

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

Profesor Patrocinante: Mg. Alexander Opazo Vega

Profesores comisión: Ing. Luis Santana O.

Ing. Víctor Rosales G.



**IMPLEMENTACIÓN DE ACTIVIDADES DE PRÁCTICAS PARA LA ENSEÑANZA
DE INGENIERÍA ESTRUCTURAL, UTILIZANDO UNA MESA VIBRATORIA.**

PROYECTO DE TÍTULO PRESENTADO EN CONFORMIDAD A LOS REQUISITOS PARA
OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

NICOLÁS IGNACIO GANIFFO GANIFFO

Concepción, Abril 2016

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a mi tata Tito y mi abuela Bella, por acompañarme durante toda mi vida y darme su amor sincero e incondicional.

A mi Madre, por darme las herramientas necesarias para cumplir esta etapa en mi vida, por ser mamá y papá día tras día y por todo su amor.

A mi compañera de vida, por su paciencia, apoyo y disposición a ayudarme aun en un tema desconocido para ella, pero sobre todo por completar mi vida.

A mis primos más chicos, para que sepan que con esfuerzo todo se puede lograr.

Y finalmente es dedicada para mis futuros hijos.

Con cariño para cada uno de ustedes, este logro también es suyo.

Nicolás

AGRADECIMIENTO

Agradecer primeramente a Dios, por darme las capacidades necesarias para afrontar esta etapa y poner en mi vida a grandes personas.

A mi profesor guía, por su disposición a responder mis inquietudes y guiarme en este proceso.

Al Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, por todos los aprendizajes entregados durante estos años.

A “Los Cojos FC” por ir viviendo juntos estos seis años de estudio, momentos divertidos, amistad y fútbol.

Y a cada uno de los que formo parte de mi proceso de formación como profesional.

NOMENCLATURA

Tn	: Periodo natural.
Fn	: Frecuencia natural.
K	: Rigidez.
CM	: Centro de Masa.
CR	: Centro de Rigidez.
τ	: Torsión.
e	: Excentricidad.
C-8	: Columna de 8 centímetros.
V-6	: Viga de 6 centímetros.
V-8	: Viga de 8 centímetros.
V-9	: Viga de 9 centímetros.
V-12	: Viga de 12 centímetros.
V-15	: Viga de 15 centímetros.
DA	: Diagonal tipo A
DB	: Diagonal tipo B
DA-8x6	: Diagonal tipo A que une una columna de 8 con una viga de 6 centímetros.
DA-8x8	: Diagonal tipo A que une una columna de 8 con una viga de 8 centímetros.
DA-8x9	: Diagonal tipo A que une una columna de 8 con una viga de 9 centímetros.
DA-8x12	: Diagonal tipo A que une una columna de 8 con una viga de 12 centímetros.
DA-8x15	: Diagonal tipo A que une una columna de 8 con una viga de 15 centímetros.
DA-8x6	: Diagonal tipo B que une una columna de 8 con una viga de 6 centímetros.
DA-8x8	: Diagonal tipo B que une una columna de 8 con una viga de 8 centímetros.
DA-8x9	: Diagonal tipo B que une una columna de 8 con una viga de 9 centímetros.
DA-8x12	: Diagonal tipo B que une una columna de 8 con una viga de 12 centímetros.
DA-8x15	: Diagonal tipo B que une una columna de 8 con una viga de 15 centímetros.
M-8x6	: Muro de 8 centímetros de ancho por 6 centímetros de largo.
M-8x8	: Muro de 8 centímetros de ancho por 8 centímetros de largo.
M-8x9	: Muro de 8 centímetros de ancho por 9 centímetros de largo.
M-8x12	: Muro de 8 centímetros de ancho por 12 centímetros de largo.
M-8x15	: Muro de 8 centímetros de ancho por 15 centímetros de largo.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
NOMENCLATURA.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
1 INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 Objetivos de la Investigación.....	5
1.1.1 Objetivo General:.....	5
1.1.2 Objetivos Específicos:.....	5
2 ASPECTOS CLAVES PARA LA MODELACIÓN FÍSICA DE FENÓMENOS DINÁMICOS.....	6
2.1 Estudios existentes para el aprendizaje práctico de la Ingeniería Estructural.....	6
2.2 Conceptos básicos para la modelación física de fenómenos dinámicos.....	8
2.2.1 Periodo natural de vibración de una Estructura.....	8
2.2.2 Resonancia.....	10
2.2.3 Torsión.....	11
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
3.1 Materiales utilizados.....	13
3.2 Equipos utilizados.....	15
3.3 Creación de los elementos estructurales.....	17
3.3.1 Vigas y Columnas.....	17

3.3.2	Diagonales.	18
3.3.3	Muros y Losas.	20
3.4	Implementación de actividades.	22
3.4.1	Comportamiento del Periodo.	22
3.4.2	Resonancia.	23
3.4.3	Torsión.	24
4	RESULTADOS DE LA MODELACIÓN FÍSICA DE ACTIVIDADES PRÁCTICAS.	25
4.1	Comportamiento del Periodo.	25
4.1.1	Periodo v/s Altura.	25
4.1.2	Periodo v/s Masa.	26
4.1.3	Periodo v/s Rigidez.	28
4.2	Resonancia.	30
4.3	Torsión.	32
4.4	Discusión de resultados después de la modelación física de actividades.	35
5	CONCLUSIONES, COMENTARIOS Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIONES.	37
5.1	Conclusiones.	37
5.2	Comentarios:	38
5.3	Futuras líneas de investigación.	38
6	REFERENCIAS.	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Vigas y Columnas.....	17
Tabla 2. Diagonal Tipo A.....	18
Tabla 3. Diagonal Tipo B.....	19
Tabla 4. Muros.....	21
Tabla 5. Frecuencia de cada Estructura.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Kit Mola.....	7
Figura 2. Vibración libre de un sistema sin amortiguamiento.....	8
Figura 3. Edificio Nueva León en Tlatelolco, México tras el sismo de 1985.....	10
Figura 4. Torsión en planta por irregularidad en la Rigidez de la Estructura.....	11
Figura 5. Materiales utilizados.....	13
Figura 6. Tamizadora Rx-812-3 después de ser adaptada.....	16
Figura 7. Paso para construir vigas y columnas.....	18
Figura 8. Pasos para construir diagonal tipo A.....	19
Figura 9. Pasos para construir una diagonal tipo B.....	20
Figura 10. Pasos para construir muros.....	21
Figura 11. Variación en la altura de una estructura.....	25
Figura 12. Comportamiento del periodo de una estructura al variar su altura.....	26
Figura 13. Variación de masa en estructuras.....	27
Figura 14. Comportamiento del periodo de una estructura al variar su masa.....	27
Figura 15. Variación en la rigidez en una estructura.....	28
Figura 16. Comportamiento del periodo de una estructura al variar su rigidez.....	29
Figura 17. Estructuras con distintas frecuencias.....	30
Figura 18. Respuesta de la aceleración de estructuras con distintas frecuencias.....	31
Figura 19. Estructura simétrica y estructura asimétrica.....	32
Figura 20. Respuesta de la aceleración en una estructura simétrica.....	33
Figura 21. Respuesta en la aceleración en una estructura asimétrica.....	34

IMPLEMENTACION DE ACTIVIDADES DE LABORATORIO PARA LA ENSEÑANZA DE INGENIERIA ESTRUCTURAL UTILIZANDO UNA MESA VIBRATORIA

Autor: Nicolás Ignacio Ganiffo Ganiffo

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

nganiffo@alumnos.ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Mg. Alexander Opazo Vega

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

aopazove@ubiobio.cl

RESUMEN

El Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, de la Universidad del Bío Bío sede Concepción se encarga de la formación de futuros Ingenieros Civiles capaces de dar respuesta a las características y necesidades actuales de nuestro país. Con el propósito de facilitar este proceso el presente trabajo tiene por objetivo implementar actividades de laboratorio para la enseñanza de Ingeniería Estructural utilizando una mesa vibratoria.

Para realizar estas actividades se modelaron estructuras fabricadas con materiales de bajo costo y fácil manipulación para los estudiantes. Algunas de estas estructuras fueron ensayadas en la mesa vibratoria y la respuesta presentada por estas fue analizada por medio del Software LoggerPro, el que representa la información obtenida por medio de los acelerómetros 3 Axis Accelerometer.

A partir de los modelos físicos ensayados se logró validar este trabajo, comprobando que sí es posible el estudio de la Dinámica Estructural por medio de actividades prácticas, facilitando el aprendizaje y comprensión de esta.

A razón de lo antes mencionado se elaboró una guía práctica de laboratorio la cual está compuesta por tres actividades que tienen como eje principal estudiar algunos fenómenos de la Dinámica Estructural, estos son: periodo, resonancia y torsión.

Palabras Claves: Periodo, Resonancia, Torsión.

7.982 Palabras Texto + 26 Figuras/Tablas*250 + 0 Figuras/Tablas*500 = 14.482 Palabras Totales

ABSTRACT

THE ENVIROMENT AND CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT, BIO BIO UNIVERSITY, CONCEPCION, IS IN CHARGE OF FUTURE CIVIL ENGINEERS FORMATION, ABLE TO GIVE ANSWERS TO CHARACTERISTICS AND PRESENT NEEDS OF OUR COUNTRY.

WITH THE PURPOSE TO FACILITATE THIS PROCESS, THE PRESENT WORK HAS AS OBJECTIVE TO IMPLEMENT LAB ACTIVITIES FOR THE TEACHING OF STRUCTURAL ENGINEERING USING A VIBRATING TABLE.

TO CARRY OUT THESE ACTIVITIES MANUFACTURED STRUCTURES WERE MODELLED WITH SLOW COST MATERIALS AND EASY MANIPULATION FOR THE STUDENTS.SOME OF THESE STRUCTURES WERE REHEARSED ON THE VIBRATORY TABLE AND THE ASWER PRESENTED BY THIS WAS ANALYZED BY MEANS OF LOGGER PRO SOFTWARE, THE ONE THAT REPRESENTS THE OBTAINED INFORMATION BY MEANS OF ACELEROMETERS AXIS 3.

FROM THE REHEARSED PHYSICAL MODELS IT WAS POSSIBLE TO VALIDATE THIS WORK, PROVING THAT IT IS POSSIBLE THE STUDY OF STRUCTURAL DINAMIC THROUGH PRACTICAL ACTIVITIES FACILITATING THE UNDERSTANDING AND LEARNING OF IT.

DUE TO WHAT WAS PREVIOUSLY MENTIONED A PRACTICAL LAB GUIDE WAS DEvised THE ONE WHICH IS COMPOSED OF THREE ACTIVITIES WHOSE CORE IDEA IS TO STUDY SOME STRUCTURAL DINAMIC PHENOMENA, THESE ARE: PERIOD, RESONANCE AND TORSION.

Keywords: PERIOD, RESONANCE, TORSION

1 INTRODUCCIÓN.

A lo largo de la historia, Chile ha registrado innumerables eventos sísmicos, los cuales se han extendido en toda su longitud territorial. Entre estos eventos se destaca el terremoto más grande registrado instrumentalmente en el mundo, el cual tuvo lugar en la ciudad de Valdivia el año 1960, cuyo epicentro, según los datos actuales entregados por el Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile, fue en la latitud -39.500 y longitud -74.500 , registrando una magnitud de 9.5 Mw.

El terremoto, destruyó o dañó entre el 60% y el 80% de las construcciones de Valdivia (Castedo, 1998) sus fuertes precursoros y réplicas, además del posterior maremoto que lo sucedió, afectaron a una región de una superficie de 140.433 km^2 , la cual era habitada por dos millones y medio de personas, provocando la muerte registrada de 2.500 personas y daños avaluados entre 500 y 700 millones de dólares (Plafker y Savage, 1970).

Debido a los antecedentes mencionados recientemente, surge la necesidad de formar Ingenieros Civiles capaces de dar respuestas a las características sismológicas de nuestro país, teniendo en cuenta los recurrentes eventos sísmicos que lo afectan, esto con el objetivo de reducir al máximo los daños y pérdidas tanto humanas como estructurales que pudiesen producirse ante la inminente ocurrencia de un futuro evento.

En la Universidad del Bío Bío, sede Concepción, se encuentra el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, en el cual se imparte la carrera de Ingeniería Civil. Este departamento otorga una sólida formación en el área estructural, impartiendo diversas asignaturas como: Mecánica Estructural, Dinámica Estructural, Análisis de Estructuras, entre otras. En estas se enseñan los primeros conceptos del área, al igual que en las asignaturas electivas de: Diseño Sismorresistente, Taller de Diseño Estructural, Taller de Diseño de Estructuras Metálicas etc. en donde se profundizan los conocimientos y se aprende el uso de algunos programas computacionales de especialidad.

Sin embargo el gran déficit del Departamento, en cuanto a favorecer los procesos de enseñanza, es contar con actividades de laboratorio que ayuden a visualizar y comprender de manera más efectiva los contenidos adquiridos en las clases teóricas.

Actualmente se han desarrollado actividades prácticas para la enseñanza de Ingeniería Estructural, dentro de las que destaca el Kit Mola creado por el arquitecto brasileño Márcio

Sequeira de Oliveira. Según la información disponible en la página web Mola Model, este se trata de un modelo interactivo que simula estructuras y tiene como función estudiar, experimentar y enseñar el comportamiento de estas. El kit está compuesto por un manual con ejemplos de modelos, una base metálica para el montaje de estructuras y un conjunto de piezas para construirlas.

Teniendo como referencia el propósito del Kit Mola surge la interrogante ¿Cómo se puede fortalecer la formación de Ingenieros Civiles del Departamento implementando actividades que ayuden a la enseñanza de la Ingeniería Estructural?

Con la implementación de este conjunto de actividades didácticas se facilitará el aprendizaje de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil realizando un aporte en el área de la Ingeniería Estructural. Esto se logrará por medio de la observación de distintos fenómenos aplicados sobre las estructuras, permitiendo que los jóvenes estudien, experimenten, aprendan y comprendan con mayor facilidad los contenidos explicados en clases, complementando de esta manera la teoría con la práctica, fortaleciendo la formación de los futuros Ingenieros Civiles de la Universidad del Bío-Bío.

Para poder llevar a cabo estas actividades, se utilizan materiales de bajo costo y fácil manipulación para los estudiantes como alambre, palos de maqueta, madera balsa e imanes con lo que se crean las partes básicas de las estructuras.

Esto se suma a una Tamizadora de Ensayo Tyler 812-3, la que fue adquirida por el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental la que al no cumplir con su función principal de tamizar, fue dejada sin uso y es adaptada como una mesa vibratoria. Las vibraciones de la mesa y las que esta induce en las estructuras pueden ser monitoreadas por un sistema de recolección de datos dinámico (LabPro) el que trabaja en conjunto con los acelerómetros 3-Axis Accelerometer logrando la implementación de actividades.

Con ayuda de los materiales y equipos mencionados anteriormente se pretende implementar actividades de laboratorio, las que permitan estudiar los conceptos de Periodo de vibración estructural, Resonancia y Torsión en Planta.

1.1 Objetivos de la Investigación.

1.1.1 Objetivo General:

Implementar actividades prácticas para la enseñanza de Ingeniería Estructural, utilizando una mesa vibratoria.

1.1.2 Objetivos Específicos:

- Recopilar información acerca de actividades prácticas existentes para la enseñanza de Ingeniería Estructural.
- Crear estructuras con distintas características y materiales para ser sometidas a la vibración de la mesa.
- Utilizar la mesa vibratoria para implementar actividades de trabajo para las asignaturas del área estructural.
- Analizar los resultados obtenidos en las experiencias realizadas en laboratorio.
- Elaborar una guía de trabajo de laboratorio para las actividades implementadas.

2 ASPECTOS CLAVES PARA LA MODELACIÓN FÍSICA DE FENÓMENOS DINÁMICOS.

2.1 Estudios existentes para el aprendizaje práctico de la Ingeniería Estructural.

Actualmente existen países en Latinoamérica que han implementado actividades didácticas en las que se pueden observar y comprender de mejor manera los conceptos de la Ingeniería Estructural. Algunos de los países que utilizan este tipo de actividades son Perú, México, Brasil y Colombia. En Perú se encuentra el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) perteneciente a la Facultad de Ingeniería Civil (FIC) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). El CISMID fue establecido el año 1986 y su objetivo es realizar estudios que permitan crear nuevas tecnologías capaces de prevenir y mitigar algunos desastres naturales, entre estos los sismos. El Centro cuenta con un laboratorio de estructuras que posee una mesa vibradora, la que es utilizada para fines didácticos destacando dentro de las actividades que se realizan en esta, el estudio de los efectos de resonancia en modelos de diferentes niveles y pesos, simulaciones de maquetas a sismos, permitiendo de esta manera observar y estudiar el comportamiento de las maquetas ante estos, entre otras.

Al igual que en Perú, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) cuenta con una Mesa Vibradora la que inició sus actividades en el año 1997. Esta mesa es la más grande de Latinoamérica cuyas dimensiones en su plataforma son de 4 x 4 metros, contando con cinco grados de libertad controlados (dos de desplazamientos y tres rotacionales), una frecuencia que va desde los 0.1 a 50 Hz y puede soportar modelos de hasta 20 toneladas para ser ensayados.

Con ayuda de esta mesa se pueden realizar diversas actividades, como el estudio de la respuesta dinámica de elementos y sistemas estructurales, validación de conceptos estructurales, simulación de sismos, entre otros.

Entre los sismos que se han simulado en la mesa vibradora se encuentran: el terremoto de la Ciudad de México en el año 1985, el terremoto ocurrido el año 1995 en Kobe (Japón), entre otros. Sin embargo cabe destacar que se puede simular cualquier sismo del que se tenga registro.

En tanto en Brasil el arquitecto Márcio Sequeira de Oliveira ha creado un kit compuesto por elementos sencillos de pequeñas dimensiones como se puede observar en la Figura 1, a través de los cuales se puede estudiar, experimentar y enseñar el comportamiento de las estructuras de forma interactiva.



Figura 1. Kit Mola.

Fuente: www.molamodel.com.

El kit Mola es apto para ingenieros, arquitectos, profesores y estudiantes, permite estudiar distintos conceptos estructurales como son estabilidad estructural, los desplazamientos y deformaciones, el comportamiento de las estructuras de acuerdo a los tipos de apoyos y cargas entre otros.

En Colombia, la Universidad del Valle cuenta con el Laboratorio de Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural, donde realizan distintas pruebas dentro de las que destacan la aplicación de solicitaciones dinámicas específicas a estructuras pequeñas o modelos a escala en un simulador sísmico, ensayos híbridos, análisis modal experimental, entre otros. Al mismo tiempo en este laboratorio se realizan algunos proyectos enfocados en estudiar la dinámica estructural.

El Ingeniero Mauricio Domínguez realizó el proyecto titulado “Influencia de la configuración en el comportamiento sísmico de las estructuras”. En este proyecto se realizaron 12 modelos en los cuales se estudiaron algunos fenómenos de dinámica estructural, entre ellos el fenómeno de Resonancia, para esto utilizó tres péndulos invertidos de distinta longitud, teniendo cada uno de ellos un periodo y una frecuencia diferente, estos fueron sometidos a un simulador sísmico uniaxial con frecuencia variable. Al sincronizarse la frecuencia del simulador con la frecuencia de alguno de los péndulos, se puede observar el fenómeno de resonancia, en el cual el péndulo que tiene la frecuencia sincronizada presenta mayor desplazamiento, mientras que los otros péndulos que tienen una frecuencia diferente presentan menor desplazamiento.

Otro fenómeno que puede ser observado en este proyecto es el de torsión, se construyó una estructura con excentricidad en su rigidez, teniendo un lado construido con un muro

extremadamente rígido y un lado construido con columnas extremadamente flexible. Al ser sometidos al simulador, el lado flexible experimenta grandes deformaciones, mientras que el lado rígido no se deforma, pudiendo apreciarse el fenómeno de torsión en planta.

Siguiendo las ideas existentes en otros países en el presente trabajo se pretende implementar actividades de laboratorio teniendo en cuenta la base estructural del Kit Mola combinado con una mesa vibratoria, logrando aplicar de esta manera conceptos básicos de la dinámica a las estructuras tal como lo realizó el ingeniero Mauricio Domínguez.

2.2 Conceptos básicos para la modelación física de fenómenos dinámicos.

2.2.1 Periodo natural de vibración de una Estructura.

Según la teoría clásica de Dinámica de Estructuras, el Periodo natural de vibración (T_n) es el tiempo que tarda la estructura en recorrer un ciclo de vibración libre, es decir, la vibración que ocurre después que finaliza la excitación externa o después que la carga deja de variar y se mantiene constante. En la Figura 2 se muestra un ciclo de vibración libre.

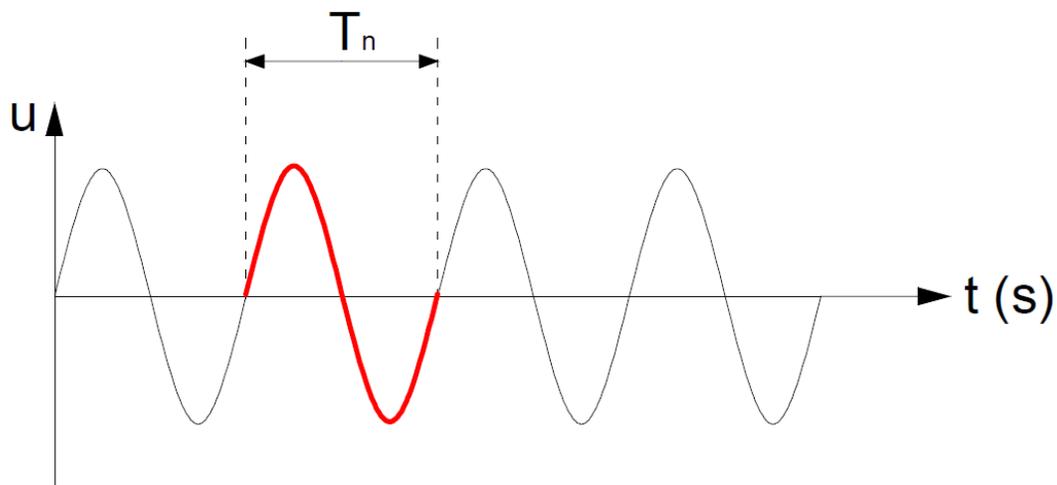


Figura 2. Vibración libre de un sistema sin amortiguamiento.

Fuente: Figura adaptada del libro Dinámica de Estructuras, (Chopra, 2014).

El Periodo Natural se relaciona inversamente con la Frecuencia Natural (f_n) a través de la Ecuación (1), al aumentar la Frecuencia Natural el Periodo Natural es menor.

La Frecuencia Natural representa la cantidad de ciclos que realiza un sistema en un segundo y se mide cps o en Hz.

$$f_n = 1/T_n \quad \text{Ec. (1)}$$

Dónde:

f_n : Frecuencia Natural

T_n : Periodo Natural de la Estructura

El Periodo Natural depende sólo de la masa y rigidez de la estructura, como se puede apreciar en la Ecuación (2).

$$T_n = 2\pi \sqrt{m/k} \quad \text{Ec. (2)}$$

Dónde:

T_n : Periodo Natural de la Estructura.

m : Masa de la Estructura.

k : Rigidez de la Estructura.

Si dos sistemas tienen la misma masa, el que sea más rígido de los dos tendrá la frecuencia natural más alta y el periodo natural más pequeño. De manera similar, si dos estructuras tienen la misma rigidez, aquella que sea la con mayor masa tendrá la menor frecuencia natural y el periodo natural más largo (Chopra, 2014).

Al aumentar el número de pisos de una estructura, de manera indirecta, se está aumentando su masa y disminuyendo su rigidez por lo que su frecuencia natural será más pequeña y el periodo natural será más largo.

La rigidez (K) es la capacidad que tiene un elemento estructural para oponerse a ser deformado, dicho de otra manera es la relación entre las fuerzas externas (estáticas o dinámicas) y las deformaciones que se inducen en el cuerpo (García, 1998) como se observa en la Ecuación (3).

Un cuerpo es más rígido cuando se requiere que se le aplique una mayor carga para alcanzar una deformación dada.

$$K = F/\Delta \quad \text{Ec. (3)}$$

Dónde:

K : Rigidez

F : Fuerza externa

Δ : Desplazamientos en la misma dirección de la fuerza

2.2.2 Resonancia.

Según la definición entregada por (Serway y Jewett, 2008) la resonancia es el aumento drástico en la amplitud de la oscilación de un sistema debido a la intervención de una fuerza externa de carácter periódico. Para que exista resonancia la frecuencia de la fuerza impulsora debe ser igual o muy aproximada al de la frecuencia natural del sistema.

En Ingeniería, se utiliza el concepto de resonancia cuando el periodo natural de vibrar de una estructura es igual o muy cercano al del suelo donde se funda, provocando que los efectos sísmicos se amplifiquen pudiendo generar grandes daños a la estructura, incluso el colapso de esta como se puede observar en la Figura 4.



Figura 3. Edificio Nueva León en Tlatelolco, México tras el sismo de 1985.

Fuente: Archivo agencia EL UNIVERSAL.

Debido al efecto de las condiciones del suelo en la respuesta de una estructura sometida a cargas sísmicas es que se busca controlar los periodos de las estructuras, evitando que su frecuencia sea cercana al rango de frecuencia presente en los suelos (0.5-2 Hz).

En general, las estructuras flexibles presentan un mayor daño cuando las condiciones del suelo corresponden a uno blando, mientras que en un suelo firme son las estructuras rígidas las que presentan un mayor daño (Seed e Idriss, 1982 citado en Bozzo y Barbat, 2000) por lo que se recomienda que las estructuras rígidas se funden sobre suelos blandos y las estructuras flexibles en suelos firmes.

2.2.3 Torsión.

La simetría es una propiedad geométrica deseable para la configuración de las estructuras. La simetría en planta de una estructura puede existir en uno o en sus dos ejes y esta se caracteriza por que el centro de masa (CM) y centro de rigidez (CR) de la estructura coinciden.

La torsión (τ) en planta se define como el hecho de que las fuerzas horizontales son aplicadas en el centro de masa de la estructura, el que no coincide con su centro de rigidez, por lo que la estructura tiende a girar respecto a este (García, 1998) como se observa en la Figura 5.

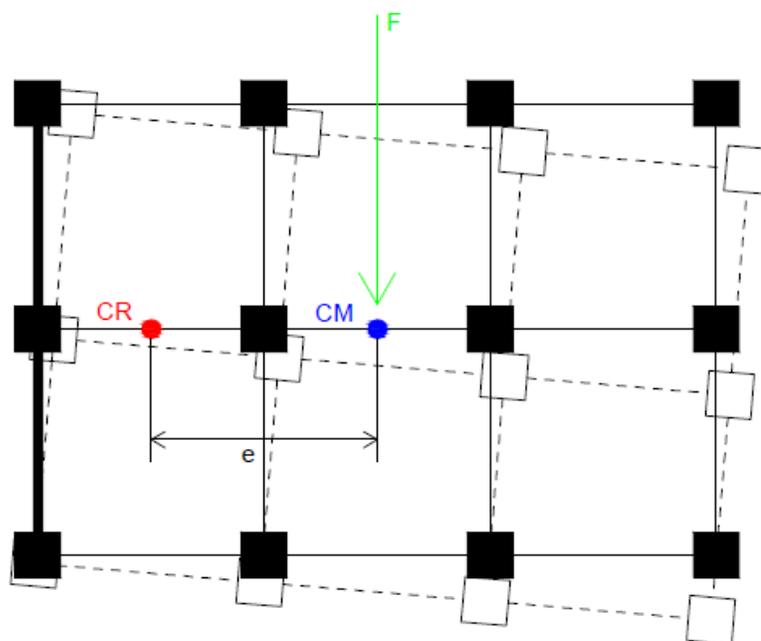


Figura 4. Torsión en planta por irregularidad en la Rigidez de la Estructura.

Fuente: Elaboración propia.

La falta de simetría tiende a producir excentricidades entre el centro de masa y el centro de rigidez de una estructura, lo que ocasiona la Torsión en planta. El CM se define como el lugar geométrico en el cual se supone que está concentrada la masa mientras que el CR se define como el punto en el diafragma en el cual al aplicar una fuerza horizontal no se presenta rotación del diafragma. (García, 1998).

Entre mayor sea la excentricidad entre el CM y CR mayor será la torsión que sufre la estructura, como se puede apreciar en la Ecuación (4) y la Ecuación (5).

$$e = CM - CR \quad \text{Ec. (4)}$$

Dónde:

e : Excentricidad

CM : Centro de Masa

CR : Centro de Rigidez

$$\tau = F * e \quad \text{Ec. (5)}$$

Dónde:

τ : Torsión

F : Fuerzas

e : Excentricidad

En estructuras con formas irregulares como “L” o “T”, es recomendado incrementar la rigidez de algunos elementos, con el fin de compensar la irregularidad en la planta de la estructura.

De la misma forma que se busca evitar la asimetría en planta, también se recomienda una construcción lo más regular posible en altura, es decir los cambios de forma y rigidez entre un piso y otro deben ser de forma gradual con el fin de evitar los efectos de Torsión entre piso y piso.

3 MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1 Materiales utilizados.

Para lograr la implementación de estas actividades fue necesario utilizar distintos materiales, los que se pueden ver en mayor detalle en el Anexo B. A continuación se presenta cada uno de estos materiales con sus características y funciones principales.



Figura 5. Materiales utilizados.

Fuente: Elaboración propia.

- **Alambre:** Se utiliza alambre circular galvanizado calibre 18 y diámetro de 1.24 milímetros, entre sus características se destaca su fácil manipulación y alta resistencia.

Se elige el alambre como material para crear las columnas y vigas por sobre otros materiales como palos de maqueta y palos de helado, por presentar una mayor flexibilidad. Esta propiedad permite observar con mayor facilidad los comportamientos que se estudiarán en las actividades.

- **Tuerca:** Se utilizan tuercas hexagonales galvanizadas de 1/2", con un diámetro interior de 12.7 milímetros y un peso aproximado de 20 gramos.

Se escogen estas tuercas como apoyos porque la esfera imantada queda inserta en su diámetro interior, uniéndose por medio de las propiedades magnéticas de la esfera.

- Madera: Se utiliza como base para la mesa vibratoria un trozo circular de madera trupan, de 44 centímetros de diámetro y 2 centímetros de espesor.
- Palos de maqueta: Se utilizan palos de maqueta rectangular número 5 para la construcción de los muros. Cada uno de sus lados mide 5 milímetros y tiene un largo de 504 milímetros.
- Madera balsa: Se utiliza madera balsa para la creación de muros. Esta tiene un espesor de 1.5 milímetros, un ancho de 80 milímetros y un largo de 930 milímetros.
- Imanes: Se utilizan imanes cilíndricos de 4 milímetros de diámetro y 1 milímetro de espesor. Estos imanes son utilizados en la construcción de los muros.
- Esferas imantadas: Se utilizan esferas imantadas las que tiene un diámetro de 2 centímetros y un peso aproximado de 20 gramos. Estas esferas son utilizadas como conectores entre vigas y columnas.
- Masas: Se utilizan masas cuadradas de 5 centímetros cada lado, con un espesor de 0.5 centímetros y un peso aproximado de 100 kilogramos. Estas masas son utilizadas durante las actividades.

3.2 Equipos utilizados.

Para lograr la implementación de estas actividades fue necesario utilizar distintos equipos, los que se pueden ver en el Anexo C. A continuación se presentan y destacan las principales funciones y características de estos.

- **3 Axis Accelerometer:** Es un sensor de recolección de datos de Vernier que cuenta con 3 acelerómetros internos separados y ubicados ortogonalmente lo que permite analizar la aceleración en los tres ejes (X, Y, Z) captando aceleraciones que van en un rango de -5 g hasta +5 g, con una precisión de ± 0.05 g.

El acelerómetro modelo 3D-BTA requiere una interfaz para la recopilación de datos (LabPro) y un software compatible (LoggerPro) con el que las señales captadas pueden ser representadas gráficamente en cualquiera de sus 3 direcciones.

- **LabPro:** Es la interfaz más versátil para la recolección de datos de Vernier, compatible con calculadoras Texas Instruments y ordenadores. Tiene una frecuencia de muestreo de hasta 50000 lecturas por segundo y cuenta con 6 canales de recolección de datos, los que permiten utilizar varios sensores a la vez, siendo compatible con más de 70 de estos.

- **LoggerPro:** Es un software de Vernier con el que se recopilan, representan y analizan datos, LoggerPro es compatible con el sensor 3 Axis Accelerometer y la interfaz LabPro, entre otros. LoggerPro es un software compatible con sistemas operativos Windows y Mac.

Además de los datos que se obtienen a través de sensores, estos se pueden introducir de forma manual o a partir de tablas de datos existentes. Se pueden realizar análisis estadísticos, ajustes de curvas y capturar videos para un registro visual del experimento

- **Mesa Vibratoria:** La tamizadora de ensayo modelo Rx-812-3 serial 19-1165, de dimensiones 495 milímetros de ancho, 670 milímetros de largo y 10 milímetros de alto fue adquirida por el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental cuya función era tamizar áridos.

La tamizadora tiene una frecuencia única de 3.86 Hz y un movimiento oscilante compuesto por dos ejes en los que presenta distintas aceleraciones, una mayor que la otra.

La tamizadora es adaptada para este trabajo, como se observa en la Figura 6, y es utilizada para generar vibraciones a las estructuras creadas, pudiendo de esta forma estudiar distintos

fenómenos. La adaptación de la tamizadora consiste en crear una base con apoyos para colocar los imanes y desde ahí construir las estructuras.



Figura 6. Tamizadora Rx-812-3 después de ser adaptada.

Fuente: Elaboración propia.

La base es creada con una madera circular, la que es perforada creando orificios en los que son insertadas las tuercas, las que al ser metálicas, generan la atracción con los imanes.

Como se observó en la Figura 6 la base cuenta con 4 apoyos espaciados a 8 centímetros entre sí en un sentido lo que permite la construcción de 3 marcos, mientras que en el otro sentido se encuentran separados a distancias de 6, 9, 12 y 15 centímetros. Esto nos entrega un total de 28 apoyos los que permiten la construcción de las distintas estructuras.

3.3 Creación de los elementos estructurales.

Los elementos estructurales que se crean para realizar esta actividad son Vigas, Columnas, Diagonales y Muros. A continuación se detallan sus propiedades, características, formas de construir entre otros.

En el Anexo D se encuentran más detalles sobre la creación de los elementos estructurales y las imágenes de estos.

3.3.1 Vigas y Columnas.

Estas son hechas a partir de resortes de 1.2 centímetros de diámetro, los que son fabricados con alambre galvanizado. En la Tabla 1 son indicadas las denominaciones y principales características de las Vigas y Columnas.

Tabla 1. Vigas y Columnas.

Elemento	Denominación	Largo [m]	Peso [kg]
Columna	C-8	0.08	0.00582
Viga	V-6	0.06	0.00457
Viga	V-8	0.08	0.00582
Viga	V-9	0.09	0.00650
Viga	V-12	0.12	0.00865
Viga	V-15	0.15	0.01048

A continuación se encuentran los pasos detallados para construir los resortes y en la Figura 7 se ilustran cada uno de estos para su mejor comprensión.

- 1) Cortar alambre según las medidas indicadas en la Tabla D8 del Anexo D, dependiendo la longitud de la viga o columna que se quiera realizar.
- 2) Enrollar el alambre en su totalidad a través de la guía.
- 3) Se obtiene el resorte como se observa en el paso 3) de la Figura 7, faltando por realizar las terminaciones en los extremos.
- 4) Realizar la terminación en un extremo del resorte.
- 5) Realizar la terminación en el extremo faltante, obteniendo el resorte como en el paso 5) de la Figura 7.

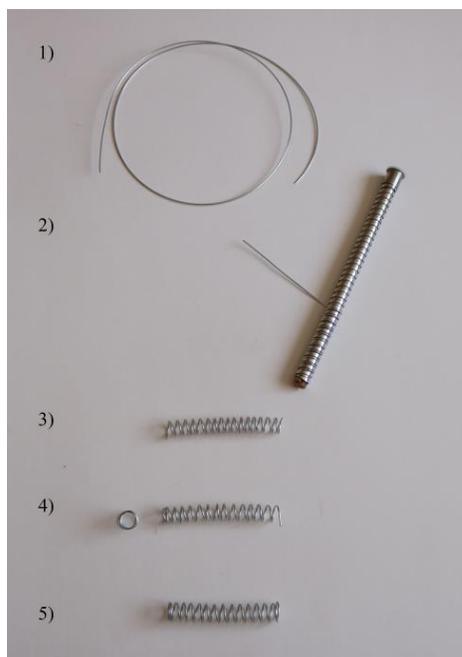


Figura 7. Paso para construir vigas y columnas.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Diagonales.

El alambre galvanizado también es utilizado para crear diagonales, las que tienen como función rigidizar las estructuras.

Existen dos tipos de diagonales: la Diagonal tipo A (DA) que tiene un diámetro de apoyo de 1,5 centímetros y la Diagonal tipo B (DB) que tiene un diámetro de apoyo de 1 centímetro, este diámetro es menor ya que se introduce en el diámetro de apoyo de la diagonal DA.

El número de vueltas de la terminación de la diagonal DB es mayor que los de la diagonal DA lo que permite que se puedan cruzar.

En la Tabla 2 y Tabla 3 se encuentran las denominaciones y características principales de la diagonales DA y DB respectivamente.

Tabla 2. Diagonal Tipo A.

Denominación	Largo Exterior [m]	Largo Interior [m]	Diámetro [m]	Peso [kg]
DA-8x6	0.137	0.107	0.015	0.00225
DA-8x8	0.148	0.118	0.015	0.00236
DA-8x9	0.157	0.127	0.015	0.00238
DA-8x12	0.180	0.150	0.015	0.00267
DA-8x15	0.205	0.175	0.015	0.00291

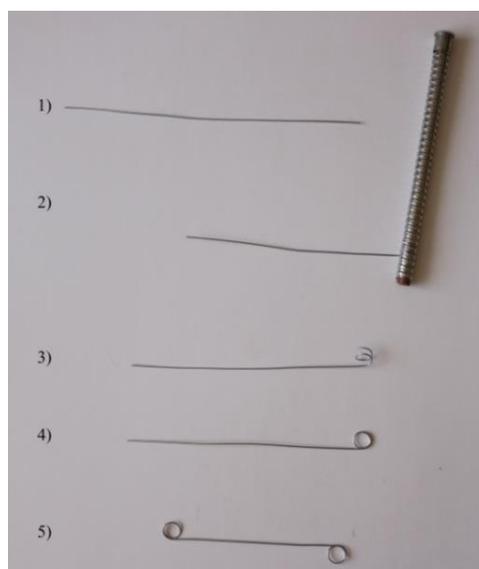
Tabla 3. Diagonal Tipo B.

Denominación	Largo Exterior [m]	Largo Interior [m]	Diámetro [m]	Peso [kg]
DB-8x6	0.133	0.113	0.010	0.00245
DB-8x8	0.145	0.125	0.010	0.00266
DB-8x9	0.151	0.131	0.010	0.00268
DB-8x12	0.175	0.155	0.010	0.00293
DB-8x15	0.200	0.180	0.010	0.00329

A continuación se encuentran los pasos detallados para construir las diagonales DA y DB respectivamente y en la Figura 8 y Figura 9 se ilustran cada uno de ellos para su mejor comprensión.

Pasos para construir una Diagonal tipo A

- 1) Cortar y estirar el alambre según las medidas indicada en la Tabla D9 del Anexo D dependiendo el tipo de diagonal que se quiere realizar.
- 2) Enrollar un extremo del alambre en la guía dando una vuelta y media.
- 3) El extremo enrollado queda como se observa en el paso 3) de la Figura 8.
- 4) Realizar la terminación en el extremo enrollado.
- 5) Repetir desde el paso 2) hasta el 4) en el extremo que falta, terminando la diagonal tipo A tal como se ve en el paso 5) de la Figura 8.

**Figura 8. Pasos para construir diagonal tipo A.**

Fuente: Elaboración propia.

Pasos para construir una Diagonal tipo B

- 1) Cortar y estirar el alambre según las medidas indicadas en la Tabla D10 del Anexo D dependiendo el tipo de diagonal que se quiere realizar.
- 2) Enrollar un extremo del alambre en la guía dando tres vueltas
- 3) El extremo enrollado queda como se observa en el paso 3) de la Figura 9.
- 4) Repetir el paso 2) en el extremo que falta, terminando la diagonal tipo B tal como se ve en el paso 5) de la Figura 9.

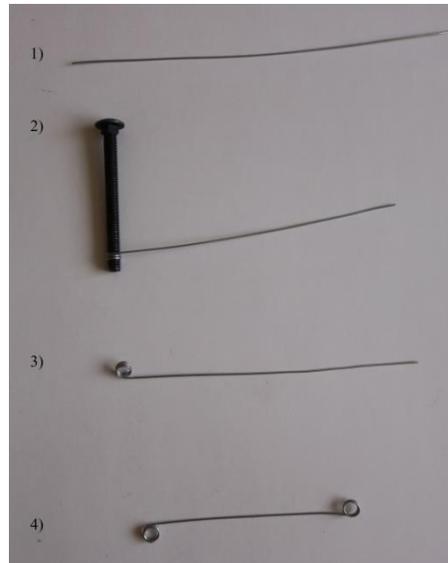


Figura 9. Pasos para construir una diagonal tipo B.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3 Muros y Losas.

Los muros al igual que las diagonales son elementos rigidizadores, pero entregan una mayor rigidez que las diagonales. Estos se conectan a las vigas y columnas por medio de los imanes que se encuentran a su alrededor. Los muros también son utilizados como losa entre los pisos de las estructuras.

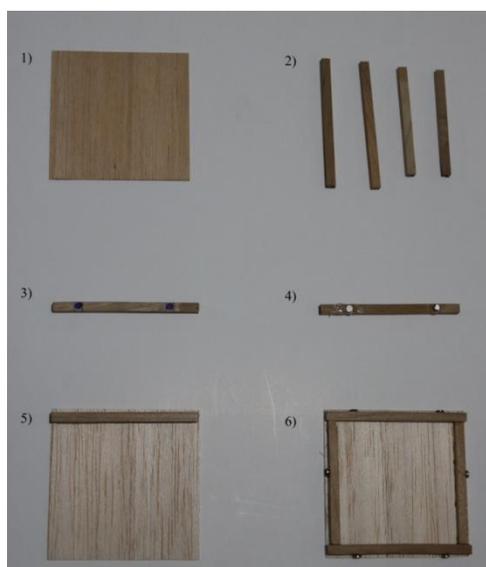
En la Tabla 4 se encuentran las denominaciones y principales características de los muros.

Tabla 4. Muros.

Denominación	Largo [m]	Ancho [m]	Espesor [m]	Peso [kg]
M-8x6	0.06	0.08	0.0065	0.00531
M-8x8	0.08	0.08	0.0065	0.00648
M-8x9	0.09	0.08	0.0065	0.00657
M-8x12	0.12	0.08	0.0065	0.00787
M-8x15	0.15	0.08	0.0065	0.00904

A continuación se encuentran los pasos detallados para la construcción de los Muros y en la Figura 10 se ilustran cada uno de estos para su mejor comprensión.

- 1) Marcar y cortar la madera balsa según las medidas indicadas en la Tabla D11 del Anexo D, dependiendo muro que se quiere realizar.
- 2) Marcar y cortar el palo de maqueta según las medidas indicadas en la Tabla D12 del Anexo D, dependiendo el muro que se quiere realizar.
- 3) Marcar los palos de maqueta cortados en el paso 2) según las longitudes indicadas en la Tabla D13 del Anexo D.
- 4) Pegar los imanes en las marcar hechas en el paso 3) de la Figura 10.
- 5) Pegar los palos con imanes en la madera balsa.
- 6) Se obteniendo el muro terminado como se observa en el paso 6) de la Figura 10.

**Figura 10. Pasos para construir muros.**

Fuente: Elaboración propia.

3.4 Implementación de actividades.

En el presente trabajo se implementan 3 grandes actividades las que permiten la modelación física de fenómenos dinámicos utilizando los elementos estructurales creados y los equipos mencionados anteriormente. A continuación se describe cada una de estas actividades.

3.4.1 Comportamiento del Periodo.

En esta actividad se estudia el comportamiento del periodo de una estructura al variar tres de sus componentes: altura, masa y rigidez.

- Periodo v/s Altura.

El objetivo de la actividad es estudiar el comportamiento del periodo de una estructura al ir aumentando su número de pisos, es decir su altura.

Se inicia con una estructura de 8 centímetros de ancho, 9 centímetros de largo y 2 pisos de 8 centímetros de altura cada uno. La estructura se conecta a través de diagonales y cuenta con losas entre los pisos.

Esta estructura se somete a vibración a través de una fuerza externa aplicada en uno de sus ejes, la aceleración que presenta dicha estructura es recogida por medio de los acelerómetros y es graficada por el software Logger Pro. Mediante este gráfico se puede obtener el periodo de la estructura en el sentido en el que le fue aplicada la fuerza. Análogamente se calcula el periodo de la estructura en su otro eje.

Para continuar la actividad se debe aumentar en un piso la estructura y volver a calcular su periodo estructural.

Al obtener los periodos de cada una de las estructuras se puede determinar cómo se comporta este al ir aumentando los números de pisos de la estructura.

- Periodo v/s Masa.

El objetivo de la actividad es estudiar como se ve afectado el periodo de una estructura al variar su masa, manteniendo su misma configuración inicial.

Se inicia la actividad con una estructura de 8 centímetros de ancho, 9 centímetros de largo y 4 pisos de 8 centímetros de altura cada uno. La estructura se conecta con diagonales y cuenta con losas entre los pisos. Cabe destacar que se debe conocer el peso de dicha estructura.

La estructura se somete a vibración a través de una fuerza externa aplicada en uno de sus ejes, la aceleración que presenta dicha estructura es recogida por medio de los acelerómetros y es

graficada por el software Logger Pro. Mediante este gráfico se obtiene el periodo de la estructura en el sentido en el que le fue aplicada la fuerza. Análogamente se calcula el periodo de la estructura en su otro eje.

Una vez calculados los periodos en ambos sentidos, se le va agregando a la estructura una masa adicional correspondiente al peso de un piso, y se procede a calcular el periodo de esta estructura nuevamente. Esto se repite hasta llegar a tres masas adicionales.

Obtenidos los periodos de las cuatro estructuras, se puede estudiar el comportamiento del periodo al variar el peso de la estructura sin modificar su configuración inicial.

- Periodo v/s Rigidez.

El objetivo de la actividad es estudiar como se ve afectado el periodo de una estructura al variar su rigidez.

Se inicia con una estructura flexible la que cuenta con losas entre los pisos, de 8 centímetros de ancho, 9 centímetros de largo y 4 pisos de 8 centímetros de altura cada uno.

La estructura flexible se somete a vibración a través de una fuerza externa aplicada en uno de sus ejes, la aceleración que presenta dicha estructura es recogida por medio de los acelerómetros y es graficada por el software Logger Pro. Mediante este gráfico se puede obtener el periodo de la estructura en el sentido en el que le fue aplicada la fuerza. Análogamente se calcula el periodo de la estructura en su otro eje

Luego se crea y calcula el periodo a tres estructuras más, las que van aumentando su rigidez pero poseen las mismas dimensiones de la estructura flexible.

Al obtener el periodo de las estructuras se puede estudiar el comportamiento de este al variar su rigidez.

3.4.2 Resonancia.

El objetivo de esta actividad consiste en comparar la respuesta que presenta una estructura resonante con dos estructuras, una de menor frecuencia y otra de mayor frecuencia. La estructura resonante debe tener una frecuencia cercana a la frecuencia de la mesa vibratoria.

La actividad consiste en construir una estructura que tenga una frecuencia cercana a la de la mesa vibratoria. Para construir dicha estructura se utilizan los conceptos estudiados en la actividad “*Comportamiento del periodo*”: Altura, Rigidez y Masa.

Una vez construida la estructura resonante se construye en paralelo una estructura con una frecuencia menor a la de la mesa vibratoria. Se utiliza la mesa vibratoria para hacer que ambas estructuras vibren registrando por medio de los acelerómetros la respuesta de ambas estructuras y graficándolo a través del software LoggerPro.

Posteriormente se construye en paralelo a la estructura resonante una estructura con una frecuencia mayor a la de la mesa vibratoria, y se realiza el mismo procedimiento anterior.

3.4.3 Torsión.

El objetivo de esta actividad es observar la presencia de torsión en planta en estructuras rectangulares alargadas, que sean simétricas y asimétricas en razón a su rigidez.

La actividad se inicia con la construcción de una estructura de dos pisos con losa entre estos, compuesta por tres módulos, cada uno de 8 centímetros de largo y 6 centímetros de ancho, obteniendo una estructura final de 24 centímetros de largo, 6 de ancho y 16 centímetros de alto, orientando su lado largo perpendicular al sentido en que la mesa vibra con mayor aceleración.

La estructura es simétrica en su rigidez siendo conectada a través de muros en su parte central.

La estructura simétrica es sometida a vibración por efecto de la mesa vibratoria registrando por medio de los acelerómetros las aceleraciones en su centro y extremos, siendo graficadas a través del software LoggerPro. Mediante este gráfico se estudia la aceleración presente en los tres módulos de la estructura.

Posteriormente se construye la estructura asimétrica, la que posee las mismas dimensiones de la estructura simétrica, pero los muros son ubicados en el módulo de un extremo. Se realiza el mismo procedimiento que en la estructura simétrica obteniendo las aceleraciones en los tres módulos de la estructura.

Con el registro de las aceleraciones de cada estructura, se compara la aceleración presente en los módulos centrales y extremos de cada estructura por separado, determinando si existe torsión y traslación en estas o sólo traslación.

4 RESULTADOS DE LA MODELACIÓN FÍSICA DE ACTIVIDADES PRÁCTICAS.

Por medio de las actividades realizadas a lo largo de este trabajo se obtuvieron los siguientes resultados, los que se detallan y presentan a continuación.

4.1 Comportamiento del Periodo.

4.1.1 Periodo v/s Altura.

En esta actividad se estudia el comportamiento del periodo de una estructura al ir aumentando el número de pisos de esta. Iniciando con una estructura de 16 centímetros hasta alcanzar una altura de 48 centímetros como se observa en la Figura 11.

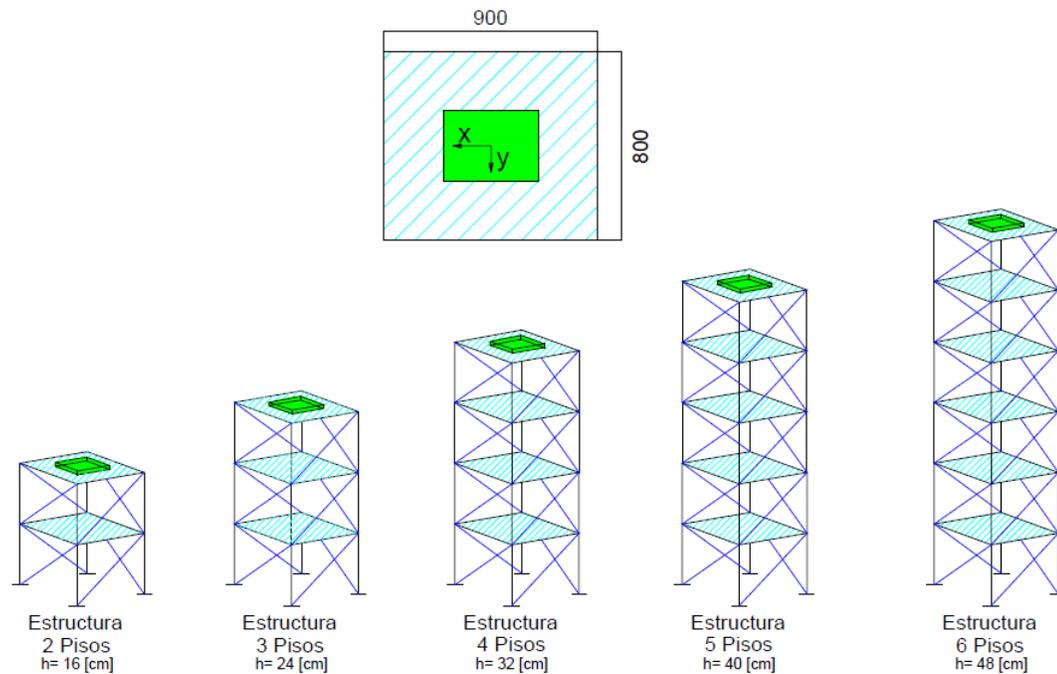


Figura 11. Variación en la altura de una estructura.

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Vista en planta en milímetros. Rectángulo verde representa la ubicación del acelerómetro.

Para obtener los datos presentados en la Figura 12 fue necesario realizar un gráfico de aceleración v/s tiempo, el cual se obtiene por medio de la información recogida por los acelerómetros. A este gráfico se le aplica la transformada de Fourier y se obtienen un histograma de frecuencias a través del que se obtiene las frecuencias de la estructura.

Estos gráficos y más detalles de esta actividad se encuentran disponibles en el Anexo E.

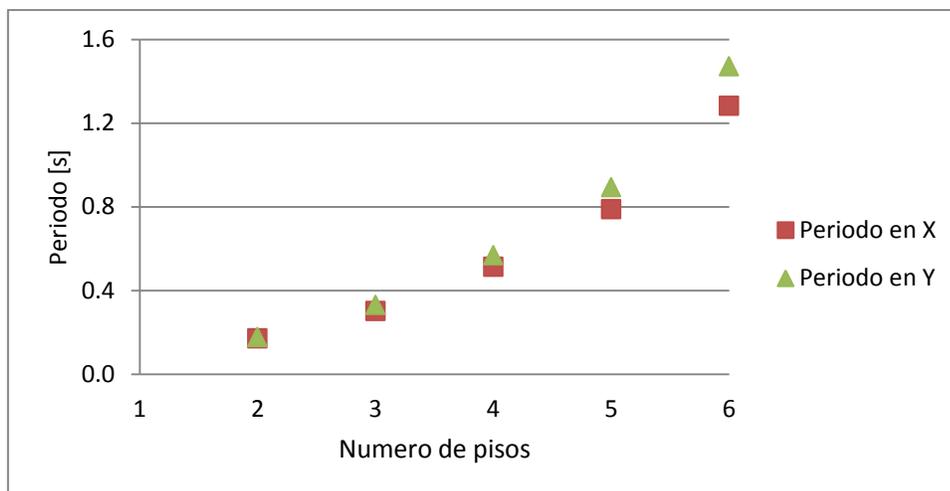


Figura 12. Comportamiento del periodo de una estructura al variar su altura

Fuente: Elaboración propia.

Según lo que se observa en el gráfico de la Figura 12 el periodo en el eje X de la estructura es menor que el periodo en el eje Y, esto debido a que el eje Y presenta mayor rigidez. Al ir aumentando el número de pisos esta diferencia se hace más notoria.

Al ir variando la altura de una estructura desde los 16 centímetros hasta los 48 centímetros, se obtienen una variedad de valores de periodo que va desde un mínimo de 0,171 segundos hasta un máximo de 1,471 segundos.

A raíz de los resultados obtenidos se puede deducir que si bien no existe una razón numérica proporcional al ir aumentando el número de pisos de la estructura con la variación del periodo, sí se puede establecer que a mayor número de pisos, es decir mayor altura estructural, mayor será el periodo natural de la estructura.

4.1.2 Periodo v/s Masa.

En esta actividad se estudió el comportamiento del periodo de una estructura, en la que se mantiene su configuración inicial, pero se le van agregando masas de 100 gramos aproximados las que son equivalentes al 70% del peso de un piso de la estructura. Se inició con una estructura sin masa adicional hasta llegar a tres masas como se observa en la Figura 13, logrando un aumento en la masa de la estructura en casi un 50%.

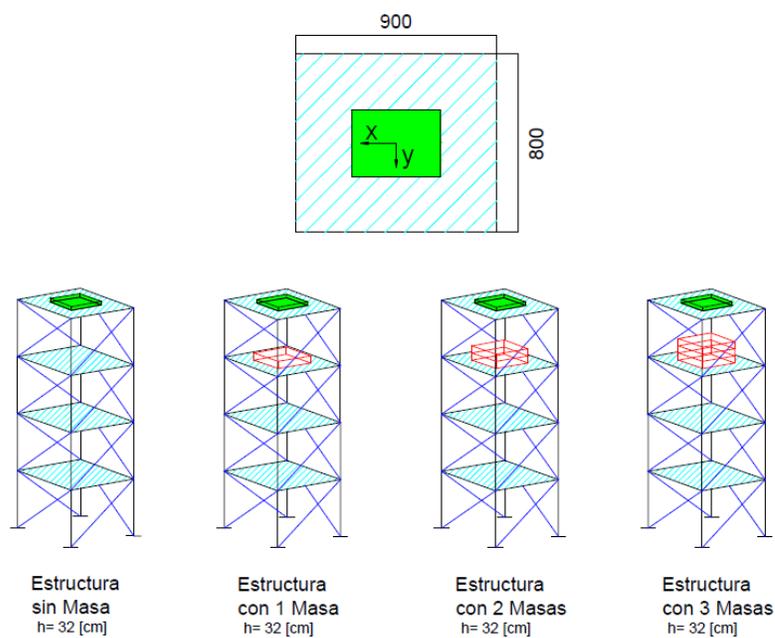


Figura 13. Variación de masa en estructuras.

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Vista en planta en milímetros. Rectángulo verde representa la ubicación del acelerómetro.

Para obtener los datos presentados en la Figura 14 fue necesario realizar un gráfico de aceleración v/s tiempo, el cual se obtiene por medio de la información recogida por los acelerómetros. A este gráfico se le aplica la transformada de Fourier y se obtienen un histograma de frecuencias a través del que se obtiene las frecuencias de la estructura.

Estos gráficos y más detalles de esta actividad se encuentran disponibles en el Anexo E.

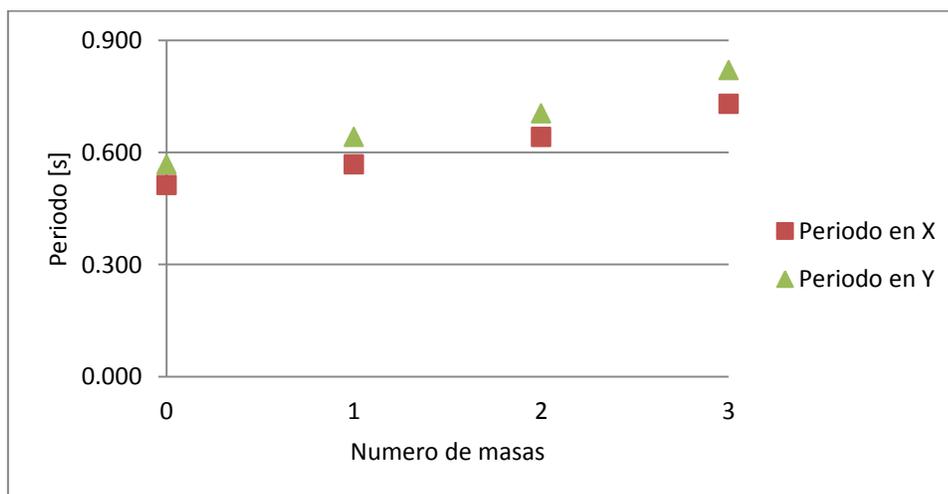


Figura 14. Comportamiento del periodo de una estructura al variar su masa.

Fuente: Elaboración propia.

Según lo que se observa en el gráfico de la Figura 14 el periodo en el eje X de la estructura es menor que el periodo en el eje Y, esto debido a que el eje Y presenta mayor rigidez. Al ir aumentando la masa de la estructura esta diferencia se hace más notoria.

Por medio de los resultados se encuentra un valor mínimo de periodo de 0,513 segundos en la estructura sin masa, mientras el que al ir agregando masas y llegar a un aumento aproximado del 50% de la masa original de la estructura se alcanza un periodo mayor en un 60% respecto al periodo de la estructura inicial.

Si bien no se presenta una relación que nos indique que al agregar una masa adicional el periodo de la estructura aumentara en un porcentaje específico, sí es posible establecer que una estructura de iguales características tendrá mayores periodos naturales mientras mayor sea su masa.

4.1.3 Periodo v/s Rigidez.

En esta actividad se estudia el comportamiento del periodo de una estructura al ir variando su rigidez. Se inicia con una estructura flexible aumentando la rigidez de esta, hasta llegar a una estructura muy rígida como se observa en la Figura 15.

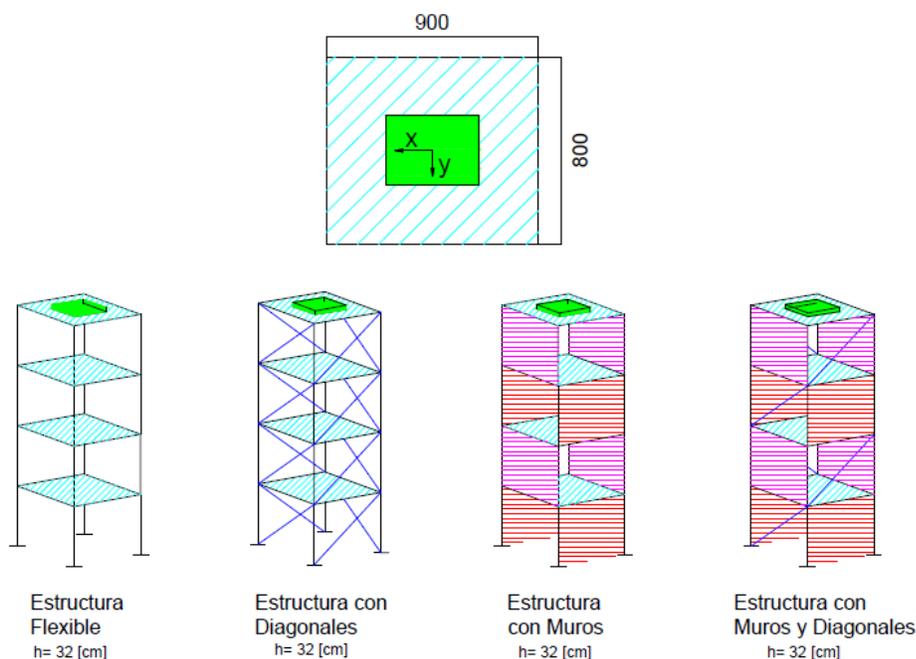


Figura 15. Variación en la rigidez en una estructura.

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Vista en planta en milímetros. Rectángulo verde representa la ubicación del acelerómetro.

Para obtener los datos presentados en la Figura 16 fue necesario realizar un gráfico de aceleración v/s tiempo, el cual se obtiene por medio de la información recogida por los acelerómetros. A este gráfico se le aplica la transformada de Fourier y se obtienen un histograma de frecuencias a través del que se obtiene las frecuencias de la estructura.

Estos gráficos y más detalles de esta actividad se encuentran disponibles en el Anexo E.

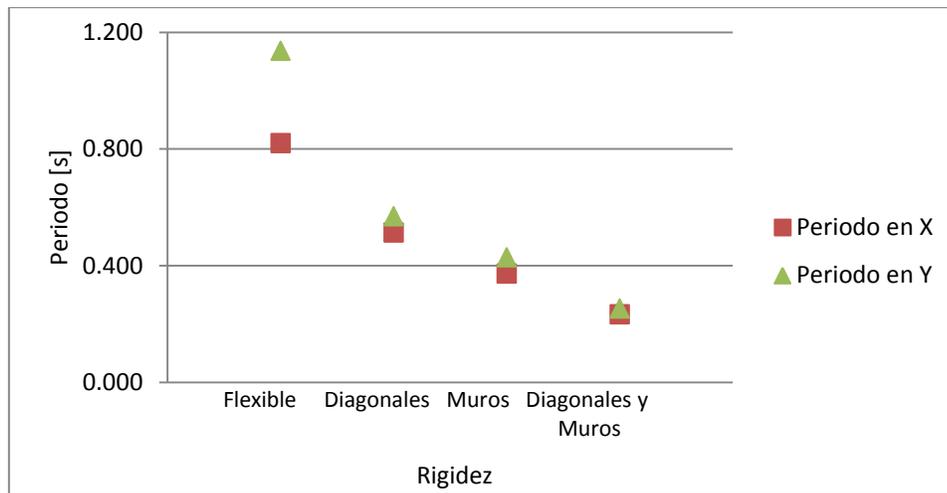


Figura 16. Comportamiento del periodo de una estructura al variar su rigidez.

Fuente: Elaboración propia.

Según lo que se observa en el gráfico de la Figura 16 el periodo en el eje X de la estructura es menor que el periodo en el eje Y, esto debido a que el eje Y presenta mayor rigidez. Al ir rigidizando la estructura esta diferencia va disminuyendo.

También se puede observar una disminución abrupta del periodo entre la estructura flexible y la que cuenta con diagonales disminuyendo el periodo entre el 40 y 50 % en X e Y respectivamente, esto se puede explicar debido a que se pasa de una estructura flexible a una con rigidez, mientras que entre las otras estructuras la disminución del periodo es más gradual debido a que todas cuentan con elementos rigidizadores.

Si bien no existe una relación numérica específica entre la variación de la rigidez y la variación del periodo, sí es posible establecer que el periodo de una estructura disminuye cuando la estructura es más rígida.

4.2 Resonancia.

En esta actividad se estudió el fenómeno de resonancia. Se construyeron tres estructuras, una que posee una frecuencia menor, otra cercana y otra mayor a la frecuencia de la mesa vibratoria. Las estructuras antes mencionadas se observan en la Figura 17.

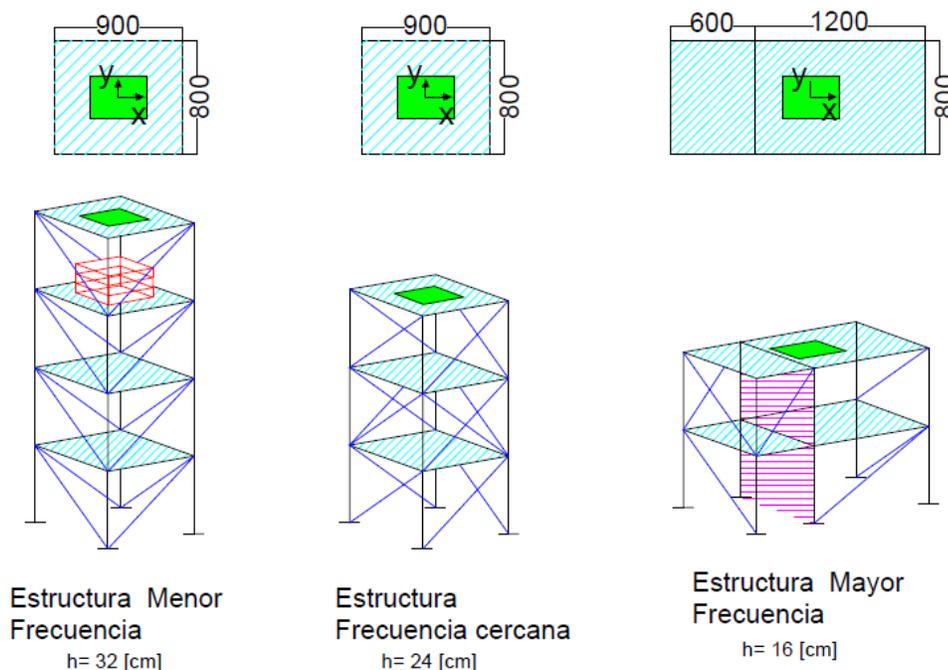


Figura 17. Estructuras con distintas frecuencias.

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Vista en planta en milímetros. Rectángulo verde representa la ubicación del acelerómetro.

A continuación se muestran los resultados de esta actividad, mientras que más detalles de esta actividad se encuentran en el Anexo E.

Para lograr cada una de las frecuencias se construyen las estructuras con distintas características. Se construye una estructura resonante de tres pisos la que tiene una frecuencia que difiere en un 1.3% con la frecuencia de la mesa vibratoria. Para alcanzar una estructura con una frecuencia menor que la de la mesa se aumentó en un piso respecto de la estructura resonante y se le agregaron tres masas adicionales, logrando alejarse de la frecuencia de la mesa en al menos un 28%. Finalmente para alcanzar una mayor frecuencia se disminuyó en un piso la estructura resonante y se le agregó una cúpula adicional para rigidizar la estructura, logrando alejarse en más del 200% a la frecuencia de la mesa.

Las frecuencias de las tres estructuras y de la mesa vibratoria se encuentran en la Tabla 5.

Tabla 5. Frecuencia de cada Estructura.

Estructura	Frecuencia X [Hz]	Frecuencia Y [Hz]
Mesa Vibratoria	3.86	3.86
Estructura con Menor Frecuencia	1.86	1.07
Estructura con Frecuencia Cercana	3.81	3.81
Estructura con mayor Frecuencia	8.35	10.55

Al ser sometidas a la vibración de la mesa, se obtiene la aceleración que presenta cada estructura al transcurrir el tiempo, estas aceleraciones se observan en el gráfico de la Figura 18.

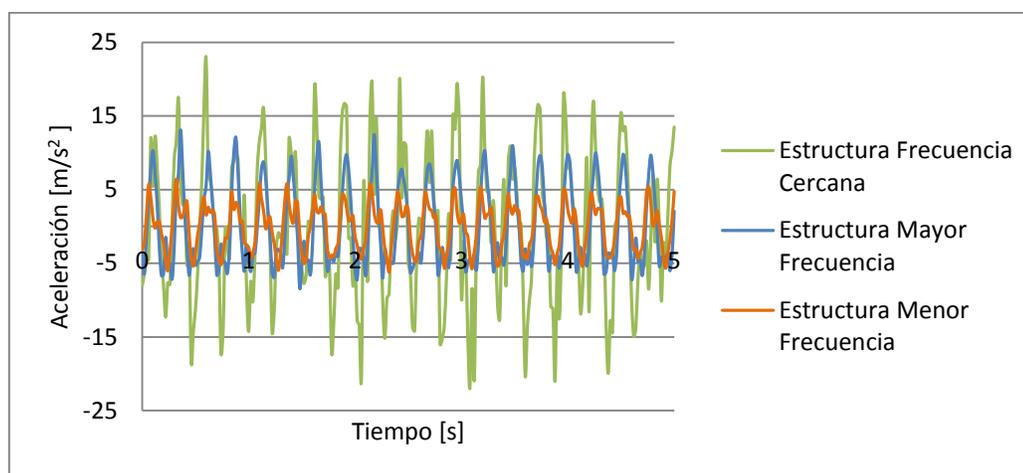


Figura 18. Respuesta de la aceleración de estructuras con distintas frecuencias.

Fuente: Elaboración propia.

Según lo que se puede observar en el gráfico de la Figura 18 la Estructura que tiene una frecuencia cercana a la mesa alcanza aceleraciones peak que llegan a los $22,85 \text{ m/s}^2$, por otro lado la estructura que tiene una mayor frecuencia alcanza una aceleración peak de $13,10 \text{ m/s}^2$ y la estructura que tiene una menor frecuencia alcanza un peak de $6,40 \text{ m/s}^2$.

A raíz de los valores observados en el gráfico, se logra apreciar como la estructura que tiene una frecuencia cercana a la de la mesa amplifica entre 2 y 4 veces el efecto de vibración producido por la mesa, respecto a las estructuras con mayor y menor frecuencia respectivamente.

4.3 Torsión.

En esta actividad se estudió el fenómeno de torsión en estructuras alargadas en razón 4:1 largo y ancho respectivamente de dos estructuras, una simétrica y otra asimétrica las que se pueden observar en la Figura 19.

Por medio de los acelerómetros se obtiene el registro de las aceleraciones en el extremo izquierdo, centro y extremo derecho de la estructura, las que son inducidas por la vibración de la mesa.

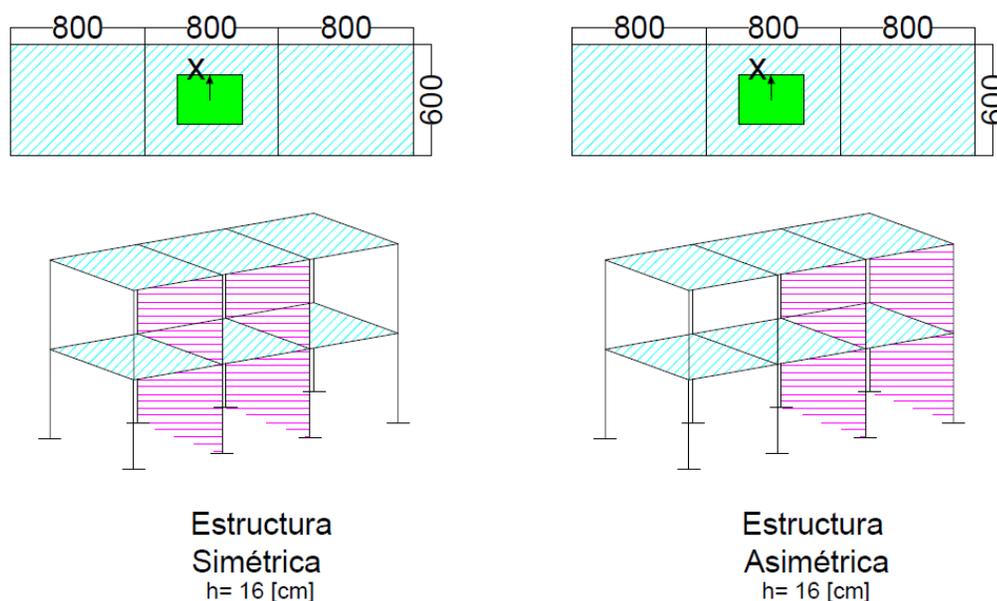


Figura 19. Estructura simétrica y estructura asimétrica.

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Vista en planta en milímetros. Rectángulo verde representa la ubicación del acelerómetro.

Los resultados obtenidos en esta actividad se encuentran a continuación, mientras que en el Anexo E se encuentran más detalles sobre esta.

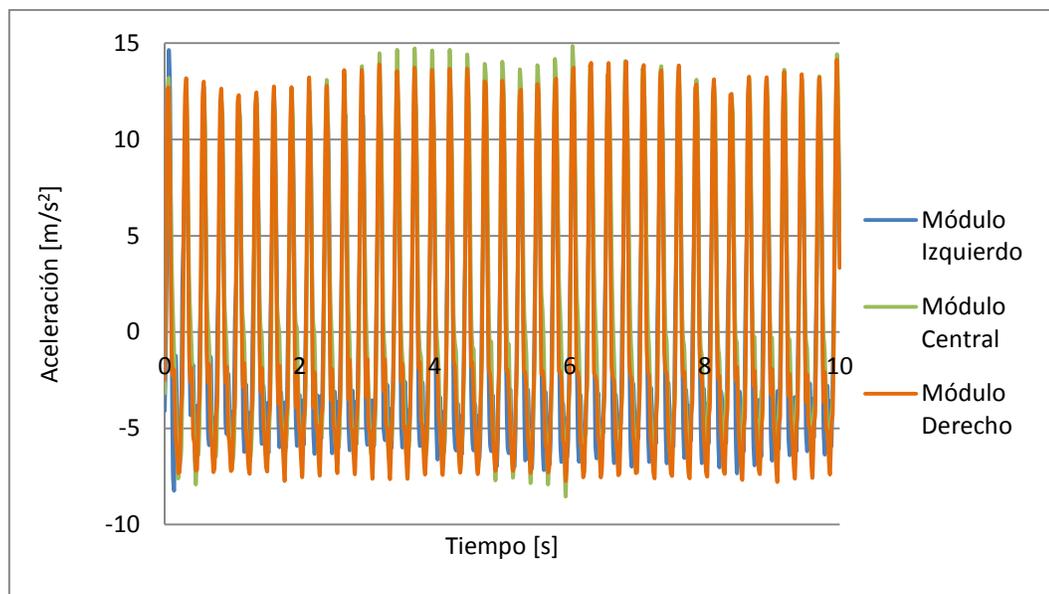


Figura 20. Respuesta de la aceleración en una estructura simétrica.

Fuente: Elaboración propia.

Del gráfico de la Figura 20 en la que se registra la respuesta de la Estructura Simétrica, se puede apreciar que los peak de aceleración en los módulos izquierdo, central y derecho de la estructura fluctúan entre los $-8,17$ a $14,58$ m/s^2 , $-8,54$ a $14,70$ m/s^2 y $-7,73$ a $14,14$ m/s^2 respectivamente.

A raíz de estos valores se puede apreciar que la diferencia existente entre la aceleración presente en cada uno de las zonas medias no supera los 10%. Este comportamiento se debe a que el Centro de Masa de la estructura coincide con su Centro de Rigidez, por lo que la estructura al ser sometida a la vibración de la mesa solo presenta traslación comportándose como un diafragma rígido, y no existen efectos de torsión en planta generados por la irregularidad en la rigidez de la estructura.

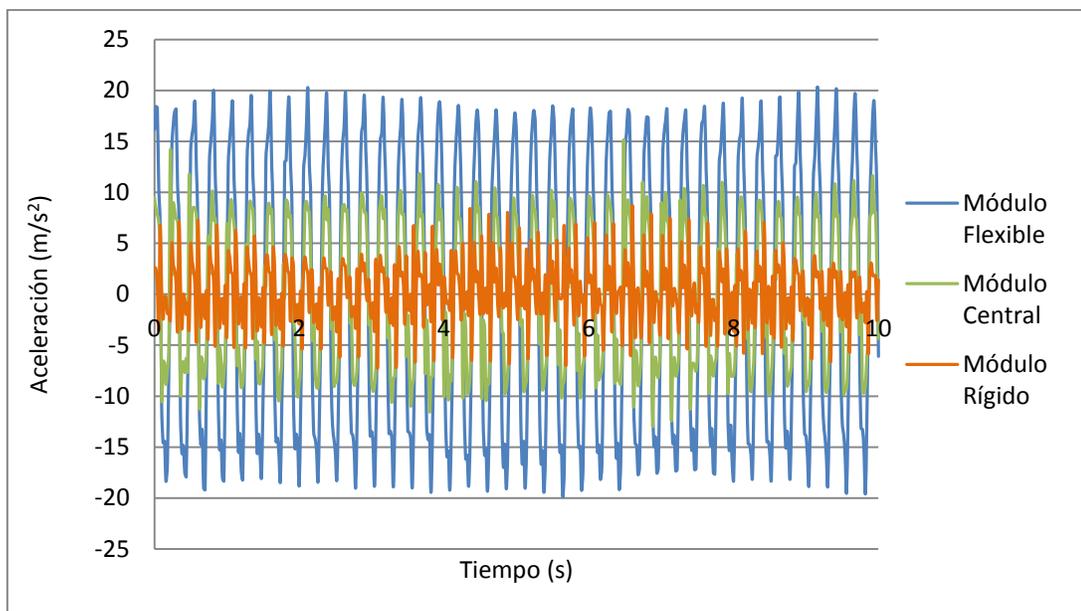


Figura 21. Respuesta en la aceleración en una estructura asimétrica.

Fuente: Elaboración propia.

Del gráfico de la Figura 21 en la que se registra la respuesta de la Estructura Asimétrica, se puede apreciar que los peak de aceleración en los módulos flexible, central y rígido de la estructura fluctúan entre los $-19,90$ a $20,25$ m/s^2 , $-12,73$ a $15,11$ m/s^2 y $-7,28$ a $8,54$ m/s^2 respectivamente.

A raíz de estos resultados se observa claramente que el extremo flexible registra aceleraciones que duplican las registradas en el lado rígido. La irregularidad en la rigidez de la estructura provoca que el Centro de Masa no coincida con el Centro de Rigidez de la estructura, generando que esta no solo sufra traslación sino que también el fenómeno de torsión originado por la irregularidad en la rigidez de la estructura.

4.4 Discusión de resultados después de la modelación física de actividades.

Teniendo en cuenta las principales características y propósito del Kit Mola, además de las actividades prácticas empleadas en la UNAM y CISMID fue posible crear un set de actividades para el estudio de la Dinámica Estructural, considerando algunas de las actividades implementadas en el proyecto del Ingeniero Domínguez.

Cabe destacar que las actividades empleadas por la UNAM y CISMID tienen como objetivo simular sismos y observar como las estructuras se comportan ante estos, mientras que el propósito del presente trabajo es estudiar fenómenos específicos como lo son el comportamiento del periodo, la resonancia y la torsión a través de una modelación física de estructuras sometidas a una mesa vibratoria

Con los resultados obtenidos en la actividad Comportamiento del Periodo no se obtuvieron relaciones numéricas que nos permitan establecer una relación en la variación del periodo al aumentar o disminuir su altura, rigidez y masa. Sin embargo es posible establecer mediante los gráficos obtenidos en la actividad que las estructuras aumentarán su periodo natural al mismo tiempo que aumenta su número de pisos y/o su masa y disminuirán su periodo natural al aumentar su rigidez. Estos resultados se condicen con lo expuesto por Chopra (2014), el cual refiere que una estructura al ser más rígida tendrá menores periodos naturales, mientras que al aumentar la masa de la estructura también aumenta su periodo natural.

En base a los resultados obtenidos en la actividad de Resonancia, fue posible observar la diferencia en las respuestas de una estructura que entra en resonancia al poseer una frecuencia similar a la de la mesa con otras estructuras que poseen frecuencias que se alejan de la frecuencia de la mesa vibratoria, ya sea mayor o menor.

En esta actividad existe la limitación de que sólo se consigue hacer entrar en resonancia la estructura que tiene la frecuencia cercana a la mesa, ya que no es posible modificar esta para hacerla coincidir con otras estructuras de diferentes características, a diferencia de la actividad implementada por el Ingeniero Domínguez en la que la frecuencia del simulador sísmico va variando haciendo que los péndulos vayan entrando en resonancia al coincidir esta con su frecuencia natural.

A pesar de esta limitación es posible obtener los mismos resultados obtenidos por el Ingeniero los cuales se encuentran respaldados por la Teoría.

Por medio de los resultados obtenidos en la actividad de Torsión, fue posible establecer que una estructura alargada que presenta asimetría en cuanto a su rigidez, es decir su centro de masa no coincide con su centro de rigidez, tiene altas probabilidades de sufrir el fenómeno de Torsión. Por otro lado una estructura en la que coinciden su centro de masa y rigidez se comporta como un diafragma rígido y solo presenta traslación. Estos resultados son rectificadas por García (1998) quien refiere que la torsión en planta se origina cuando el centro de masa con el centro de rigidez de una estructura no coincide y al aplicar una fuerza la estructura tiende a girar.

Por otra parte en la estructura que sufre torsión es posible interpretar por medio de los gráficos que su extremo más flexible presenta una mayor aceleración y se observan grandes desplazamiento en este. Estos resultados prácticos son corroborados, además de la teoría antes mencionada, con los resultados obtenidos en el proyecto del Ingeniero Domínguez.

Si bien con los resultados obtenidos a lo largo de este trabajo no es posible establecer relaciones numéricas específicas las que ayuden a estudiar los fenómenos de interés, sí es posible observar e interpretar los resultados por medio de gráficos, los que al ser comparados con la teoría y actividades prácticas existentes validan las actividades realizadas en este trabajo.

5 CONCLUSIONES, COMENTARIOS Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIONES.

5.1 Conclusiones.

En base a la búsqueda de actividades existentes para el aprendizaje práctico de la Ingeniería Estructural se encuentra que es posible la implementación de actividades con materiales de bajo costo y fácil manipulación para los estudiantes, lo que se está volviendo más frecuente en la actualidad. Logrando de esta forma generar actividades que son visualmente atractivas para los estudiantes y en las que le permiten a este: armar, desarmar, realizar mediciones y no solo ser un observador de ensayos.

Dentro de los conceptos más estudiados por medio de este método de enseñanza destacan los fenómenos de Resonancia, Torsión y Comportamiento del Periodo.

Se logró crear un sistema constructivo de pequeña escala a través de la conexión de barras, nudos y placas, teniendo como característica el ser construido con materiales de bajo costo y fácil manipulación. Las estructuras creadas son estables, demostrativas, permiten una fácil medición y presentan una gran versatilidad para ser aplicadas a una serie de actividades, esto debido a la variedad de los largos de sus piezas lo que permite generar distintitos módulos los que son unidos y rigidizados por medio de diagonales y/o muros.

Se logró reciclar y utilizar exitosamente una Tamizadora como mesa vibratoria, midiendo su frecuencia de tal manera que esta pudo ser compatible con el set de estructuras creadas. Además se adaptó un sistema de anclaje para la construcción de estructuras permitiendo construir marcos o módulos que varían desde los 6 centímetros hasta los 15 centímetros.

Se logró con éxito implementar actividades relacionadas con los fenómenos de Periodo, Torsión y Resonancia.

Con el sistema construido no sólo se logró observar como varia el comportamiento del periodo al variar la altura, masa o rigidez de la estructura. También se obtiene un amplio rango de periodos, los que van desde los 0.171 segundos hasta alcanzar un valor 10 veces mayor aproximadamente. Se logró simular con éxito el fenómeno de Resonancia amplificando las aceleraciones y aumentando las aceleraciones en la estructura con frecuencia cercana. Alcanzando un peak de aceleración en la estructura resonante de aproximadamente 4 veces mayor respecto a una estructura que no entra en resonancia.

El sistema fue capaz de simular el fenómeno de Torsión logrando visualizar diferencias de aproximadamente 3 veces en el peak de aceleración entre el borde flexible y rígido de la estructura asimétrica. Mientras que en la estructura simétrica no se presentaron diferencias mayores al 5%.

En base a la implementación de las actividades se logró elaborar una Guía de Trabajo la que puede ser empleada por los estudiantes, permitiendo complementar y reforzar los conceptos vistos en las asignaturas. Generando un aporte relevante para la formación de los futuros Ingenieros Civiles.

5.2 Comentarios:

Al ser este un trabajo práctico durante su ejecución surgieron dos dificultades.

La primera de ellas fue la unión de los elementos estructurales, esto debido a la poca superficie de contacto que se ofrecían entre ellos. Por lo que se recomienda buscar métodos alternativos a los presentados en este trabajo para lograr una mayor adhesión entre los elementos.

La segunda dificultad fueron la alta frecuencia y el movimiento oscilante con el que cuenta la Tamizadora, ya que al moverse siempre en dos sentidos dificultaba el estudio de algunos fenómenos, los que se apreciarían mejor si se contara con una mesa que tuviera un movimiento uniaxial o la capacidad de variar su frecuencia.

Cabe mencionar que ninguna de las dos dificultades presentes a lo largo de este trabajo fue impedimento para realizar y lograr con éxito el objetivo planteado al inicio de este. Solo es un comentario orientado a mejorar la calidad de este proyecto en un futuro.

5.3 Futuras líneas de investigación.

Con el fin de profundizar los conocimientos entregados en este trabajo se recomienda implementar nuevas actividades las que puedan complementar las ya existentes o bien enseñar nuevos conceptos de la Ingeniería Estructural. Algunas futuras líneas de investigación que se recomiendan son:

- Efectos negativos de la Torsión en estructuras asimétricas
- Torsión en estructuras con irregularidad en altura.
- Efectos de los disipadores de energía por medio de una masa y un estanque de agua.
- Razón de Amortiguamiento en estructuras.

6 REFERENCIAS

- [1] Astroza, M., Lazo, R. (2010). "Estudio de los daños de los terremotos del 21 y 22 de mayo de 1960", presentado en X Congreso Chileno de sismología e ingeniería antisísmica, Valdivia-Santiago Chile, 22 al 27 de mayo de 2010.
- [2] Bozzo, L., Barbat, A. (2010). *Diseño Sismorresistente de Edificios, Técnicas convencionales y avanzadas*, Reverté, Barcelona.
- [3] Castedo, L. (2000). *Hazaña del Riñihue: el terremoto de 1960 y la resurrección de Valdivia: Crónica de un episodio ejemplar de la historia de Chile*, Sudamericana, Santiago, Chile.
- [4] Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. Mini mesa vibradora del laboratorio de Estructuras-CISMID, [http://www.cismid-uni.org/videos/video/latest/mini-mesa-vibradora-del-laboratorio-de-estructuras-cismid](http://www.cismid.uni.org/videos/video/latest/mini-mesa-vibradora-del-laboratorio-de-estructuras-cismid). Acceso el 18 de Febrero de 2016.
- [5] Chopra, A. (2014). *Dinámica de Estructuras*, Pearson, México.
- [6] Domínguez, M. Influencia de la configuración en el comportamiento de las estructuras. (2011). https://www.youtube.com/watch?v=ud2gqku_MuM. Acceso 20 de Enero de 2016
- [7] García, L. (1998). *Dinámica Estructural Aplicada al Diseño Sísmico*, Universidad de los Andes, Bogotá Colombia.
- [8] Instituto de Ingeniería UNAM. *Laboratorio mesa vibradora*, <http://www.iingen.unam.mx/es-mx/Investigacion/Laboratorios/Paginas/MesaVibradora.aspx>. Acceso el 23 de Febrero de 2016
- [9] Kramer, S. (1996). *Geotechnical earthquake engineering*, Prentice-Hall, N.J.

- [10] Paz, M. (1992). *Dinámica estructural: Teoría y cálculo*, Reverté, Barcelona.
- [11] Plafker, G., y Savage, J. (1970). "Mechanism of the Chilean Earthquakes of May 21 and 22, 1960". *Geological Society of America Bulletin*, v. 81, pág. 1001-1030.
- [12] Serway, R., Jewett, J. (2008) *Física para ciencias e ingeniería*, Cengage Learning, México.
- [13] Sequeira, M. *Mola Structural Kit*, <https://www.catarse.me/mola>. Acceso el 20 de Febrero de 2016.
- [14] Universidad de Chile. *Centro Sismológico Nacional*, <http://www.csn.uchile.cl/sismologia/grandes-terremotos-en-chile/> Acceso el 15 de Febrero de 2016.
- [15] Vernier Software & Technology. *Products Vernier*, <http://www.vernier.com/products/>. Acceso el 22 de Febrero de 2016.

ANEXOS

INDICE GENERAL DE ANEXOS

INDICE GENERAL DE ANEXOS	42
INDICE DE TABLAS	43
INDICE DE FIGURAS	44
ANEXO A	48
Implementación de actividades prácticas para la enseñanza de Ingeniería Estructural, utilizando una mesa vibratoria	48
ANEXO B	65
Imágenes de los Materiales utilizados para la implementación de actividades prácticas para la enseñanza de Ingeniería Estructural.	65
ANEXO C	69
Imágenes de los Equipos utilizados para la implementación de actividades prácticas para la enseñanza de Ingeniería Estructural.	69
ANEXO E.....	87
Resultados de la Modelación Física de Actividades Prácticas.	87

INDICE DE TABLAS

Tabla A1. Cantidad de Elementos Estructurales requeridos. 50

Tabla A2. Frecuencias obtenidas en la actividad "Periodo v/s Altura" 56

Tabla A3. Periodos calculados en la actividad "Periodo v/s Altura". 56

Tabla A4. Frecuencias obtenidas en la actividad "Periodo v/s Masa" 57

Tabla A5. Periodos calculados en la actividad "Periodo v/s Masa". 57

Tabla A6. Frecuencias obtenidas en la actividad "Periodo v/s Rigidez" 58

Tabla A7. Periodos calculados en la actividad "Periodo v/s Masa". 58

Tabla D8. Largos requeridos para la creación de Vigas y Columnas..... 75

Tabla D9. Largo requerido para crear Diagonal Tipo A. 78

Tabla D10. Largo requerido para crear Diagonal Tipo B. 81

Tabla D11. Medidas Madera Balsa para crear Muros. 84

Tabla D12. Medidas Palos de Maqueta para crear Muros..... 84

Tabla D13. Distancia para pegar Imanes en Palos de Maqueta..... 84

INDICE DE FIGURAS

Figura A1. Variación en la altura de una Estructura.	52
Figura A2. Variación de masa en estructuras.	53
Figura A3. Variación en la rigidez en una estructura.	54
Figura A4. Estructura simétrica y estructura asimétrica.....	62
Figura B5. Alambre galvanizado.....	66
Figura B6. Tuercas.	66
Figura B7. Madera trupan.....	67
Figura B8. Palos de maqueta.	67
Figura B9. Madera balsa.....	67
Figura B10. Imanes.	68
Figura B11. Esferas imantadas.	68
Figura B12. Masas.....	68
Figura C13. Acelerómetro “3 axis accelerometer”.....	70
Figura C14. Ejes ortogonales del 3 axis accelerometer.....	70
Figura C15. Interfaz "LabPro".....	71
Figura C16. Lado izquierdo interfaz "LabPro".	71
Figura C17. Lado derecho interfaz "LabPro".	72
Figura C18. Software "LoggerPro", registro temperatura a través del tiempo.....	72
Figura C19. Software "LoggerPro”, registro de aceleración a través del tiempo.....	73
Figura C20. Tamizadora Rx-812-3.....	73
Figura D21. Columna "C-8".....	75
Figura D22. Viga "V-6".....	76
Figura D23. Viga "V-8".....	76
Figura D24. Viga "V-9".....	76
Figura D25. Viga "V-12".....	77
Figura D26. Viga "V-15".....	77
Figura D27. Diagonal tipo A "DA-8x6".....	78
Figura D28. Diagonal tipo A "DA-8x8".....	79

Figura D29. Diagonal tipo A "DA-8x9".....	79
Figura D30. Diagonal tipo A "DA-8x12".....	80
Figura D31. Diagonal tipo A "DA-8x15".....	80
Figura D32. Diagonal tipo B "DB-8x6".....	81
Figura D33. Diagonal tipo B "DB-8x8".....	82
Figura D34. Diagonal tipo B "DB-8x9".....	82
Figura D35. Diagonal tipo B "DB-8x12".....	83
Figura D36. Diagonal tipo B "DB-8x15".....	83
Figura D37. Distancias para pegar imanes en palos de maqueta.....	84
Figura D38. Muro "M-8x6".....	85
Figura D39. Muro "M-8x8".....	85
Figura D40. Muro "M-8x9".....	86
Figura D41. Muro "M-8x12".....	86
Figura D42. Muro "M-8x15".....	86
Figura E43. Estructura de dos pisos.....	88
Figura E44. Respuesta de la aceleración de una estructura de 2 pisos.....	88
Figura E45. Frecuencia de una estructura de 2 pisos.....	88
Figura E46. Estructura de 3 pisos.....	89
Figura E47. Respuesta de la aceleración de una estructura de 3 pisos.....	89
Figura E48. Frecuencia de una estructura de 3 pisos.....	89
Figura E49. Estructura de 4 pisos.....	90
Figura E50. Respuesta de la aceleración de una estructura de 4 pisos.....	90
Figura E51. Frecuencia de una estructura de 4 pisos.....	90
Figura E52. Estructura de 5 pisos.....	91
Figura E53. Respuesta de la aceleración de una estructura de 5 pisos.....	91
Figura E54. Frecuencia de una estructura de 5 pisos.....	91
Figura E55. Estructura de 6 pisos.....	92
Figura E56. Respuesta de la aceleración de una estructura de 6 pisos.....	92
Figura E57. Frecuencia de una estructura de 6 pisos.....	92
Figura E58. Estructura sin masa adicional.....	93
Figura E59. Respuesta de la aceleración de una estructura sin masa adicional.....	93

Figura E60. Frecuencia de una estructura sin masa adicional.....	93
Figura E61. Estructura con una masa adicional.	94
Figura E62. Respuesta de la aceleración de una estructura con una masa adicional.	94
Figura E63. Frecuencia de una estructura con una masa adicional.....	94
Figura E64. Estructura con dos masas adicionales.....	95
Figura E65. Respuesta de la aceleración de una estructura con dos masas adicionales.....	95
Figura E66. Frecuencia de una estructura con dos masas adicionales.	95
Figura E67. Estructura con tres masas adicionales.	96
Figura E68. Respuesta de la aceleración de una estructura con tres masas adicionales.....	96
Figura E69. Frecuencia de una estructura con tres masas adicionales.	96
Figura E70. Estructura flexible.....	97
Figura E71. Respuesta de la aceleración de una estructura flexible.....	97
Figura E72. . Frecuencia de una estructura flexible.	97
Figura E73. Estructura con diagonales.	98
Figura E74. Respuesta de la aceleración de una estructura con diagonales.	98
Figura E75. Frecuencia de una estructura con diagonales.....	98
Figura E76. Estructura con muros.	99
Figura E77. Respuesta de la aceleración de una estructura con muros.	99
Figura E78. Frecuencia de una estructura con muros.....	99
Figura E79. Estructuras con muros y diagonales.	100
Figura E80. Respuesta de la aceleración de una estructura con muros y diagonales.	100
Figura E81. Frecuencia de una estructura con muros y diagonales.	100
Figura E82. Estructura con frecuencia cercana a la de la mesa.....	101
Figura E83. Respuesta de la aceleración de una estructura con frecuencia cercana a la de la mesa.	101
Figura E84. Frecuencia de una estructura con frecuencia cercana a la de la mesa.	101
Figura E85. Respuesta de la aceleración de una estructura con frecuencia cercana a la de la mesa, sometida a la vibración de esta.	102
Figura E86. Estructura con frecuencia mayor que la de la mesa.....	102
Figura E87. Respuesta de la aceleración de una estructura con mayor frecuencia que la de la mesa.	102
Figura E88. Frecuencia de una estructura con mayor frecuencia que la de la mesa.	103

Figura E89. Respuesta de la aceleración de una estructura con mayor frecuencia que la de la mesa, sometida a la vibración de esta.....	103
Figura E90. Estructura con frecuencia menor a la de la mesa.....	103
FiguraE91. Respuesta de la aceleración de una estructura con menor frecuencia que la de la mesa.	104
Figura E92. Frecuencia de una estructura con menor frecuencia que la de la mesa.	104
Figura E93. Respuesta de la aceleración de una estructura con menor frecuencia que la de la mesa, sometida a la vibración de esta.....	104
Figura E94. Estructura asimétrica.	105
Figura E95. Estructura asimétrica, módulo izquierdo-módulo derecho.....	105
Figura E96. Estructura asimétrica, módulo central-módulo derecho.	105
Figura E97. Estructura asimétrica, módulo izquierdo-módulo central.....	106
Figura E98. Respuesta de la aceleración de una estructura asimétrica sometida a la vibración de la mesa.....	106
Figura E99. Estructura simétrica.	107
Figura E100. Estructura simétrica, módulo izquierdo-módulo derecho.....	107
Figura E101. Estructura simétrica, módulo central-módulo derecho.....	107
Figura E102. Estructura simétrica, módulo izquierdo-módulo central.	108
Figura E103. Respuesta de la aceleración de una estructura simétrica sometida a la vibración de la mesa.....	108

ANEXO A

**Implementación de actividades prácticas para la enseñanza de Ingeniería Estructural,
utilizando una mesa vibratoria.**

“Guía de Trabajo”

ACTIVIDAD 1: “CREACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES”.**Objetivo:**

Crear los Elementos Estructurales (Vigas, Columnas, Diagonales y Muros) necesarios para lograr la implementación de actividades prácticas para la enseñanza de Ingeniería Estructural.

A continuación se detalla la cantidad de cada uno de los Elementos Estructurales necesarios para realizar las actividades propuestas en de este trabajo.

Tabla A6. Cantidad de Elementos Estructurales requeridos.

Elemento Estructural	Cantidad
C-8	48
V-6	24
V-8	24
V-9	24
V-12	24
V-15	24
DA-8x6	20
DA-8x8	20
DA-8x9	20
DA-8x12	20
DA-8x15	20
DB-8x6	20
DB-8x8	20
DB-8x9	20
DB-8x12	20
DB-8x15	20
M-8x6	10
M-8x8	10
M-8x9	10
M-8x12	10
M-8x15	10

ACTIVIDAD 2: “COMPORTAMIENTO DEL PERIODO”.**Objetivo:**

Estudiar el comportamiento del periodo de una estructura al ir variando tres de sus características: altura, masa y rigidez.

Conceptos Claves:

Periodo Natural (T_n): Es el tiempo que tarda la estructura en recorrer un ciclo de vibración libre, es decir, la vibración que ocurre después que finaliza la excitación externa o después que la carga deja de variar y se mantiene constante.

$$T_n = 2\pi \sqrt{m/k}$$

Dónde:

T_n : Periodo Natural de la Estructura.

m : Masa de la Estructura.

k : Rigidez de la Estructura.

Frecuencia Natural (f_n): Son la cantidad de ciclos que realiza un sistema en un segundo y se mide cps o en Hz. La frecuencia natural se relaciona de manera recíproca con el periodo natural.

$$f_n = 1/T_n$$

Dónde:

f_n : Frecuencia Natural.

T_n : Periodo Natural de la Estructura.

Rigidez (K): Es la capacidad que tiene un elemento estructural para oponerse a ser deformado.

$$K = F/\Delta$$

Dónde:

K : Rigidez

F : Fuerza externa

Δ : Deformaciones

Materiales:

Acelerómetro 3 Axis Accelerometer
 Interfaz LabPro
 Software LoggerPro

Mesa Vibratoria
 Elementos Estructurales
 Masas

Procedimiento:

Periodo v/s Altura.

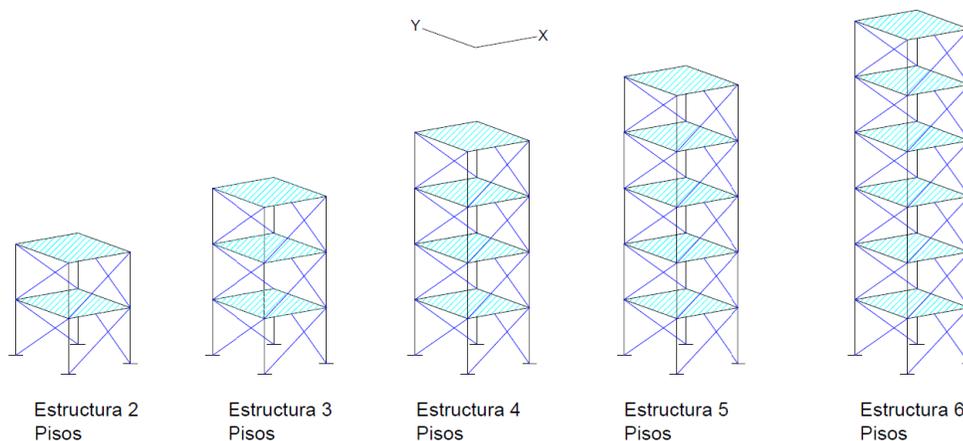


Figura A22. Variación en la altura de una Estructura.

Fuente: Elaboración propia.

- 1) Construir una estructura de 8 centímetros de ancho y 9 centímetros de largo, conectada por medio de diagonales, de 2 pisos y con losa entre estos.
- 2) Conectar los acelerómetros a la estructura orientando sus ejes de acuerdo a los ejes de la estructura.
- 3) Preparar la recolección de datos haciendo click en el botón “Data Collection” . Para ajustar la duración del ensayo colocar “Duration” en 10 segundos, con una “Sampling Rate” Frecuencia de muestreo de 50 muestras/segundos una vez hecho, darle click al botón “Done”
- 4) Calibrar los acelerómetros por medio del software “LoggerPro” haciendo click en el botón “Set Zero Point”  y luego darle click al botón “OK”.
- 5) Iniciar la recolección de datos dando click en el botón “Collect” .
- 6) Someter a vibración a la Estructura por medio de una fuerza externa aplicada en uno de sus ejes.
- 7) Del gráfico de Aceleración v/s Tiempo obtenido, realizar un gráfico FFT dando click en

“Insert” - “Additional Graphs” - “FFT Graph”.

- 8) Del gráfico FFT obtener la frecuencia de la estructura.
- 9) Realizar los pasos 5) 6) 7) y 8) un mínimo de tres veces para verificar la frecuencia obtenida.
- 10) Repetir los pasos 5) 6) 7) 8) y 9) en el otro sentido de la Estructura.
- 11) Por medio de la frecuencia obtenida calcular el Periodo natural de la Estructura en sus dos sentidos.
- 12) Agregar un nuevo piso a la estructura y repetir los pasos desde el 5) hasta el 11) para las Estructuras de 3, 4, 5 y 6 pisos.

Periodo v/s Masa.

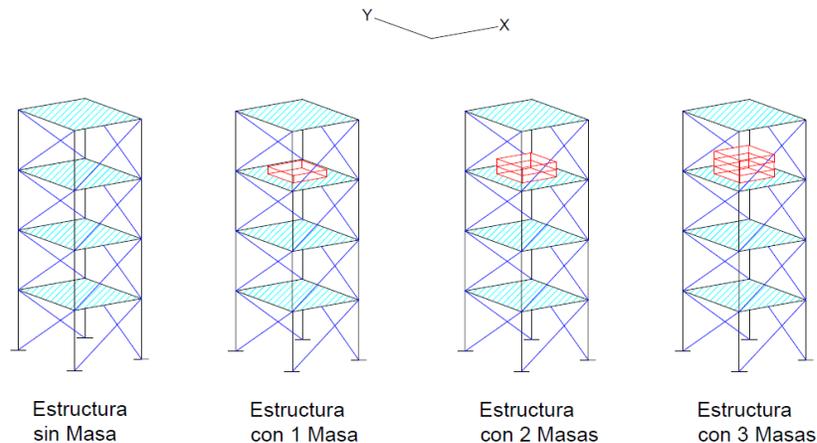


Figura A23. Variación de masa en estructuras.

Fuente: Elaboración propia.

- 1) Construir una estructura de 8 centímetros de ancho y 9 centímetros de largo, conectada por medio de diagonales, de 4 pisos y con losa entre estos.
- 2) Conectar los acelerómetros a la estructura orientando sus ejes de acuerdo a los ejes de la estructura.
- 3) Preparar la recolección de datos haciendo click en el botón “Data Collection” . Para ajustar la duración del ensayo colocar “Duration” en 10 segundos, con una “Sampling Rate” Frecuencia de muestreo de 50 muestras/segundos una vez hecho darle click al botón “Done”
- 4) Calibrar los acelerómetros por medio del software “LoggerPro” haciendo click en el botón

“Set Zero Point”  y luego darle click al botón “OK”.

- 5) Iniciar la recolección de datos dando click en el botón “Collect” .
- 6) Someter a vibración a la Estructura por medio de una fuerza externa aplicada en uno de sus ejes.
- 7) Del gráfico de Aceleración v/s Tiempo obtenido, realizar un gráfico FFT dando click en “Insert” “Additional Graphs” “FFT Graph”.
- 8) Del gráfico FFT obtener la frecuencia de la estructura.
- 9) Realizar los pasos 5) 6) 7) y 8) un mínimo de tres veces para verificar la frecuencia obtenida.
- 10) Repetir los pasos 5) 6) 7) 8) y 9) en el otro sentido de la Estructura.
- 11) Por medio de la frecuencia obtenida calcular el Periodo natural de la Estructura en sus dos sentidos.
- 12) Agregar un masa adicional a la Estructura y repetir los pasos desde el 5) hasta el 11) para las Estructuras con 1, 2 y 3 masas adicionales.

Periodo v/s Rigidez.

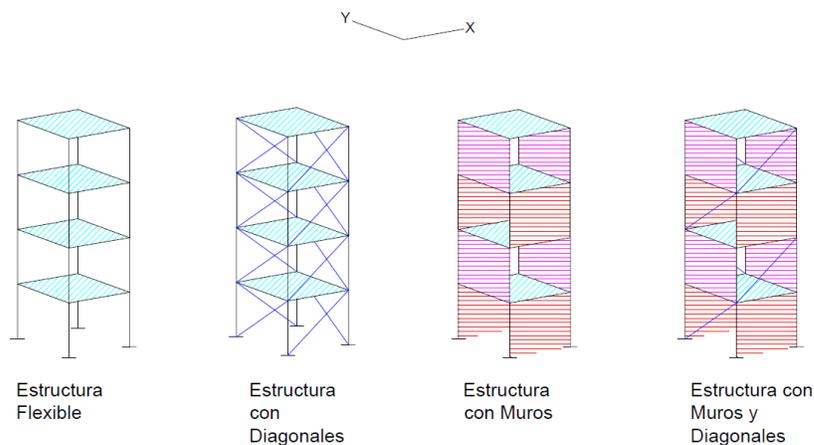


Figura A24. Variación en la rigidez en una estructura.

Fuente: Elaboración propia.

- 1) Construir una estructura de 8 centímetros de ancho y 9 centímetros de largo, de 4 pisos y con losa entre estos.
- 2) Conectar los acelerómetros a la estructura orientando sus ejes de acuerdo a los ejes de la

estructura.

- 3) Preparar la recolección de datos haciendo click en el botón “Data Collection” . Para ajustar la duración del ensayo colocar “Duration” en 10 segundos, con una “Sampling Rate” Frecuencia de muestreo de 50 muestras/segundos una vez hecho darle click al botón “Done”
- 4) Calibrar los acelerómetros por medio del software “LoggerPro” haciendo click en el botón “Set Zero Point”  y luego darle click al botón “OK”.
- 5) Iniciar la recolección de datos dando click en el botón “Collect” .
- 6) Someter a vibración a la Estructura por medio de una fuerza externa aplicada en uno de sus ejes.
- 7) Del gráfico de Aceleración v/s Tiempo obtenido, realizar un gráfico FFT dando click en “Insert” “Additional Graphs” “FFT Graph”.
- 8) Del gráfico FFT obtener la frecuencia de la estructura.
- 9) Realizar los pasos 5) 6) 7) y 8) un mínimo de tres veces para verificar la frecuencia obtenida.
- 10) Repetir los pasos 5) 6) 7) 8) y 9) en el otro sentido de la Estructura.
- 11) Por medio de la frecuencia obtenida calcular el Periodo natural de la Estructura en sus dos sentidos.
- 12) Agregar Diagonales a la Estructura y repetir los pasos desde el 5) hasta el 11) para las Estructuras con Diagonales, con Muros y con Muros y Diagonales.

Resultados:

Periodo v/s Altura.

Completar la tabla con las frecuencias obtenidas.

Tabla A7. Frecuencias obtenidas en la actividad "Periodo v/s Altura"

Estructura	Frecuencia X [Hz]	Frecuencia Y [Hz]
2 Pisos		
3 Pisos		
4 Pisos		
5 Pisos		
6 Pisos		

Completar la tabla con los periodos calculados.

Tabla A8. Periodos calculados en la actividad "Periodo v/s Altura".

Estructura	Periodo X [s]	Periodo Y [s]
2 Pisos		
3 Pisos		
4 Pisos		
5 Pisos		
6 Pisos		

¿Qué puedes concluir respecto al comportamiento del Periodo de una Estructura al variar su Altura?

Periodo v/s Masa.

Completar la tabla con las frecuencias obtenidas.

Tabla A9. Frecuencias obtenidas en la actividad "Periodo v/s Masa"

Estructura	Frecuencia X [Hz]	Frecuencia Y [Hz]
Sin Masa		
Con 1 Masa		
Con 2 Masas		
Con 3 Masas		

Completar la tabla con los periodos calculados.

Tabla A10. Periodos calculados en la actividad "Periodo v/s Masa".

Estructura	Periodo X [s]	Periodo Y [s]
Sin Masa		
Con 1 Masa		
Con 2 Masas		
Con 3 Masas		

¿Qué puedes concluir respecto al comportamiento del Periodo de una Estructura al variar su Masa?

Periodo v/s Rigidez.

Completar la tabla con las frecuencias obtenidas.

Tabla A11. Frecuencias obtenidas en la actividad "Periodo v/s Rigidez"

Estructura	Frecuencia X [Hz]	Frecuencia Y [Hz]
Flexible		
Con Diagonales		
Con Muros		
Con Muros y Diagonales		

Completar la tabla con los periodos calculados.

Tabla A12. Periodos calculados en la actividad "Periodo v/s Masa".

Estructura	Periodo X [s]	Periodo Y [s]
Flexible		
Con Diagonales		
Con Muros		
Con Muros y Diagonales		

¿Qué puedes concluir respecto al comportamiento del Periodo de una Estructura al variar su Rigidez?

ACTIVIDAD 3: “RESONANCIA”.

Objetivo:

Comparar la respuesta que presenta una estructura resonante con dos estructuras, una de menor frecuencia y otra de mayor frecuencia

Conceptos Claves:

La *Resonancia* es el aumento drástico en la amplitud de la oscilación de un sistema debido a la intervención de una fuerza externa de carácter periódico. Para que exista resonancia la frecuencia de la fuerza impulsora debe ser igual o muy aproximada al de la frecuencia natural del sistema.

En Ingeniería, se utiliza el concepto de resonancia cuando el periodo natural de vibrar de una estructura es igual o muy cercano al del suelo donde se funda, provocando que los efectos sísmicos se amplifiquen pudiendo generar grandes daños a la estructura, incluso el colapso de esta.

Materiales:

Acelerómetro 3 Axis Accelerometer

Mesa Vibratoria

Interfaz LabPro

Elementos Estructurales

Software LoggerPro

Masas

Procedimiento:

- 1) Construir una Estructura con frecuencia cercana a la de la mesa vibratoria. Para construir esta estructura se utilizan los conceptos vistos en la actividad “*Comportamiento del Periodo*”.
- 2) Obtener la frecuencia de la Estructura Resonante siguiendo los mismos pasos utilizados en la actividad “*Comportamiento del Periodo*”.
- 3) Construir una Estructura de Menor frecuencia a la de la mesa vibratoria. Para construir esta estructura se utilizan los conceptos vistos en la actividad “*Comportamiento del Periodo*”.
- 4) Obtener la frecuencia de la Estructura de Menor frecuencia siguiendo los mismos pasos utilizados en la actividad “*Comportamiento del Periodo*”.
- 5) Construidas ambas estructuras ubicarlas en la Mesa Vibratoria, y conectar los Acelerómetros en un sentido de las estructuras.

- 6) Preparar la recolección de datos haciendo click en el botón “Data Collection” . Para ajustar la duración del ensayo colocar “Duration” en 10 segundos, con una “Sampling Rate” Frecuencia de muestreo de 50 muestras/segundos una vez hecho darle click al botón “Done”.
- 7) Calibrar los acelerómetros por medio del software “LoggerPro” haciendo click en el botón “Set Zero Point”  y luego darle click al botón “OK”.
- 8) Con ayuda de los botones aumentar  y disminuir  configurar el tiempo de vibrar de la mesa vibratoria en 15 segundos y luego darle al botón “Start” .
- 9) Iniciar la recolección de datos dando click en el botón “Collect” .
- 10) Por medio del grafico de Aceleración v/s Tiempo obtenido realizar una comparación en la respuesta de ambas estructuras.
- 11) Construir una Estructura de Mayor frecuencia a la de la mesa vibratoria. Para construir esta estructura se utilizan los conceptos vistos en la actividad “*Comportamiento del Periodo*”.
- 12) Obtener la frecuencia de la Estructura de Mayor frecuencia siguiendo los mismos pasos utilizados en la actividad “*Comportamiento del Periodo*”.
- 13) Realizar los pasos 5) 6) 7) 8) 9) y 10) a la Estructura Resonante v/s la Estructura Mayor frecuencia.

Resultados:

¿Qué estructura presenta mayor aceleración?

¿Cómo explica la respuesta en la aceleración en las Estructuras?

ACTIVIDAD 4: “TORSION”.**Objetivo:**

Observar la presencia de Torsión en planta en estructuras rectangulares alargadas que sean simétricas y asimétricas en razón a su rigidez.

Conceptos Claves:

La torsión (τ) en planta se define como el hecho de que las fuerzas horizontales son aplicadas en el centro de masa de la estructura, el que no coincide con su centro de rigidez, por lo que la estructura tiende a girar respecto a este.

La falta de simetría tiende a producir excentricidades entre el Centro de Masa y el Centro de Rigidez, entre mayor sea la excentricidad entre el CM y CR mayor será la torsión que sufre la estructura.

$$e = CM - CR$$

Dónde:

e : Excentricidad

CM : Centro de Masa

CR : Centro de Rigidez

$$\tau = F * e$$

Dónde:

τ : Torsión

F : Fuerzas

e : Excentricidad

Materiales:

Acelerómetro 3 Axis Accelerometer

Mesa Vibratoria

Interfaz LabPro

Elementos Estructurales

Software LoggerPro

Masas

Procedimiento:

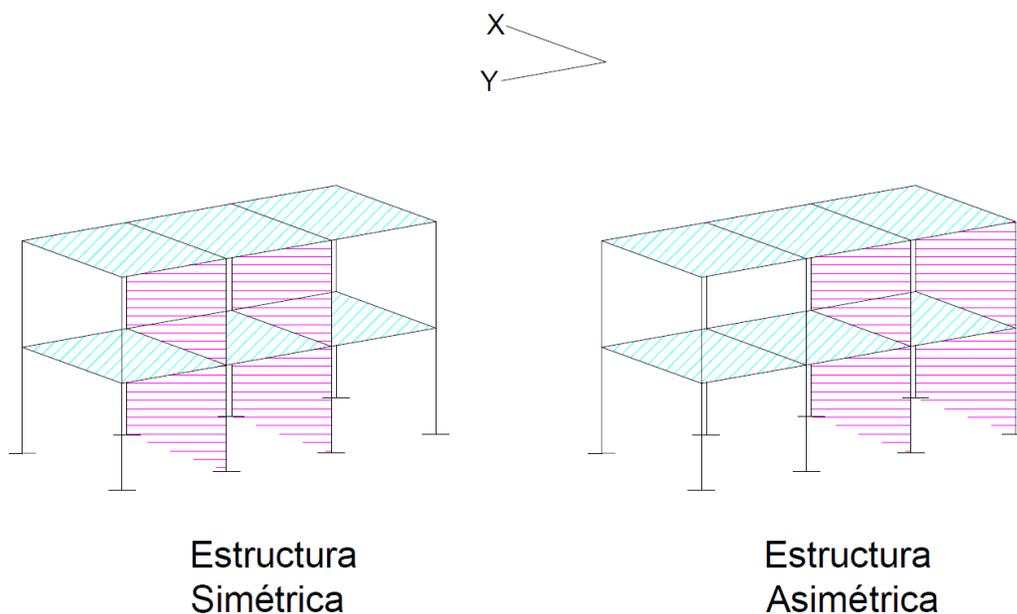


Figura A25. Estructura simétrica y estructura asimétrica.

Fuente: Elaboración propia.

- 1) Construir una Estructura Simétrica de dos pisos con losa entre estos, compuesta por tres módulos, cada uno de 8 centímetros de largo y 6 centímetros de ancho. Esta estructura se conecta por medio de muros en su parte central.
- 2) Orientar la Estructura Simétrica con su lado más largo perpendicular al sentido en que la mesa vibra con mayor aceleración.
- 3) Conectar los Acelerómetros en un sentido de la estructura, uno en su módulo central y otro en el módulo izquierdo.
- 4) Preparar la recolección de datos haciendo click en el botón “Data Collection” . Para ajustar la duración del ensayo colocar “Duration” en 10 segundos, con una “Sampling Rate” Frecuencia de muestreo de 50 muestras/segundos una vez hecho darle click al botón “Done”.
- 5) Calibrar los acelerómetros por medio del software “LoggerPro” haciendo click en el botón “Set Zero Point”  y luego darle click al botón “OK”.
- 6) Con ayuda de los botones aumentar  y disminuir  configurar el tiempo de vibrar de la mesa vibratoria en 15 segundos y luego darle al botón “Start” .

- 7) Iniciar la recolección de datos dando click en el botón “Collect” .
- 8) Por medio del grafico de Aceleración v/s Tiempo obtenido realizar una comparación en la respuesta en ambos módulos de la Estructura Simétrica.
- 9) Repetir los pasos 4) 5) 6) 7) y 8) ubicando los acelerómetros en el módulo central y otro en el módulo derecho.
- 10) Repetir los pasos 4) 5) 6) 7) y 8) ubicando los acelerómetros en el módulo izquierdo y otro en el módulo derecho.
- 11) Construir una Estructura Asimétrica de dos pisos con losa entre estos, compuesta por tres módulos, cada uno de 8 centímetros de largo y 6 centímetros de ancho. Esta estructura se conecta por medio de muros en su extremo derecho.
- 12) Repetir desde el paso 2) hasta el paso 10) para la Estructura Asimétrica.

Resultados:

¿Existen diferencias entre la aceleración registrada en los módulos de la Estructura Simétrica?

Si existe diferencia en la Aceleración en la estructura Simétrica ¿A qué se puede atribuir esta diferencia?

¿Qué fenómeno se puede apreciar en la Estructura Simétrica?

¿Existen diferencias entre la aceleración registrada en los módulos de la Estructura Asimétrica?

Si existe diferencia en la Aceleración en la estructura Simétrica ¿A qué se puede atribuir esta diferencia?

¿Qué fenómeno se puede apreciar en la Estructura Asimétrica?

ANEXO B

Imágenes de los Materiales utilizados para la implementación de actividades prácticas para la enseñanza de Ingeniería Estructural.

En este Anexo se muestran los materiales utilizados a lo largo de este trabajo para lograr la implementación de actividades prácticas para la enseñanza de Ingeniería Estructural.

Los Equipos utilizados son:

- *Alambre:*



Figura B26. Alambre galvanizado.

Fuente: Elaboración propia.

- *Tuercas:*



Figura B27. Tuercas.

Fuente: Elaboración propia.

- *Madera:*



Figura B28. Madera trupan.

Fuente: www.sodimac.cl.

- *Palos de Maqueta:*



Figura B29. Palos de maqueta.

Fuente: Elaboración propia.

- *Madera Balsa:*



Figura B30. Madera balsa.

Fuente: Elaboración propia.

- *Imanes:*



Figura B31. Imanes.

Fuente: Elaboración propia.

- *Esferas Imanes:*



Figura B32. Esferas imantadas.

Fuente: Elaboración propia.

- *Masas:*



Figura B33. Masas.

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO C

Imágenes de los Equipos utilizados para la implementación de actividades prácticas para la enseñanza de Ingeniería Estructural.

En este Anexo se muestran los equipos utilizados a lo largo de este trabajo para lograr la implementación de actividades prácticas para la enseñanza de Ingeniería Estructural.

Los Equipos utilizados son:

- *3 Axis Accelerometer:*



Figura C34. Acelerómetro “3 axis accelerometer”.

Fuente: Vernier software & technology.

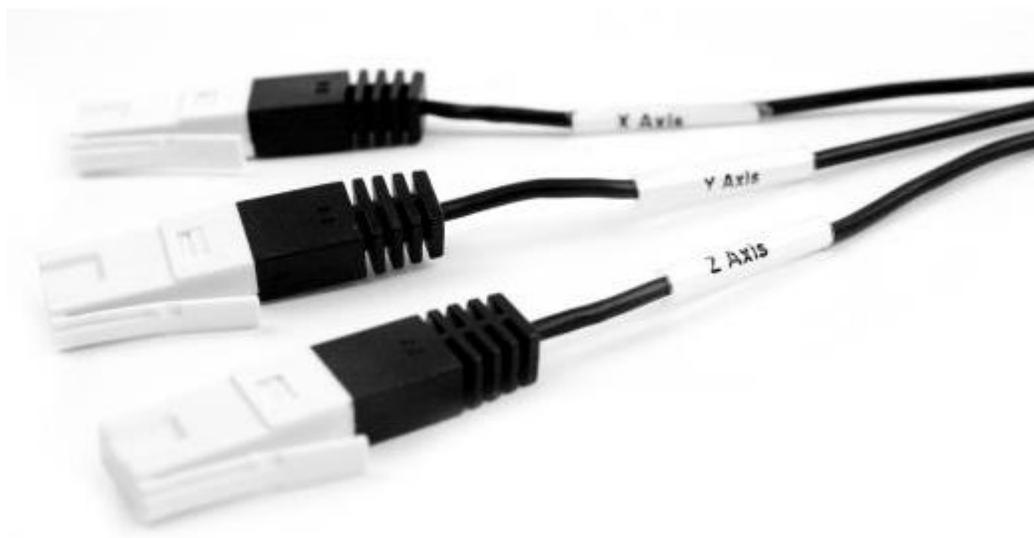


Figura C35. Ejes ortogonales del 3 axis accelerometer.

Fuente: Vernier software & technology.

- *LabPro:*



Figura C36. Interfaz "LabPro".

Fuente: Vernier software & technology.



Figura C37. Lado izquierdo interfaz "LabPro".

Fuente: Vernier software & technology.

Nota: Se aprecian cuatro de los seis canales de recolección de datos de LabPro.



Figura C38. Lado derecho interfaz "LabPro".

Fuente: Vernier software & technology.

Nota: Se aprecian dos de los seis canales de recolección de datos LabPro.

- *LoggerPro:*

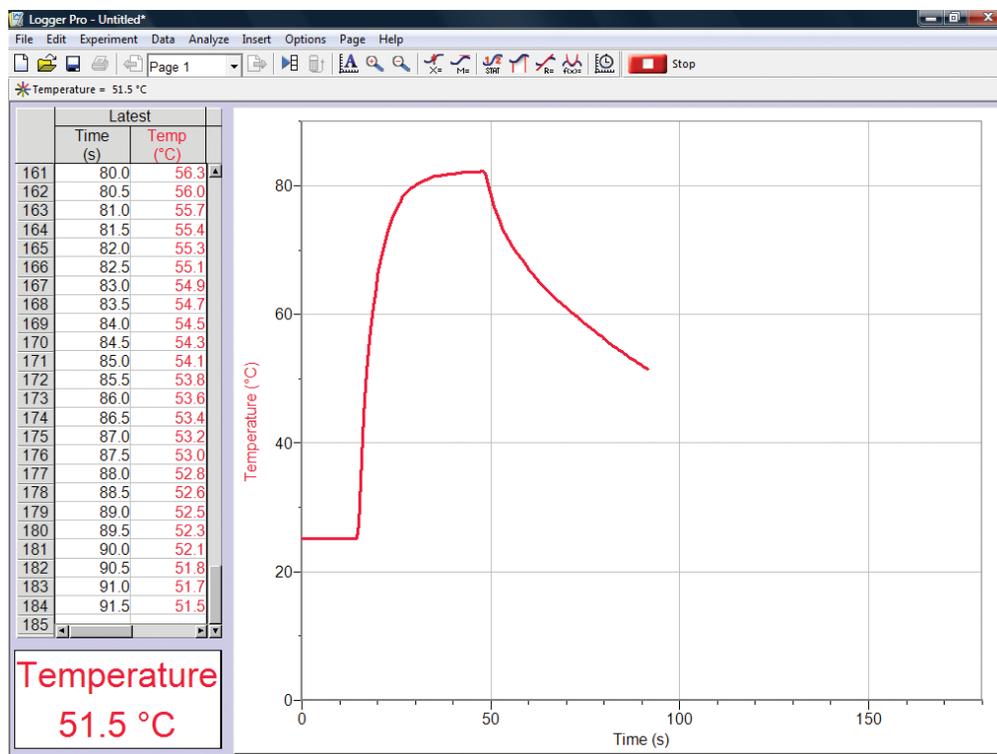


Figura C39. Software "LoggerPro", registro temperatura a través del tiempo.

Fuente: Vernier software & technology.

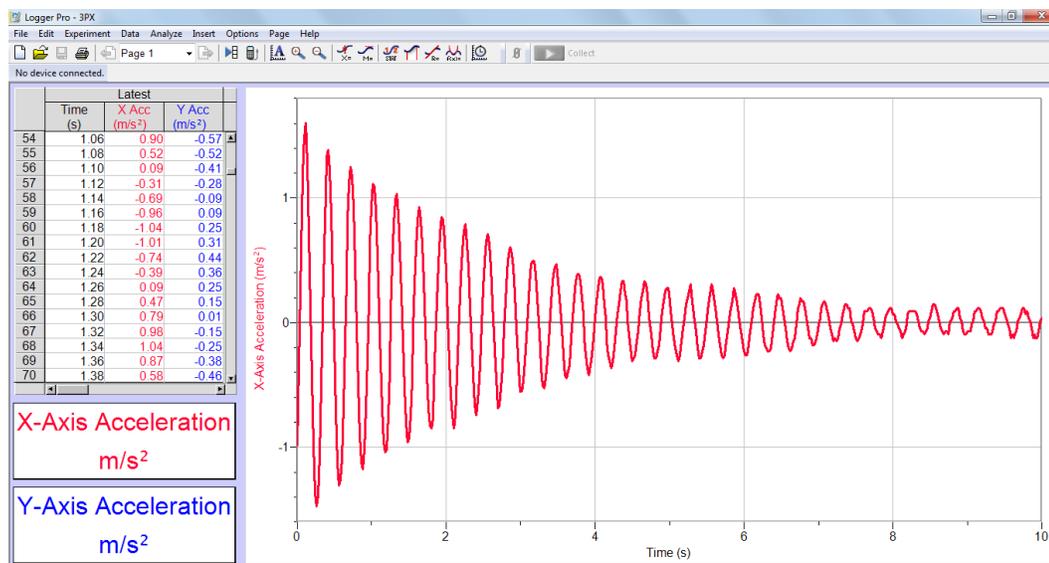


Figura C40. Software "LoggerPro", registro de aceleración a través del tiempo.

Fuente: Elaboración propia.

- *Tamizadora Rx-812-3:*



Figura C41. Tamizadora Rx-812-3.

Fuente: www.tamices.cl

ANEXO D

Creación de Elementos Estructurales para la implementación de actividades prácticas para la enseñanza de Ingeniería Estructural.

En este Anexo se detallan algunas indicaciones necesarias para la creación de los Elementos Estructurales utilizados para poder llevar a cabo la implementación de actividades prácticas para la enseñanza de Ingeniería Estructural.

Los Elementos Estructurales son:

- *Vigas y Columnas:*

Tabla D13. Largos requeridos para la creación de Vigas y Columnas.

Elemento Estructural	Largo Requerido [m]
C-8	0.64
V-6	0.48
V-8	0.64
V-9	0.72
V-12	0.96
V-15	1.20

A continuación se encuentran imágenes de las Vigas y Columnas creadas.

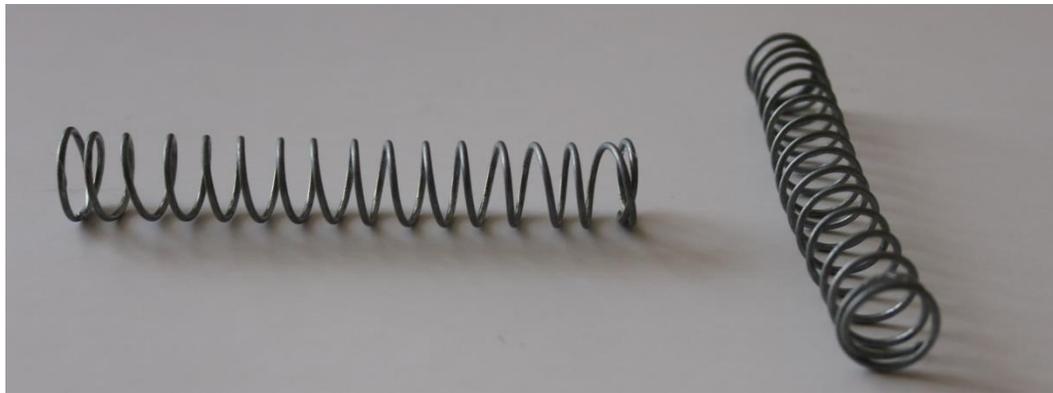


Figura D42. Columna "C-8".

Fuente: Elaboración Propia.

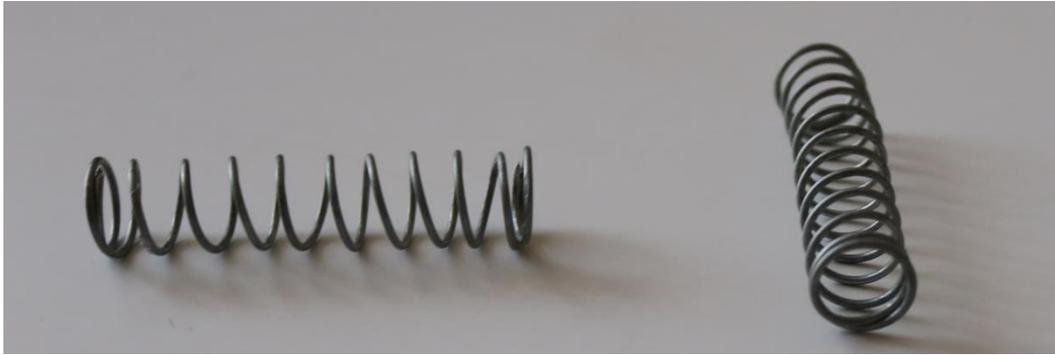


Figura D43. Viga "V-6".

Fuente: Elaboración Propia.



Figura D44. Viga "V-8".

Fuente: Elaboración Propia.

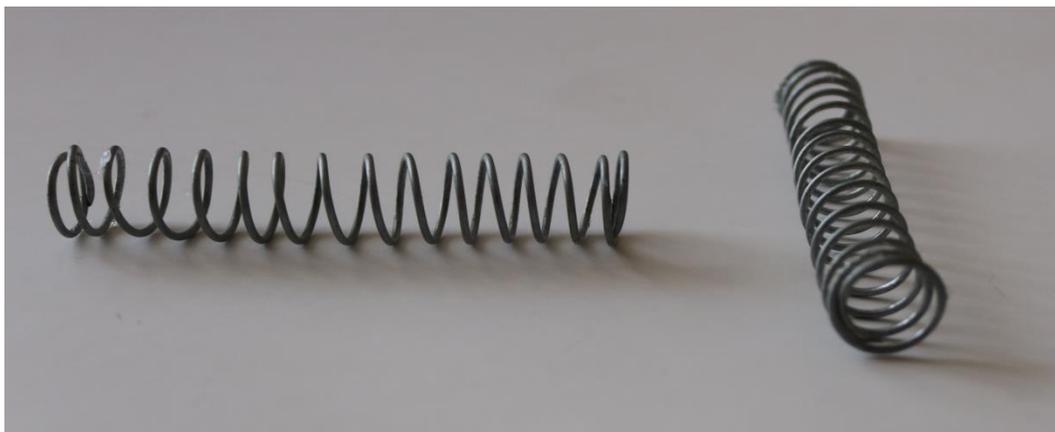


Figura D45. Viga "V-9".

Fuente: Elaboración Propia.



Figura D46. Viga "V-12".

Fuente: Elaboración Propia.



Figura D47. Viga "V-15".

Fuente: Elaboración Propia.

- *Diagonales:*

Diagonales Tipo A (DA):

Tabla D14. Largo requerido para crear Diagonal Tipo A.

Elemento Estructural	Largo Requerido [m]
DA-8x6	0.25
DA-8x8	0.265
DA-8x9	0.27
DA-8x12	0.295
DA-8x15	0.315

A continuación se encuentran imágenes de las Diagonales tipo A creadas.



Figura D48. Diagonal tipo A "DA-8x6".

Fuente: Elaboración Propia.



Figura D49. Diagonal tipo A "DA-8x8".

Fuente: Elaboración Propia.

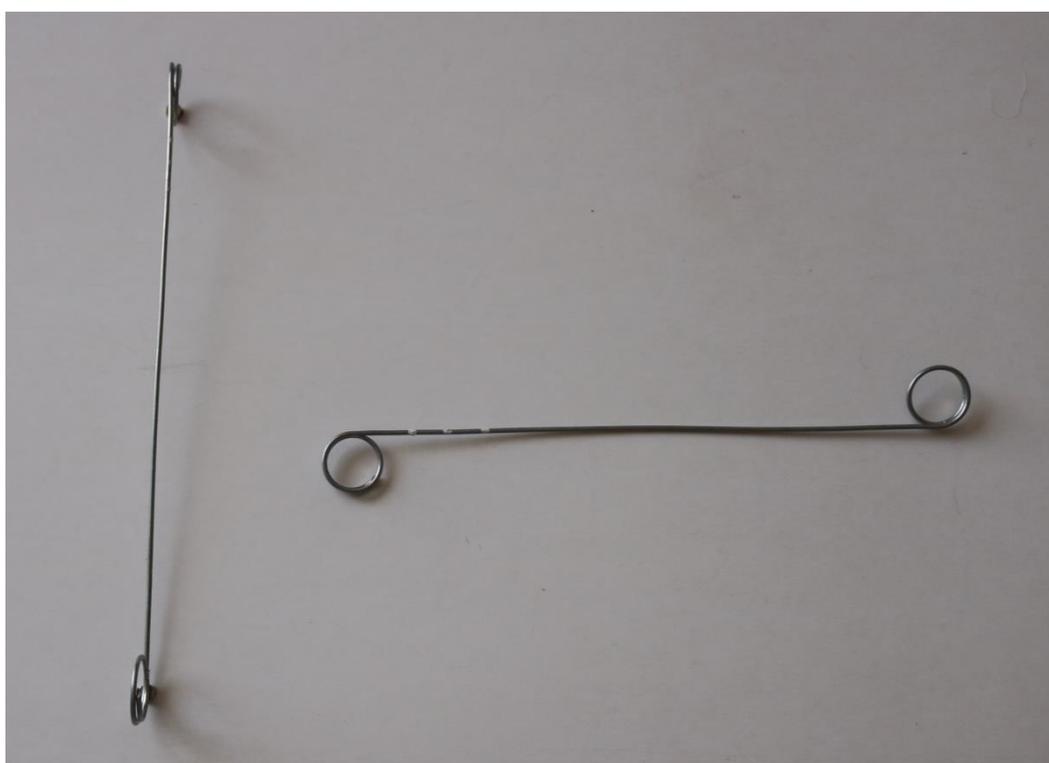


Figura D50. Diagonal tipo A "DA-8x9".

Fuente: Elaboración Propia.

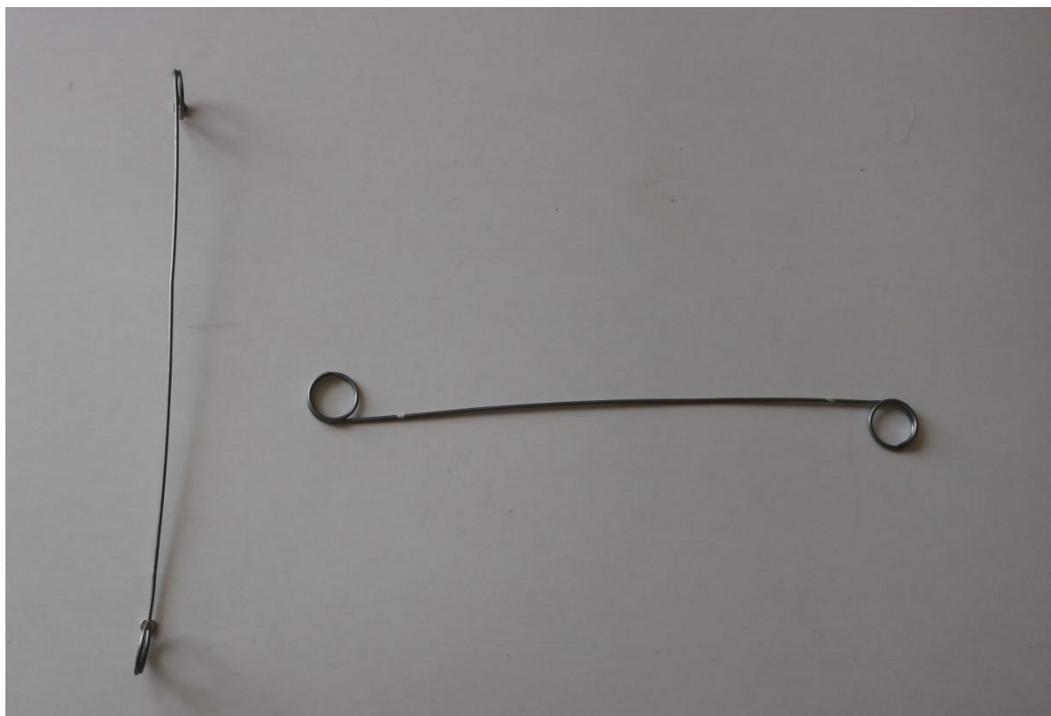


Figura D51. Diagonal tipo A "DA-8x12".

Fuente: Elaboración Propia.



Figura D52. Diagonal tipo A "DA-8x15".

Fuente: Elaboración Propia.

Diagonales Tipo B (DB):

Tabla D15. Largo requerido para crear Diagonal Tipo B.

Elemento Estructural	Largo Requerido [m]
DA-8x6	0.27
DA-8x8	0.285
DA-8x9	0.295
DA-8x12	0.315
DA-8x15	0.34

A continuación se encuentran imágenes de las Diagonales tipo B creadas.

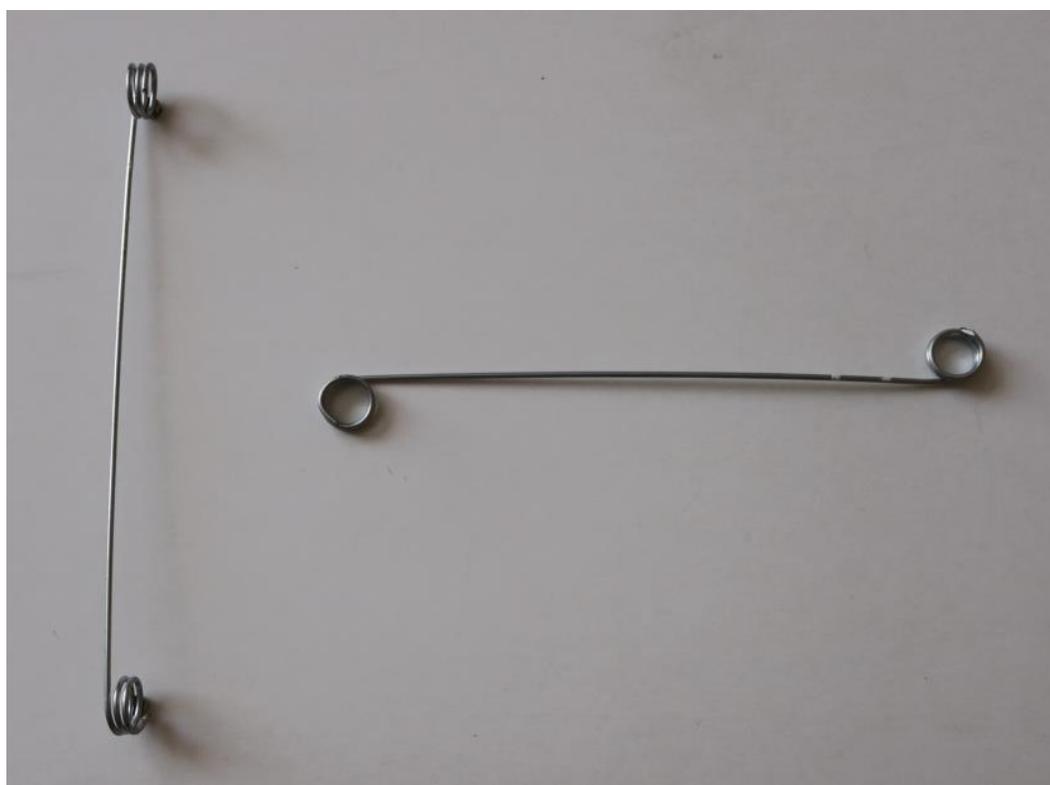


Figura D53. Diagonal tipo B "DB-8x6".

Fuente: Elaboración Propia.

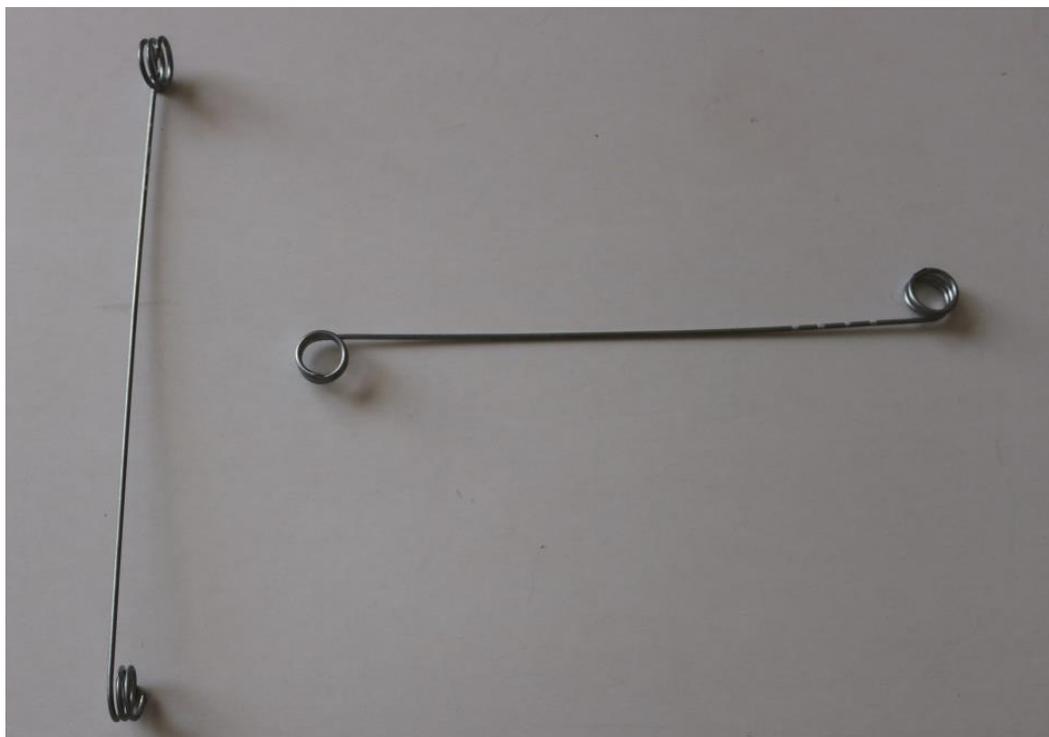


Figura D54. Diagonal tipo B "DB-8x8".

Fuente: Elaboración Propia.

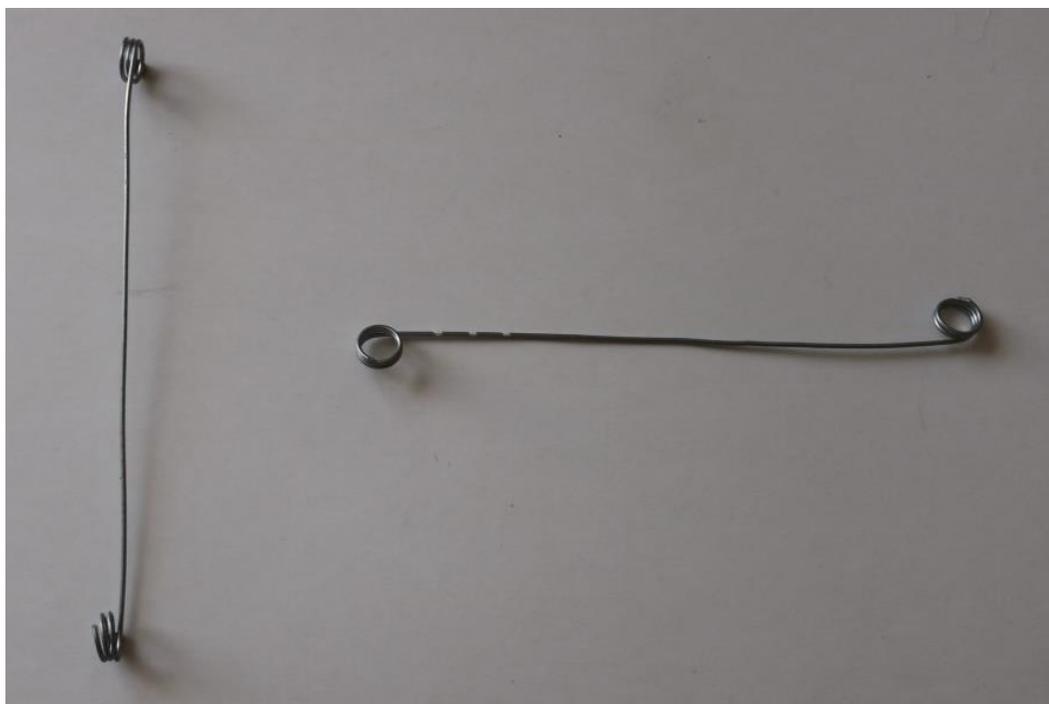


Figura D55. Diagonal tipo B "DB-8x9".

Fuente: Elaboración Propia.

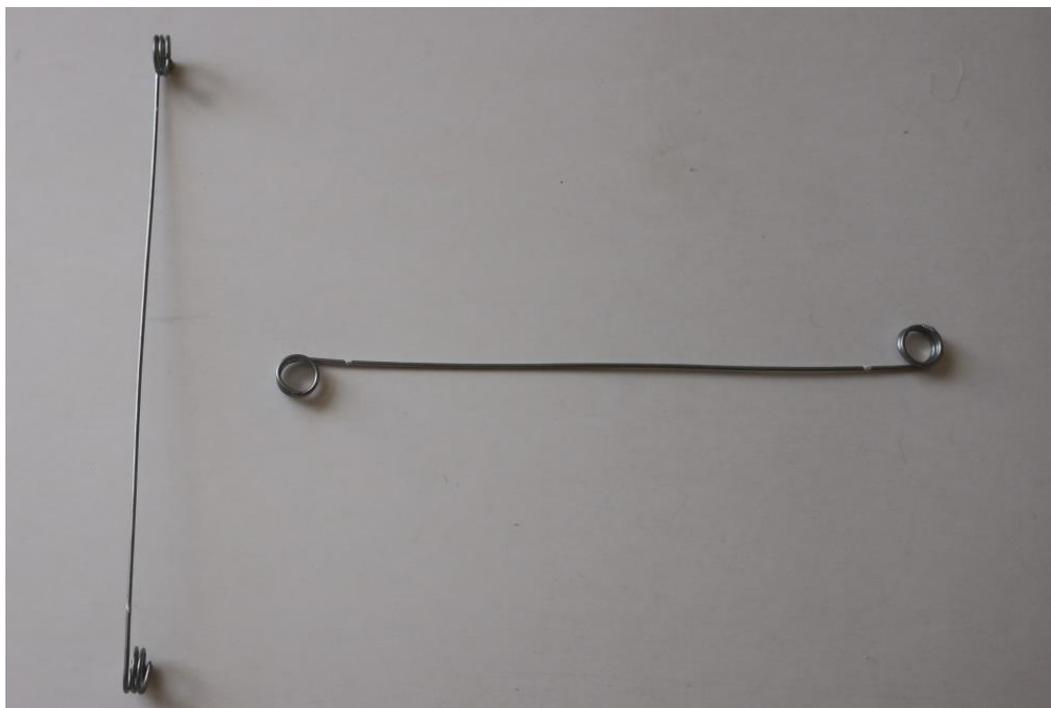


Figura D56. Diagonal tipo B "DB-8x12".

Fuente: Elaboración Propia.

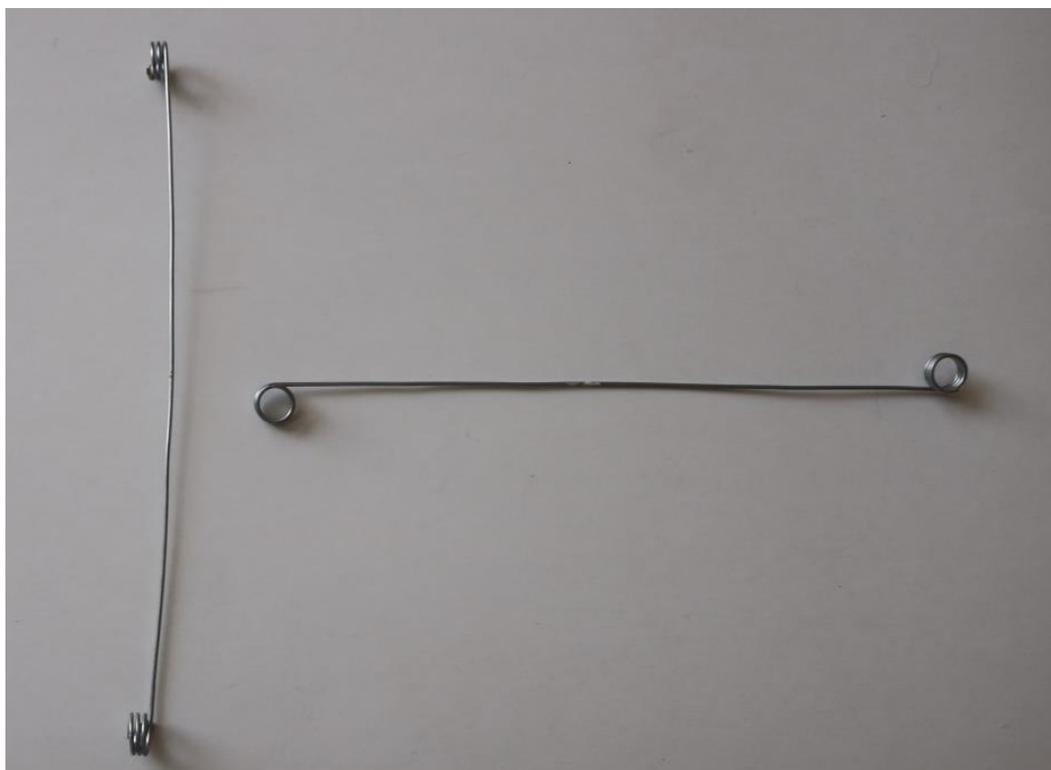


Figura D57. Diagonal tipo B "DB-8x15".

Fuente: Elaboración Propia.

- *Muros y Losas:*

Tabla D16. Medidas Madera Balsa para crear Muros.

Elemento Estructural	Ancho [m]	Largo [m]
M-8x6	0.08	0.06
M-8x8	0.08	0.08
M-8x9	0.08	0.09
M-8x12	0.08	0.12
M-8x15	0.08	0.15

Tabla D17. Medidas Palos de Maqueta para crear Muros.

Elemento Estructural	Palo 1 [m]	Palo 2 [m]
M-8x6	0.08	0.048
M-8x8	0.08	0.068
M-8x9	0.08	0.078
M-8x12	0.08	0.108
M-8x15	0.08	0.138

Nota: Cortar dos Palo 1 y dos Palo 2, para la creación de cada Muro.

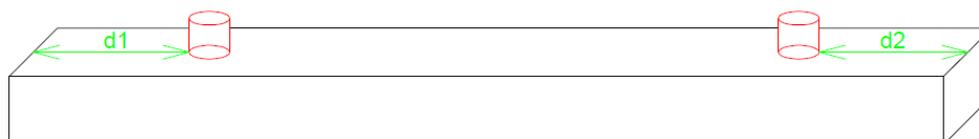


Figura D58. Distancias para pegar imanes en palos de maqueta.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla D18. Distancia para pegar Imanes en Palos de Maqueta.

Palos	Distancia 1 [m]	Distancia 2 [m]
4.8	0.031	-
6.8	0.041	-
8	0.014	0.012
9	0.010	0.006
12	0.016	0.015
15	0.030	0.028

A continuación se encuentran imágenes de los Muros creados.



Figura D59. Muro "M-8x6".

Fuente: Elaboración propia.

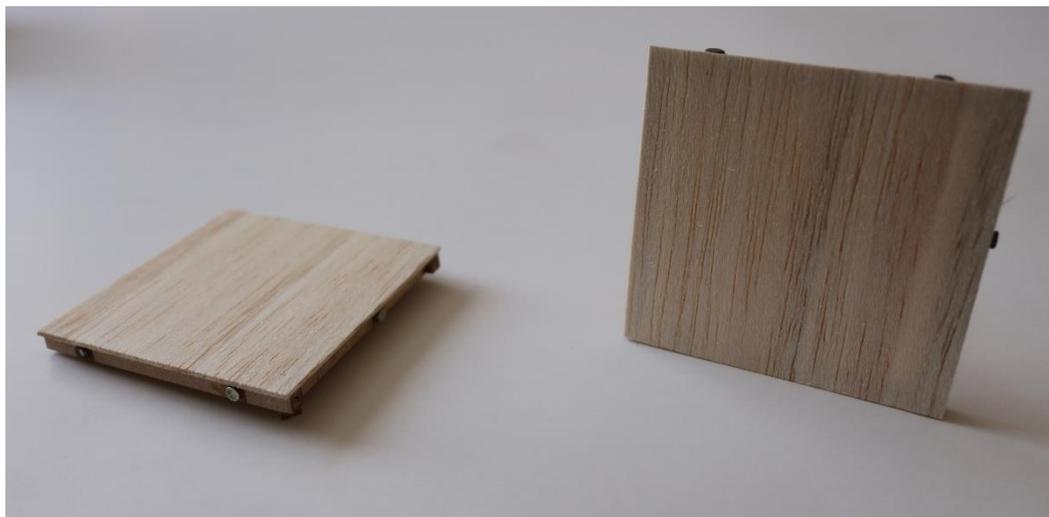


Figura D60. Muro "M-8x8".

Fuente: Elaboración propia.

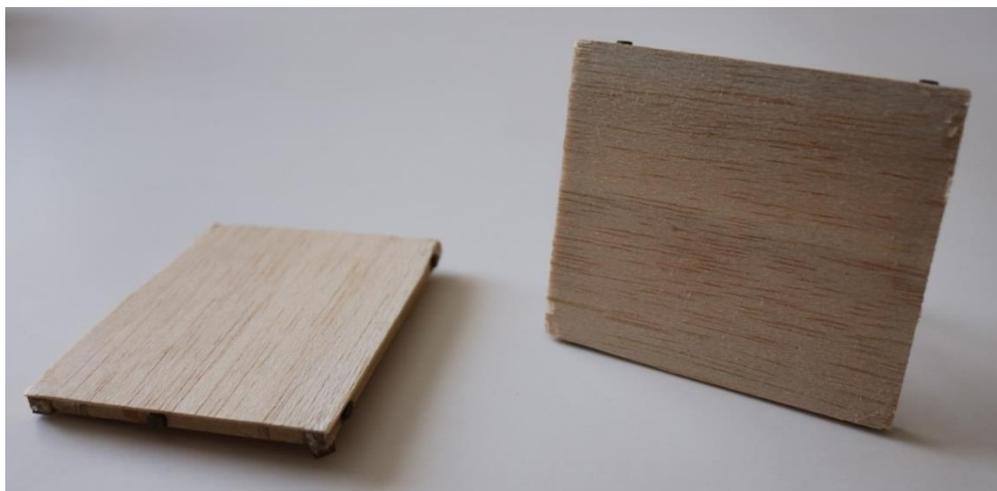


Figura D61. Muro "M-8x9".

Fuente: Elaboración propia.



Figura D62. Muro "M-8x12".

Fuente: Elaboración propia.

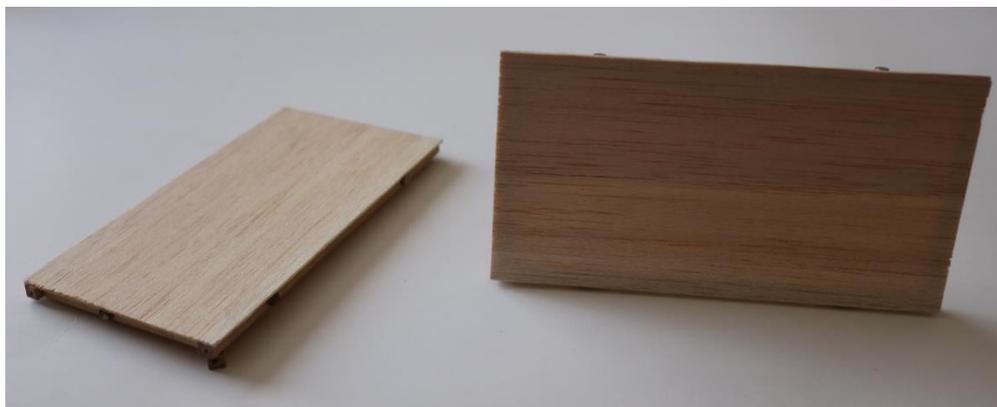


Figura D63. Muro "M-8x15".

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO E

Resultados de la Modelación Física de Actividades Prácticas.

Comportamiento del Periodo:

Periodo v/s Altura.



Figura E64. Estructura de dos pisos.

Fuente: Elaboración propia.

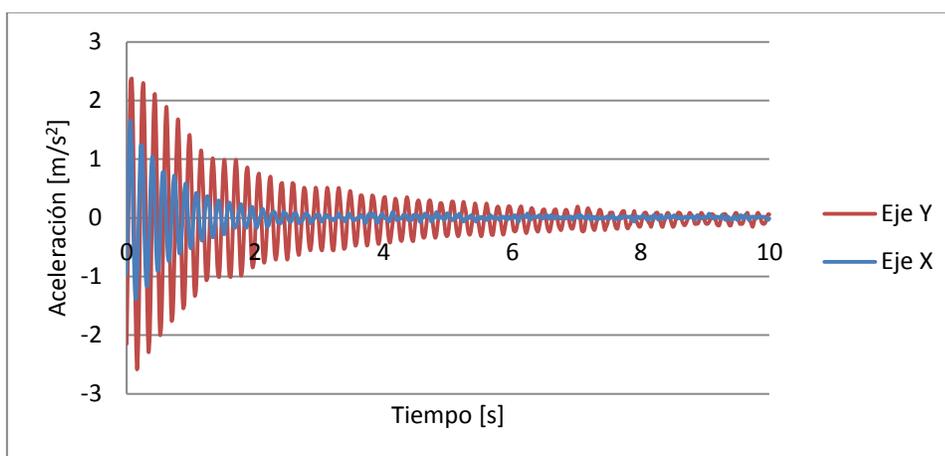


Figura E65. Respuesta de la aceleración de una estructura de 2 pisos.

Fuente: Elaboración propia.

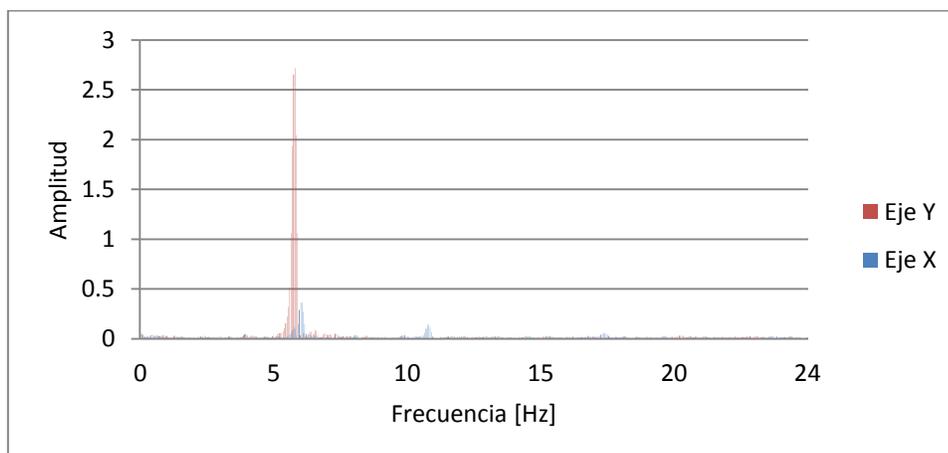


Figura E66. Frecuencia de una estructura de 2 pisos.

Fuente: Elaboración propia.



Figura E67. Estructura de 3 pisos.

Fuente: Elaboración propia.

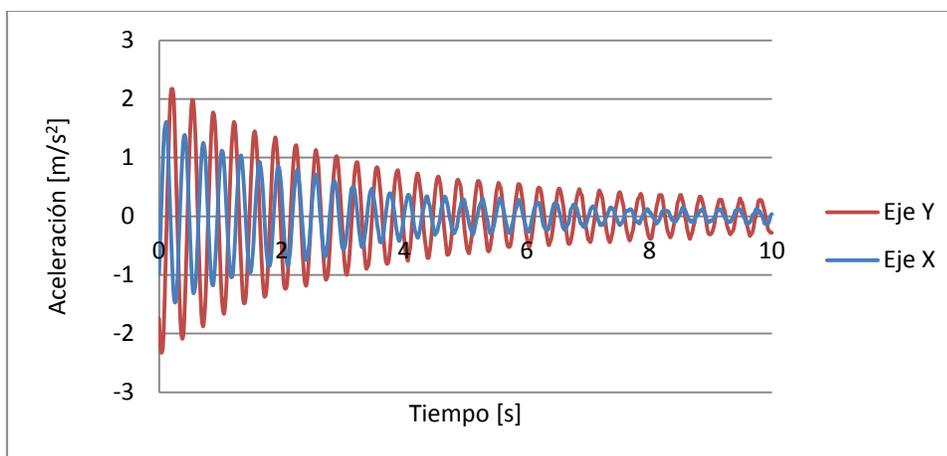


Figura E68. Respuesta de la aceleración de una estructura de 3 pisos.

Fuente: Elaboración propia.

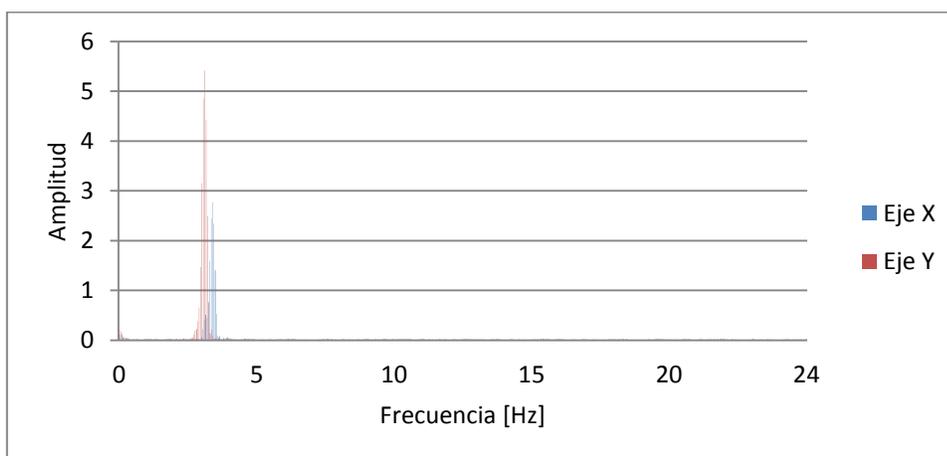


Figura E69. Frecuencia de una estructura de 3 pisos.

Fuente: Elaboración propia.

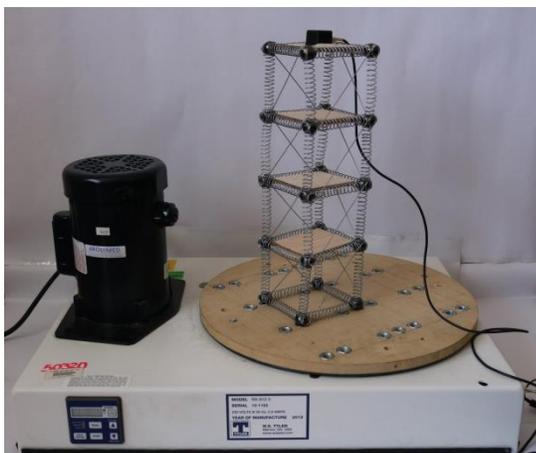


Figura E70. Estructura de 4 pisos.

Fuente: Elaboración propia.

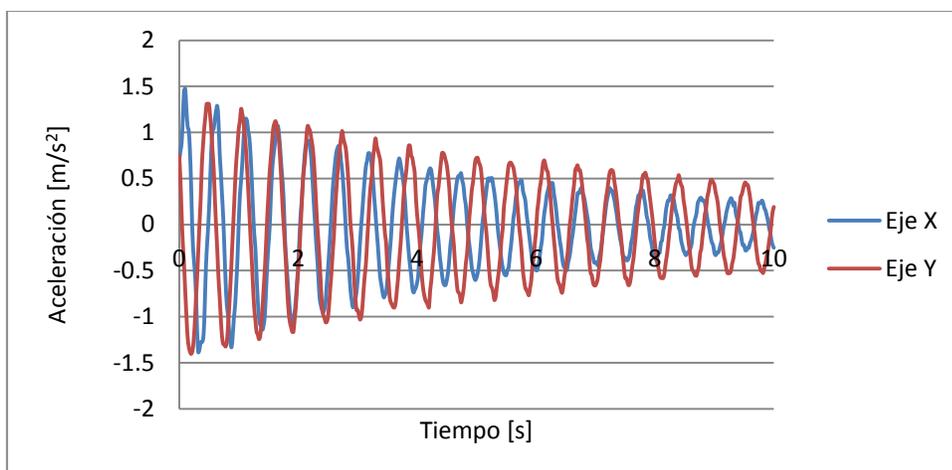


Figura E71. Respuesta de la aceleración de una estructura de 4 pisos.

Fuente: Elaboración propia.

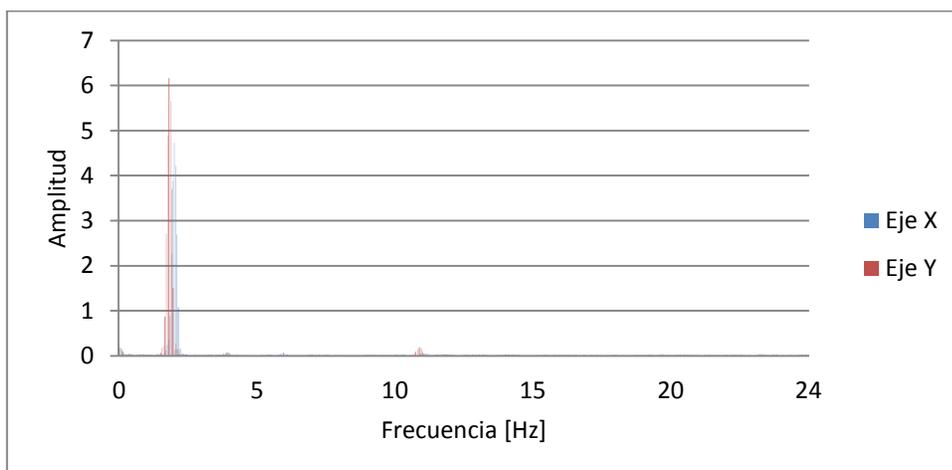


Figura E72. Frecuencia de una estructura de 4 pisos.

Fuente: Elaboración propia.



Figura E73. Estructura de 5 pisos.

Fuente: Elaboración propia.

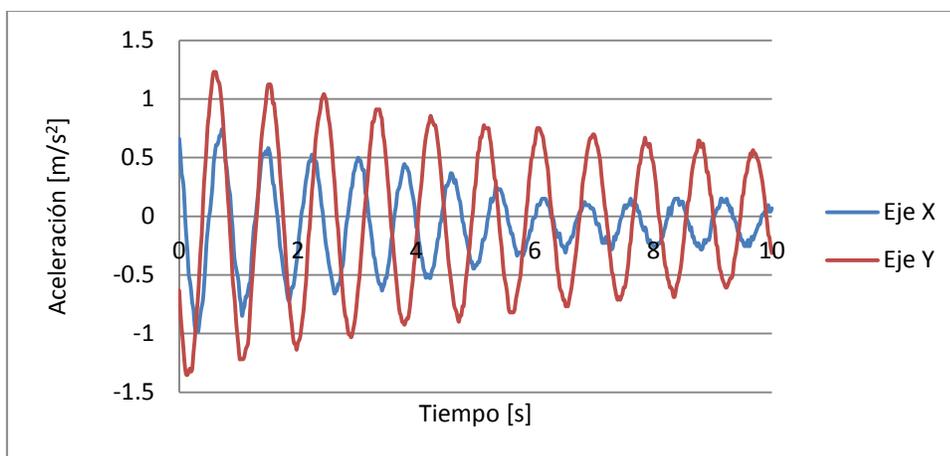


Figura E74. Respuesta de la aceleración de una estructura de 5 pisos.

Fuente: Elaboración propia.

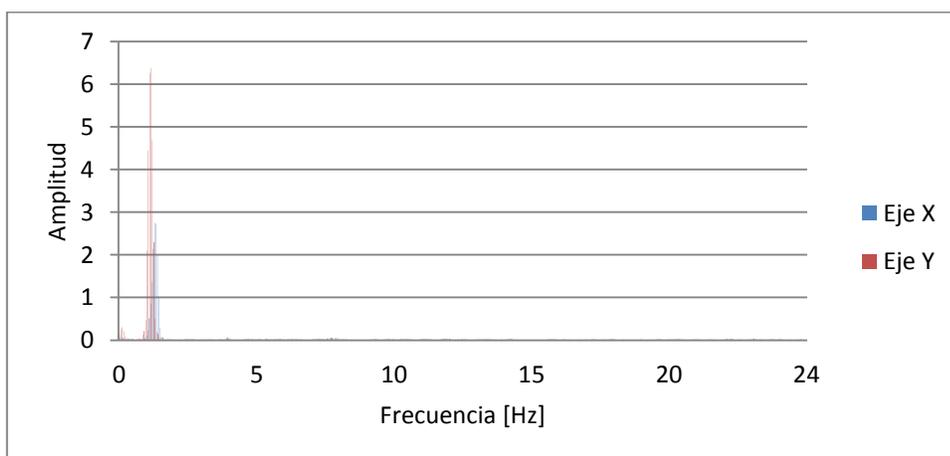


Figura E75. Frecuencia de una estructura de 5 pisos.

Fuente: Elaboración propia.



Figura E76. Estructura de 6 pisos.

Fuente: Elaboración propia.

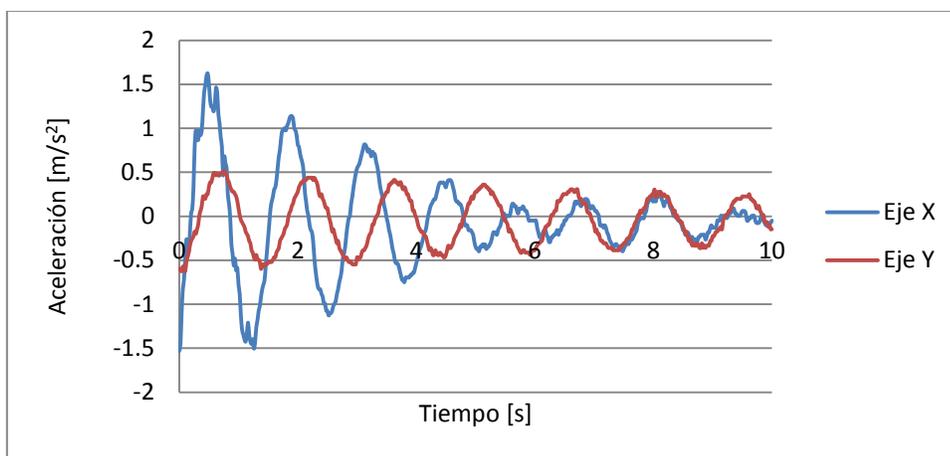


Figura E77. Respuesta de la aceleración de una estructura de 6 pisos.

Fuente: Elaboración propia.

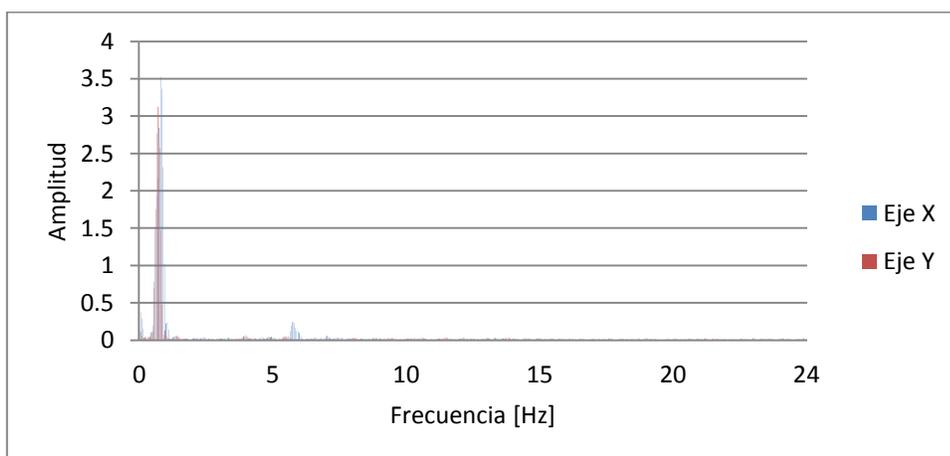


Figura E78. Frecuencia de una estructura de 6 pisos.

Fuente: Elaboración propia.

Periodo v/s Masa.



Figura E79. Estructura sin masa adicional.

Fuente: Elaboración propia.

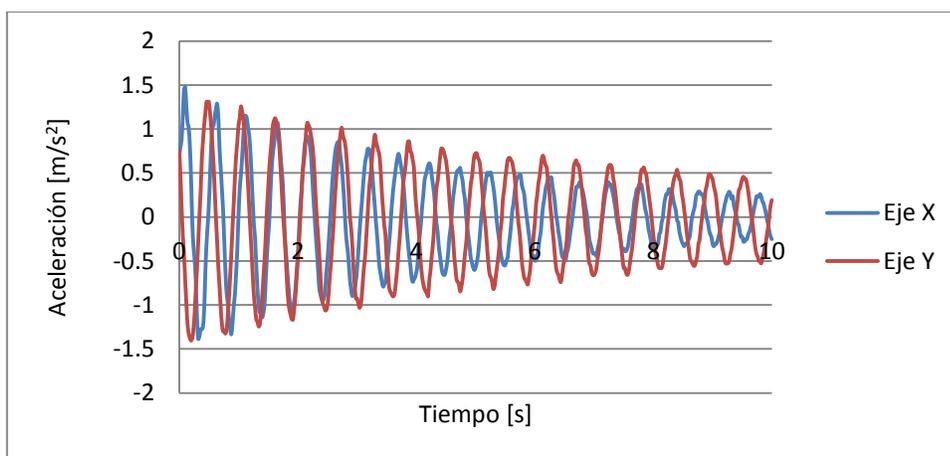


Figura E80. Respuesta de la aceleración de una estructura sin masa adicional.

Fuente: Elaboración propia.

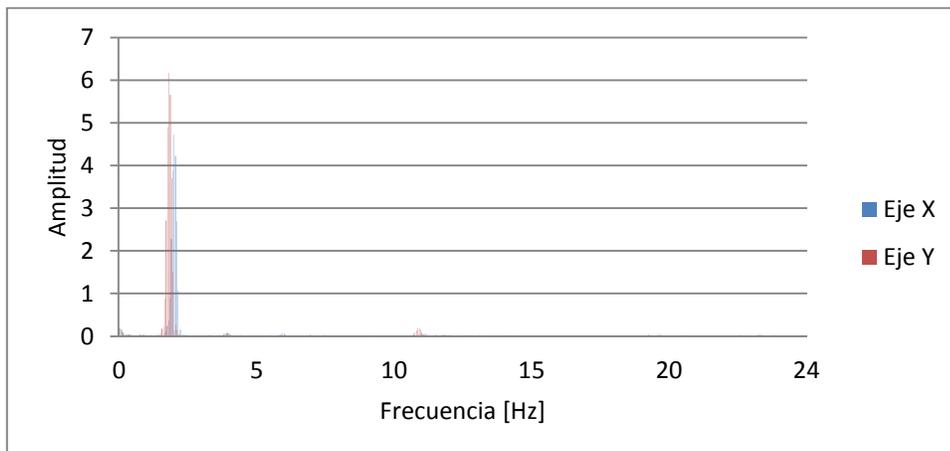


Figura E81. Frecuencia de una estructura sin masa adicional.

Fuente: Elaboración propia.

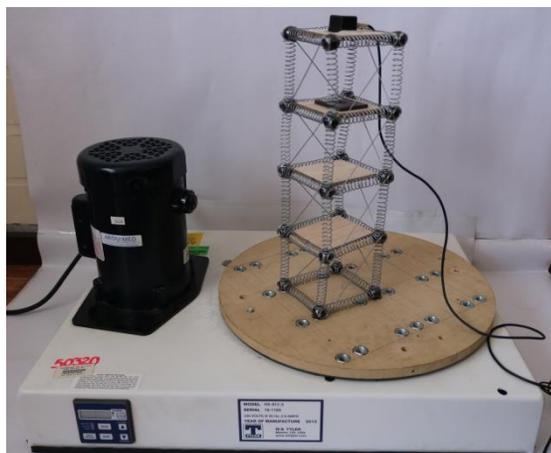


Figura E82. Estructura con una masa adicional.

Fuente: Elaboración propia.

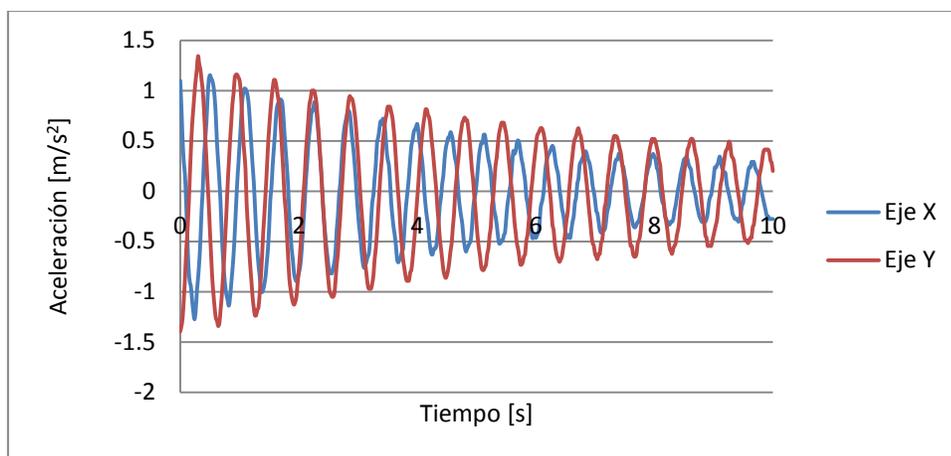


Figura E83. Respuesta de la aceleración de una estructura con una masa adicional.

Fuente: Elaboración propia.

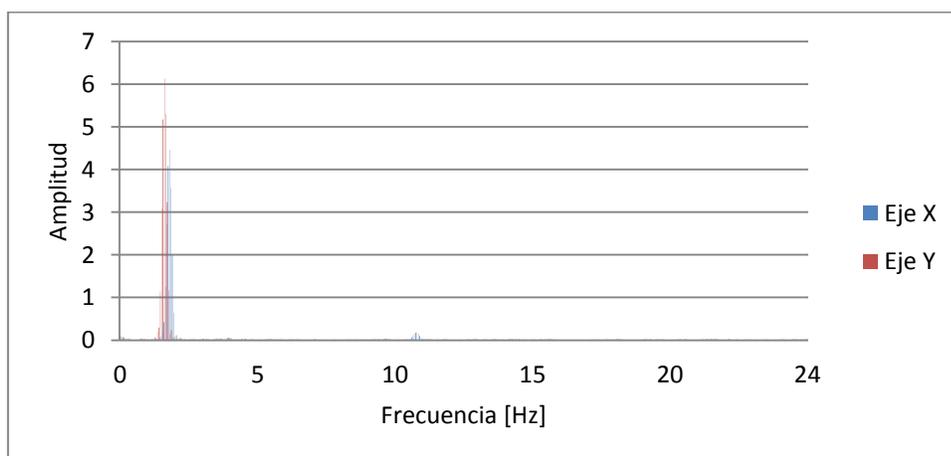


Figura E84. Frecuencia de una estructura con una masa adicional.

Fuente: Elaboración propia.

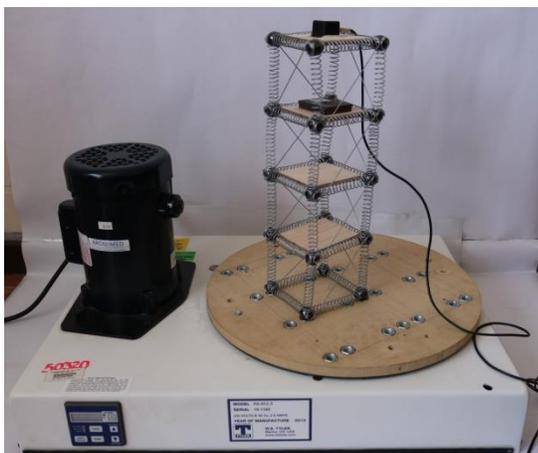


Figura E85. Estructura con dos masas adicionales.

Fuente: Elaboración propia.

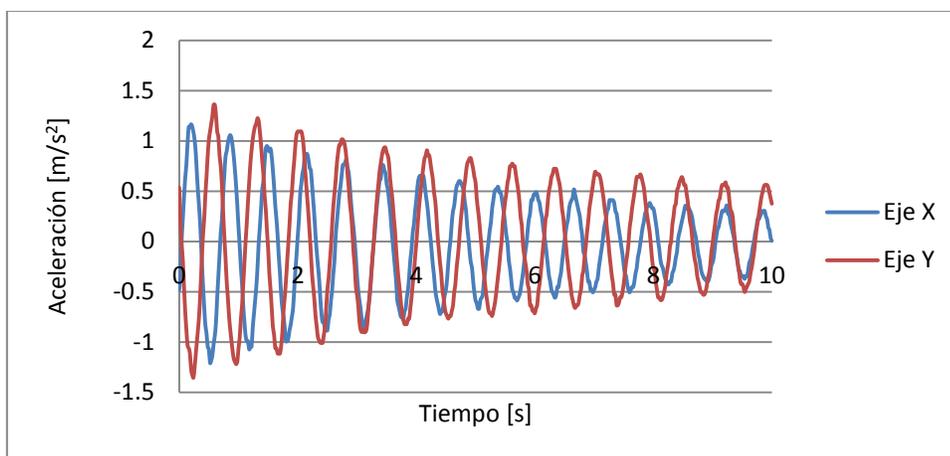


Figura E86. Respuesta de la aceleración de una estructura con dos masas adicionales.

Fuente: Elaboración propia.

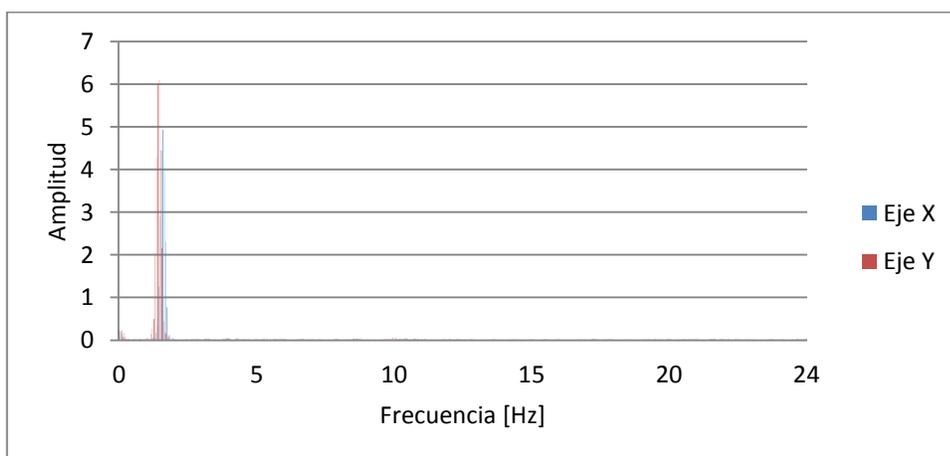


Figura E87. Frecuencia de una estructura con dos masas adicionales.

Fuente: Elaboración propia.



Figura E88. Estructura con tres masas adicionales.

Fuente: Elaboración propia.

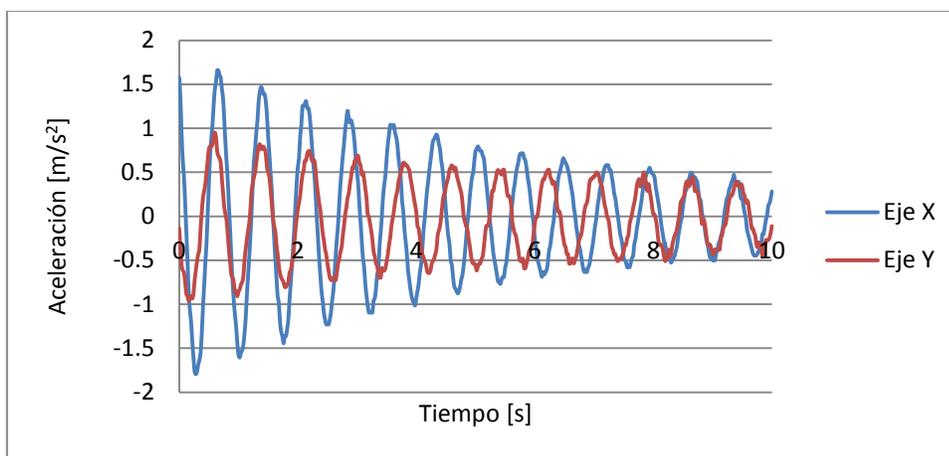


Figura E89. Respuesta de la aceleración de una estructura con tres masas adicionales.

Fuente: Elaboración propia.

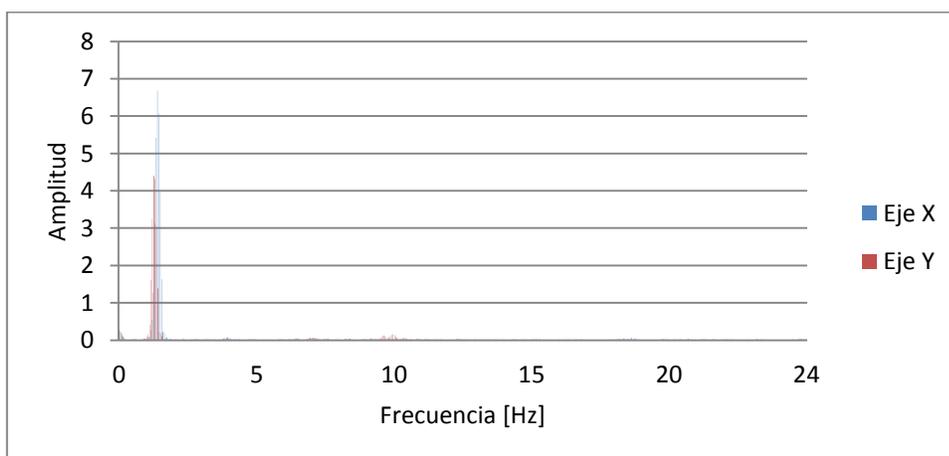


Figura E90. Frecuencia de una estructura con tres masas adicionales.

Fuente: Elaboración propia.

Periodo v/s Rigidez.



Figura E91. Estructura flexible.

Fuente: Elaboración propia.

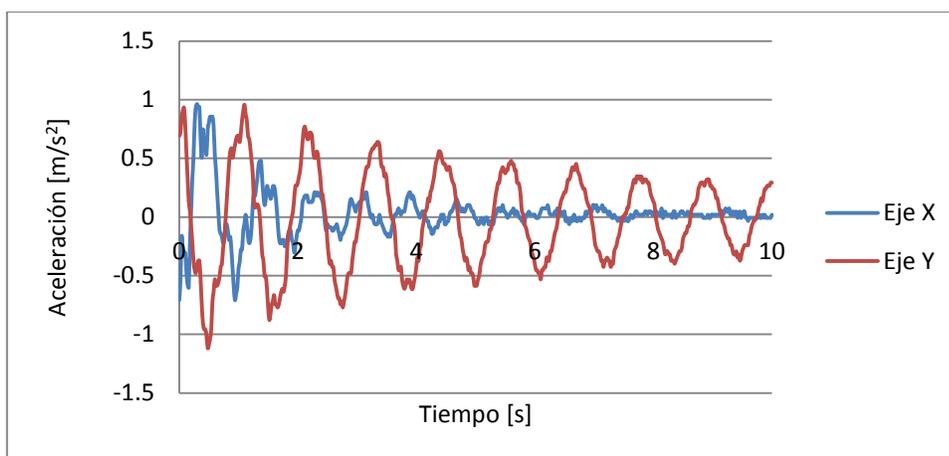


Figura E92. Respuesta de la aceleración de una estructura flexible.

Fuente: Elaboración propia.

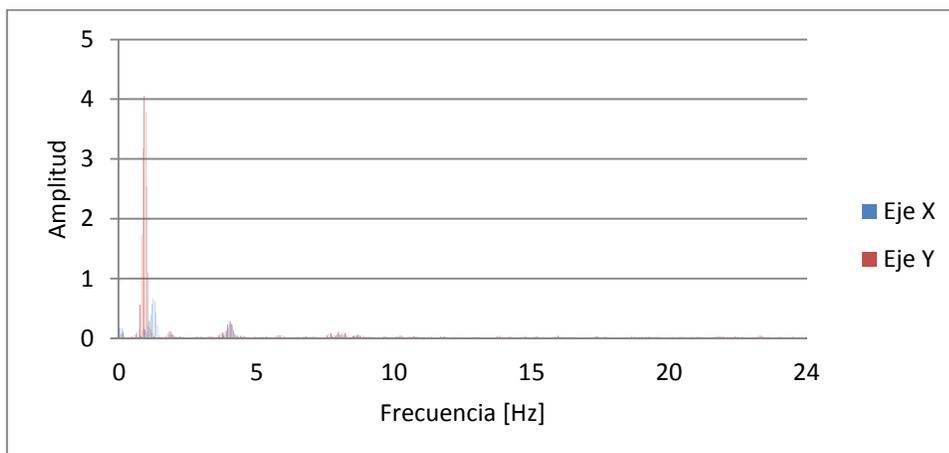


Figura E93. . Frecuencia de una estructura flexible.

Fuente: Elaboración propia.

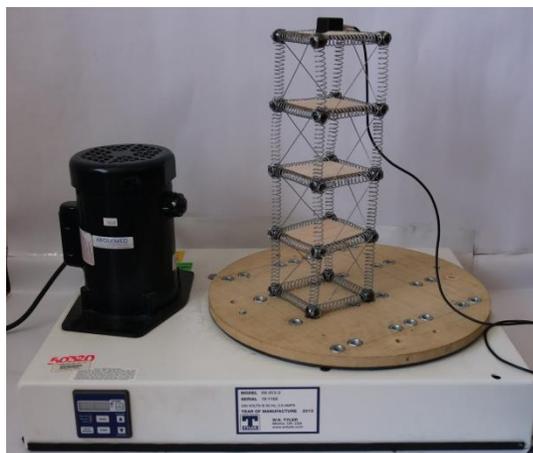


Figura E94. Estructura con diagonales.

Fuente: Elaboración propia.

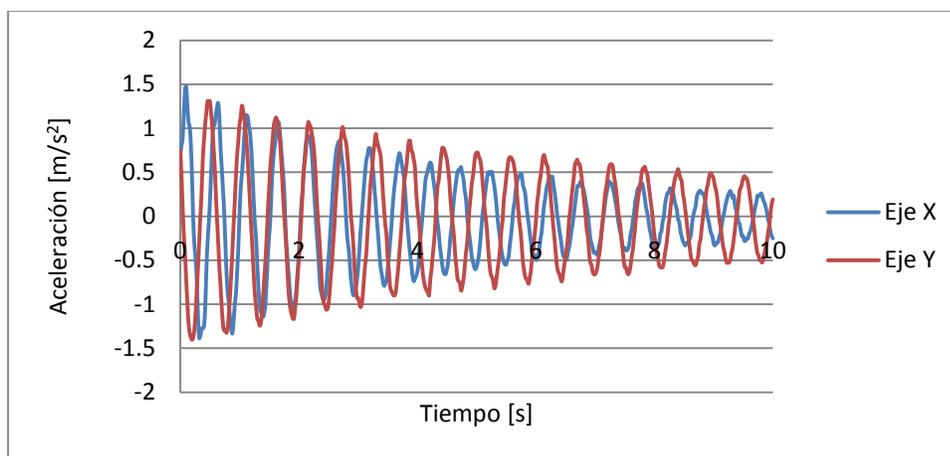


Figura E95. Respuesta de la aceleración de una estructura con diagonales.

Fuente: Elaboración propia.

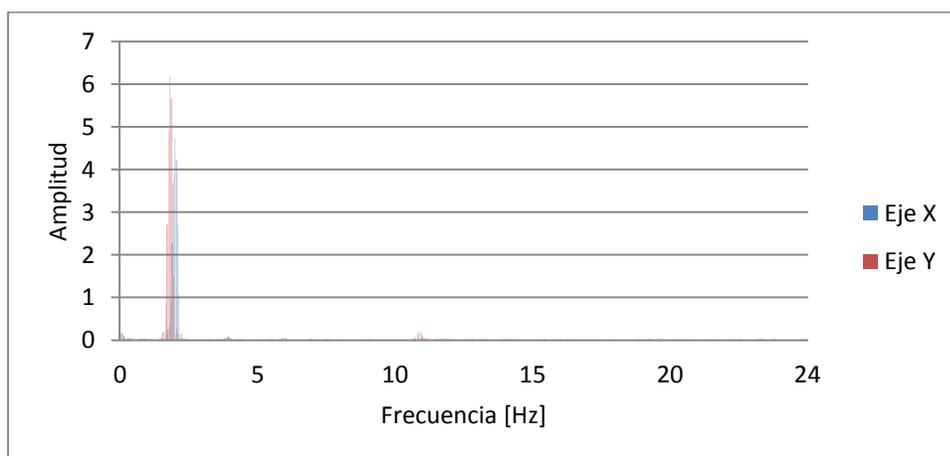


Figura E96. Frecuencia de una estructura con diagonales.

Fuente: Elaboración propia.



Figura E97. Estructura con muros.

Fuente: Elaboración propia.

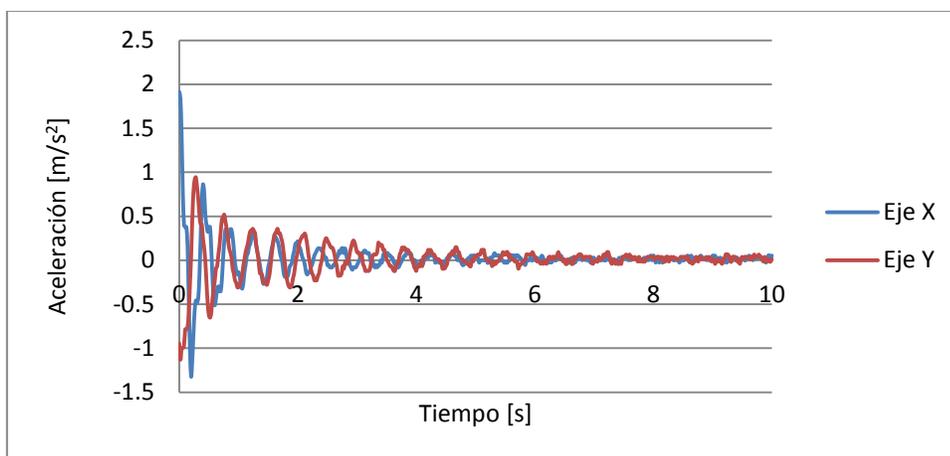


Figura E98. Respuesta de la aceleración de una estructura con muros.

Fuente: Elaboración propia.

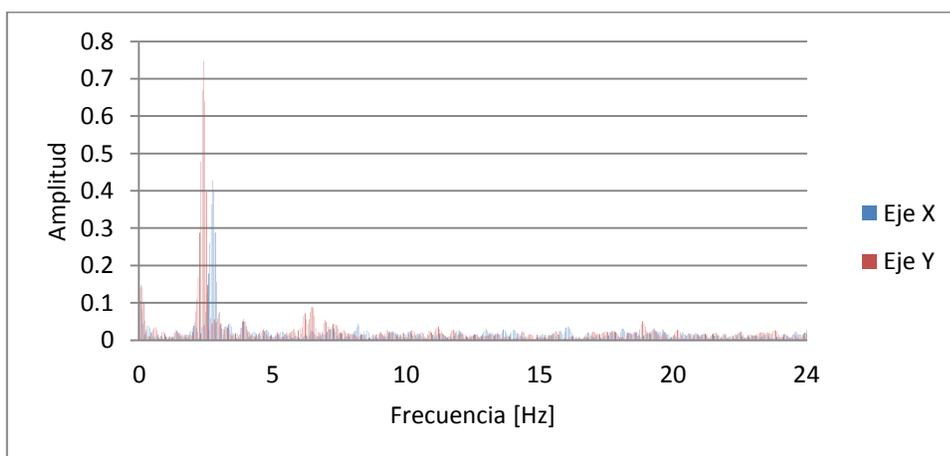


Figura E99. Frecuencia de una estructura con muros.

Fuente: Elaboración propia.



Figura E100. Estructuras con muros y diagonales.

Fuente: Elaboración propia.

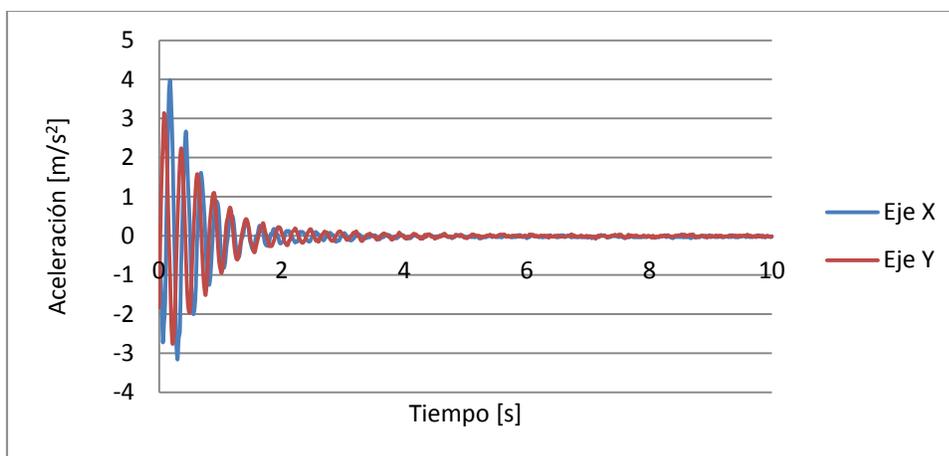


Figura E101. Respuesta de la aceleración de una estructura con muros y diagonales.

Fuente: Elaboración propia.

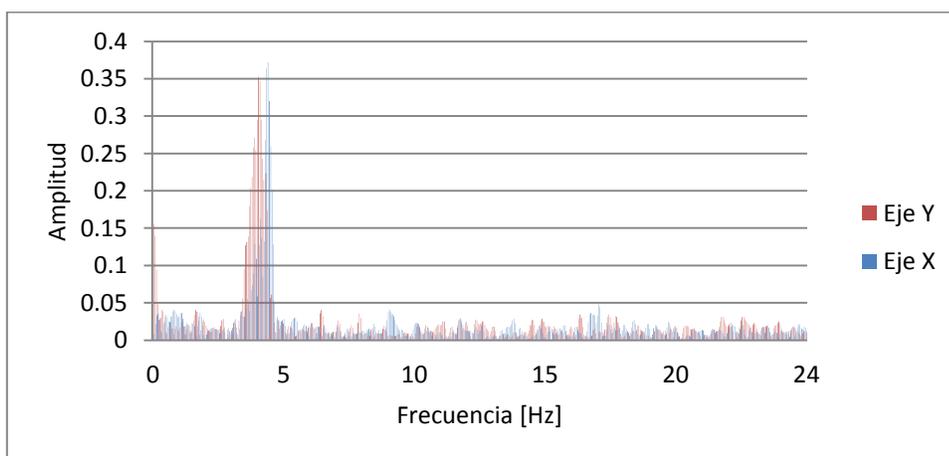


Figura E102. Frecuencia de una estructura con muros y diagonales.

Fuente: Elaboración propia.

Resonancia:



Figura E103. Estructura con frecuencia cercana a la de la mesa.

Fuente: Elaboración propia.

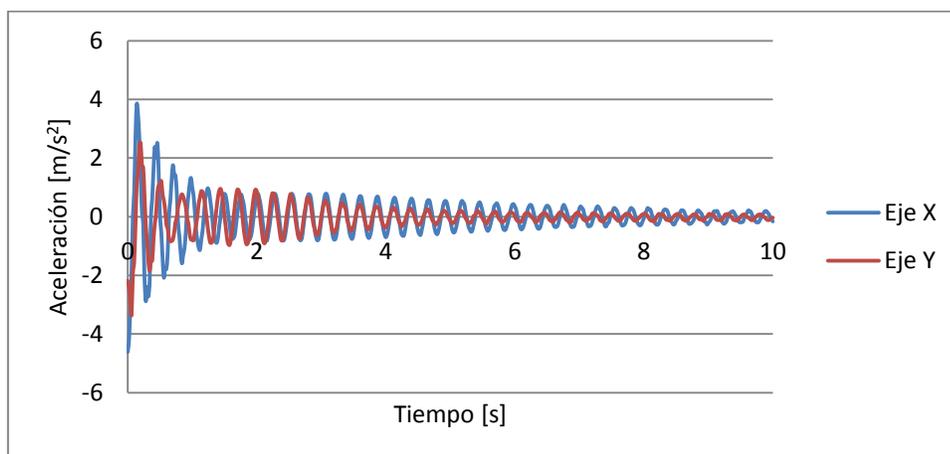


Figura E104. Respuesta de la aceleración de una estructura con frecuencia cercana a la de la mesa.

Fuente: Elaboración propia.

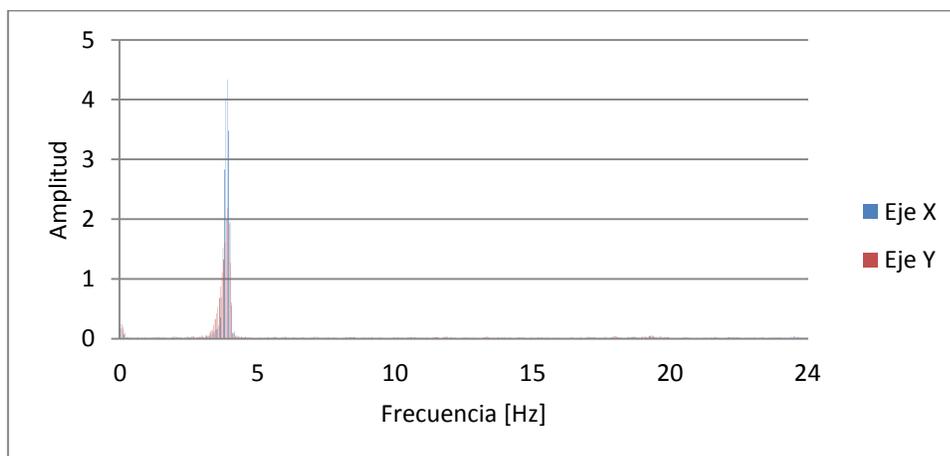


Figura E105. Frecuencia de una estructura con frecuencia cercana a la de la mesa.

Fuente: Elaboración propia.

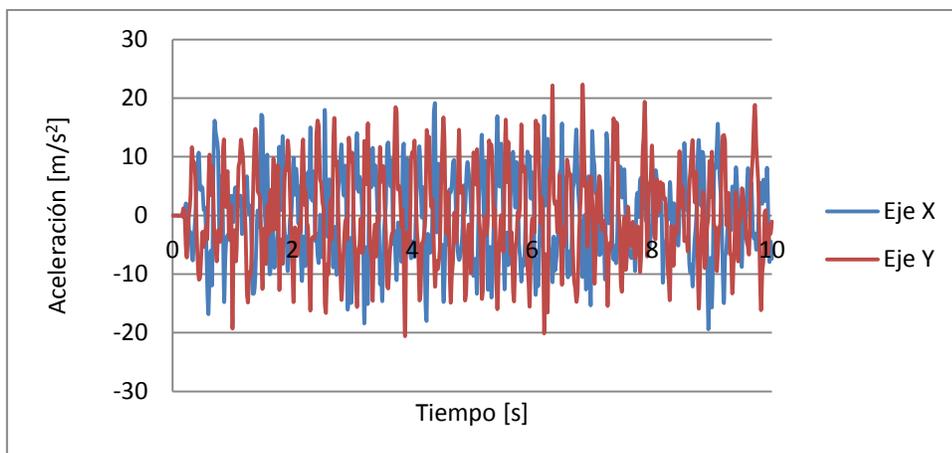


Figura E106. Respuesta de la aceleración de una estructura con frecuencia cercana a la de la mesa, sometida a la vibración de esta.

Fuente: Elaboración propia.

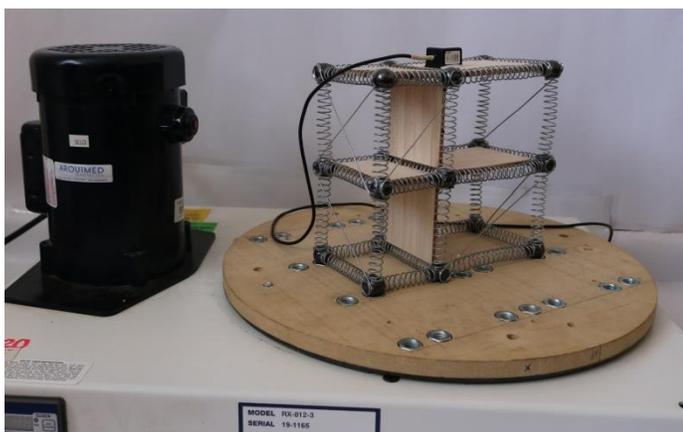


Figura E107. Estructura con frecuencia mayor que la de la mesa.

Fuente: Elaboración propia.

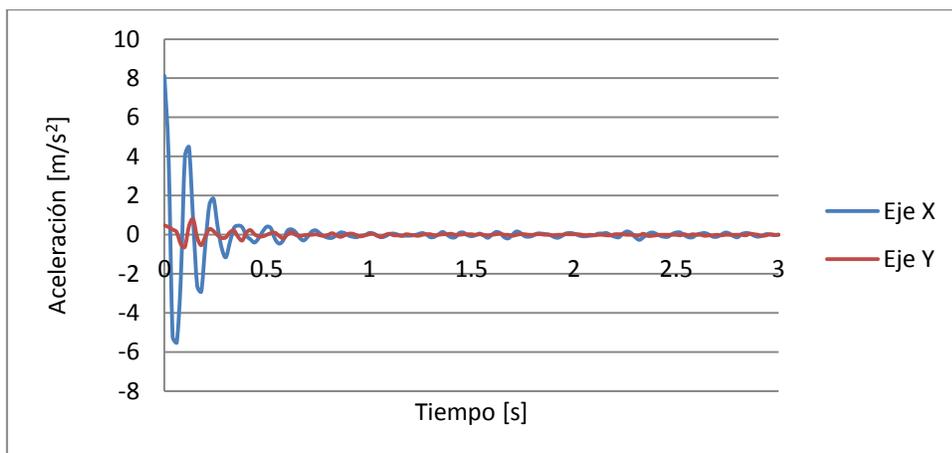


Figura E108. Respuesta de la aceleración de una estructura con mayor frecuencia que la de la mesa.

Fuente: Elaboración propia.

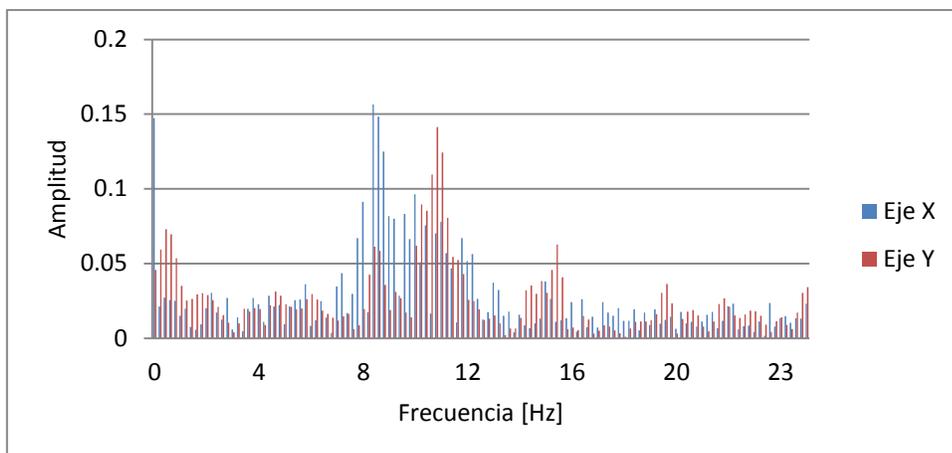


Figura E109. Frecuencia de una estructura con mayor frecuencia que la de la mesa.

Fuente: Elaboración propia.

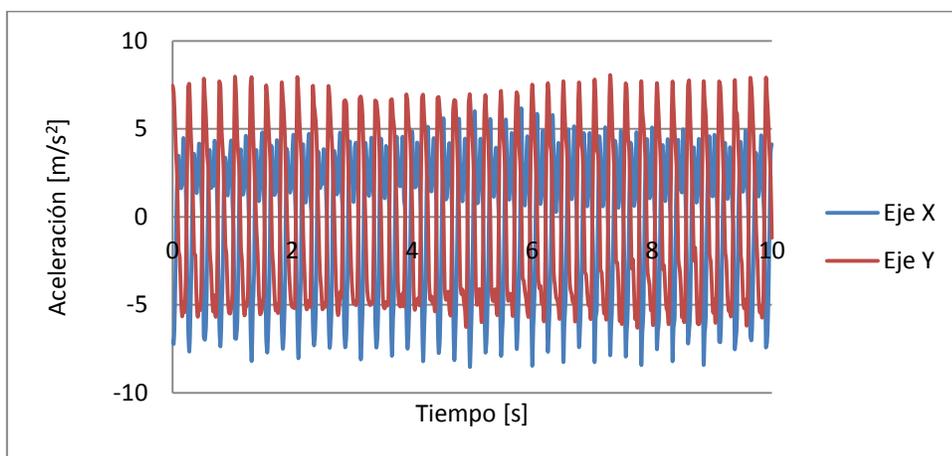


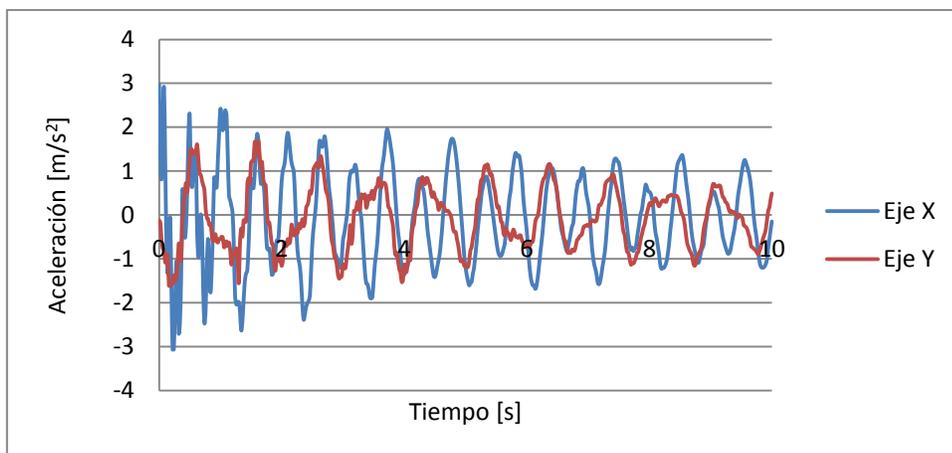
Figura E110. Respuesta de la aceleración de una estructura con mayor frecuencia que la de la mesa, sometida a la vibración de esta.

Fuente: Elaboración propia.



Figura E111. Estructura con frecuencia menor a la de la mesa.

Fuente: Elaboración propia.



FiguraE112. Respuesta de la aceleración de una estructura con menor frecuencia que la de la mesa.

Fuente: Elaboración propia.

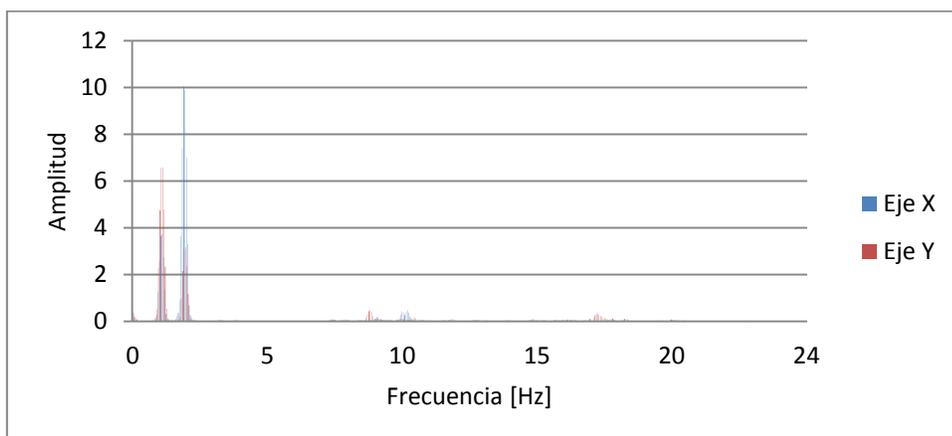


Figura E113. Frecuencia de una estructura con menor frecuencia que la de la mesa.

Fuente: Elaboración propia.

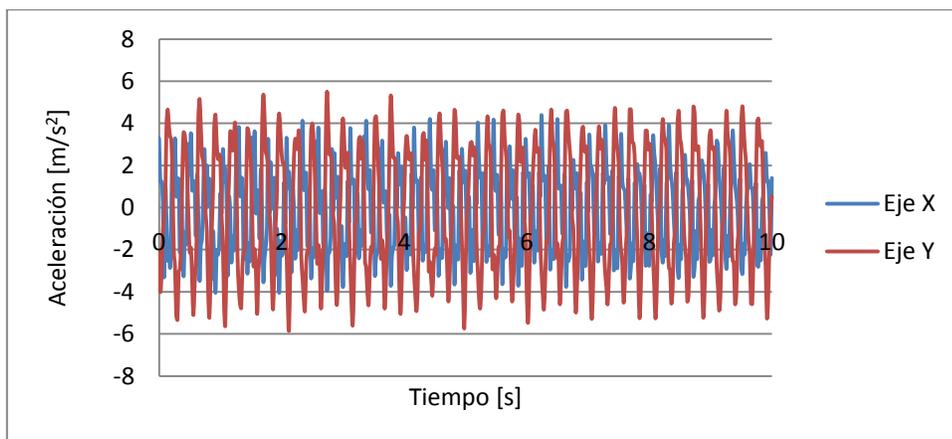


Figura E114. Respuesta de la aceleración de una estructura con menor frecuencia que la de la mesa, sometida a la vibración de esta.

Fuente: Elaboración propia.

Torsión

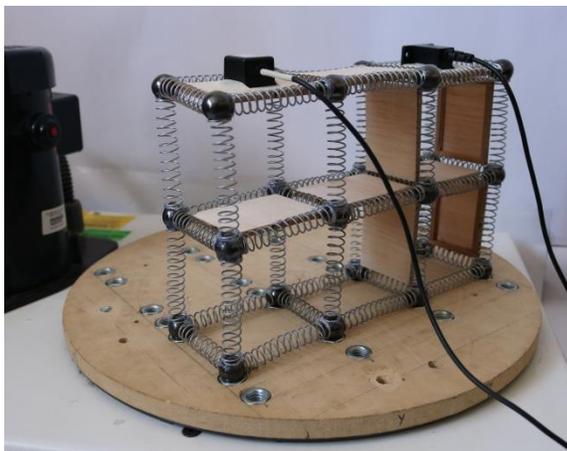


Figura E115. Estructura asimétrica.

Fuente: Elaboración propia.

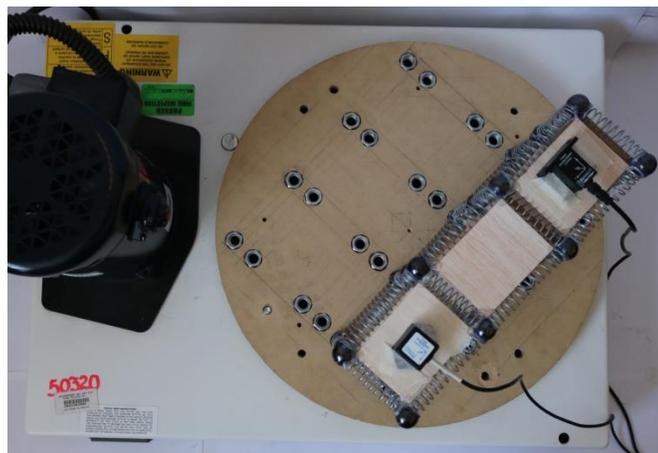


Figura E116. Estructura asimétrica, módulo izquierdo-módulo derecho.

Fuente: Elaboración propia.



Figura E117. Estructura asimétrica, módulo central-módulo derecho.

Fuente: Elaboración propia.

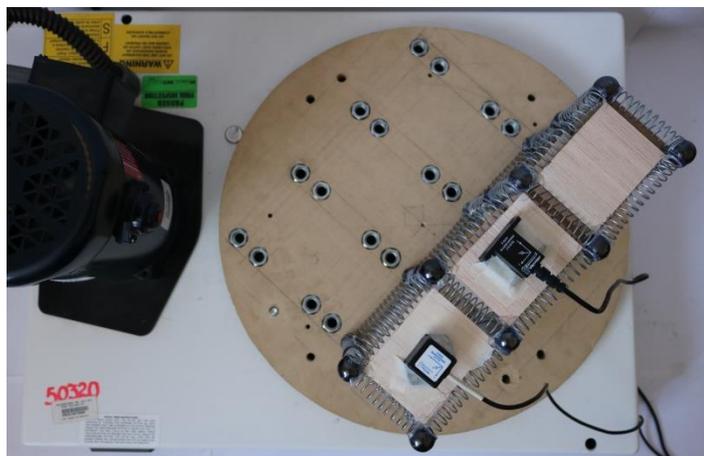


Figura E118. Estructura asimétrica, módulo izquierdo-módulo central.

Fuente: Elaboración propia.

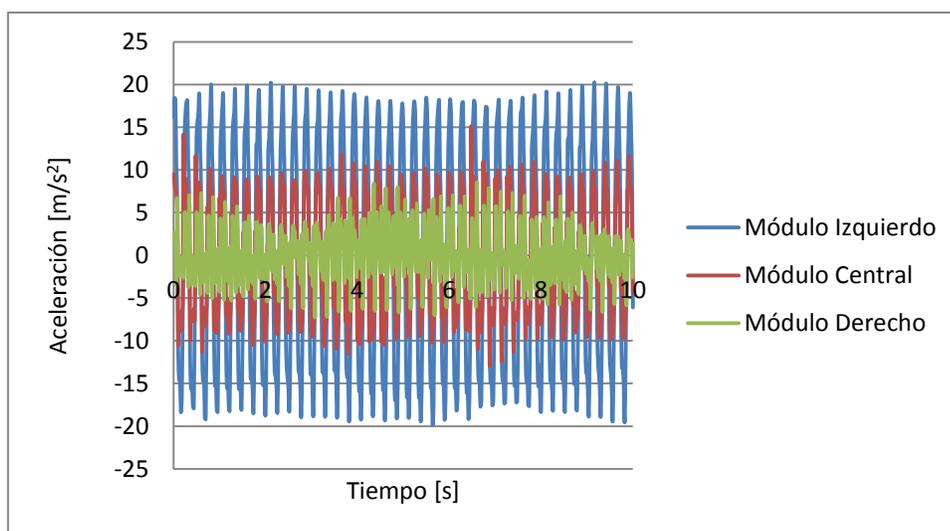


Figura E119. Respuesta de la aceleración de una estructura asimétrica sometida a la vibración de la mesa.

Fuente: Elaboración propia.

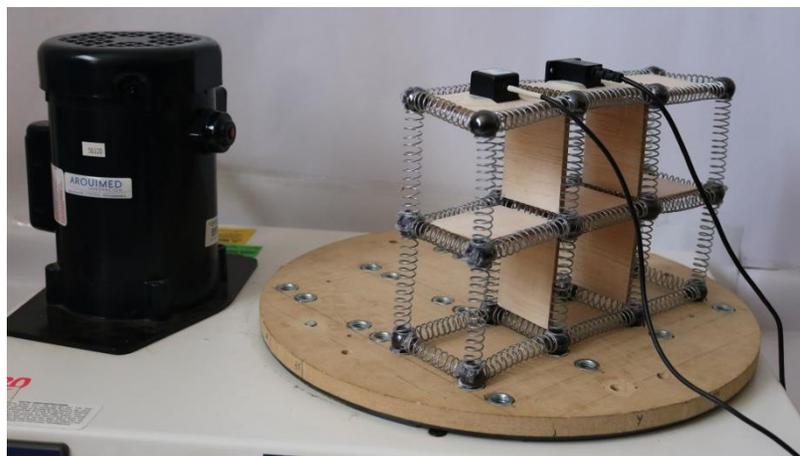


Figura E120. Estructura simétrica.

Fuente: Elaboración propia.

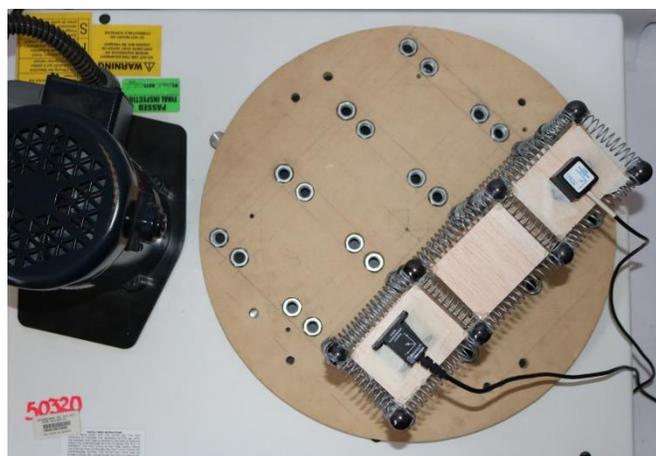


Figura E121. Estructura simétrica, módulo izquierdo-módulo derecho.

Fuente: Elaboración propia.

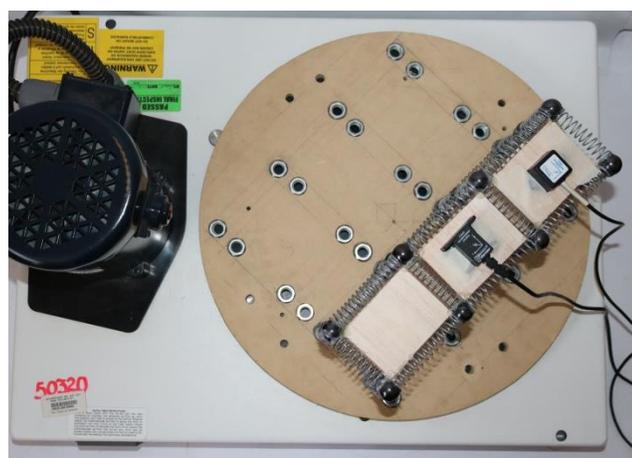


Figura E122. Estructura simétrica, módulo central-módulo derecho.

Fuente: Elaboración propia.

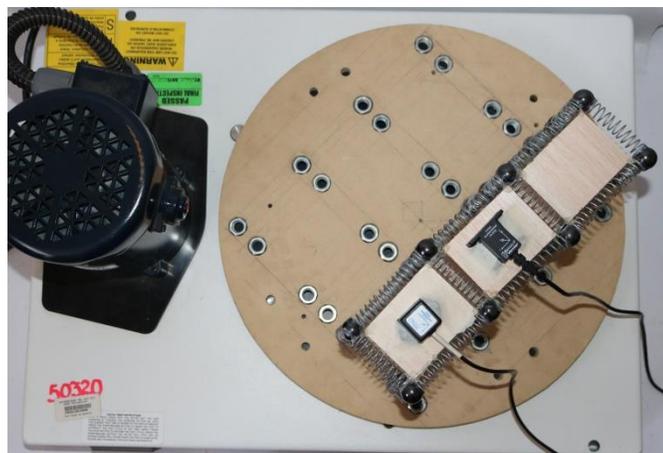


Figura E123. Estructura simétrica, módulo izquierdo-módulo central.

Fuente: Elaboración propia.

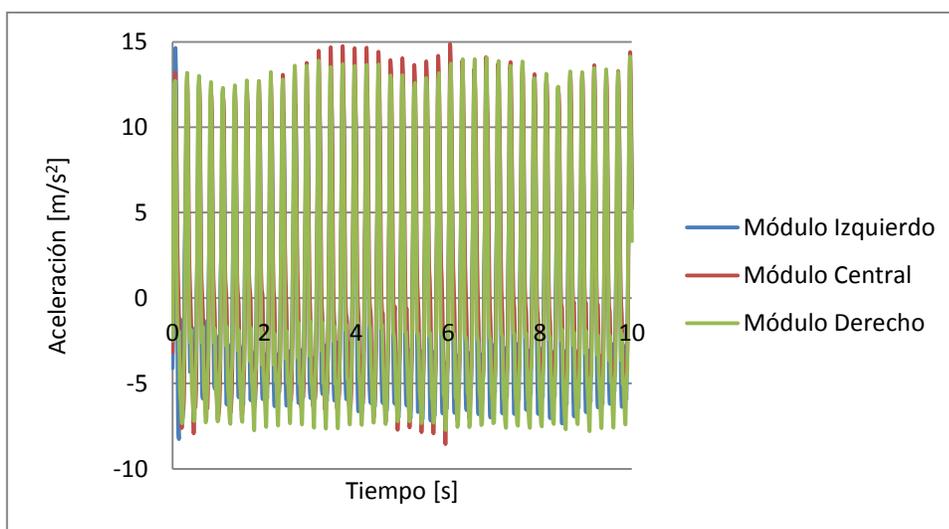


Figura E124. Respuesta de la aceleración de una estructura simétrica sometida a la vibración de la mesa.

Fuente: Elaboración propia.