

Laboratorio #1: Vibración libre en sistemas de 1GDL

Dinámica Estructural

Escuela de Ingeniería Civil y Geomática

Universidad del Valle

Santiago Martínez, Julian D. Calonge y Daniel Gómez PhD

Introducción

Los laboratorios de vibración libre, en el campo de la dinámica experimental, desempeñan un papel esencial en la comprensión del comportamiento dinámico de estructuras. Uno de los enfoques específicos en estos laboratorios se orienta hacia sistemas de un grado de libertad (1GDL), es decir, sistemas simples que tienen la capacidad de vibrar en una única dirección.

Esta práctica de laboratorio se divide en dos secciones. En la primera sección, se presenta un software diseñado para simular un ensayo de vibración libre real. A través de esta herramienta, se pueden configurar experimentos específicos y obtener registros que, posteriormente, pueden ser analizados para obtener propiedades dinámicas de un sistema. Por otra parte, la segunda sección consiste en una práctica experimental en la que se estudia el comportamiento dinámico de una probeta de guadua en respuesta a una condición inicial.

Objetivo general: Determinar experimentalmente las propiedades dinámicas de estructuras modeladas como sistemas de 1 GDL a través de ensayos de vibración libre.

Normas para la entrega de informes

- Debe entregar un informe de laboratorio (tipo artículo científico) donde se desarrolle de manera completa y concisa las actividades propuestas. El informe debe tener una adecuada presentación, puntuación y ortografía. El documento debe tener una extensión máxima de 4 páginas.
- Coloque el nombre de los integrantes del grupo, nombre del profesor y el número de laboratorio presentado en el encabezado o portada de todos sus documentos/programas.
- El informe debe entregarse dentro del plazo establecido. No se aceptarán informes una vez que el plazo haya vencido.
- La presencia de errores en la presentación puede resultar en una penalización en la nota obtenida en el laboratorio. Se recomienda revisar y corregir cuidadosamente la redacción del informe.
- Todos los archivos solicitados en el informe, ya sea en formato .m, .doc, .pdf u otros, deben ser colocados en la ubicación especificada en el classroom, correspondiente al laboratorio en cuestión.
- No se recibirán informes de laboratorio ni archivos relacionados que sean enviados por correo electrónico.

1. Ensayo No. 1: Prueba de vibración libre mediante herramienta computacional

En esta sección, se llevará a cabo la evaluación de la respuesta dinámica de sistemas de un grado de libertad sujetos a condiciones iniciales específicas utilizando un software que simula un laboratorio real (<https://santiagosandovaluv.github.io/T1/>). Para realizar este análisis, el laboratorio virtual dispone de una interfaz gráfica amigable e intuitiva que facilita al usuario la modelación de diversos sistemas dinámicos de manera rápida y sencilla. A través de este enfoque, se obtienen datos completos de aceleración, velocidad y desplazamientos relativos durante toda la duración del experimento. Estas pruebas posibilitan la representación gráfica del comportamiento de sistemas dinámicos y suministran datos esenciales para llevar a cabo un análisis dinámico que permita caracterizar el sistema de estudio.

Objetivo específico: Caracterizar un sistema dinámico de 1GDL mediante la aplicación de conceptos teóricos de dinámica experimental.

1.1. Modelo experimental

Una estructura de un grado de libertad (1GDL) se define como un sistema compuesto por una masa concentrada (m) en la parte superior, sostenida por un elemento estructural de rigidez (k). Además, el sistema tiene la capacidad de disipar energía y, por lo tanto, se caracteriza por un coeficiente de amortiguamiento (c). La Fig. 1 ilustra este concepto.

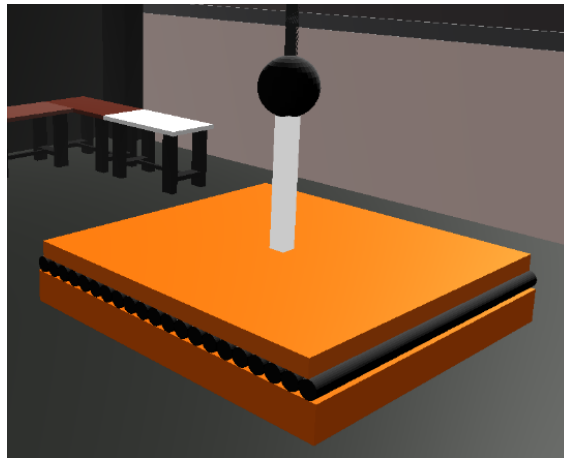


Figura 1: Elemento estructural empotrada en la base y con masa concentrada en el extremo.

1.2. Instrumentación

En la parte superior e inferior de la estructura, se deben instalar acelerómetros sísmicos en la dirección del movimiento. La señal generada por estos acelerómetros se acondiciona y se transmite a través de un cable coaxial hacia un bloque de procesamiento. La señal acondicionada se envía a una tarjeta de adquisición a una frecuencia de adquisición específica. Para medir el desplazamiento relativo, se utiliza un sensor láser ubicado en la masa de la estructura. Esta configuración puede observarse en la Fig. 2.

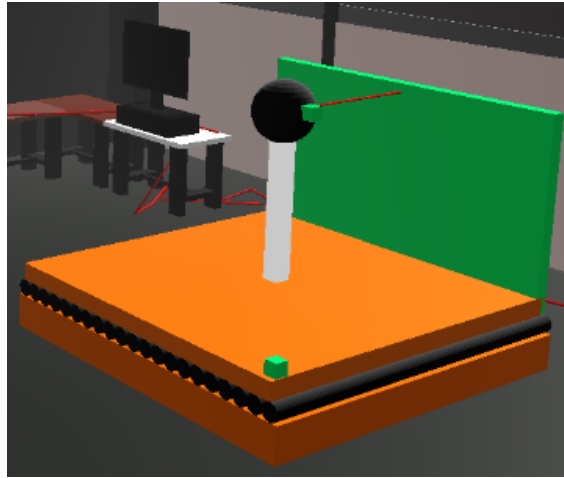


Figura 2: Montaje ensayo vibración libre con sensores.

1.3. Procedimiento

El estudiante llevará a cabo la caracterización de un sistema dinámico de 1GDL. Para lograrlo, tendrá a su disposición tres opciones: podrá optar por definir las propiedades dinámicas del sistema, o utilizar un elemento estructural predefinido. Posteriormente, asignará un valor inicial de desplazamiento y/o velocidad, lo que generará una condición de vibración libre en la estructura. Para medir la respuesta de la estructura, se utilizarán acelerómetros y un sensor de desplazamiento láser. A lo largo del ensayo será posible visualizar la respuesta del sistema en términos de aceleración, velocidad y desplazamiento al producirle cambios en las condiciones iniciales.

1.4. Actividades

1. En la sección del software relacionada con la definición de las propiedades del sistema, seleccione un material predefinido de la lista y asigne una masa concentrada de 100 kg. A continuación, elija vibración libre como entrada al sistema y asigne unas condiciones iniciales de desplazamiento ($u(0) = 0,2 \text{ m}$) y velocidad ($\dot{u}(0) = 0 \text{ m/s}$). Luego, haga clic sobre el botón *Iniciar* y observe la respuesta en aceleración y desplazamiento de la estructura. Tenga en cuenta que el sistema se puede idealizar como una masa concentrada sobre una columna de 1 m de longitud empotrada en la base. Para todos los materiales, la columna tiene una sección transversal cuadrada tubular de 3x3 cm.
 - a) Formule el modelo matemático del sistema de 1GDL, diagrama de cuerpo libre y ecuación que rige el movimiento para la vibración libre amortiguada.
 - b) Determine las propiedades físicas (masa, rigidez y amortiguamiento) y dinámicas (frecuencia natural y razón de amortiguamiento) del sistema de 1GDL para el material seleccionado. Describa el procedimiento realizado en el informe técnico.
 - c) Determine el valor del espesor de la sección transversal.
2. Repita el proceso pero esta vez definiendo inicialmente valores a su elección de masa, rigidez y amortiguamiento del sistema.
 - a) Determine las propiedades dinámicas (frecuencia natural y razón de amortiguamiento) del sistema de 1GDL para las propiedades físicas definidas.
 - b) ¿Cómo afectaría variar estas propiedades a la frecuencia natural de la estructura?

- c) ¿Qué parámetro cree usted que afecta con mayor relevancia su periodo natural? Argumente su respuesta.
 - d) ¿Cómo esperaría que respondiera un sistema más flexible ante estas mismas condiciones iniciales?
 - e) ¿Qué relación encuentra entre la razón de amortiguamiento y el número de ciclos que oscila la estructura?
 - f) ¿Qué puede concluir sobre el efecto de ζ sobre la respuesta en vibración libre?
 - g) ¿Qué sucede cuando ζ es igual a 1?
3. Evaluar la precisión de los resultados y discutir las posibles fuentes de error en la medición y el análisis de datos para ambos experimentos.

2. Ensayo No. 2: Vibración libre de una probeta de guadua

El laboratorio de vibración libre en una viga en voladizo de guadua tiene como propósito estudiar el comportamiento dinámico de esta estructura en respuesta a un desplazamiento y/o velocidad inicial. La guadua es un material de construcción utilizado en diversas regiones por su resistencia y flexibilidad.

Objetivo específico: Determinar experimentalmente las propiedades dinámicas de una estructura de guadua modelada como un sistema de 1GDL, mediante un ensayo de vibración libre.

2.1. Montaje experimental

El montaje consiste en un elemento de guadua como viga en voladizo (Fig. 3). Un extremo de la probeta de guadua se fija a un soporte rígido, mientras que el otro extremo se deja libre, creando así la configuración de voladizo. Se coloca una placa de acero de masa desconocida en el extremo libre de la probeta. La longitud del voladizo y la sección transversal de la probeta de guadua podrán ser medida por cada grupo después del ensayo. Se debe colocar el celular, que hará las veces de acelerómetro, encima de la placa de acero para medir su respuesta en aceleración.



Figura 3: Configuración experimental.

2.2. 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 (Fig. 4). 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 teléfono

Sistema operativo	App sugerida	Frecuencia de muestreo [Hz]	Precio
Android	Accelometer meter	~200	Free
iOS	VibSensor	1 - 100	~US\$ 5
Android	MATLAB Mobile	1-100	Free

Cuando use su teléfono, asegúrese de escribir la siguiente información cuando tome los datos:

1. *Unidades de aceleración.* Las unidades de datos deben ser claras. Se sugiere usar $[m \cdot s^{-2}]$.
2. *Frecuencia de muestreo.* En algunas aplicaciones, esta característica no es un valor constante y depende de la versión del sensor ya instalado en su teléfono.
3. *Marca de tiempo de los datos.* Cada archivo que grabe tendrá un nombre que incluye una marca de tiempo.
4. *Dirección del teléfono.* Este es un aspecto importante porque todas las medidas deben tener la dirección para que sean útiles (ver Fig. 4).

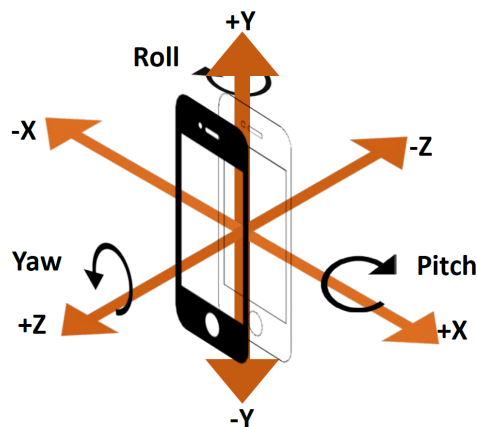


Figura 4: Ejes asignados al acelerómetro del teléfono inteligente.

2.3. Actividades

1. Realice el montaje experimental de la probeta de guadua, asegurándose de que esté completamente fijada a una base sólida para evitar la introducción de vibraciones adicionales en el análisis.
 - a) Formule el modelo matemático del sistema de 1GDL, diagrama de cuerpo libre y ecuación que rige el movimiento para la vibración libre amortiguada.

- b) Mediante un ensayo de vibración libre, utilice el registro de aceleraciones de su dispositivo móvil para estimar las propiedades físicas y dinámicas de la probeta de guadua. Tenga en cuenta que la masa de la probeta de guadua utilizada y del gancho plástico con que se sujeta el teléfono es de 282.5 g y 42.5 g respectivamente. Recuerde que al colocar su teléfono sobre la probeta, está agregando masa al sistema.
- c) Utilice el valor de rigidez obtenido en el paso anterior para estimar el valor del módulo de elasticidad de la guadua. Compárelo con valores reportados en la literatura. Tenga en cuenta que puede realizar mediciones sobre la probeta y que la rigidez a flexión de una viga en voladizo es igual a $\frac{3EI}{L^3}$.
2. Sobre el montaje experimental ya realizado, se agrega una placa metálica en el extremo de la probeta de guadua para modificar su comportamiento dinámico, utilizando una prensa metálica de 440 g.
- a) Formule el modelo matemático del sistema de 1GDL, diagrama de cuerpo libre y ecuación que rige el movimiento para la vibración libre amortiguada considerando la masa adicional con valor desconocido (m_{teo}).
- b) A partir de un nuevo ensayo de vibración libre y empleando el valor de rigidez encontrado anteriormente, utilice el registro de aceleraciones de su celular para estimar el valor de la masa desconocida (m_{est}). Calcule las demás propiedades físicas y dinámicas del sistema.
- c) Evaluar la precisión de los resultados y discutir las posibles fuentes de error en la medición y el análisis de datos para ambos experimentos.

Calificación

Para cada grupo se calculará el valor absoluto de la diferencia DIF entre la masa obtenida a partir de los ensayos dinámicos m_{est} y la masa exacta medida en una balanza m_{teo} , mediante la siguiente ecuación:

$$DIF = ||m_{est} - m_{teo}|| \quad (1)$$

La nota de cada grupo se obtendrá a partir de la Ec. (2) utilizando la diferencia mínima y máxima de los grupos. Por lo tanto, el grupo con la diferencia mínima sacará 5 y el grupo con la máxima diferencia obtendrá 1.

$$Nota = \underbrace{0,4 \times \text{Nota informe}}_{\text{Ensayo 1}} + \underbrace{0,2 \times \text{Nota informe} + 0,4 \times \left(5 - \frac{DIF - \min(DIF)}{\max(DIF) - \min(DIF)} \times 4 \right)}_{\text{Ensayo 2}} \quad (2)$$