

4. Manual de usuario

Introducción

El objetivo de este laboratorio es evaluar la respuesta dinámica de sistemas de uno o múltiples grados de libertad sometidos a diferentes excitaciones en la base, para ello el laboratorio virtual cuenta con una interfaz gráfica amigable e intuitiva la cual permitirá al usuario modelar diferentes sistemas dinámicos de forma rápida y sencilla.

La respuesta del sistema se calcula resolviendo la ecuación de movimiento mediante el método numérico Newmark aceleración promedio constante, del cual se obtienen datos de aceleración, velocidad y desplazamientos relativos.

Procedimiento

El usuario caracterizará un sistema dinámico de uno o múltiples grados de libertad. Para ello, contará con el menú de propiedades dinámicas donde podrá definir las propiedades del sistema. Posteriormente, asignará una excitación. De esta forma, se inducirá comportamiento dinámico en la estructura. Mediante el uso de acelerómetros y un sensor de desplazamiento láser, se medirá la respuesta de la estructura. Durante el ensayo, se podrán visualizar las solicitaciones dinámicas y/o desplazamientos que se aplican al sistema, así como la respuesta de este en términos de aceleración y desplazamiento.

Panel de control: 1GDL

El laboratorio virtual cuenta con una interfaz gráfica interactiva en la que el usuario puede definir los parámetros necesarios para caracterizar el experimento.

El panel central del módulo de un grado de libertad cuenta con tres menús desplegables que permiten asignar sensores, definir propiedades físicas o dinámicas del sistema, y seleccionar el tipo de desplazamiento. Adicionalmente, dispone de dos menús no desplegables que permiten al usuario exportar los datos generados por el experimento, limpiar campos y cambiar entre diferentes vistas. Dentro de los menús, se encuentran pequeñas ayudas contenidas en iconos con forma de signo de interrogación, que brindan asistencia rápida sobre el funcionamiento de los menús a los usuarios que lo necesiten (Figura 25).



Figura 1: Panel de control

Menú gráfico

El menú gráfico ofrece la posibilidad de visualizar las sollicitaciones dinámicas y/o desplazamientos que se aplican al sistema, así como la respuesta de este en términos de aceleración y desplazamiento (Figura 26). Además, el panel cuenta con un menú desplegable que permite cambiar el tipo de respuesta que se muestra (Figura 27).



Figura 2: Gráfica de la respuesta

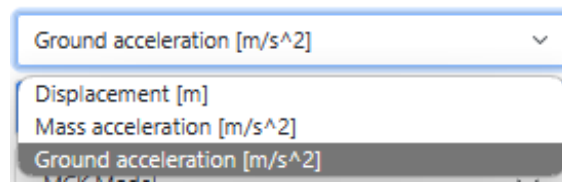


Figura 3: Respuestas

Menú de sensores

Despliega un menú que permite al usuario asignar los sensores de aceleración y desplazamiento para medir la respuesta (Figura 28). También cuenta con opciones que permiten agregar ruido a la amplitud y la señal, además de seleccionar frecuencia de muestreo (Figuras 30, 31 y 32).

Los sensores deberán ser asignados para graficar y guardar los datos del ensayo. Todos los sensores muestrean a una frecuencia de 50 Hz.

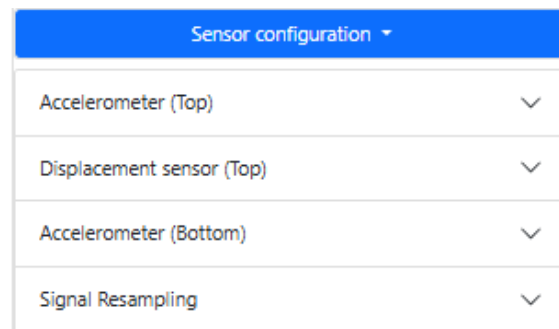


Figura 4: Configurar sensores

— Acelerómetro superior

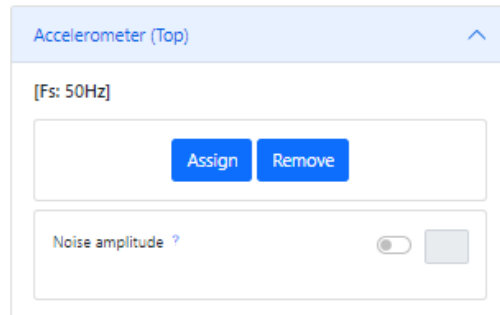


Figura 5: Acelerómetro superior

— Sensor de desplazamiento relativo

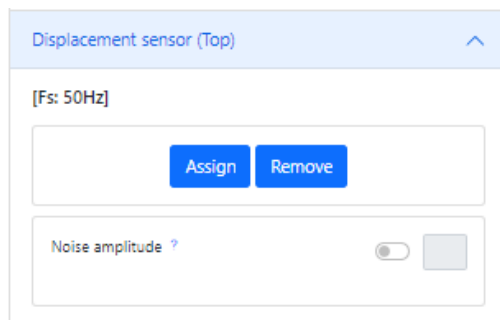


Figura 6: Sensor de desplazamiento

— Acelerómetro inferior

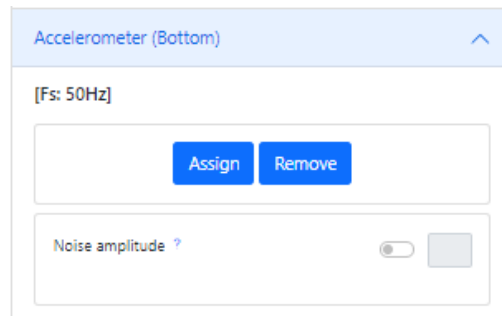


Figura 7: Acelerómetro inferior

— Remuestreo de la señal

Esta opción le permite al usuario remuestrear la señal capturada por los sensores a frecuencias inferiores a 50Hz, que representa la frecuencia de muestreo por defecto (Figura 32).

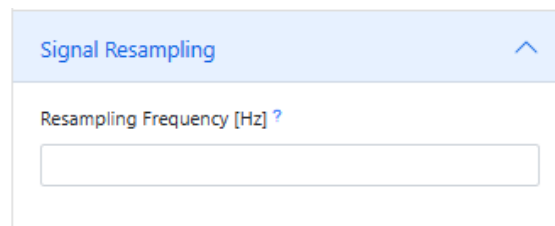


Figura 8: Remuestreo de la señal

— Asignar propiedades

El menú de propiedades permite al usuario caracterizar el sistema dinámico. Al utilizar este menú, el usuario tendrá la posibilidad de elegir entre tres modelos: MCK, Zeta y W_n ; materiales predefinidos (Figura 33). Una vez se digiten propiedades en uno de los modelos el usuario no podrá cambiar entre modelos a menos que elimine dicha información.

Dynamic properties to the system ▾

MCK Model	▾
ω_n and ζ Model	▾
Predefined materials	▾

Figura 9: Asignar propiedades

Modelo MCK

Para el Sistema MCK, se requerirá que el usuario ingrese tres valores: la masa en kilogramos (kg), el amortiguamiento en newtons por segundo por metro ($N*s/m$), y la rigidez en newtons por metro (N/m) (Figura 34).

MCK model ^

?

Mass M [kg] ?

?

Damping C [$N*s/m$] ?

?

Stiffness K [N/m] ?

Figura 10: Modelo MCK

Modelo ω_n y ζ

Para el sistema Zeta, ω_n , el usuario deberá ingresar dos valores: la razón de amortiguamiento, que es un valor adimensional, y la frecuencia natural en radianes por segundo (rad/s) (Figura 35).

Figura 11: Modelo W_n y ζ

— Materiales predefinidos (Predefined materials)

Para este sistema, el usuario deberá seleccionar un material y ingresar un valor de masa en [kg] (Figura 36).

Figura 12: Materiales predefinidos

— Menú de excitaciones

El menú de excitaciones permite al usuario seleccionar el tipo de sollicitación dinámica se le aplicará al sistema. Al utilizar este menú, el usuario tendrá la posibilidad de elegir entre cinco tipos de sollicitaciones: vibración libre, desplazamiento sinusoidal, barrido de frecuencias, sismos predefinidos, cargar desplazamiento (Figura 37).

Excitation ▾	
Ug(t)=0 (Free vibration)	▾
Sinusoidal displacement	▾
Frequency sweep	▾
Predefined earthquakes	▾
Upload base displacement	▾

Figura 13: Excitaciones

— Vibración Libre (Free Vibration)

Para Vibración Libre, el usuario deberá ingresar dos valores: La amplitud en metros (m) y la duración del ensayo en segundos (s) (Figura 38).

Free vibration ^

Amplitude u_0 [m] ?

Velocity \dot{u}_{p0} [m/s] ?

Duration [s] ?

Figura 14: Vibración Libre

— Desplazamiento sinusoidal (Sinusoidal Displacement)

Para el desplazamiento sinusoidal, el usuario deberá ingresar 3 valores: La amplitud en metros (m), la frecuencia de excitación W en radianes por segundo (rad/s) y la duración del ensayo en segundos (s) (Figura 39).

Figura 15: Desplazamiento sinusoidal

Barrido de frecuencias (Frequency Sweep)

El usuario deberá ingresar cuatro valores: la frecuencia inicial F_1 y la frecuencia final F_2 en hercios [Hz], la duración del ensayo en segundos [s], y la amplitud u_o en metros (m) (Figura 40).

Figura 16: Barrido de frecuencias

Sismos predefinidos (Predefined Earthquakes)

Para los sismos predefinidos, el usuario deberá ingresar un sólo valor: El escalar adimensional el cual permite cambiar la escala de los sismos. En caso de que el escalar no sea digitado la simulación lo tomara como 1. Además, el usuario deberá seleccionar entre uno de los 5 sismos predefinidos: El Centro, La Vega, Armenia, Loma Prieta y Gilroy (Figura 41).

Figura 17: Sismos predefinidos

Cargar desplazamiento (Upload base displacement)

El usuario debe cargar un archivo con los datos de desplazamiento en formato `xlsx` (Figura 42), con la información contenida en la columna A, como se ilustra en la figura 43.

Figura 18: Cargar datos

	A
1	Dsp [m]
2	0.001
3	0.002
4	0.003
5	0.004
6	0.005

Figura 19: Formato de datos

Menú de vistas

Este menú le permite al usuario intercambiar entre diferentes vistas (Figura 45).



Figura 20: Vistas

Menú de inicio

Este menú le permite al usuario iniciar y/o detener la simulación. También cuenta con una opción para detener únicamente el movimiento de la mesa (Figura 46).

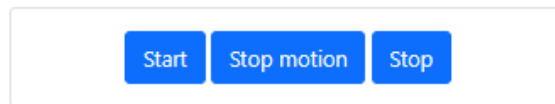


Figura 21: Iniciar/Detener

Menú de salida

Este menú le permite al usuario exportar datos y limpiar campos de la simulación (Figura 22).

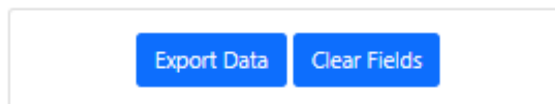


Figura 22: Salida

Resultados

El estudiante podrá descargar los datos de aceleración total y desplazamiento relativo, junto con el tiempo asociado a una frecuencia de muestreo predeterminada de 50 Hz en cualquier momento de la simulación (Figura 23 y 24).

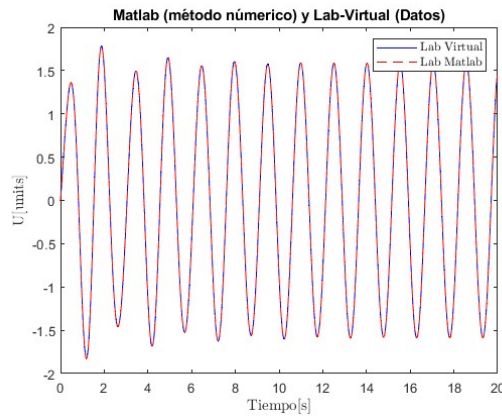


Figura 23: Desplazamiento sinusoidal : Comparación Matlab-Laboratorio virtual

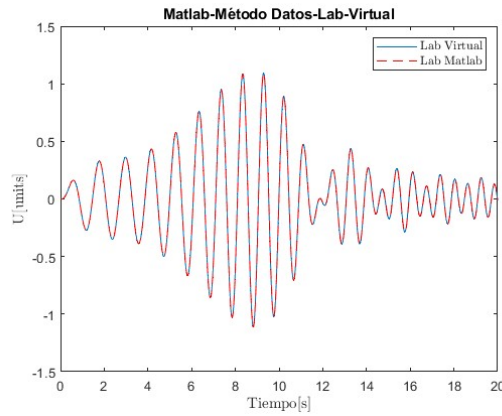


Figura 24: Barrido de frecuencias : Comparación Matlab-Laboratorio virtual

Panel de control: MGD

El laboratorio virtual cuenta con una interfaz gráfica interactiva en la que el usuario puede definir los parámetros necesarios para caracterizar el experimento.

El panel de control (Figura 25) consta de tres menús desplegables que permiten configurar los sensores, las propiedades físicas o dinámicas del sistema, y seleccionar el tipo de desplazamiento. Además, incluye tres menús no desplegables que permiten al usuario iniciar la simulación, exportar los datos, limpiar los campos, definir el sentido del desplazamiento y cambiar entre diferentes vistas. Dentro de los paneles, se encuentran iconos con signos de interrogación que brindan pistas rápidas sobre el funcionamiento de los mismos.



The image shows a control panel titled "Laboratory parameters". It contains three blue buttons with white text: "Sensor configuration", "Dynamics properties", and "Excitation", each followed by a downward arrow. Below these buttons are three colored squares with labels and question marks: a blue square for "X-X", a red square for "Y-Y", and a purple square for "X-Y". Underneath these are two input fields labeled "X-X decimal percentage" and "Y-Y decimal percentage", each followed by a question mark. Below the input fields is a section titled "Response". At the bottom of the panel are three blue buttons: "Calculate", "Export Data", and "Clear Fields". At the very bottom are four icons: a square with an arrow pointing out, a square with four dots at the corners, a square with an arrow pointing in, and a square with an arrow pointing out from the top-right corner.

Figura 25: Panel de control

Panel central

En este panel, el usuario puede seleccionar el pórtico que desea analizar haciendo clic sobre el pórtico de uno o dos pisos, que están enmarcados dentro de un recuadro rojo (Ver figura 26). Para cambiar la dirección del desplazamiento de la mesa, el usuario puede hacer clic nuevamente sobre el pórtico que desea modelar, lo que cambiará los colores del pórtico en la mesa vibratoria. Los colores representan las siguientes direcciones de movimiento: azul para X-X, rojo para Y-Y y morado para X-Y.

Además, para definir las propiedades de los elementos como vigas y columnas (frame) o losas (slab), el usuario puede hacer clic sobre ellos. Esto desplegará el menú de propiedades dinámicas, donde podrá definir las características del elemento seleccionado. Para quitar la selección, el usuario puede hacer clic en cualquier lugar del panel central. Una vez que el elemento se deseccione, el programa guardará los datos automáticamente.

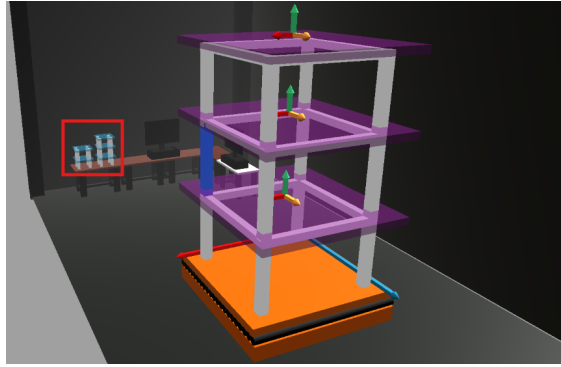


Figura 26: Panel central

Menú de respuesta

El menú de respuesta (Figura 27) para el módulo de múltiples grados de libertad permite visualizar tanto las solicitaciones dinámicas como los desplazamientos resultantes del sistema para cada piso. Las gráficas uno y dos muestran los resultados en las direcciones x y y , respectivamente, mientras que la tercera gráfica presenta permanentemente las solicitaciones inducidas en la base del sistema. Además, el módulo cuenta con dos interruptores que permiten alternar entre la visualización de la respuesta en términos de desplazamiento o aceleración.

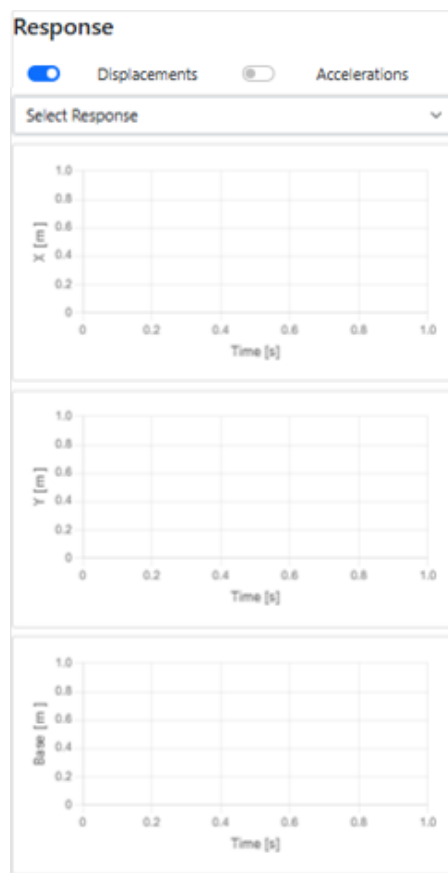


Figura 27: Gráfica de la respuesta

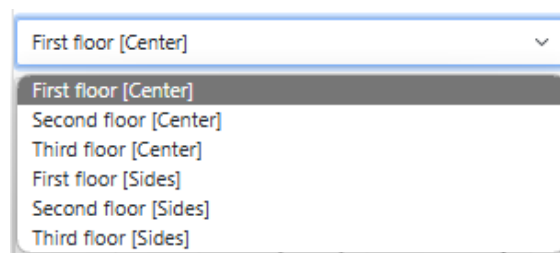


Figura 28: Respuestas

Menú de sensores

Despliega un menú que permite al usuario asignar los sensores de aceleración y desplazamiento para medir la respuesta. También cuenta con opciones que permiten

agregar ruido a la amplitud y la señal, además de seleccionar frecuencia de muestreo (Figura 29).

Los sensores deberán ser asignados para graficar y guardar los datos del ensayo. Todos lo sensores muestrean a una frecuencia de 50 Hz.

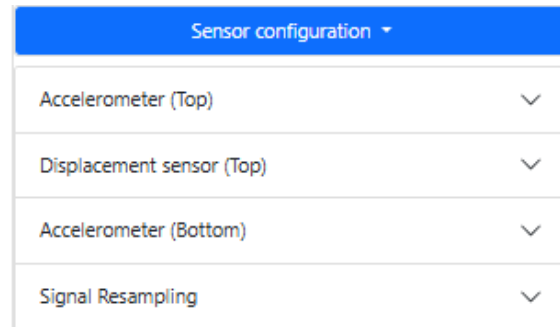


Figura 29: Configurar sensores

1. **Accelerometer (Top):**

Sensor de aceleración ubicado en la masa (Figura 30).

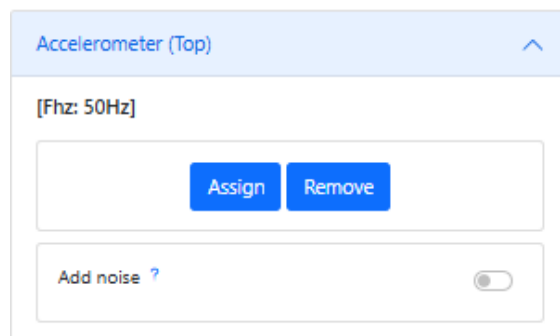


Figura 30: Dynamics properties: Módulo de múltiples grados de libertad

2. **Displacement sensor (Top):**

Sensor de desplazamiento total en la masa (Figura 31).

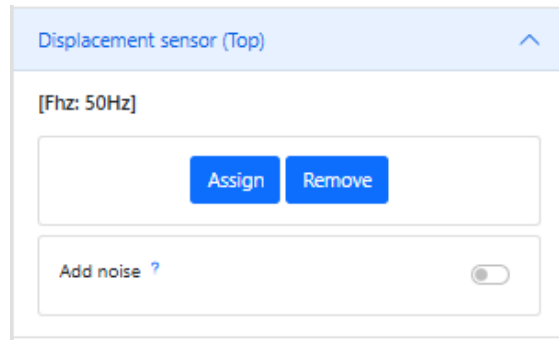


Figura 31: Dynamics properties: Módulo de múltiples grados de libertad

3. Accelerometer (Bottom):

Sensor de aceleración ubicado en la mesa sísmica (Figura 32).

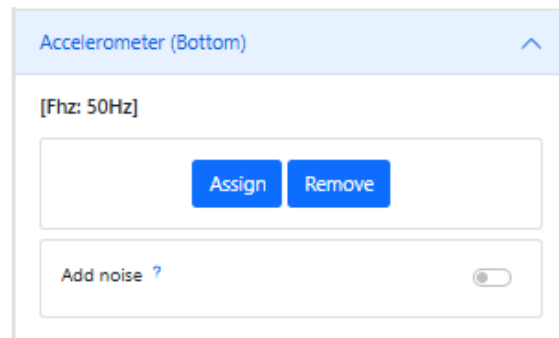


Figura 32: Dynamics properties: Módulo de múltiples grados de libertad

4. Signal resampling:

Esta función permite al usuario remuestrear la señal capturada por los sensores a frecuencias inferiores a 50 Hz, que es la frecuencia de muestreo predeterminada (Figura 33).

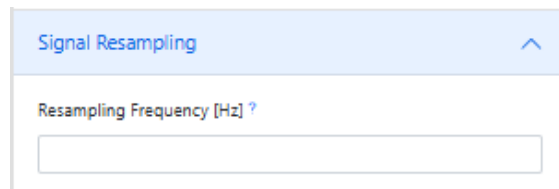


Figura 33: Dynamics properties: Módulo de múltiples grados de libertad

Menú de propiedades

El menú de propiedades permite definir las características del elemento que el usuario seleccione. Además, el usuario puede asignar manualmente el amortiguamiento de cada modo o elegir entre uno de los casos predefinidos (Figura 34).

Dynamics properties ▾

Slab 🔒 ?

Self-weight [Kg/m³] ?

7500

Slab thickness [m] ?

0.1

Frame element 🔒 ?

Cross section base b [m] ?

0.3

Cross section height h [m] ?

0.3

Modulus of elasticity E [Pa] ?

4000000

Update all properties

Damping

Select option ▾

Figura 34: Modoulo de múltiples grados de libertad: Dynamics properties.

Menú de excitaciones

El menú de excitaciones 'Excitation' permite al usuario elegir el tipo de sollicitación dinámica que la mesa sísmica aplicará al sistema. Al utilizar este menú, el usuario puede seleccionar entre cinco tipos de desplazamientos: Vibración Libre, Desplazamiento sinusoidal, Barrido de frecuencias, Sismos predefinidos, y Carga de desplazamiento y aceleración (Figura 35).

Excitation ▾	
Ug(t)=0 (Free vibration)	▾
Sinusoidal displacement	▾
Frequency sweep	▾
Predefined earthquakes	▾
Upload base displacement	▾

Figura 35: Excitation

1. Free vibration:

El usuario ingresa dos valores: la amplitud en metros [m] y la duración del ensayo en segundos [s] (Figura 36).

Free vibration

Amplitude u_o (1) [m] ?

Velocity u_{po} (1) [m/s] ?

Amplitude u_o (2) [m] ?

Velocity u_{po} (2) [m/s] ?

Amplitude u_o (3) [m] ?

Velocity u_{po} (3) [m/s] ?

Duration [s] ?

Figura 36: Modulo de múltiples grados de libertad: Free vibration.

2. Sinusoidal displacement:

El usuario ingresa tres valores: la amplitud u_o en metros [m], la frecuencia de excitación ω en radianes por segundo [rad/s], y la duración del ensayo en segundos [s] (Figura 37).

Figura 37: Sinusoidal displacement.

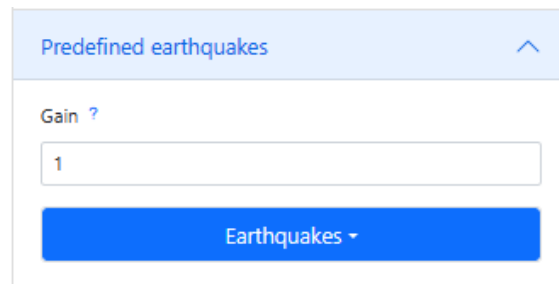
3. Frequency sweep:

El usuario ingresa cuatro valores: la frecuencia inicial F_1 y la frecuencia final F_2 en hercios [Hz], la duración del ensayo en segundos [s], y la amplitud en metros (m) (Figura 38).

Figura 38: Frequency sweep

4. Predefined earthquakes:

El usuario ingresa un solo valor: un escalar adimensional que ajusta la escala de los sismos. Si no se proporciona este escalar, la simulación lo asumirá como 1. Además, el usuario debe seleccionar uno de los cinco sismos predefinidos: El Centro, La Vega, Armenia, Loma Prieta y Gilroy (Figura 39).



Predefined earthquakes

Gain ?

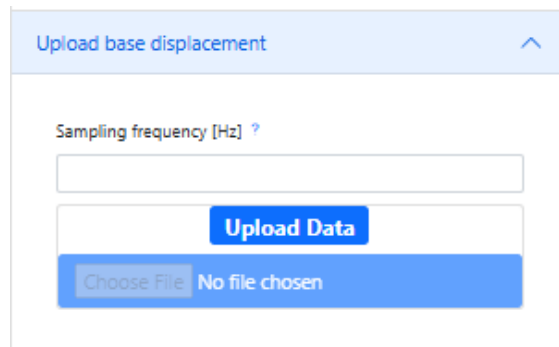
1

Earthquakes ▾

Figura 39: Predefined earthquakes

5. Upload base displacement:

El usuario debe cargar un archivo con los datos de desplazamiento en formato xlsx (Figura 40), con la información contenida en la columna A, como se ilustra en la figura (Figura 41).



Upload base displacement

Sampling frequency [Hz] ?

Upload Data

Choose File No file chosen

Figura 40: Load displacement

	A
1	Dsp [m]
2	0.001
3	0.002
4	0.003
5	0.004
6	0.005

Figura 41: Formato de datos

Menú de desplazamientos

Este menú proporciona información sobre cómo cambiar las direcciones de desplazamiento. Además, cuando el desplazamiento en la dirección XY está activo, es posible indicar el porcentaje de influencia en forma decimal para cada dirección. En el caso de utilizar el submenú de vibración libre, los desplazamientos y velocidades iniciales que se ingresen en las cajas de texto se aplicarán en ambas direcciones, multiplicándose por los porcentajes de X-X y Y-Y, respectivamente (Figura 42).

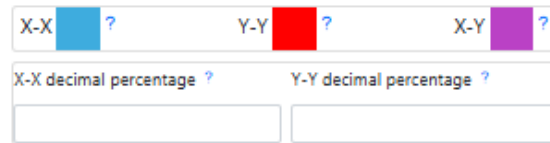
The image shows a user interface for displacement settings. It consists of two rows. The top row has three colored buttons: a blue button labeled 'X-X', a red button labeled 'Y-Y', and a purple button labeled 'X-Y'. Each button has a small question mark icon to its right. The bottom row has two text input fields. The first field is labeled 'X-X decimal percentage' and the second is labeled 'Y-Y decimal percentage'. Both labels have a small question mark icon to their right.

Figura 42: Menú de desplazamientos

Menú de vistas

Este menú le permite al usuario intercambiar entre diferentes vistas (Figura 43).



Figura 43: Menú de desplazamientos

Opciones de exportación y limpieza de datos

Este menú cuenta con 3 botones los cuales le permiten al usuario iniciar la simulación, exportar los datos y limpiar todos los campos. Para calcular la respuesta, no debe haber ningún elemento seleccionado (Figura 45). El botón calcular ejecutará la solicitud dinámica que se encuentre desplegada actualmente en el menú de excitaciones.

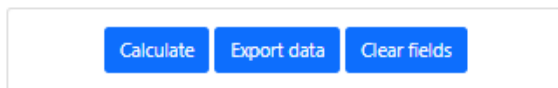
The image shows a horizontal row of three blue buttons. The first button is labeled 'Calculate', the second is labeled 'Export data', and the third is labeled 'Clear fields'.

Figura 44: Calcular/Exportar/Limpiar

Resultados

El estudiante podrá descargar los datos de aceleraciones y desplazamientos totales, junto con el tiempo asociado a una frecuencia de muestreo predeterminada de 50 Hz al finalizar la simulación.

Consideraciones adicionales

En las figuras 45 y 46 se muestra el orden utilizado para los pórticos en sus respectivas direcciones.

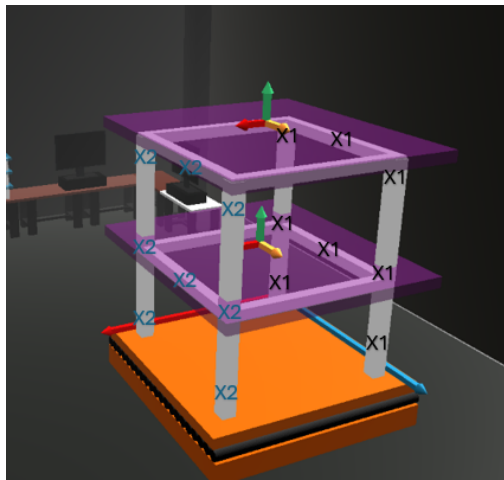


Figura 45: Configuración de pórticos en X

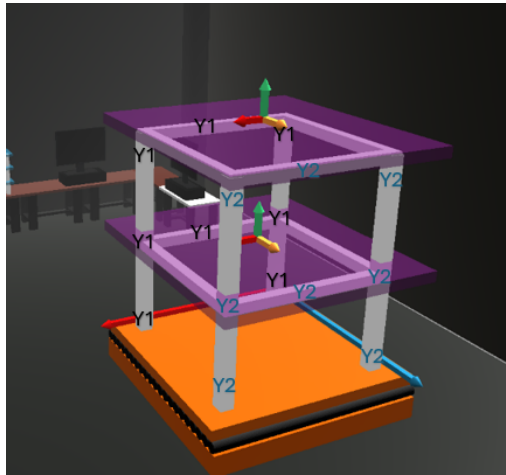


Figura 46: Configuración de pórticos en Y

Resultados

El estudiante podrá descargar los datos de las respuestas totales, junto con el tiempo asociado, a una frecuencia de muestreo predeterminada de 50 Hz.