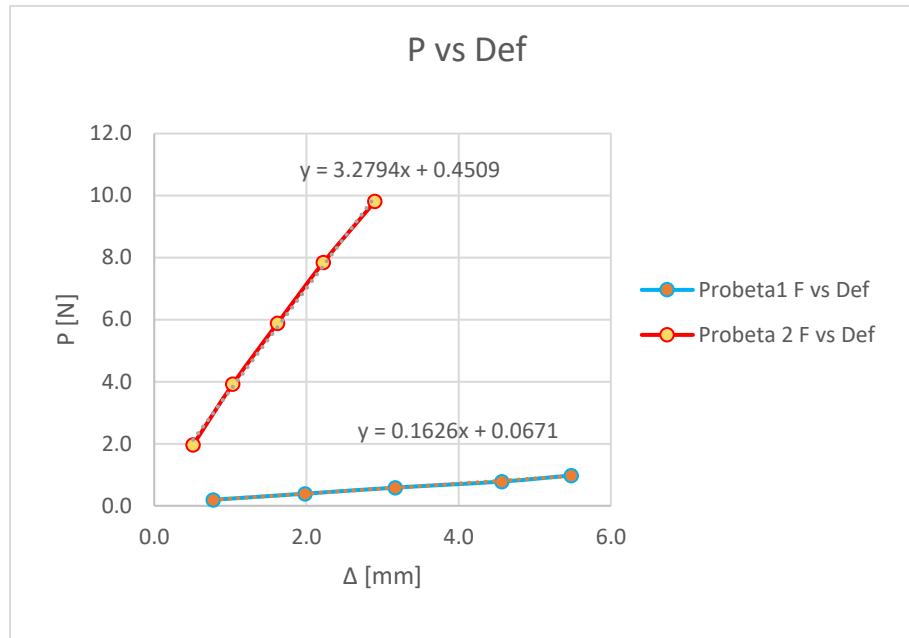


Gráfico 1, F vs Δ

4.1.1. Cálculo de Modulo Elasticidad de la madera de pino

El módulo de elasticidad se determinó utilizando dos métodos: el primero a través de la ecuación 6, que corresponde a la rigidez de una viga en voladizo, y el segundo mediante la ecuación 7, que se refiere a la rigidez total. Cabe señalar que, en este caso, la rigidez del muro se considera igual a la determinada a partir del ensayo de deformación. Ambas ecuaciones fueron planteadas previamente en el marco teórico. Para ambos análisis, fue necesario conocer las propiedades físicas básicas del material, las cuales se presentan en la Tabla 4. En la Tabla 5 se muestran los cálculos de los módulos de elasticidad, considerando los datos pertinentes para cada una de las ecuaciones mencionadas.

Tabla 4. Dimensiones de la madera de pino 1 y 2

Datos	Prob. 1	Prob. 2
L [mm]	550	550
b[mm]	27.8	71.4
t =e[mm]	7.5	15
I [mm ⁴]	977.3	20081.3
Lt (mm)	1420	1120.2

Tabla 5. Módulo 1 y 2 de elasticidad de madera de pino

regresion [N/mm]	E1 Df (N/mm ²)	E2 Df- Dv (N/mm ²)
Probeta 1		
0.1626	9226.6	9227.85
Probeta 2		
3.28	9058.4	9063.42

4.1.2. Comparación Módulo de referencia y experimental

El módulo de elasticidad de pino patula, una de las especies de pino más cultivadas en la industria maderera de Colombia, es de 9484.3 N/mm², según el estudio de la universidad Nariño (Álava & Solarte, 2014). Al considerar el módulo promedio de los valores calculados (9144 N/mm²) ver tabla 6, se obtiene un resultado cercano al de referencia, con margen de error de 2.7%. Esta comparación es importante, ya que nos proporciona certeza y confianza en que los resultados obtenidos son fiables y reflejan adecuadamente las propiedades del material analizado en común.

Tabla 6. Valor de E de madera de pino y margen de error.

E (N/mm ²)	E (N/mm ²) Valor considerado	% Error
9144.10	9484.3	3.6%

4.2. Rigidez de la Guadua

En el ensayo de deformación realizado en una viga de Guadua en voladizo, se obtuvieron valores de rigidez (K) y módulo de elasticidad (E). La Tabla 6 muestra los resultados obtenidos para cinco incrementos de carga, junto con las deformaciones correspondientes.

Tabla 7. Lectura de deformación a barra de guadua.

masa[g]	Peso [F: N]	Lectura			Promedio	ΔDef [0.01mm]
20	0.196	86	82	76	81.3	0.813
40	0.391	174	141	158	157.7	1.577
60	0.587	242	226	253	240.3	2.403
80	0.782	308	325	318	317	3.17
100	0.978	408	414	395	405.7	4.057

Con base en los datos presentados en la Tabla 6, se establece la relación entre la carga P y la deformación ΔDef . Esta relación se representa gráficamente en la Gráfica 2, donde se observa su comportamiento. A partir de esta gráfica, se genera una línea de tendencia utilizando la función correspondiente de Excel. La ecuación que describe el comportamiento del gráfico se obtiene de esta línea de tendencia, y la pendiente K resultante es de 0.1626 N/mm .

Tabla 8. Valor de K para cada incremento en la Guadua

$P \text{ [N]}$	$\Delta\text{Def} \text{ [mm]}$	$K \text{ [N/mm]}$
0.196	0.813	0.24
0.391	1.577	0.25
0.587	2.403	0.24
0.782	3.170	0.25
0.978	4.057	0.24

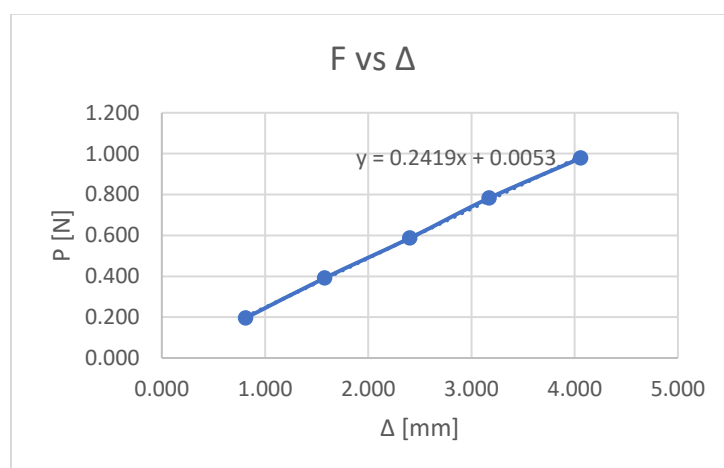


Gráfico 2, F vs Δ

4.2.1. Cálculo de Módulo de Elasticidad

Como se menciona en el cálculo de módulo de elasticidad de pino, el procedimiento es el mismo desarrollo dos métodos: el primero a través de la ecuación 6, que corresponde a la rigidez de una viga en voladizo, y el segundo mediante la ecuación 7, que se refiere a la rigidez de un muro. Se señala que, la rigidez del muro se considera igual a la determinada a partir del ensayo de deformación. Ambas ecuaciones fueron planteadas previamente en el marco teórico. Para ambos

análisis, fue necesario conocer las propiedades físicas básicas del material, las cuales se presentan en la Tabla 8. En la Tabla 9 se muestran los cálculos de los módulos de elasticidad, considerando los datos pertinentes para cada una de las ecuaciones mencionadas.

Tabla 9. Propiedades físicas del material

L [mm]	550
b[mm]	20.3
t =e[mm]	7.4
I [mm ⁴]	683.65
Lt	1157

Tabla 10. Módulo de elasticidad 1 y 2 de Guadua.

Kregresion [N/mm]	E1 Df (N/mm ²)	E2 Df- Dv (N/mm ²)
0.2419	19623.1	19625.7

4.2.2. Comparación Módulo de referencia y Calculado

El módulo de elasticidad de guadua angustifolia Kunth, una de las especies de Bambú nativa de Colombia, es de 15483 N/mm², según(Sapuyes et al., 2018). Al considerar el módulo promedio de los valores calculados (19624 N/mm²), se obtiene un resultado relativamente cercano, con margen de diferencia de 26%. La comparación es importante, ya que nos proporciona certeza y confianza en que los resultados obtenidos sean fiables y reflejen adecuadamente las propiedades del material analizado en común. Sin embargo, el margen de diferencia relativamente alto podría atribuirse a variaciones en las condiciones de ensayo, diferencias en las muestras de guadua o la heterogeneidad natural de este material, o factores de humedad, o al proceso de corte y transformación de la guadua en una barra rectangular. Este último punto es crucial, ya que la modificación de la geometría natural de la guadua puede alterar significativamente su comportamiento mecánico debido a la redistribución de fibras y la introducción de tensiones residuales, afectando el módulo de elasticidad medido (Pradilla & Ortiz, 2004).

4.3. Desarrollo de la Aplicación SmartVib

La aplicación SmartVib ha sido desarrollada en el presente proyecto mediante el software MATLAB. La aplicación está diseñada para leer archivos en los formatos mencionados en el marco teórico, como .txt, los cuales son generados por los sensores del smartphone, específicamente aquellos relacionados con datos de vibración.

SmartVib aplica funciones de suavizado de datos para eliminar el ruido de las lecturas, permitiendo así un análisis más preciso. A partir de los datos suavizados, el sistema está programado para seleccionar los valores de los picos positivos de las vibraciones. Estos picos son esenciales para calcular parámetros físicos como el período, la frecuencia y otros, que se mostrarán en este capítulo.

SmartVib incluye una funcionalidad gráfica que permite visualizar el comportamiento de las vibraciones, lo cual es útil para su comprensión y facilita la interpretación de los parámetros calculados.

4.3.1. Funcionalidad de SmartVib

El filtro suavizante seleccionado es el de Savitzky-Golay, implementado en MATLAB como Sgolayfilt. Este filtro elimina el ruido de alta frecuencia sin alterar significativamente la forma original de la señal. Se define una ventana de 7 puntos (un conjunto de datos de aceleración) para reducir el ruido y ajusta un polinomio de orden 5, lo que permite manejar las variaciones significativas de la señal. El objetivo principal de este filtro es conservar las características esenciales de la señal, como picos y cambios rápidos.

Adicionalmente, se aplica un suavizado con smoothdata usando el método de promedio móvil, conocido en MATLAB como Movmean. En este caso, también es necesario definir el tamaño de la ventana, por lo que se ha habilitado una ventana móvil en la interfaz. El usuario puede ajustar esta ventana basándose en la gráfica de la señal sin suavizar, moviéndola según sea necesario para lograr un suavizado óptimo sin perder datos importantes de la señal o vibraciones.

4.3.2. Datos de entrada

La interfaz de SmartVib contiene un botón que, al presionarlo, abre una pestaña para la selección de archivos .txt. así como se muestra en la ilustración5 siguiente:

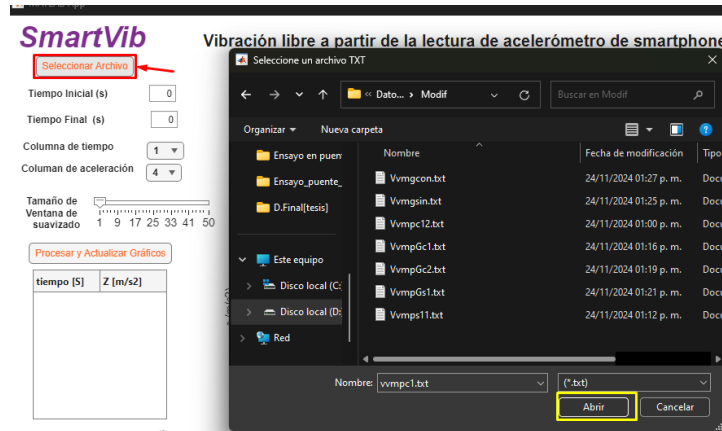


Ilustración 5. Selección de archivos.

4.3.3. Datos de salida

Los resultados que la app nos brinda son: una gráfica que muestra el registro de aceleraciones de la vibración más otra que es la gráfica de la transformada fourier y dos cajas de entrada numérica donde se introducen el tiempo inicial y final de análisis de vibración, la razón es para centrarnos en la lectura de vibración y dejar de lado la lectura de ruido.

La interfaz también cuenta con un segundo botón y una ventana móvil que, al ser movida, presenta una segunda gráfica de filtrado y suavizado. En el lado inferior de la interfaz, se muestran los cálculos de los parámetros físicos y, al final, una lámpara de alerta que ilumina en verde o rojo. La luz verde indica que el tamaño de la ventana de suavizado es correcto. Finalmente, se incluye una tabla que muestra la lectura de tiempo y aceleración obtenida por el acelerómetro del celular. En la siguiente ilustración 6 se aprecia lo mencionado.

SmartVib

Vibración libre a partir de la lectura de acelerómetro de smartphone

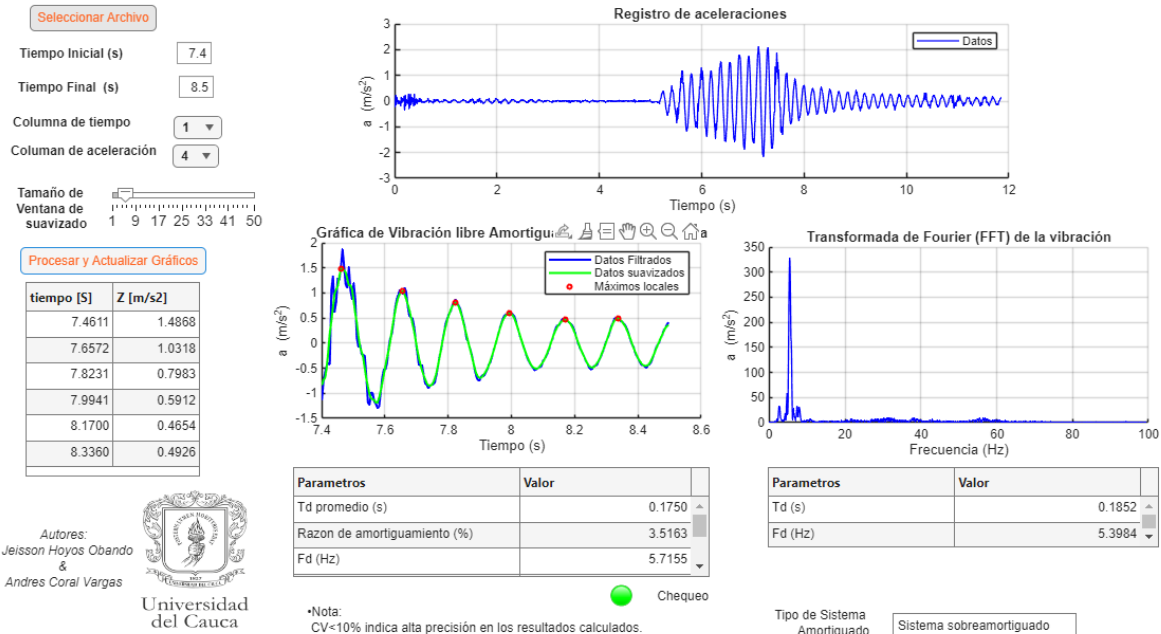
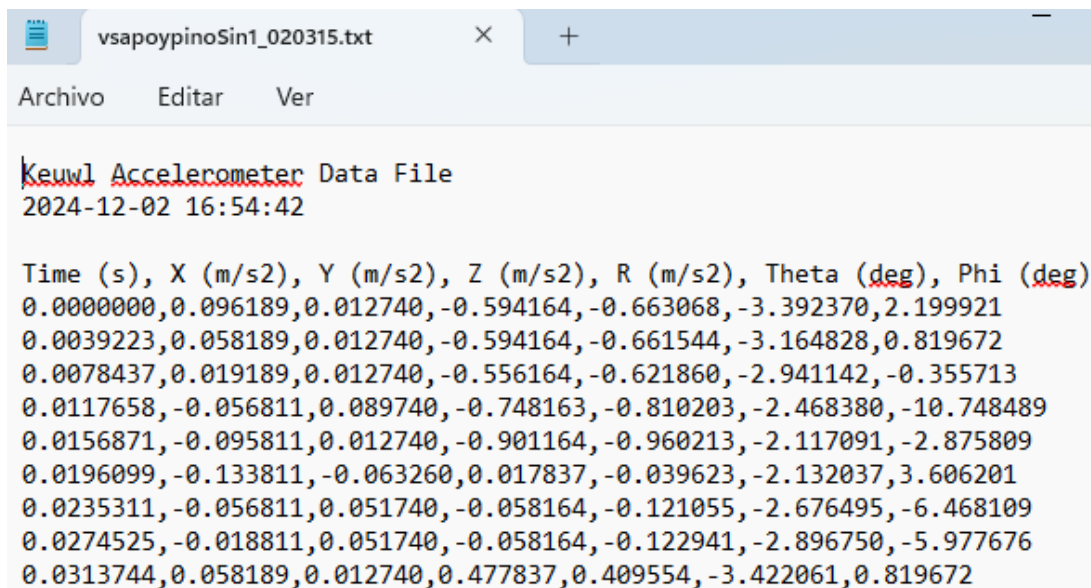


Ilustración 6. Interfaz de SmartVib

4.3.4. Aplicación y uso

La aplicación SmartVib sirve para analizar y visualizar el comportamiento de las vibraciones capturadas por los sensores de un smartphone. Su uso principal radica en el procesamiento de estos datos para obtener parámetros físicos, como el período, la razón de amortiguamiento, la frecuencia de las vibraciones y demás que se observa en la ilustración 2. Esto es especialmente útil en estudios de dinámica estructural y cualquier aplicación donde el análisis de vibraciones sea necesario. Además, la interfaz de SmartVib facilita la interacción del usuario al permitir la selección de segmentos de datos específicos, visualizar las vibraciones y recibir retroalimentación visual sobre la precisión del análisis realizado.

Un ejemplo de la lectura de archivos TXT obtenidos de los acelerómetros se muestra en la Ilustración 7. En ella, se observa cómo los datos se organizan en columnas, incluyendo el tiempo, la aceleración en el eje X y otras variables. Dado que el orden de las columnas puede variar, se implementó en la interfaz una lista desplegable que permite seleccionar las columnas de interés, específicamente las de tiempo y aceleración.

A screenshot of a text editor window titled 'vsapoypinoSin1_020315.txt'. The window has a menu bar with 'Archivo', 'Editar', and 'Ver'. The text content is as follows:

```
Keuwl Accelerometer Data File
2024-12-02 16:54:42

Time (s), X (m/s2), Y (m/s2), Z (m/s2), R (m/s2), Theta (deg), Phi (deg)
0.000000,0.096189,0.012740,-0.594164,-0.663068,-3.392370,2.199921
0.0039223,0.058189,0.012740,-0.594164,-0.661544,-3.164828,0.819672
0.0078437,0.019189,0.012740,-0.556164,-0.621860,-2.941142,-0.355713
0.0117658,-0.056811,0.089740,-0.748163,-0.810203,-2.468380,-10.748489
0.0156871,-0.095811,0.012740,-0.901164,-0.960213,-2.117091,-2.875809
0.0196099,-0.133811,-0.063260,0.017837,-0.039623,-2.132037,3.606201
0.0235311,-0.056811,0.051740,-0.058164,-0.121055,-2.676495,-6.468109
0.0274525,-0.018811,0.051740,-0.058164,-0.122941,-2.896750,-5.977676
0.0313744,0.058189,0.012740,0.477837,0.409554,-3.422061,0.819672
```

Ilustración 7. Tipo de lectura de acelerómetro

Aunque se desarrolló una aplicación denominada SmartVib, diseñada para obtener de manera automática los parámetros dinámicos a partir del archivo de lectura de aceleraciones del teléfono inteligente, se decidió que esta herramienta sea utilizada principalmente por el docente como un medio de verificación de los resultados obtenidos por los estudiantes. Esta decisión responde a la necesidad de fomentar el razonamiento analítico en el estudiante, permitiéndole enfrentarse al proceso completo de análisis, desde la adquisición de datos hasta la interpretación de resultados. La práctica experimental no solo busca proporcionar respuestas inmediatas, sino que pretende incentivar la comprensión de la metodología, promoviendo la identificación de variables clave, el tratamiento adecuado de datos y la validación de resultados. De este modo, se fortalece el aprendizaje en el campo de la dinámica estructural, formando profesionales con mayor capacidad crítica y autonomía en la resolución de problemas.

4.4. Análisis Dinámico Madera de pino modelo de viga en voladizo



Ilustración 8. Viga en voladizo madera de pino (Probeta 1)



Ilustración 9. Viga en voladizo madera de pino (Probeta 2)

Tanto la probeta uno y dos se le hizo la toma de la masa de todo el sistema, en la Tabla 11 se observa.

Tabla 11, Masa del sistema de probeta 1 y 2

Masa del sistema Probeta 1	
Masa barra de pino [g]	100
Masa celular [Jason] [g]	170
Masa moña [g]	5
Masa auxiliar [g]	200
Masa de la barra ponderada [g]	38.70
sin masa Aux	0.1944
Con masa Aux1	0.3944
Masa del sistema Probeta 2	
Masa barra de pino P [g]	700
Masa celular [g]	170
Masa moña [g]	5
Masa aux1 [g]	1230
Masa aux2 [g]	1925
Masa de pinza [g]	55
Masa barra de pino P [g]	343.689
ConAux1	1.632
ConAux1y2	2.327
sin masa Aux	0.347

4.4.1. Ensayo probeta Uno.

Para la probeta 1, tanto Sin masa Aux1 como con masa Aux 1, se representan los siguientes parámetros dinámicos en la Tabla 12 y 15. A partir de SmartVib, obtenemos la razón de amortiguamiento, y con este valor procedemos a calcular los respectivos parámetros dinámicos teóricos.

Tabla 12. Parámetros Dinámicos teóricos sin masa Auxiliar.

Sin masa auxiliar								
K [N/m]	m [kg]	Wo=Wn [rad/s]	Ccr	$\zeta = \varepsilon$ [%]	C	wd [Rad/S] teórico	Td [s] teórico	Frecuencia [Hz]
162.6	0.19437	28.9234	11.2435	0.00759	0.0853	28.9226	0.2172	4.60

En la Tabla 13 tenemos el análisis comparativo de manejo de los datos en Excel, Tracker y con SmartVib. Seguidamente una Tabla 14 el cálculo de margen de error con respecto al teórico.

Tabla 13. Comparación de Datos trabajados en Excel, con Tracker y SmartVib

Datos tomados de lectura acelerómetro celular (prueba con Excel)		Con Tracker			Acel celular (Utilizando SmartVib)		
Td [s]	Frecuencia [Hz]	Td [s]	Frecuencia [Hz]	z=e [%]	Td [s]	Frecuencia [Hz]	$\zeta = \varepsilon$ [%]
0.2313	4.3231	0.2333	4.2872	0.42%	0.2305	4.3384	0.76%
0.2313	4.3231	0.2333	4.2871				
0.2313	4.3233	0.2332	4.2890				
0.2313	4.3231	0.2333	4.2871				

Tabla 14. Parámetros Dinámicos teóricos con masa Auxiliar

Con masa auxiliar								
K [N/m]	m [kg]	Wo=Wn [rad/s]	Ccr	$\zeta = \varepsilon$ [%]	C	wd [Rad/S] teórico	Td [s] teórico	Frecuencia [Hz]
162.6	0.4137	19.824	16.404	0.0064	0.1051	19.8240	0.317	3.2

En la Tabla 15 tenemos el análisis comparativo de manejo de los datos en Excel, Tracker y con SmartVib. Seguidamente una Tabla 16 el resumen del cálculo de margen de diferencia con respecto al teórico.

Tabla 15 Comparación de Datos trabajados en Excel, con Tracker y SmartVib

Datos tomados de lectura acelerómetro		Con Tracker			Acel celular (Utilizando SmartVib)		
Td [s]	Frecuencia [Hz]	Td [s]	Frecuencia [Hz]	z=e [%]	Td [s]	Frecuencia [Hz]	z=e [%]
0.3452	2.8970	0.3665	2.72819	0.58%	0.3609	2.7709	0.64%
0.3687	2.7121	0.3665	2.72818				
0.3609	2.7711	0.3665	2.72819				
0.3609	2.7711	0.3664	2.72892				

Tabla 16. Resumen margen de diferencia de ensayo sin masa Aux y con masa Aux.

	Sin masa auxiliar		Con masa auxiliar	
Td [s] teórico	0.2172		0.317	
ENSAYO	Acel celular	Video Tracker	Acel celular	Video Tracker
Td exp (prom) [s]	0.2305	0.2332	0.3609	0.3665
% Diferencia con respecto a Td teórico.	6%	7%	14%	16%
ENSAYO	Acel celular	Video Tracker	Acel celular	Video Tracker
Razón de amortiguamiento [%]	0.76%	0.42%	0.64%	0.575%
% Diferencia con respecto a Acel celular		45%		10%

4.4.2. Ensayo Probeta dos

El ensayo de la probeta dos se realiza en tres condiciones: sin masa auxiliar, con la masa auxiliar 1 y con ambas masas auxiliares 1 y 2. Los resultados de los cálculos se presentan en las siguientes tablas. Las Tablas 17 a 18 muestran el comportamiento dinámico y la comparación entre el análisis teórico, Video Tracker

y SmartVib sin masa auxiliar. Las Tablas 19 a 20 presentan los resultados con la masa auxiliar 1, mientras que las Tablas 21 a 22 incluyen los resultados con ambas masas auxiliares. Al igual que en la probeta uno, se obtiene la razón de amortiguamiento utilizando SmartVib para estos parámetros dinámicos.

Tabla 17. Parámetros dinámicos sin masa auxiliar

Sin masa								
K [N/m]	m [kg]	Wo=Wn [rad/s]	Ccr	$\zeta = \varepsilon$ [%]	C	wd [Rad/S] teórico	Td [s] teórico	Frecuencia [Hz]
3280.0	0.3468	97.2455	67.4581	0.611%	0.4124	97.2437	0.0646	15.4768

Tabla 18. Comparación de Datos trabajados en Excel, con Tracker y SmartVib

Datos tomados de lectura acelerómetro		Con Tracker			Acel celular (Utilizando SmartVib)		
Td [s]	Frecuencia [Hz]	Td [s]	Frecuencia [Hz]	z=e [%]	Td [s]	Frecuencia	z=e [%]
0.043148	23.17605	0.1330	7.51880	5.70%	0.042	23.8095	0.611%
0.043148	23.17605	0.1670	5.98802				
0.0431495	23.17524	0.1660	6.02410				

Tabla 19. Parámetros dinámicos con masa auxiliar 1

Con masa auxiliar 1								
K [N/m]	m [kg]	Wo=Wn [rad/s]	Ccr	$\zeta = \varepsilon$ [%]	C	wd [Rad/S] teórico	Td [s] teórico	Frecuencia [Hz]
3280.0	1.6318	44.8330	146.3209	1.33%	1.9461	44.8290	0.1402	7.1348

Tabla 20. Comparación de Datos trabajados en Excel, con Tracker y SmartVib

Datos tomados de lectura acelerómetro		Con Tracker			Acel celular (Utilizando SmartVib)		
Td [s]	Frecuencia [Hz]	Td [s]	Frecuencia [Hz]	z=e [%]	Td [s]	Frecuencia [Hz]	z=e [%]
0.1060	9.4345	0.100	10.003	4.13%	0.098	10.19	1.33%
0.1021	9.7970	0.100	10.003				
0.0981	10.1889	0.100	10.003				
0.1021	9.7968	0.100	10.003				

Tabla 21. Parámetros dinámicos con masa auxiliar 1 y 2

Con masa auxiliar 1 y 2								
K [N/m]	m [kg]	W ₀ =W _n [rad/s]	C _{cr}	$\zeta = \varepsilon$ [%]	C	w _d [Rad/S] teórico	T _d [s] teórico	Frecuencia [Hz]
3280.0000	2.3268	37.5451	174.7232	1.090%	1.9045	37.5429	0.1674	5.9751

Tabla 22. Comparación de Datos trabajados en Excel, con Tracker y SmartVib

Datos tomados de lectura acelerómetro		Con Tracker			Acel celular (Utilizando SmartVib)		
T _d [s]	Frecuencia [Hz]	T _d [s]	Frecuencia [Hz]	z=e [%]	T _d [s]	Frecuencia [Hz]	z=e [%]
0.1138	8.7905	0.1333	7.503	1.08%	0.1138	8.79	1.09%
0.1138	8.7907	0.1001	9.992				
0.1098	9.1041	0.1333	7.500				
0.1177	8.4963	0.1333	7.500				

Tabla 23. Margen de diferencia con respecto a los cálculos teóricos de los tres ensayos analizados en la probeta 2.

	Sin masa auxiliar		Con masa auxiliar 1		Con masa auxiliar 1 y 2	
T _d [s] teórico	0.0646		0.140		0.167	
ENSAYO	Acel celular	Video Tracker	Acel celular	Video Tracker	Acel celular	Video Tracker
T _d exp (prom) [s]	0.0420	0.1553	0.0981	0.1000	0.1138	0.1250
% Diferencia con respecto a T _d teórico.	35%	140%	30%	29%	32%	25%
ENSAYO	Acel celular	Video Tracker	Acel celular	Video Tracker	Acel celular	Video Tracker
Razón de amortiguamiento [%]	0.61%	5.70%	1.33%	4.129%	1.09%	1.084%
% Diferencia con respecto a Acel celular		832%		210%		0.27%

Debido a los altos márgenes de diferencia, observados en las pruebas, se decide realizar más experimentos para obtener resultados más precisos. Esta decisión se toma principalmente por los valores inusuales de margen de diferencia que presentó el análisis realizado con Video Tracker, lo que sugiere posibles inconsistencias en la medición o el análisis de los datos. Una hipótesis que se desea comprobar es que

Video Tracker podría no ser adecuado para el seguimiento de deformaciones de punto muy pequeñas, lo que explicaría los márgenes de diferencia tan elevados. Al analizar los resultados, se nota un patrón interesante: el porcentaje de diferencia disminuye a medida que se incrementa la masa del sistema. Este comportamiento se puede observar claramente en las Tablas 23. La reducción en el margen de diferencia podría deberse a que, al aumentar la masa, se generan mayores vibraciones o deformaciones, haciendo que estas sean más visibles y, por lo tanto, más fáciles de rastrear con precisión por Video Tracker. Por tanto, se propone realizar pruebas adicionales para confirmar este patrón y explorar en profundidad cómo la masa afecta el comportamiento dinámico del sistema. Esto permitirá no solo mejorar la precisión de las mediciones, sino también entender mejor las limitaciones de Video Tracker en condiciones de seguimiento de puntos con deformaciones muy pequeñas.

4.4.3. Pruebas adicionales a la probeta dos.

Se realizaron cuatro pruebas (ver Tabla 24) sin masa auxiliar y dos pruebas con masa auxiliar 1 y 2 (ver Tabla 26), para comprobar la hipótesis sobre la limitación de Video Tracker. Los resultados muestran que, sin masa auxiliar, el margen de diferencia tanto en el periodo amortiguado como en la razón de amortiguamiento sigue siendo alto, como se observa en Tabla 28. En cambio, con la masa auxiliar 1y 2, los resultados de la prueba (ver Tabla 28) indican un margen de diferencia adecuado, alrededor del 1%. Esto sugiere que Tracker no detecta con precisión los puntos de rastreo cuando los movimientos son mínimos, reflejando una limitación en el seguimiento de deformaciones pequeñas.

Tabla 24. Resumen comparativo SmartVib y Tracker sin masa auxiliar

Sin masa Auxiliar					
Resumen de Pruebas con SmartVib			Resumen de Pruebas con Tracker		
Nº	Td (s)	Razón de amortiguamiento	Nº	Td (s)	Razón de amortiguamiento
Prueba 1	0.0426	1.04%	Prueba 1	0.148	4.62%
Prueba 2	0.0428	1.08%	Prueba 2	0.152	4.43%
Prueba 3	0.0425	1.18%	Prueba 3	0.152	4.29%
Prueba 4	0.0426	1.11%	Prueba 4	0.152	3.62%
Promedio	0.0426	1.10%	Promedio	0.1512	4.24%

Tabla 25. Comparación SmartVib y Tracker.

Acel celular (Utilizando SmartVib)			Con Tracker		
Td [s]	Frecuencia [HZ]	z=e [%]	Td [s]	Frecuencia [HZ]	z=e [%]
0.0426	23.46	1.101%	0.1512	6.61	4.24%

Tabla 26. Resumen comparativo SmartVib y Tracker con masa auxiliar

Con masa Auxiliar 1 y 2					
Resumen de Pruebas con SmartVib			Resumen de Pruebas con Tracker		
Nº	Td (s)	Razón de amortiguamiento	Nº	Td (s)	Razón de amortiguamiento
Prueba 1	0.118	1.28%	Prueba 1	0.119	2.82%
Prueba 2	0.1175	1.21%	Prueba 2	0.119	1.33%
Promedio	0.1178	1.25%	Promedio	0.1190	2.07%

Tabla 27. Comparación SmartVib y Tracker.

Acel celular (Utilizando SmartVib)			Con Tracker		
Td [s]	Frecuencia [HZ]	z=e [%]	Td [s]	Frecuencia [HZ]	z=e [%]
0.1178	8.4926	1.246%	0.1190	8.40168	2.07%

Tabla 28. Margen de diferencia SmartVib y Tracker con masa y sin masa auxiliar 1 y 2.

	Sin masa auxiliar		Con masa auxiliar 1 y 2	
Td [s] teórico	0.0646		0.167	
ENSAYO	Acel celular	Video Tracker	Acel celular	Video Tracker
Td exp (prom) [s]	0.0426	0.1512	0.11775	0.1190
% Diferencia con respecto a Td teórico.	34%	134%	30%	29%
ENSAYO	Acel celular	Video Tracker	Acel celular	Video Tracker
Razón de amortiguamiento [%]	1.10%	4.24%	1.25%	2.073%
% Diferencia con respecto a Acel celular		285%		66%

4.5. Análisis Dinámico Guadua modelo de viga en voladizo



Ilustración 10. Viga en voladizo guadua

Para la probeta de Guadua se obtuvo la masa del sistema como se ve en la Tabla 29 estos se determinaron debidamente en laboratorio de estructuras.

Tabla 29. Masa del sistema de guadua

Masas del sistema	
Masa barra de guadua total [g]	125
Masa celular [g]	170
Masa moña [g]	5
Masa aux1 [g]	200
Masa barra de pino útil [g]	59.42
Sin masa Aux	0.205 kg
Con masa Aux	0.405 kg

Los resultados de los cálculos de los ensayos, tanto sin masa auxiliar como con masa auxiliar, se presentan en las Tablas 30 a 34. En estas tablas, se observa que los cálculos de los parámetros dinámicos teóricos, realizados con SmartVib y Video Tracker, son comparables y coherentes. El margen de diferencia porcentual (Tabla 34) es adecuado, no siendo excesivamente alto.

Tabla 30. Parámetros dinámicos sin masa auxiliar.

Sin masa auxiliar								
K [N/m]	m [kg]	Wo=Wn [rad/s]	Ccr	$\zeta = \varepsilon$ [%]	C	wd [Rad/S] teórico	Td [s] teórico	Frecuencia [Hz]
241.9	0.2047	34.3754	14.0740	0.541%	0.0761	34.3749	0.183	5.4709

Tabla 31. Comparación de Datos trabajados en Excel, con Tracker y SmartVib

Datos tomados de lectura acelerómetro		Con Tracker			Acel celular (Utilizando SmartVib)		
Td [s]	Frecuencia [HZ]	Td [s]	Frecuencia [HZ]	z=e [%]	Td [s]	Frecuencia [HZ]	z=e [%]
0.169	5.93193	0.1667	5.99999	0.39%	0.1713	5.8377	0.541%
0.169	5.93178	0.1667	6.00002				
0.169	5.93200	0.1667	5.99999				
0.172	5.79792	0.1666	6.00082				

Tabla 32. Parámetros dinámicos con masa auxiliar 1.

Con masa auxiliar 1								
K [N/m]	m [kg]	Wo=Wn [rad/s]	Ccr	$\zeta = \varepsilon$ [%]	C	wd [Rad/S] teórico	Td [s] teórico	Frecuencia [Hz]
241.9000	0.4047	24.4481	19.7888	0.479%	0.0948	24.4479	0.257	3.8910

Tabla 33. Comparación de Datos trabajados en Excel, con Tracker y SmartVib

Datos tomados de lectura acelerómetro		Con Tracker			Acel celular (Utilizando SmartVib)		
Td [s]	Frecuencia [HZ]	Td [s]	Frecuencia [HZ]	z=e [%]	Td [s]	Frecuencia [HZ]	z=e [%]
0.255	3.9230	0.2666	3.7512	0.30%	0.257	3.8911	0.479%
0.263	3.8055	0.2666	3.7512				
0.251	3.9848	0.2334	4.2851				
0.263	3.8062	0.2333	4.2872				

Tabla 34. Margen de diferencia con respecto a los cálculos teóricos de los ensayos con masa auxiliar y sin masa auxiliar

	Sin masa auxiliar		Con masa auxiliar	
Td [s] teórico	0.1828		0.257	
ENSAYO	Acel celular	Video Tracker	Acel celular	Video Tracker
Td exp (prom) [s]	0.1713	0.1667	0.257	0.2499
% Diferencia con respecto a Td teórico.	6%	9%	0%	3%
ENSAYO	Acel celular	Video Tracker	Acel celular	Video Tracker
Razón de amortiguamiento [%]	0.54%	0.39%	0.48%	0.300%
% Diferencia con respecto a Acel celular		28%		37%

4.6. Análisis Dinámico Madera de pino (probeta1) modelo de viga simplemente apoyada



Ilustración 11. Viga simplemente apoyada madera de pino

Se determino la rigidez del elemento viga simplemente apoyada utilizando la ecuación 6, remplazando el módulo determinado en el análisis estático del elemento de pino, el resultado de la rigidez es: 0.3448 KN/mm. La masa del montaje es la que se observa en la Tabla 35, seguidamente se tiene los resultados de los ensayos sin masa Aux y con masa Aux en las Tablas 36 y 37 y el cálculo del margen de diferencia en la Tabla 38.

Tabla 35. Masa del sistema de madera de pino.

Masa del sistema	
Masa barra de pino [g]	100
Masa celular [g]	170
Masa moña [g]	5
Masa auxiliar [g]	200
Masa de la barra ponderada [g]	75.5692
sin masa Aux (Kg)	0.2128
Con masa Aux1 (Kg)	0.4128

Tabla 36. Parámetros dinámicos

Sin masa auxiliar								
K [N/m]	m [kg]	Wo=Wn [rad/s]	Ccr	$\xi = \varepsilon$ [%]	C	wd [Rad/S] teórico	Td [s] teórico	Frecuencia [Hz]
344.8	0.2128	40.255	17.131	4.0%	0.677	40.224	0.156	6.4
Con masa auxiliar								
344.8	0.4506	27.66	24.929	4.8%	1.203	27.63	0.227	4.4

Tabla 37. Comparación de Datos trabajados en Excel, con Tracker y SmartVib

Sin masa auxiliar					
Con Tracker			Acel celular (Utilizando SmartVib)		
Td [s]	Frecuencia [Hz]	z=e [%]	Td [s]	Frecuencia [Hz]	$\zeta = \varepsilon$ [%]
0.165	6.077	4.02%	0.168	5.965	3.95%
Con masa auxiliar					
0.245	4.090	6.16%	0.247	4.053	4.83%

Tabla 38. Margen de diferencia con respecto a los cálculos teóricos

	Sin masa auxiliar		Con masa auxiliar	
Td [s] teórico	0.156		0.227	
ENSAYO	Acel celular	Video Tracker	Acel celular	Video Tracker
Td exp (prom) [s]	0.1676	0.1646	0.2467	0.2445
% Diferencia con respecto a Td teórico.	7%	5%	9%	8%
ENSAYO	Acel celular	Video Tracker	Acel celular	Video Tracker
Razón de amortiguamiento [%]	3.95%	4.02%	4.83%	6.161%
% Diferencia con respecto a Acel celular		2%		28%

4.7. Análisis Dinámico Guadua modelo de viga simplemente apoyada



Ilustración 12. Viga simplemente apoyada-Guadua

Se determino la rigidez del elemento viga simplemente apoyada utilizando la ecuación 6, remplazando el módulo determinado en el análisis estático del elemento de Guadua, el resultado de la rigidez es: 0.995 KN/mm. La masa del montaje es la que se observa en la Tabla 39, seguidamente se tiene los resultados de los ensayos sin masa Aux y con masa Aux en las Tablas 40 y 41, por otro lado, el cálculo del margen de diferencia en la Tabla 42.

Tabla 39. Masa del sistema de madera de pino.

Masas	
Masa barra de guadua [g]	125
Masa celular [g]	170
Masa moña [g]	5
Masa aux1 [g]	200
Masa barra de pino P [g]	46.73
Sin masa Aux	0.198 kg
Con masa Aux	0.398 kg

Tabla 40. Parámetros dinámicos

Sin masa auxiliar								
K [N/m]	m [kg]	Wo=Wn [rad/s]	Ccr	$\zeta = \varepsilon$ [%]	C	wd [Rad/S] teórico	Td [s] teórico	Frecuencia [Hz]
995.03	0.1984	70.83	28.10	0.769%	0.22	70.82	0.0887	11.3
Con masa auxiliar								
995.03	0.3984	49.98	39.82	0.890%	0.35	49.98	0.1257	8.0

Tabla 41. Comparación de Datos trabajados en Excel, con Tracker y SmartVib

Sin masa auxiliar					
Con Tracker			Acel celular (Utilizando SmartVib)		
Td [s]	Frecuencia [Hz]	z=e [%]	Td [s]	Frecuencia [Hz]	z=e [%]
0.1049	9.5	1.01%	0.1090	9.17	0.77%
Con masa auxiliar					
0.1388	7.2	0.90%	0.1367	7.32	0.89%

Tabla 42. Margen de diferencia con respecto a los cálculos teóricos

	Sin masa auxiliar		Con masa auxiliar	
Td [s] teórico	0.0887		0.126	
ENSAYO	Acel celular	Video Tracker	Acel celular	Video Tracker
Td exp (prom) [s]	0.1090	0.1049	0.1367	0.1388
% Diferencia con respecto a Td teórico.	23%	18%	9%	10%
ENSAYO	Acel celular	Video Tracker	Acel celular	Video Tracker
Razón de amortiguamiento [%]	0.77%	1.01%	0.89%	0.896%
% Diferencia con respecto a Acel celular		31%		1%

4.8. Tasa de muestreo de Acelerómetro de celular

La literatura, para garantizar una captura de datos precisa y confiable, la tasa de muestreo de un dispositivo debe ser al menos diez veces mayor que el período natural del sistema analizado (CHOPRA, 2014). En este sentido, la aplicación Accelerometer Meter cuenta con una tasa de muestreo de 0.003921 segundos, lo que resulta adecuado, ya que es menor que los períodos naturales obtenidos en los ensayos, como se muestra en la Tabla 43.

Tabla 43. Verificación de tasa de muestreo.

Tasa de muestreo		(Tn /10) (s) de viga en voladizo de guadua.	Frecuencia (Hz)	(Tn/10) (s) de Viga en voladizo Madera de pino	Frecuencia (Hz)
Accelerometer Meter					
T (s)	Frecuencia Hz				
0.003921	255.04	0.022	46.033	0.0257	38.9104
Chequeo período		La tasa de muestreo es menor a Tn		La tasa de muestreo es menor a Tn	
Chequeo frecuencia		La tasa de muestreo es mayor a la Fn		La tasa de muestreo es mayor a la Fn	

4.9. Ensayo a puente de bosques de Pomona.

Con el propósito de conocer los resultados de una estructura real y comparar resultados, se llevó a cabo un ensayo en el puente ubicado en el barrio Bosques de Pomona, en la ciudad de Popayán-Cauca. Este puente muestra vibraciones libres perceptibles con el simple paso de peatones. Se consultó a los transeúntes y a los residentes cercanos sobre el tiempo de existencia del puente; aunque no ofrecieron datos precisos, indicaron que tiene más de 20 años. Según el CCP-14 (Norma Colombiana de Diseño de Puentes), la presencia de vibraciones libres considerables se debe, en gran parte, a un mantenimiento inadecuado, la exposición a cargas excesivas, el desgaste natural de los materiales y los cambios ambientales. Siendo así que estos factores pueden comprometer la integridad estructural y el confort de los usuarios.

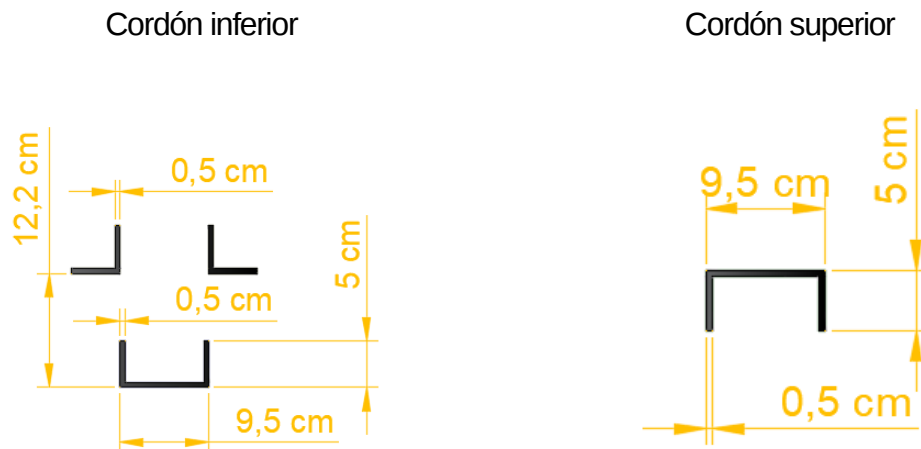
Durante el trabajo de campo, se midieron con precisión los elementos estructurales del puente, identificándose perfiles en C y ángulos L, además de una losa Steel deck. Con La recolección de dimensiones, se calculó la inercia y se estimó el peso del puente, lo que permitió determinar la evaluación de parámetros dinámicos. La Figura 9 muestra el puente en cuestión, destacando su configuración y los elementos estructurales clave analizados.



Figura 9. Puente peatonal simplemente apoyado.

4.9.1. Secciones de los perfiles transversales

Los perfiles del cordón inferior y superior que se muestran a continuación son los principales contribuyentes a la inercia de todo el sistema del puente, ya que son los encargados de soportar la carga en su totalidad.



4.9.2. Especificaciones técnicas de la losa de puente

En la Tabla 44 se presentan las especificaciones técnicas de la losa Metaldeck, necesarias para calcular correctamente el peso de la losa del puente.

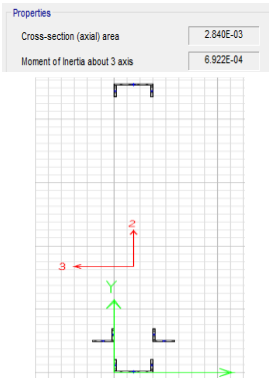
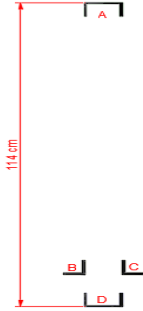
Tabla 44. Especificación técnica de Metaldeck

Metaldeck	Espesor (mm)	1.2
	Peso kg/m ²	12.05
Losa	Espesor (mm)	100
	Concreto teórico (m ³ /m ²)	0.072

4.9.3. Comparación de Inercia

En la tabla 45 tenemos la inercia calculada a mano y en SAP 2000, para la corroboración de resultados, se presenta un screenshot de la inercia de SAP 2000, esta se multiplica por dos para tener la inercia de luz del puente completa, dando como resultado 1.38 m^{-4} .

Tabla 45. Inercia de sección transversal en SAP 2000 y calculo teórico.

Inercia de la sección transversal en SAP 2000	
 Properties Cross-section (axial) area: 2.840E-03 Moment of inertia about 3 axis: 6.922E-04	1.38E-03 m ⁴
Inercia de la sección transversal teórica	
 Diagram showing a rectangular cross-section with dimensions 114 cm (height) and 17 cm (width). The section is divided into four quadrants labeled A, B, C, and D.	1.38E-03 m ⁴

De manera de resumen en la Tabla 46 tenemos las dimensiones y propiedades de la sección transversal del puente, el peso de la lámina de acero, la losa de concreto y demás. En la Tabla 47 Masa total y dinámica para un grado de libertad.

Tabla 46. Propiedades y dimensiones de la sección transversal

Luz del puente (m)	17
Ancho (m)	1.6
Juntas #17 (m2) -->> área	0.192
Área (M2)	27.008
Densidad del concreto Kg/m3	2400
Volumen de concreto (m3)	1.95
Peso lamina acero (kg)	327.8
Peso concreto losa (kg)	4667.0
Peso total de losa Steel deck (Kg):	4994.7
Datos de la estructura metálica	
m (kg)	1477.51
I (m4)	1.38E-03
K(N/m)	2705255.60

Tabla 47. Masa total y dinámica.

mt (Kg)	6472.2
Toneladas	6.5
masa 1 persona (kg)	75
Masa dinámica 1GL (kg)	3311.1

En base a los datos descritos previamente se logra obtener los parámetros dinámicos teóricos siguientes en la tabla 48.

Tabla 48. Parámetros dinámicos teóricos del puente.

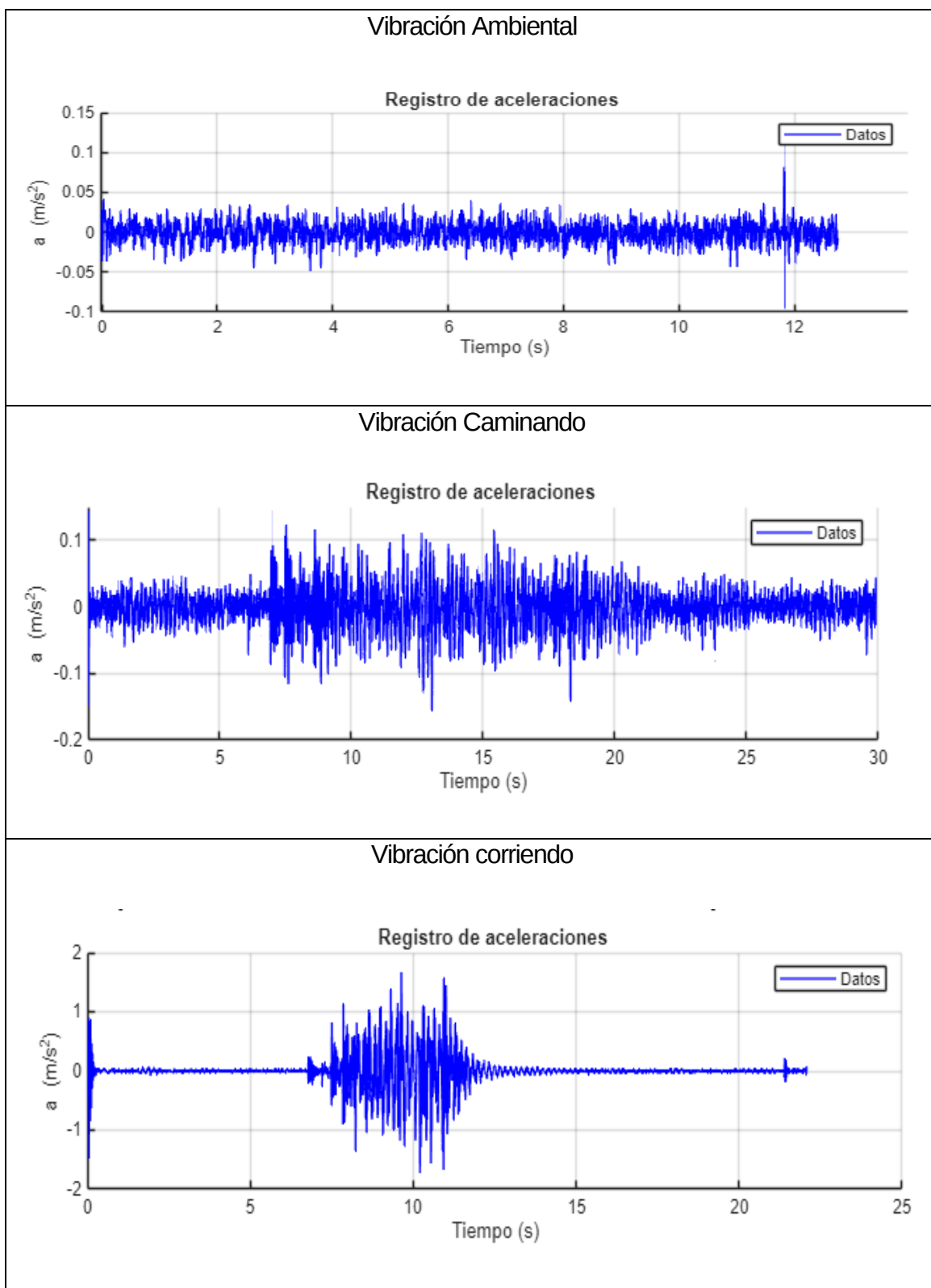
Resultados de Excel Teórico o analítico	Tn teórico (s)	0.2000
	Fn Frecuencia (Hz)	5.000
	Wn (rad/s)	28.61

4.9.4. Lecturas con SmartVib

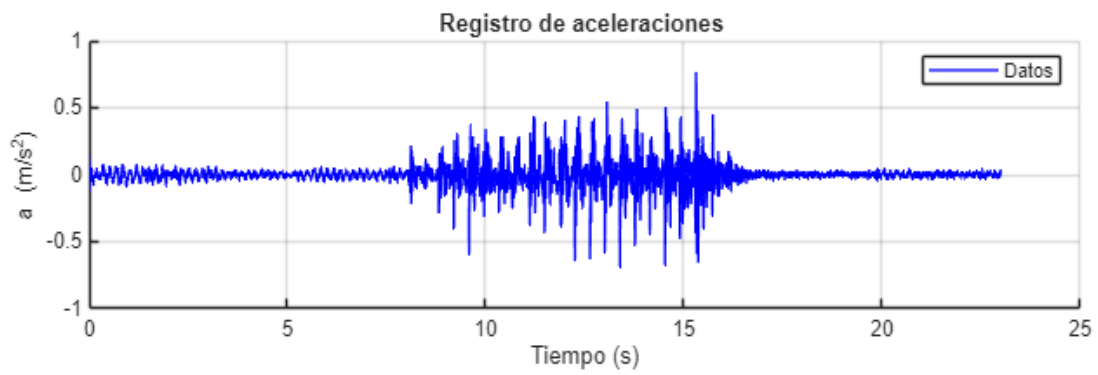
Se realizaron mediciones de vibraciones en el puente bajo diferentes condiciones: vibración ambiental, caminata, carrera, trote y salto. De estas, la que presentó mejores resultados en términos de visualización y análisis, fue la vibración libre generada por el salto. Para las demás condiciones, debido al alto nivel de ruido, solo se pudo obtener el período y la frecuencia. Dado el complejo proceso de tratamiento de datos y la presencia significativa de ruido, por eso se decidió incluir en la aplicación SmartVib la Transformada de Fourier, permitiendo así identificar las frecuencias de vibración a de los datos sin filtrar.

En la siguiente ilustración se presenta las diferentes condiciones de vibración de lectura.

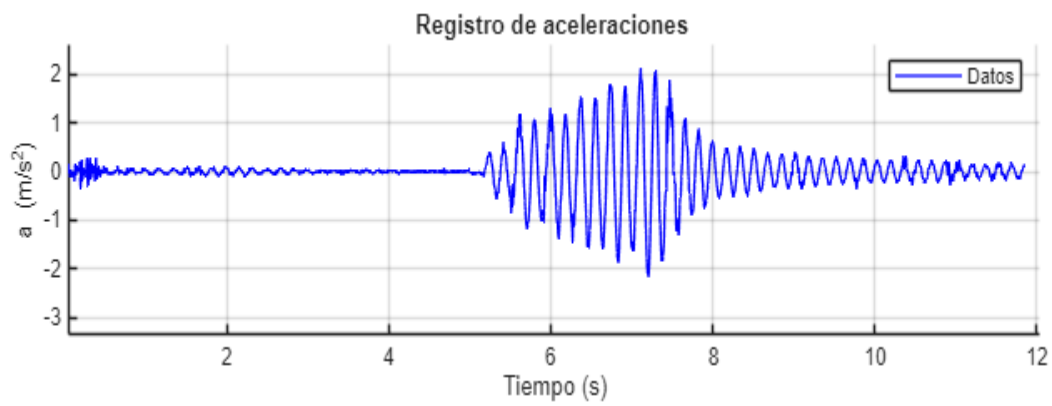
Ilustración 13. Lectura de vibraciones libres en SmartVib



Vibración Trotando



Vibración saltando



4.9.5. Simulación o modelado en SAP 2000 Versión 24

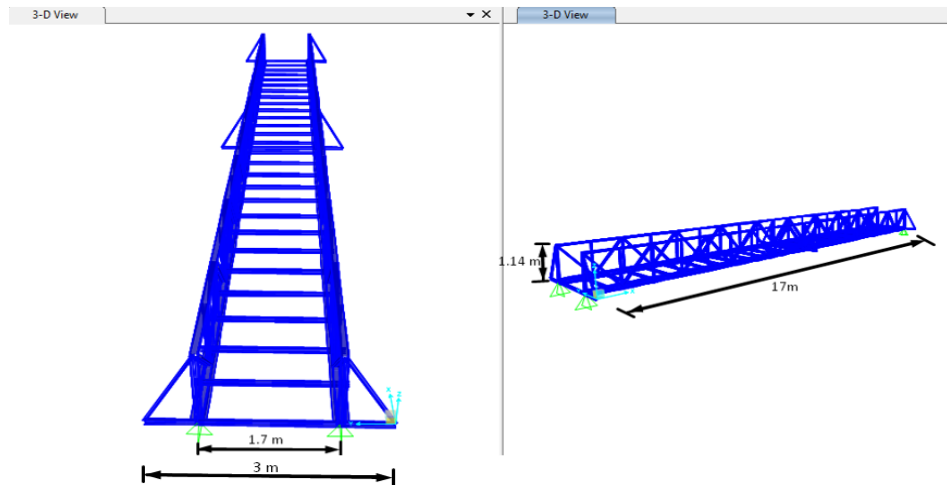
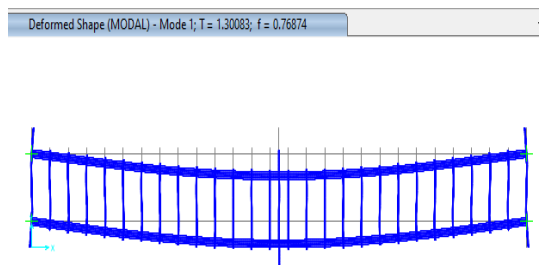


Ilustración 14. Modelación de puente bosques de Pomona.

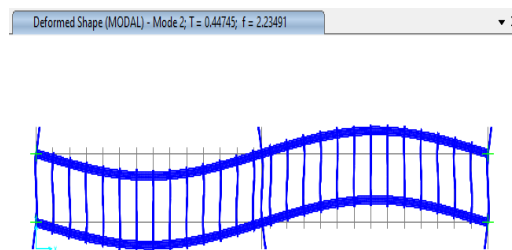
4.9.6. Modos de vibración

En las siguientes imágenes se muestra los modos de vibración:

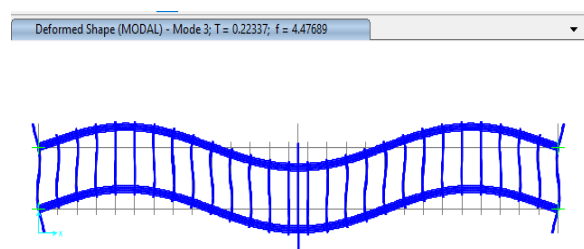
Modo 1



Modo 2

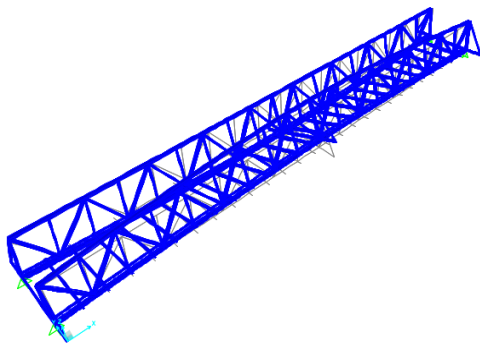


Modo 3



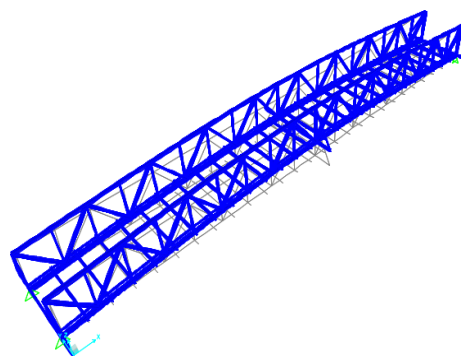
Modo 4

Deformed Shape (MODAL) - Mode 4; T = 0.19339; f = 5.17088



Modo 5

Deformed Shape (MODAL) - Mode 5; T = 0.1869; f = 5.35053



En la Tabla 49 se presenta la masa modal participativa correspondiente al quinto modo, en el cual se obtiene un período de 0.1868 segundos.

Tabla 49. Masa participativa de puente.

Participating Mass Ratios						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	1.300825	0.000	0.870	0.000
MODAL	Mode	2	0.447445	0.000	0.000	0.000
MODAL	Mode	3	0.22337	0.000	0.087	0.000
MODAL	Mode	4	0.193391	0.000	0.000	0.000
MODAL	Mode	5	0.186898	0.000	0.000	0.868
MODAL	Mode	6	0.131297	0.000	0.000	0.000
MODAL	Mode	7	0.107094	0.000	0.000	0.000
MODAL	Mode	8	0.09955	0.000	0.000	0.000
MODAL	Mode	9	0.087814	0.000	0.023	0.000
MODAL	Mode	10	0.081145	0.000	0.000	0.000
MODAL	Mode	11	0.077106	0.000	0.000	0.000
MODAL	Mode	12	0.076508	0.000	0.000	0.000

A continuación, se presenta la Tabla 50, que compara los resultados obtenidos con SmartVib, SAP2000 y cálculos teóricos en términos de período y frecuencia, además de verificar el cumplimiento de la NSR-10. Se observa que, en los cálculos manuales, la frecuencia se encuentra en el límite de 5 Hz, mientras que en los otros dos métodos es ligeramente mayor. A pesar de que el período de vibración presenta un margen de diferencia del 6%, los resultados siguen siendo coherentes con la realidad. Esto se debe a que una frecuencia baja indica una mayor flexibilidad estructural, lo cual se confirma en este análisis, donde la frecuencia obtenida 5Hz.

Tabla 50. Tabla comparativa de período y frecuencia con la NSR-10.

	Tn (s)	Fn (Hz)	F (Hz) <<NSR-10>>
Cálculos Teórico o analítico	0.200	5.000	>5
SAP 2000 versión 2024	0.188	5.319	
SmartVib	0.185	5.405	

En la Tabla 51 siguiente se muestra los porcentajes de margen de diferencia con respecto al cálculo teórico.

Tabla 51. Margen de diferencia con los tres métodos de análisis.

Tn [s] teórico	0.2000	
Método	SAPP 2000	SmartVib
Tn	0.188	0.1850
% (Porcentaje de diferencia)	6%	8%

4.10. Comparación de costo de un Smartphone vs un Acelerógrafo

En la Tabla 52 se detalla la cotización de acelerógrafos y un smartphone de gama alta. Si bien existe una diferencia significativa en el costo y en la precisión de los dispositivos, no se descarta la utilidad del smartphone para la lectura de aceleraciones, especialmente en aplicaciones donde su nivel de precisión sea suficiente para el análisis requerido.

Tabla 52. Evaluación de costos de acelerómetros y smartphone

Ítem	Descripción	Costo
1	Acelerógrafo Digital SENTINEL GEO,	\$ 18,000,000
		
2	ACELERÓGRAFO FORTIMUS "GÜRALP" FMUS-0001	
		\$ 51,542,900
3	iphone 13 128GB Blanco estrella	
		\$ 2,870,000

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- A partir de los experimentos realizados en el laboratorio de estructuras con madera de pino y guadua, se observó que cuando se usan secciones transversales pequeñas o de baja inercia, los % de diferencia con respecto a los teóricos son bajos, oscilan entre 0% y el 10%. En contraste, la madera de pino con una sección más grande que las otras mostró variaciones más significativas, alcanzando en algunos casos hasta un 30% de diferencia, se considera más adecuado desarrollar la guía práctica de laboratorio utilizando las secciones pequeñas.
- En la implementación del análisis de vibraciones libres mediante análisis de fotogramas de video, se encuentra que este método presenta limitaciones al detectar pequeñas deformaciones. Esto se debe a la resolución de los fotogramas y número de FPS (frames por segundo) y la capacidad del software para interpretar desplazamientos sutiles, lo que impide una lectura precisa de las oscilaciones de baja magnitud.
- Mediante la medición de las propiedades dinámicas del puente peatonal con el smartphone, se encuentra que para este tipo de estructuras es práctico usar este método de medición de aceleraciones en campo y se obtuvo un bajo porcentaje de diferencia con respecto al teórico.
- La diferencia de costos entre un acelerógrafo y un smartphone con acelerómetro es notable, al igual que su capacidad de percepción de energía y frecuencias. Sin embargo, los resultados de este estudio confirman que el teléfono inteligente es una alternativa viable y accesible para evaluar las vibraciones. Los modelos y experimentos propuestos permiten obtener datos precisos de frecuencia y comportamiento dinámico sin depender de equipos especializados, facilitando la implementación de prácticas.

- A través de los ensayos con la viga en voladizo y simplemente apoyada, se observa que la primera ofrece mejores resultados en términos de tolerancia, según los métodos analizados. En contraste, la viga simplemente apoyada presenta mayores márgenes de diferencia. Por este motivo, se ha elaborado una guía de laboratorio basada en el modelo de viga en voladizo.
- La app SmartVib optimizó el procesamiento de los datos brutos obtenidos del acelerómetro del celular, facilitando su filtrado y organización. Esto permitió realizar el análisis de resultados de manera instantánea, mejorando la eficiencia y precisión en la evaluación del comportamiento dinámico de las estructuras.
- El resultado de la frecuencia natural del puente determinada a partir de SmartVib es cercana a la frecuencia natural de los peatones que dicta la NSR-10, siendo esto razones por las que se perciben vibraciones.

TRABAJOS FUTUROS

A partir de los resultados de la investigación se plantea:

- Realizar más ensayos en laboratorio y en campo para validar la precisión del método con el acelerómetro y el software video Tracker.
- Validar la implementación de acelerómetros de celulares en la medición de vibraciones en un edificio y sus componentes

CAPÍTULO 6. BIBLIOGRAFÍA

- Álava, M. V., & Solarte, S. R. (2014). ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS MADERAS GUAYACÁN TRÉBOL, QUIEBRA FILO, CHANUL, PINO PATULA, SANDE, Y SU RELACIÓN CON LA DENSIDAD BÁSICA.
- Cerón, J. M. G., & Vargas, A. F. C. (2023). Dinámica Estructural, Docentes: Daniel Gomez Pizano, Julian David Calonge Florez.
- César, V. L. (2022). Transformada de Fourier. Facultad de ingenieria División de ciencias Básicas Coordinación de ciencias aplicadas.
- CHOPRA, A. K. (2014). Dinámica de Estructuras 4Ed Anil K. Chopra (Cuarta edición).
https://www.academia.edu/36451323/Dinamica_de_Estructuras_4Ed_Anil_K_Chopra
- Frau, C., Tornello, & Giolo, M. (2023, junio 21). Modelos físicos sencillos para la enseñanza de la dinámica estructural.
- López Armas, G. L. (2018). Desarrollo de una aplicación Android para el análisis de vibraciones usando el acelerómetro de un smartphone [bachelorThesis, Quito, 2018.]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19329>
- Monroy Sánchez, D. (2023). Anuario de investigación formativa, en contextos globales. Universidad Catolica de Colombia.
- Moya-Chavarría, L. F. (2011). Análisis y determinación teórica de la rigidez de muros de mampostería reforzada en edificios de hasta dos niveles.
<https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6076>

- Open Source Physics, O. (s. f.). Herramienta de análisis y modelado de videos Tracker para la enseñanza de la física. Recuperado 2 de septiembre de 2024, de <https://physlets.org/tracker/>
- Pradilla, J. L. G., & Ortiz, H. D. H. (2004). PARÁMETROS DE DISEÑO DE ELEMENTOS DE GUADUA CULTIVADA EN EL MUNICIPIO DE ARATOCA, SANTANDER.
- Sampaio, L., Bandeira, A., Veiga, L., de Souza Oliveira Alves, S., Carvajal Rodríguez, F., & Medeiros, L. (2022). Feasibility of Using Data From Sensors Embedded in Smartphones to Measure Angles and Distances. *Revista Brasileira de Cartografia*, 74, 2022. <https://doi.org/10.14393/rbcv74n4-65814>
- Sapuyes, E., Osorio, J., Takeuchi, C., Duarte, M., & Erazo, W. (2018). Resistencia y elasticidad a la flexión de la guadua angustifolia Kunth de Pitalito, Huila. *Revista de Investigación*, 11, 97-111. <https://doi.org/10.29097/2011-639X.182>
- S.RAO, S. (2012). *Vibraciones Mecánicas* (5ta Ed)—Singiresu S. Rao (Quinta edicion). https://www.academia.edu/43013460/Vibraciones_Mec%C3%A1nicas_5ta_Ed_Singiresu_S_Rao
- Taboada, O., Lucia, V., Carranza, U., & Enrique, L. (s. f.). TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ESTRUCTURAS.
- Torroba, P. L., Devece, E., Gallego Sagastume, J. I., Aquilano, L., & Hariyo, M. (2016). Usemos el celular en el aula. III Congreso Argentino de Ingeniería

(CADI) y IX Congreso Argentino de la Enseñanza en Ingeniería (CAEDI)
(Chaco, 7 al 9 de septiembre de 2016).
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/129140>

Universidad del Cauca. (s. f.). Guia No 4 Desplazamiento vigas en voladizo
(Laboratorio de estructuras 4). Universidad del Cauca. Recuperado 4 de
marzo de 2025, de https://drive.google.com/file/d/1IC-82NRemPGmprVLduQgdHprJdq6s3VI/view?usp=drive_web&usp=embed_facebook

ANEXOS

Anexo A. Guía de laboratorio



LABORATORIO DE ESTRUCTURAS
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
UNIVERSIDAD DEL CAUCA

PRACTICA: ANÁLISIS DE VIBRACIONES LIBRES AMORTIGUADAS CON
SMARTPHONE

NOMBRE: _____

FECHA _____ PRÁCTICA: _____ GRUPO: _____

OBJETIVOS.

1. Medir las vibraciones libres de una viga en voladizo mediante un smartphone
2. Calcular las propiedades dinámicas considerando un sistema de 1GDL.
3. Aplicar el planteamiento teórico para determinar una masa desconocida.
4. Comparar resultados del video Tracker y los datos obtenidos con la app SmartVib.

MARCO TEÓRICO.

En el estudio de la dinámica de estructuras, la vibración libre se define como el movimiento oscilatorio que ocurre cuando una estructura es desplazada de su posición de equilibrio estático y luego se le permite vibrar sin la influencia de fuerzas externas continuas. Esta vibración se produce debido a las propiedades intrínsecas del sistema, como su masa y rigidez, y no por excitaciones externas

Un grado de libertad (GDL) en ingeniería se refiere a la cantidad de variables independientes necesarias para describir completamente el movimiento o la deformación de un sistema o estructura. Es decir, representa el número mínimo de coordenadas requeridas para definir la posición de un sistema en el espacio. En el análisis estructural, cada GDL corresponde a un posible movimiento independiente, ya sea de traslación o rotación, de una estructura o de uno de sus elementos

VIBRACIÓN LIBRE AMORTIGUADA

Comenzando con la ecuación de movimiento para un sistema de un grado de libertad (1GDL),

$$m\ddot{U} + C\dot{U} + KU = p(t)$$

Ecuación 12

Donde:

$$\begin{aligned}
 m\ddot{U} &= \text{Término de masa} \\
 C\dot{U} &= \text{Término de amortiguamiento} \\
 KU &= \text{Término de rigidez,} \\
 p(t) &= \text{Fuerza dinámica externa}
 \end{aligned}$$

Si establece $p(t) = 0$ en la ecuación de movimiento, se obtiene la ecuación diferencial que rige la vibración libre de sistemas de 1GDL con amortiguamiento:

$$m\ddot{U} + C\dot{U} + KU = 0$$

Ecuación 13

Dividiendo entre m tenemos

$$\ddot{U} + \frac{C}{m} \dot{U} + \frac{K}{m} U = 0$$

Ecuación 14

Donde la Frecuencia angular es $W_n = \sqrt{\frac{K}{m}}$ (rad/seg), y $\zeta = \frac{C}{2mW_n} = \frac{C}{C_{cr}}$ (Razón de amortiguamiento crítico). La constante de amortiguamiento C indica la cantidad de energía que se disipa durante un ciclo de vibración libre.

TIPOS DE AMORTIGUAMIENTO

Encontramos 3 tipos de movimiento, el subamortiguado con una relación de amortiguamiento $\zeta < 1$, críticamente amortiguado siendo $\zeta = 1$ y el sobreamortiguado $\zeta > 1$. En la Figura 1 se representa los movimientos de amortiguamiento.

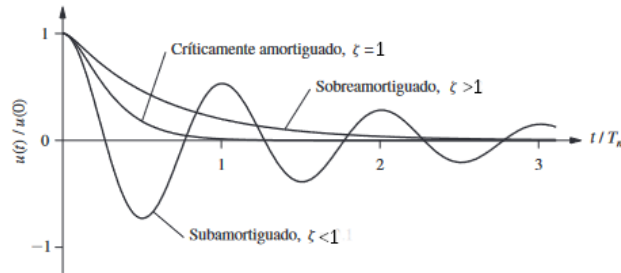


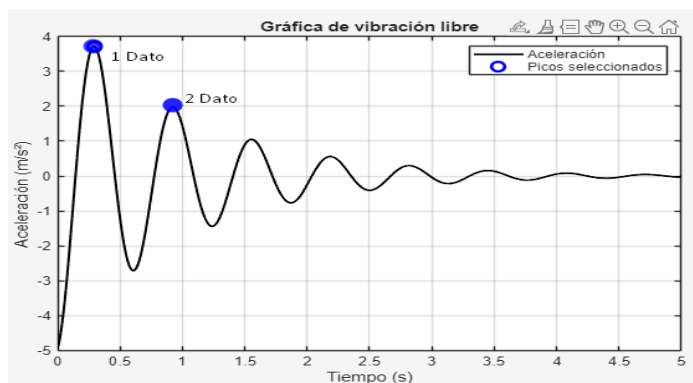
Figura 10. Tipos de vibraciones

Parámetros Dinámicos

Frecuencia Natural (f_n)	Período Natural (T_n)	La frecuencia natural circular:
$f_n = \frac{1}{T_n}$ (Hz)	$T_n = \frac{2\pi}{W_n}$ (S)	$W_n = \frac{W_d}{\sqrt{1 - \zeta^2}}$
		$W_n = \sqrt{\frac{K}{m}}$ (rad/s)

Frecuencia natural amortiguada (ω_d): Es la frecuencia de oscilación del sistema cuando hay amortiguamiento presente. $\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$	Periodo Amortiguado $T_d = t_f - t_i$ $T_d = \frac{2\pi}{\omega_d}$	Frecuencia amortiguada (f_d) $f_d = T_n \sqrt{1 - \zeta^2}$
---	--	---

La razón de amortiguamiento gráficamente se obtiene de la siguiente forma



$$\zeta = \frac{\pi}{2} \ln \left(\frac{1 \text{ Dato}}{2 \text{ Dato}} \right)$$

MODELO DE LA PRÁCTICA-VIGA EN VOLADIZO

En el modelo de viga en voladizo, los parámetros dinámicos como la rigidez se determina mediante la ecuación 4.

$$K = \frac{3EI}{l^3}$$

Ecuación 4, K de viga en voladizo

SISTEMA DE ADQUISICIÓN

Para la adquisición de las aceleraciones se utilizarán los sensores incorporados en los teléfonos inteligentes. Estos dispositivos suelen contar con acelerómetros triaxiales capaces de medir la respuesta en tres direcciones perpendiculares (Figura 2). Las aplicaciones disponibles sugeridas en la Tabla 1 le permiten guardar los datos adquiridos en un archivo “.txt” o “.mat.”.

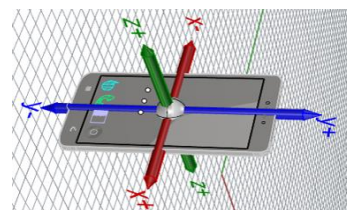
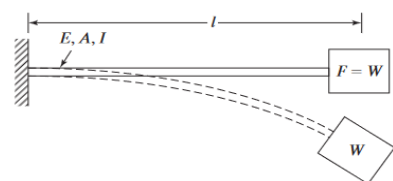


Figura 11. Ejes asignados al acelerómetro del celular.

Tabla 53. Sistemas de adquisición

Sistema Operativo	App sugerida	Frecuencia de muestreo (HZ)	Precio
Android	Accelerometer meter	~ 200	Free
iOS	Vibsensor	1-100	~ US\$
Android	Matlab Mobile	1-101	Free

VIDEO TRACKER

Es una herramienta gratuita de análisis y modelado de videos, desarrollada sobre el marco de trabajo Java (Open Source Physics, s. f.) o OSP. Es una herramienta de análisis de movimiento que permite estudiar el comportamiento dinámico de objetos en videos, convirtiendo imágenes en datos de posición, velocidad y aceleración. Es muy útil para el estudio de vibraciones libres en sistemas físicos, ya que facilita la visualización y análisis de cómo un objeto oscila o se mueve bajo ciertas condiciones. El funcionamiento de Tracker se desarrolla en los siguientes pasos: Captura de video del fenómeno físico, importación del video, calibrar (la longitud de la escala), marca de puntos de interés o de referencia, análisis de movimiento teniendo en cuenta el seguimiento de los puntos marcados en las fotografías de los videos, gráficas y datos de salida (observación del patrón oscilatorio).

Tutorial: https://www.youtube.com/watch?v=HuZRnc8FI4&ab_channel=MiguelangelCarvallo

PROCEDIMIENTO

1) Realice el montaje experimental con la probeta de guadua ver Figura 3, asegurándose de que esté fijada a la base sólida, para prevenir vibraciones no correspondidas al ensayo de análisis.

A). Medir las dimensiones, hallar las propiedades geométricas de la viga y llenar la tabla 2, medir la masa de la viga y ponderar la masa según su longitud en voladizo, medir las masas adicionales, calcular la masa para el modelo dinámico y llenar la tabla 3.

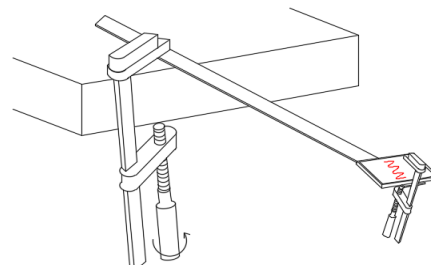


Figura 12. Montaje de ensayo de vibración libre

B) Estimar el periodo natural T_n teórico, teniendo en cuenta un módulo de literatura de 19600 N/mm². (Completar tabla 3)

C). Con el ensayo de vibración libre, registre las aceleraciones en su dispositivo móvil utilizando una app, luego grafique tiempo vs aceleración.

D). Gráficamente y con promedios hallar: ζ , T_D , luego calcular ω_D , ω_n , T_n , f_n y k , (Completar tabla 4) comparar T_n vs T_n teórico.

E). Utilice el valor de rigidez obtenido en el punto anterior, para estimar el valor del módulo de elasticidad de la guadua. Compárelo con valores reportados en la literatura. Tener en cuenta que la rigidez a flexión de una viga en voladizo es igual a la ecuación 4. (Completar tabla 4)

2) Sobre el montaje experimental ya realizado, se agrega una placa metálica de masa desconocida en el extremo de la probeta de guadua para modificar su comportamiento dinámico.

A) Lleve a cabo un nuevo ensayo de vibración libre y utilizando el valor de rigidez calculado anteriormente, analice las lecturas de aceleración obtenidas con su celular para estimar las propiedades físicas y dinámicas del sistema. Hallar la masa desconocida y completar tabla 5.

B) Concluir la precisión de los resultados y discutir las posibles fuentes de error en la medición y el análisis de datos para ambos experimentos.

3) Repetir el anterior ensayo utilizando Video Tracker, con el tutorial hallar ζ , T_D , luego calcular ω_D , ω_n , T_n , f_n y k

Modalidad de calificación

Para la calificación de esta práctica se tendrá en cuenta lo siguiente:

1) Precisión de los resultados (50%)

$$Dif = |Masa_{Encontrada} - Masa_{teórica}|$$

$$Puntaje\ presición = 5 - \frac{Dif - Min_{Dif}}{Max_{Dif} - Min_{Dif}}$$

$$Nota\ final = 0.6 \times Informe + 0.4 \times Puntaje\ presición$$

CÁLCULOS Y RESULTADOS.

DIMENSIONES Y PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE LA VIGA

Tabla 54

Altura (H) (mm)	Ancho (B) (mm)	Longitud (L) (mm)	I _x (mm ⁴)	I _y (mm ⁴)

Tabla 55.

Masa viga ponderada (kg)	Masa del celular (kg)	Masa de prensa o mordazas (kg)	Masa modelo dinámico (kg)	Rigidez Teórica (N/m)	$T_{n \text{ teorico}}$ (s)

PARÁMETROS DINÁMICOS

Tabla 56.

z=e [%]	Td (s)	Wd (rad/s)	Wn (rad/s)	Tn (s)	Fn (Hz)	Masa modelo dinámico (kg)	K (N/mm)	E (N/mm ²)	E _{Literatura} (N/mm ²)

DETERMINACIÓN DE MASA DESCONOCIDA

Tabla 57.

z=e [%]	Td (s)	Wd (rad/s)	Wn (rad/s)	K (N/mm)	M desconocida (Kg)	Masa modelo dinámico (kg)

COMPARACIÓN VIDEO ACEL CELULAR Y VIDEO TRACKER

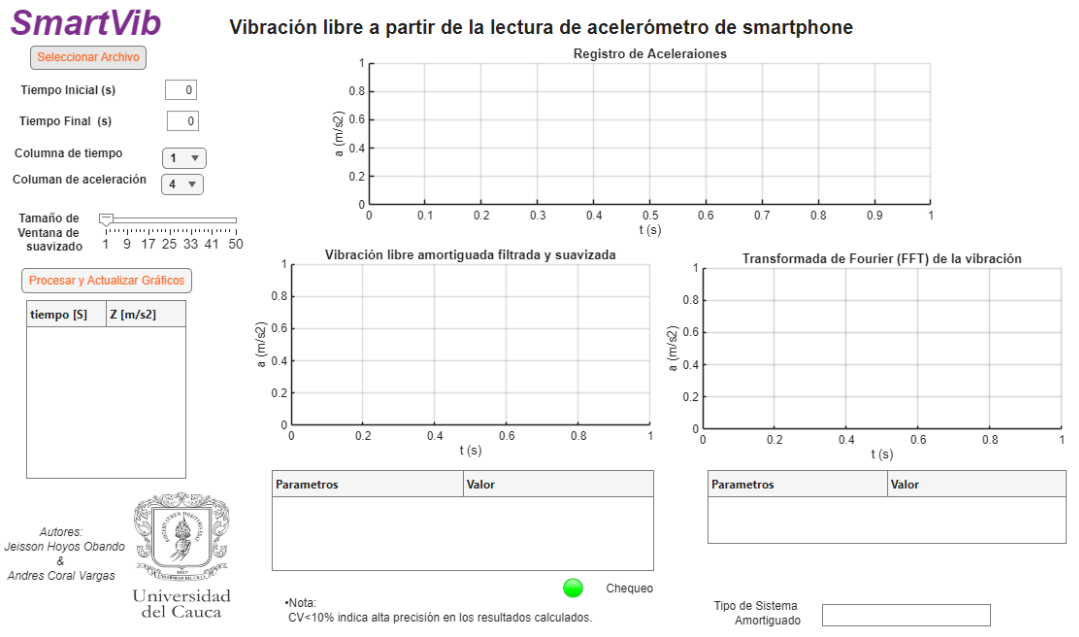
Tabla 58

Acel celular		Video Tracker	
Td [s]	z=e [%]	Td [s]	z=e [%]

Anexo B. App SmartVib

Se pone a disposición el código abierto de la aplicación **SmartVib**, desarrollada en **MATLAB**, para su uso y consulta.

Interfaz



Código

```
classdef SmartVib < matlab.apps.AppBase
```

```
% Properties that correspond to app components
properties (Access = public)
    UIFigure
    TSAmortiguado
    TipodeSAmortiguadoLabel
    ChequeoLampLabel
    ChequeoLamp
    Label
    Image
    AutoresJeissonHoyosObandoAndresCoralVargasLabel
    Table_resultados_2
    Table_resultados
    Table_datos
    ProcesaryActualizarGrficosButton
    TamVentana
    TamaodeVentanaLabel
    newcolace
    ColumandeaceleracinLabel
    newcoltime
    ColumnadetiempoLabel
    matlab.ui.Figure
    matlab.ui.control.EditField
    matlab.ui.control.Label
    matlab.ui.control.Label
    matlab.ui.control.Lamp
    matlab.ui.control.Label
    matlab.ui.control.Image
    matlab.ui.control.Label
    matlab.ui.control.Table
    matlab.ui.control.Table
    matlab.ui.control.Table
    matlab.ui.control.Button
    matlab.ui.control.Slider
    matlab.ui.control.Label
    matlab.ui.control.DropDown
    matlab.ui.control.Label
    matlab.ui.control.DropDown
    matlab.ui.control.Label
end
```

```

Time_final                matlab.ui.control.NumericEditField
NuevoiniciodetiempoLabel_2 matlab.ui.control.Label
Timenew                   matlab.ui.control.NumericEditField
NuevoiniciodetiempoLabel  matlab.ui.control.Label
Cargar_Archivo            matlab.ui.control.StateButton
VibracinlibreapartirdelalecturadeacelermetrodesmartphoneLabel
matlab.ui.control.Label
SmartVibLabel             matlab.ui.control.Label
Grafico_fft               matlab.ui.control.UIAxes
Grafico_completo          matlab.ui.control.UIAxes
Grafico_corregido         matlab.ui.control.UIAxes
end

properties (Access = public)
    tabla % Description
end

properties (Access = private)
    ArchivoLeido=false; % Inicializar la propiedad Como false
end

% Callbacks that handle component events
methods (Access = private)

    % Value changed function: Cargar_Archivo
    function Cargar_ArchivoValueChanged(app, event)

% Cerrar cualquier figura abierta
        close all
        value = app.Cargar_Archivo.Value;
        [nombre, direccion] = uigetfile('*.txt', 'Seleccione un archivo
TXT');
        if isequal(nombre,0) % Si no se seleccionó archivo, mostrar mensaje
            uialert(app.UIFigure, 'No se seleccionó ningún archivo.',
'Advertencia');
        else
            % Leer el archivo y cargarlo como tabla
            archivoCompleto = fullfile(direccion, nombre);

            % Leer el archivo como tabla

            app.tabla = readtable(archivoCompleto);

% Extraer columnas específicas

            Coltime = str2double(app.newcoltime.Value); % Convertir a número
            Colace = str2double(app.newcolace.Value);

            tmp= app.tabla{:,Coltime}; %columna de tiempo
            Az = app.tabla{:,Colace}; % Columna de aceleración

% Filtrar datos desde un tiempo inicial especificado por el usuario

```

```

    indicesValidos = tmp >= 0; % Seleccionar datos con tiempo >= t_inicio

    tmp_filtrado = tmp(indicesValidos); % Tiempo filtrado
    Az_filtrado = Az(indicesValidos); % Aceleración filtrada

%%
% usos de transformada de fourier
%Calculo de frecuencia de muestreo

    tmuestreo= tmp(2)-tmp(1)
    fmuestreo=1/tmuestreo

    % Aplicar FFT a la aceleración

    y= fft(Az);

    % Calculo de eje de frecuencia correctamente

    f=(0:length(y)-1)*fmuestreo/length(y);

    % Encontrar la frecuencia dominante

    [amplmax,pos]= max(abs(y));
    fd=f(pos);
    td=1/fd;

    n = length(Az);

    fshift = (-n/2:n/2-1)*(fmuestreo/n);
    yshift = fftshift(y);

    % Crear la gráfica en UIaxes

    plot(app.Grafico_fft,fshift(length(fshift)/2:end)
,abs(yshift(length(yshift)/2:end)), 'b', 'LineWidth', 1); % Graficar
transformada de Fourier
    % hold (app.Grafico_fft,"on") ; % Mantener la gráfica para agregar los
máximos

    % Etiquetas y título

    xlabel(app.Grafico_fft,'Frecuencia (Hz)'); % Etiqueta del eje X
    ylabel(app.Grafico_fft,'a (m/s^2)'); % Etiqueta del eje Y
    title(app.Grafico_fft,'Transformada de Fourier (FFT) de la vibración'); %
Título

    % Crear una tabla con los resultados de período y razón de amortiguamiento

    Res_para=table({"Td (s)"; "Fd (Hz)"}, ...
    [td; fd]);
    app.Table_resultados_2.Data=Res_para
%%
% Identificar máximos locales filtrados

```

```

maxlogico = islocalmax(Az_filtrtime ); % Vector lógico con máximos locales
MaxAz = Az_filtrtime(maxlogico);      % Extraer valores máximos
Maxtmp = tmp_filtrtime(maxlogico);    % Extraer tiempos correspondientes
%

% Crear la gráfica en UIAxes

plot(app.Grafico_completo,tmp_filtrtime , Az_filtrtime, 'b', 'LineWidth', 1); %
Graficar datos filtrados
hold (app.Grafico_completo,"on") ; % Mantener la gráfica para agregar los
máximos

% Personalización de la gráfica

xlabel(app.Grafico_completo,'Tiempo (s)'); % Etiqueta del eje X
ylabel(app.Grafico_completo,'a (m/s^2)'); % Etiqueta del eje Y
title(app.Grafico_completo,'Registro de aceleraciones '); % Título
legend(app.Grafico_completo,'Datos ', 'Máximos locales'); % Leyenda
grid (app.Grafico_completo,"on"); % Mostrar cuadrícula
hold (app.Grafico_completo,"off"); % Liberar la figura

% Actualizar el estado para indicar que el archivo ha sido leído

app.ArchivoLeido = true; % Establecer el estado a verdadero
    end

end

% Button pushed function: ProcesaryActualizarGrficosButton
function ProcesaryActualizarGrficosButtonPushed(app, event)

% Verificar si el archivo ha sido leído
if ~app.ArchivoLeido
    % Si no se ha leído el archivo, mostrar un mensaje de advertencia
    uialert(app.UIFigure, 'Por favor, lee el archivo antes del suavizado de
datos.', 'Advertencia');
    return; % Salir del callback sin realizar el refinado
end

% Ahora el archivo ha sido leído,

Coltime = str2double(app.newcoltime.Value); % Convertir a número
Colace = str2double(app.newcolace.Value);

tmp= app.tabla(:,Coltime); %columna de tiempo
Az = app.tabla(:,Colace); % Columna de aceleración

% Filtrar datos desde un tiempo inicial especificado por el usuario
t_inicio = app.Timenew.Value; % Valor ingresado por el usuario
t_final=app.Time_final.Value; % Valor final ingresado por el usuario
indicesValidos = tmp >= t_inicio & tmp<t_final ; % Seleccionar datos con
tiempo >= t_inicio

```

```

    tmp_filtime = tmp(indicesValidos); % Tiempo con valor inicial propuesto en
interfaz
    Az_filtime = Az(indicesValidos); % Aceleración a partir del tiempo inicial
propuesto

%%

    Azsuavizado = sgolayfilt(Az_filtime, 5, 7); % Suavizado con promedio móvil
    Ventanamovil=app.TamVentana.Value; % es la ventana automatica que el usuario
da
    Azsuavizado = smoothdata( Azsuavizado, 'movmean', Ventanamovil); % Suavizado
con promedio móvil

    % Identificar máximos locales filtrados

    maxlogico = islocalmax(Azsuavizado); % Vector lógico con máximos locales
    for i=1:length(maxlogico)
        temporal=Azsuavizado(i);
        if temporal<0
            maxlogico(i)=0;
        end
    end
    MaxAz = Azsuavizado(maxlogico); % Extraer valores máximos
    Maxtmp = tmp_filtime(maxlogico); % Extraer tiempos correspondientes

% Calculo de parametros fisicos
for i=1:(length(Maxtmp) -1)
    Periodos(i)=Maxtmp(i+1)-Maxtmp(i)
end
    periodo_promedio=mean(Periodos);% Promedio del período

    Fr=1/periodo_promedio; %Frecuencia
%%

for i=1:(length(MaxAz)-1)
    Delta=log(abs(MaxAz(i)/MaxAz(i+1)));
    Razon_Amortiguamiento(i)=(1/(2*pi))*Delta*100
end
    RazonAmort_promedio=mean(Razon_Amortiguamiento);% Promedio de la razón de
amortiguamiento
    W_d = 2*pi/ periodo_promedio;
%% Estadística
    Acumulado=0;
    for i=1:(length(Maxtmp) -1)
        Difcuadrado=(Periodos(i)-periodo_promedio)^2;
        Acumulado=Acumulado+Difcuadrado;
        n=length(Maxtmp);
    end

    Desv=sqrt(1/(n-1)* Acumulado); % Desviación estandar

```

```

cv=(Desv/periodo_promedio)*100 ; % Coeficiente de desviacion estandar (menor al
10% los resultados indican consistencia o presición)
if cv<10
    app.ChequeoLamp.Color=[0,1,0]; % color Green
else
    app.ChequeoLamp.Color=[1,0,0]; % Color Red
end

%% Crear una tabla con los máximos
tablaMax = table(Maxtmp, MaxAz, 'VariableNames', {'Tiempo', 'Z
(m/s^2)'}); %tabla de maximos valores

% Mostrar los datos en la tabla de la interfaz
app.Table_datos.Data = tablaMax ;

%% Crear una tabla con los resultados de período y razón de amortiguamiento

Res_parametros=table({"Td promedio (s)"; "Razon de amortiguamiento (%)"; "Fd
(Hz)"; "Wd (Rad/s)"; "σ, Desviacion estandar de Td (s) "; "CV, Coef. variación
estandar de Td %"}, ...
    [periodo_promedio; RazonAmort_promedio; Fr; W_d; Desv; cv]);
app.Table_resultados.Data=Res_parametros

%% Tipo de Sistema amortiguado
if RazonAmort_promedio>1
    app.TSAmortiguado.Value="Sistema sobreamortiguado";
elseif RazonAmort_promedio<1
    app.TSAmortiguado.Value="Sistema subamortiguado";
else
    app.TSAmortiguado.Value="Sistema críticamente Amortiguado";
end

% Crear la gráfica

%Gráfico en azul

plot(app.Grafico_corregido,tmp_filtime,Az_filtime,'-b', 'LineWidth', 1.5);
hold (app.Grafico_corregido,"on"); % Mantener la gráfica para agregar los
máximos

%Gráfico en verde

plot(app.Grafico_corregido,tmp_filtime, Azsuavizado, '-g', 'LineWidth',
1.5); % Graficar datos filtrados

% Graficar los máximos en rojo
plot(app.Grafico_corregido,Maxtmp, MaxAz, 'ro', 'MarkerSize', 3,
'LineWidth', 1.5); % Graficar los máximos

% Etiquetas y título

xlabel(app.Grafico_corregido,'Tiempo (s)'); % Etiqueta del eje X

```

```

ylabel(app.Grafico_corregido,'a (m/s^2)'); % Etiqueta del eje Y
title(app.Grafico_corregido,'Gráfica de Vibración libre Amortiguada
suavizada y filtrada'); % Título

% Leyenda actualizada

legend(app.Grafico_corregido,'Datos Filtrados', 'Datos suavizados', 'Máximos
locales'); % Leyenda
grid (app.Grafico_corregido, "on"); % Mostrar cuadrícula
hold (app.Grafico_corregido,"off"); % Liberar la figura

end
end

% Component initialization
methods (Access = private)

% Create UIFigure and components
function createComponents(app)

    % Get the file path for locating images
    pathToMLAPP = fileparts(mfilename('fullpath'));

    % Create UIFigure and hide until all components are created
    app.UIFigure = uifigure('Visible', 'off');
    app.UIFigure.Color = [1 1 1];
    app.UIFigure.Position = [92 50 1126 663];
    app.UIFigure.Name = 'MATLAB App';
    app.UIFigure.Theme = 'light';

    % Create Grafico_corregido
    app.Grafico_corregido = uiaxes(app.UIFigure);
    title(app.Grafico_corregido, 'Vibración libre amortiguada filtrada y
suavizada')
    xlabel(app.Grafico_corregido, 't (s)')
    ylabel(app.Grafico_corregido, 'a (m/s2)')
    zlabel(app.Grafico_corregido, 'Z')
    app.Grafico_corregido.XGrid = 'on';
    app.Grafico_corregido.YGrid = 'on';
    app.Grafico_corregido.Position = [269 190 414 217];

    % Create Grafico_completo
    app.Grafico_completo = uiaxes(app.UIFigure);
    title(app.Grafico_completo, 'Registro de Aceleraciones')
    xlabel(app.Grafico_completo, 't (s)')
    ylabel(app.Grafico_completo, 'a (m/s2)')
    zlabel(app.Grafico_completo, 'Z')
    app.Grafico_completo.XGrid = 'on';
    app.Grafico_completo.YGrid = 'on';
    app.Grafico_completo.Position = [349 417 623 197];

    % Create Grafico_fft
    app.Grafico_fft = uiaxes(app.UIFigure);

```

```

title(app.Grafico_fft, 'Transformada de Fourier (FFT) de la
vibración')
xlabel(app.Grafico_fft, 't (s)')
ylabel(app.Grafico_fft, 'a (m/s2)')
zlabel(app.Grafico_fft, 'Z')
app.Grafico_fft.GridColor = [0 0 0];
app.Grafico_fft.XGrid = 'on';
app.Grafico_fft.YGrid = 'on';
app.Grafico_fft.Position = [693 186 414 217];

% Create SmartVibLabel
app.SmartVibLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.SmartVibLabel.FontName = 'Arial';
app.SmartVibLabel.FontSize = 36;
app.SmartVibLabel.FontWeight = 'bold';
app.SmartVibLabel.FontAngle = 'italic';
app.SmartVibLabel.FontColor = [0.4941 0.1843 0.5569];
app.SmartVibLabel.Position = [17 613 184 51];
app.SmartVibLabel.Text = 'SmartVib';

% Create
VibracinlibreapartirdelalecturadeacelermetrodesmartphoneLabel
app.VibracinlibreapartirdelalecturadeacelermetrodesmartphoneLabel =
uilabel(app.UIFigure);

app.VibracinlibreapartirdelalecturadeacelermetrodesmartphoneLabel.BackgroundColor = [1 1 1];

app.VibracinlibreapartirdelalecturadeacelermetrodesmartphoneLabel.HorizontalAlignment = 'center';

app.VibracinlibreapartirdelalecturadeacelermetrodesmartphoneLabel.FontName = 'Arial';

app.VibracinlibreapartirdelalecturadeacelermetrodesmartphoneLabel.FontSize = 20;

app.VibracinlibreapartirdelalecturadeacelermetrodesmartphoneLabel.FontWeight = 'bold';

app.VibracinlibreapartirdelalecturadeacelermetrodesmartphoneLabel.Position = [229 621 668 26];

app.VibracinlibreapartirdelalecturadeacelermetrodesmartphoneLabel.Text = '
Vibración libre a partir de la lectura de acelerómetro de smartphone';

% Create Cargar_Archivo
app.Cargar_Archivo = uibutton(app.UIFigure, 'state');
app.Cargar_Archivo.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@Cargar_ArchivoValueChanged, true);
app.Cargar_Archivo.Text = 'Seleccionar Archivo';
app.Cargar_Archivo.BackgroundColor = [0.902 0.902 0.902];
app.Cargar_Archivo.FontName = 'Arial';
app.Cargar_Archivo.FontColor = [1 0.4118 0.1608];
app.Cargar_Archivo.Position = [39 589 120 25];

```

```

% Create NuevoiniciodetiempoLabel
app.NuevoiniciodetiempoLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.NuevoiniciodetiempoLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.NuevoiniciodetiempoLabel.FontName = 'Arial';
app.NuevoiniciodetiempoLabel.FontWeight = 'bold';
app.NuevoiniciodetiempoLabel.Position = [24 557 103 22];
app.NuevoiniciodetiempoLabel.Text = 'Tiempo Inicial (s)';

% Create Timenew
app.Timenew = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.Timenew.Position = [178 558 33 21];

% Create NuevoiniciodetiempoLabel_2
app.NuevoiniciodetiempoLabel_2 = uilabel(app.UIFigure);
app.NuevoiniciodetiempoLabel_2.HorizontalAlignment = 'right';
app.NuevoiniciodetiempoLabel_2.FontName = 'Arial';
app.NuevoiniciodetiempoLabel_2.FontWeight = 'bold';
app.NuevoiniciodetiempoLabel_2.Position = [20 525 103 22];
app.NuevoiniciodetiempoLabel_2.Text = 'Tiempo Final (s)';

% Create Time_final
app.Time_final = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.Time_final.Position = [180 526 33 21];

% Create ColumnadetiempoLabel
app.ColumnadetiempoLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.ColumnadetiempoLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.ColumnadetiempoLabel.FontWeight = 'bold';
app.ColumnadetiempoLabel.Position = [18 492 133 22];
app.ColumnadetiempoLabel.Text = 'Columna de tiempo';

% Create newcoltime
app.newcoltime = uidropdown(app.UIFigure);
app.newcoltime.Items = {'1', '2', '3', '4'};
app.newcoltime.Tooltip = {''};
app.newcoltime.FontWeight = 'bold';
app.newcoltime.Position = [175 487 46 22];
app.newcoltime.Value = '1';

% Create ColumandeaceleracinLabel
app.ColumandeaceleracinLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.ColumandeaceleracinLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.ColumandeaceleracinLabel.FontWeight = 'bold';
app.ColumandeaceleracinLabel.Position = [16 465 143 22];
app.ColumandeaceleracinLabel.Text = 'Columna de aceleración';

% Create newcolace
app.newcolace = uidropdown(app.UIFigure);
app.newcolace.Items = {'1', '2', '3', '4'};
app.newcolace.Tooltip = {''};
app.newcolace.FontWeight = 'bold';
app.newcolace.Position = [174 460 44 22];
app.newcolace.Value = '4';

% Create TamaodeVentanaLabel

```

```

app.TamaodeVentanaLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.TamaodeVentanaLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.TamaodeVentanaLabel.FontName = 'Arial';
app.TamaodeVentanaLabel.FontWeight = 'bold';
app.TamaodeVentanaLabel.Position = [20 389 73 64];
app.TamaodeVentanaLabel.Text = {'Tamaño de '; 'Ventana de ';
'suavizado'};

% Create TamVentana
app.TamVentana = uislider(app.UIFigure);
app.TamVentana.Limits = [1 50];
app.TamVentana.FontSize = 14;
app.TamVentana.Position = [117 431 135 3];
app.TamVentana.Value = 1;

% Create ProcesaryActualizarGrficosButton
app.ProcesaryActualizarGrficosButton = uibutton(app.UIFigure,
'push');
app.ProcesaryActualizarGrficosButton.ButtonPushedFcn =
createCallbackFcn(app, @ProcesaryActualizarGrficosButtonPushed, true);
app.ProcesaryActualizarGrficosButton.FontName = 'Arial';
app.ProcesaryActualizarGrficosButton.FontColor = [1 0.4118 0.1608];
app.ProcesaryActualizarGrficosButton.Position = [30 359 176 26];
app.ProcesaryActualizarGrficosButton.Text = 'Procesar y Actualizar
Gráficos';

% Create Table_datos
app.Table_datos = uitable(app.UIFigure);
app.Table_datos.ColumnName = {'tiempo [S]'; 'Z [m/s2]'};
app.Table_datos.RowName = {};
app.Table_datos.Position = [35 168 165 184];

% Create Table_resultados
app.Table_resultados = uitable(app.UIFigure);
app.Table_resultados.ColumnName = {'Parametros'; 'Valor'};
app.Table_resultados.RowName = {};
app.Table_resultados.FontName = 'Arial';
app.Table_resultados.Position = [288 73 394 104];

% Create Table_resultados_2
app.Table_resultados_2 = uitable(app.UIFigure);
app.Table_resultados_2.ColumnName = {'Parametros'; 'Valor'};
app.Table_resultados_2.RowName = {};
app.Table_resultados_2.FontName = 'Arial';
app.Table_resultados_2.Position = [737 101 370 76];

% Create AutoresJeissonHoyosObandoAndresCoralVargasLabel
app.AutoresJeissonHoyosObandoAndresCoralVargasLabel =
uilabel(app.UIFigure);
app.AutoresJeissonHoyosObandoAndresCoralVargasLabel.FontName =
'Arial';
app.AutoresJeissonHoyosObandoAndresCoralVargasLabel.FontAngle =
'italic';
app.AutoresJeissonHoyosObandoAndresCoralVargasLabel.Position = [-11
56 173 68];

```

```

        app.AutoresJeissonHoyosObandoAndresCoralVargasLabel.Text = { '
Autores:'; '          Jeisson Hoyos Obando '; '          & '; '
Andres Coral Vargas '};

        % Create Image
        app.Image = uiimage(app.UIFigure);
        app.Image.VerticalAlignment = 'top';
        app.Image.Position = [110 24 169 132];
        app.Image.ImageSource = fullfile(pathToMLAPP, 'Logo unicauca.png');

        % Create Label
        app.Label = uilabel(app.UIFigure);
        app.Label.FontName = 'Arial';
        app.Label.Position = [298 7 331 50];
        app.Label.Text = {' •Nota: '; ' CV<10% indica alta precisión en los
resultados calculados.'};

        % Create ChequeoLamp
        app.ChequeoLamp = uilamp(app.UIFigure);
        app.ChequeoLamp.Position = [588 45 21 21];

        % Create ChequeoLampLabel
        app.ChequeoLampLabel = uilabel(app.UIFigure);
        app.ChequeoLampLabel.HorizontalAlignment = 'right';
        app.ChequeoLampLabel.Position = [627 44 54 22];
        app.ChequeoLampLabel.Text = 'Chequeo';

        % Create TipodeSAmortiguadoLabel
        app.TipodeSAmortiguadoLabel = uilabel(app.UIFigure);
        app.TipodeSAmortiguadoLabel.HorizontalAlignment = 'right';
        app.TipodeSAmortiguadoLabel.FontName = 'Arial';
        app.TipodeSAmortiguadoLabel.Position = [738 1 95 56];
        app.TipodeSAmortiguadoLabel.Text = {'Tipo de Sistema ';
'Amortiguado'};

        % Create TSAmortiguado
        app.TSAmortiguado = uieditfield(app.UIFigure, 'text');
        app.TSAmortiguado.Editable = 'off';
        app.TSAmortiguado.Position = [855 16 174 23];

        % Show the figure after all components are created
        app.UIFigure.Visible = 'on';
    end
end

% App creation and deletion
methods (Access = public)

    % Construct app
    function app = SmartVib

        % Create UIFigure and components
        createComponents(app)

        % Register the app with App Designer

```

```
        registerApp(app, app.UIFigure)

        if nargin == 0
            clear app
        end
    end

    % Code that executes before app deletion
    function delete(app)

        % Delete UIFigure when app is deleted
        delete(app.UIFigure)
    end
end
end
```