



**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**UAC**

TESIS

---

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL”**

---

**PRESENTADO POR:**

**APAZA SURCO LENING RAFAEL**

**CCANA CCAPATINTA BOHON VIDAL**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero  
Civil

**ASESOR:**

**DR. ING. ELIOT PEZO ZEGARRA**

**CUSCO – PERÚ**

2020-II



## Dedicatoria

Este proyecto se lo dedico a mis  
padres y hermanos por su  
incondicional apoyo.

Lening Rafael Apaza Surco

A mis padres, Elizabet y Vidal, por  
su apoyo en mi educación, y mis  
hermanos Gari y Eros por su apoyo  
a para seguir adelante.

Bohon Vidal Ccana Ccapatinta



## Agradecimientos

Agradecemos a todas personas que han influenciado sobre nosotros, brindándonos su apoyo y consejos para lograr cumplir esta etapa de formación profesional.

A nuestro asesor Dr. Ing. Eliot Pezo Zegarra, quien con toda su experiencia profesional supo guiarnos durante el desarrollo del proyecto de tesis.

Agradecemos al Ing. Lucio Eduardo Estacio Flores, a quien consideramos una persona altruista, puesto que nos ayudó a resolver algunas dudas para la elaboración del Diseño de la Mesa Sísmica



## Resumen

El presente trabajo de investigación, realiza un análisis comparativo de la eficiencia de un amortiguador de masa sintonizada lineal (AMS), colocada en el último nivel de una estructura de acero de cuatro niveles, con y sin la incorporación del Amortiguador de Masa Sintonizada. Para evaluar su influencia frente a movimientos externos (excitación de base), se tomó como valores de base para la comparación el desplazamiento y la aceleración que experimenta la estructura sin Amortiguador de Masa Sintonizada en su último nivel, siendo este nivel donde se registran los mayores desplazamientos y aceleraciones.

Para realizar los ensayos experimentales, se construyó una estructura metálica de cuatro niveles del tipo *Shear Building*, considerando las especificaciones técnicas para el material de Aceros Arequipa, el cual cuenta con una gran gama de aplicaciones en la rama de estructuras. La excitación de base de la estructura se realizó mediante una mesa vibratoria unidireccional, auto construida.

La estructura está conformada por cuatro niveles, la dirección de excitación de base se consideró en el lado lateral de menor rigidez de la estructura, la cual es más susceptible a generar mayores desplazamientos y aceleraciones. La construcción de la mesa sísmica se dio debido a que en el ámbito de la ciudad del cusco no se cuenta con laboratorios que estén implementados con una mesa vibratoria para realizar estudios en relación a excitación de base.

Las rigideces laterales más desfavorables de la estructura principal son: para el primer nivel de 20.594 N/cm y el resto de niveles de 25.330 N/cm; la masa concentrada para cada diagrama rígido, es: 5.26 kg para el primer piso, 5.11 kg para segundo y tercer piso, y 5.49 kg para el cuarto piso, siendo una masa total de 20.97 kg de la estructura principal, generando frecuencias de vibración de 3.68Hz, 10.73 Hz, 16.70 Hz y 20.72 Hz.

El Amortiguador de Masa Sintonizada es formado por los siguientes porcentajes de masa de la estructura total: 4.32%, 4.38%, 5.98% y 7.33%, y las rigideces utilizadas son: 4.65 N/cm para el primero, 4.72 N/cm para el segundo, 6.31 N/cm para el tercero y 7.61 N/cm para el cuarto. El Amortiguador de Masa Sintonizada que mejor ha sintonizado con la estructura es para la tercera masa con una frecuencia de 3.06 Hz, generando una relación de frecuencias de 0.96.

La excitación de base se realizó en la mesa unidireccional autoconstruida, que proporciona un torque de 6.6 N.m generado por un Motor de Paso Nema 34. La estructura principal fue excitada en un rango de frecuencias de 3.00Hz a 3.60Hz, con la finalidad de generar el efecto de resonancia estructural.

La toma de datos se realizó mediante sensores: de desplazamiento VL53L0X y aceleración MPU6050, disponibles en el mercado nacional, controlados mediante los softwares de ARDUINO y MATLAB.

La incorporación del Amortiguador de Masa Sintonizada, acorde a los resultados y conclusiones, en la estructura principal ha demostrado una eficiencia en la reducción de desplazamientos en el orden de 77.73%, 77.73%, 77.10% y 78.99% en relación de la estructura principal sin control llegando a experimentar un desplazamiento total lateral en el último nivel de 4.76 cm. Otra de las ventajas del Amortiguador de Masa Sintonizada sobre la estructura principal es la reducción de las aceleraciones en los diafragmas rígidos, experimentando una aceleración máxima de 17.37 m/s<sup>2</sup>; el Amortiguador de Masa Sintonizada a mostrando una



eficiencia en la reducción de las aceleraciones de 50.94%, 52.27%, 52.65% y 59.19%, proporcionando el Amortiguador de Masa Sintonizada un confort a los habitantes de la estructura principal durante eventos sísmicos.

**PALABRAS CLAVES:** AMORTIGUADOR DE MASA SINTONIZADA, EXITACIÓN DE BASE, RESONANCIA, FRECUENCIAS.



## Abstract

The present research work performs a comparative analysis of the efficiency of a linear tuned mass damper (AMS), placed in the last level of a four-level steel structure, with and without the incorporation of the Mass Damper. Tuned. To evaluate its dynamic behavior against external movements (base excitation), the displacement and acceleration experienced by the structure without Tuned Mass Damper at its last level were taken as base values for comparison, where the larger displacements and accelerations.

To carry out the experimental tests, a four-level metal structure of Shear Building type was built, considering the technical specifications for the material of Aceros Arequipa, which has a wide range of applications in the field of structures. The base excitation of the structure was carried out by means of a self-constructed unidirectional vibrating table.

The structure is made up of four levels, the base excitation direction was considered to be on the lateral side of the structure with less rigidity, which is more susceptible to generating greater displacements and accelerations. The construction of the seismic table occurred because in the area of the city of Cusco there are no laboratories that are implemented with a vibrating table to carry out studies in relation to base excitation.

The most unfavorable lateral stiffnesses of the main structure are: 20,594 N/cm for the first level and 25,330 N/cm for the rest of the levels; the concentrated mass for each rigid diagram are: 5.26 kg for the first floor, 5.11 kg for the second and third floors, and 5.49 kg for the fourth floor, with a total mass of 20.97 kg for the main structure, generating vibration frequencies of 3.68Hz, 10.73Hz, 16.70Hz and 20.72Hz.

The Tuned Mass Damper is formed by the following mass percentages of the total structure: 4.32%, 4.38%, 5.98% and 7.33%, and the stiffnesses used are: 4.65 N/cm for the first, 4.72 N/cm for the second, 6.31 N/cm for the third and 7.61 N/cm for the fourth. The Tuned Mass Damper that has best tuned with the structure is for the third mass with a frequency of 3.06 Hz, generating a frequency ratio of 0.96.

The base excitation was carried out in the self-built unidirectional table, which provides a torque of 6.6 Nm generated by a Nema 34 Step Motor. The main structure was excited in a frequency range of 3.00Hz to 3.60Hz, in order to generate the structural resonance effect.

Data collection was carried out using sensors: displacement VL53L0X and acceleration MPU6050, available in the national market, controlled by ARDUINO and MATLAB software.

The incorporation of the Tuned Mass Damper in the main structure has shown an efficiency in the reduction of displacements in the order of 82.52%, 83.13%, 85.41% and 85.41% in relation to the main structure without control, reaching a total lateral displacement. at the last level of 6.58 cm. Another advantage of the Tuned Mass Damper over the main structure is the reduction of accelerations in the rigid diaphragms, experiencing a maximum acceleration of 20.20 m/s<sup>2</sup>; the Tuned Mass Damper has shown an efficiency in the reduction of accelerations of 44.06%, 47.41%, 58.33% and 55.89%, providing the Tuned Mass Damper with comfort to the inhabitants of the main structure during seismic events.

**KEY WORDS:** TUNED MASS DAMPER, BASE EXITATION, RESONANCE, FREQUENCIES.



## Introducción

A lo largo de los años el diseño sismorresistente de estructuras ha estado basado en una combinación de resistencia y ductilidad. El diseño por resistencia es el más utilizado para la elaboración de proyectos, en este tipo de diseño, los elementos que forman la estructura son los encargados de resistir las cargas tanto gravitacionales como laterales que experimenta la estructura. El diseño por ductilidad permite a la estructura alcanzar deformaciones en el rango plástico para prevenir fallas estructurales, mientras que se acepte un determinado nivel de daño estructural. (Oviedo Sarmiento, 2008)

Así mismo, no es razonable esperar que una estructura tradicional responda elásticamente a un sismo de gran intensidad. Los ingenieros estructurales utilizan un diseño basado en la ductilidad inherente a los materiales estructurales que son utilizados en la construcción de los edificios para prevenir fallas catastróficas, aceptando un determinado nivel de daño estructural y no estructural, por otro lado, se debe asegurar la continuidad de los servicios básicos y minimizar los daños a la propiedad. Esta filosofía ha sido implementada en los códigos de diseño, ya sea en los métodos de diseño por fuerza lateral o diseño por espectro de respuesta. Con estas características la estructura es diseñada para resistir cargas sísmicas, brindando resultados razonablemente satisfactorios. (Anrango Cañarejo, 2015)

Por la ubicación geográfica de nuestro país, que está localizado en el borde occidental de Sudamérica donde se presenta el fenómeno de subducción de la Placa Oceánica de Nazca en la Placa Sudamericana, se origina sismos o terremotos, como: Sismo en Tacna (2017), Sismo en Atico Arequipa (2017), Terremoto Pisco e Ica (2007). La región del Cusco es afectada por el fenómeno de subducción en la costa peruana y la sismicidad es generada por las fallas locales presentes (Tambomachay, Pachatusan y Qoricocha) con la probabilidad de generar movimientos sísmicos de mas de 6.5 grados en la escala de Richter según el INGEMMET, según el riesgo sísmico presentado en la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente, la ciudad del Cusco esta considera dentro de la Zona 2, con una aceleración máxima de 0.25g. (Maquerhua, Madera, Alegre, & Escobar, 2014)

Conociendo el peligro sísmico de la ciudad del Cusco se propone el uso de sistemas de control de vibraciones, dentro de los cuales se encuentran los sistemas activos, semi-activos, pasivos e híbridos. Estos sistemas abarcan: aislación sísmica y disipación de energía, entre estos podemos citar, los sistemas de amortiguadores metálicos, viscosos, sistemas sintonizados. Los sistemas de amortiguamiento de masa sintonizada también forman parte de los sistemas de disipación de



energía, que debe conseguir la sintonización de las frecuencias de la estructura con el Amortiguador de Masa Sintonizada, caso no se consiga este objetivo el Amortiguador de Masa Sintonizada podría desintonizar amplificando la energía sísmica en la estructura. Estos sistemas han sido implementados en diferentes estructuras de gran importancia alrededor del mundo, así tenemos como ejemplo el edificio Taipei 101 en Taiwan, el edificio de la Cámara Chilena de la Construcción, los cuales constan de un Amortiguador de Masa Sintonizada tipo péndulo. (López Vanegas & Méndez Riso, 2018)

La presente investigación tiene por objetivo analizar el comportamiento y la influencia de una maqueta con sistema estructural aporticado, sometido a vibración libre de 1 GDL, con y sin la utilización de amortiguadores de masa sintonizada (AMS) simulados de forma numérica y experimental con el fin de observar y determinar el grado de eficiencia en el control de vibraciones por efecto de excitación.





## Índice General

Dedicatoria .....	i
Agradecimientos.....	ii
Resumen .....	iii
Abstract .....	v
Introducción .....	vi
Índice General .....	viii
Índice de Tablas .....	xviii
Índice de Figuras .....	xx
Capítulo I: Planteamiento del Problema.....	1
1.1 Identificación del Problema.....	1
1.1.1 Descripción del Problema .....	1
1.1.2 Formulación interrogativa del problema .....	4
1.1.2.1 Formulación interrogativa del problema general .....	4
1.1.2.2 Formulación interrogativa de los problemas específicos .....	4
1.2 Justificación e Importancia de la Investigación.....	4
1.2.1 Justificación técnica .....	4
1.2.2 Justificación social .....	5
1.2.3 Justificación por viabilidad.....	5
1.2.4 Justificación por relevancia .....	6
1.3 Limitaciones de la Investigación.....	6
1.4 Objetivos .....	7
1.4.1 Objetivo general .....	7
1.4.2 Objetivos específicos.....	7
Capítulo II: Marco Teórico .....	9
2.1 Antecedentes de la Tesis o Investigación Actual .....	9



2.1.1 Antecedentes a Nivel Nacional .....	9
2.1.2 Antecedentes a nivel internacional.....	12
2.2 Aspectos Teóricos Pertinentes .....	15
2.2.1 Características físicas, mecánicas y dinámicas de estructura.....	15
2.2.1.1 Desplazamiento .....	15
2.2.1.2 Deformación.....	17
2.2.1.3 Masa y peso.....	18
2.2.1.4 Rigidez... ..	19
2.2.1.5 Deformación elástica y plástica.....	21
2.2.1.6 Ley de Hooke para resortes .....	21
2.2.1.7 Modulo Elástico o de Elasticidad .....	22
2.2.2 Principio de D'Alembert .....	23
2.2.2.1 Solución a la Ecuación Diferencial del Movimiento .....	23
2.2.2.2 Frecuencia y periodo .....	25
2.2.2.3 Amplitud del Movimiento.....	25
2.2.3 Formulación de la ecuación de movimiento para un sistema de 1GDL.....	27
2.2.3.1 Características dinámicas con amortiguamiento .....	29
2.2.4 Decremento Logarítmico.....	32
2.2.5 Tipos de excitación dinámica.....	33
2.2.6 Excitación en la base .....	34
2.2.7 Sistemas de Control estructural ante sismos .....	36
2.2.7.1 Sistemas de control pasivo .....	36
2.2.7.2 Sistemas de control Semiactivo.....	37
2.2.7.3 Sistemas de control activo.....	37
2.2.7.4 Sistemas de control Híbrido .....	39



2.2.8 Control pasivo mediante sistemas inerciales acoplados (Amortiguadores de masa sintonizada).....	39
2.2.8.1 Principio operativo de los sistemas de amortiguadores de masa sintonizada (AMS) ..	41
2.2.9 Clasificación de amortiguadores de masa sintonizada pasivos .....	42
2.2.9.1 Sistemas de Amortiguador de Masa Sintonizada traslacionales.....	43
2.2.9.2 Sistemas de Amortiguador de Masa Sintonizada pendular.....	44
2.2.10 Introduccion al Amortiguador de Masa Sintonizada.....	45
2.2.10.1 Teoría de amortiguador de masa sintonizada para sistemas de 1GDL.....	47
2.2.11 Software a utilizar en la investigación .....	51
2.2.11.1 MatLab.....	51
2.2.11.2 Maple.....	52
2.2.11.3 Arduino.....	54
2.2.12 Sensor de desplazamiento y aceleración .....	55
2.2.12.1 Sensor laser modelo VL53L0X.....	55
2.2.12.2 Sensor modelo MPU6050 .....	59
2.3 Hipótesis.....	62
2.3.1 Hipótesis general .....	62
2.3.2 Sub hipótesis.....	62
2.4 Variables e indicadores.....	63
2.4.1 Variables independientes.....	63
2.4.2 Variables dependientes.....	63
2.4.3 Cuadro de operacionalización de variables .....	64
Capitulo III: Metodología.....	65
3.1 Metodología de la Tesis .....	65
3.1.1 Tipo de investigación .....	65
3.1.2 Nivel de investigación.....	65



3.1.3 Método de investigación .....	65
3.2 Diseño de la Investigación .....	66
3.2.1 Diseño Metodológico .....	66
3.2.2 Diseño de ingeniería.....	67
3.3 Población y muestra .....	68
3.3.1 Población.....	68
3.3.1.1 Descripción de la Población.....	68
3.3.1.2 Cuantificación de la Población.....	69
3.3.2 Muestra.....	69
3.3.2.1 Descripción de la muestra .....	69
3.3.2.2 Cuantificación de la muestra .....	70
3.3.2.3 Método de muestreo .....	70
3.3.2.4 Criterios de evaluación de muestra .....	70
3.3.3 Criterios de inclusión de la muestra .....	72
3.4 Instrumentos .....	73
3.4.1 Instrumentos Metodológicos o Instrumentos de Recolección.....	73
3.4.1.1 Formato para cálculo de inercia .....	73
3.4.1.2 Formato para cálculo de rigidez.....	73
3.4.1.3 Formato de metrado .....	74
3.4.1.4 Ley de Hooke - Formato para el cálculo de la rigidez del resorte .....	75
3.4.1.5 Formato para cálculo de los períodos estructurales, frecuencia natural.....	76
3.4.1.6 Formato para la selección del Amortiguador de Masa Sintonizada.....	77
3.4.1.7 Formato de toma de datos de desplazamiento con vibración libre .....	78
3.4.1.8 Formato para el cálculo del factor de amortiguamiento teórico.....	79
3.4.1.9 Formato para el cálculo del factor de amortiguamiento experimental.....	80
3.4.1.10 Formato para el cálculo del periodo de vibración teórico .....	81



3.4.1.11 Formato para el cálculo del periodo de vibración experimental .....	82
3.4.1.12 Formato para toma de datos de desplazamiento con vibración forzada.....	83
3.4.1.13 Formato para toma de datos de aceleración máxima experimental de la estructura ..	84
3.4.1.14 Formato para el cálculo de desplazamiento y aceleración por el método de Runge – Kutta.....	85
3.4.2 Instrumentos de Ingeniería .....	86
3.5 Procedimientos de Recolección de datos .....	89
3.5.1 Propiedades de los materiales .....	89
3.5.2 Momento de inercia.....	89
3.5.3 Rigidez estructural.....	91
3.5.4 Metrado de masa .....	92
3.5.5 Rigidez del resorte – ley de hook .....	95
3.5.6 Registro de desplazamiento en vibración libre .....	98
3.5.6.1 Registro de desplazamiento en vibración libre sin Amortiguador de Masa Sintonizada.....	100
3.5.6.2 Registro de desplazamiento en vibración libre con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.32%.....	101
3.5.6.3 Registro de desplazamiento en vibración libre con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.38%.....	102
3.5.6.4 Registro de desplazamiento en vibración libre con Amortiguador de Masa Sintonizada al 5.98%.....	103
3.5.6.5 Registro de desplazamiento en vibración libre con Amortiguador de Masa Sintonizada al 7.33%.....	104
3.5.7 Registro de desplazamiento en vibración forzada.....	105
3.5.7.1 Registro de desplazamiento para $f=3.0$ hz, sin Amortiguador de Masa Sintonizada.	108
3.5.7.2 Registro de desplazamiento para $f=3.25$ hz, sin Amortiguador de Masa Sintonizada	109
3.5.7.3 Registro de desplazamiento para $f=3.5$ hz, sin Amortiguador de Masa Sintonizada.	110



3.5.7.4 Registro de desplazamiento para $f=3.0$ hz, con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.32%.....	111
3.5.7.5 Registro de desplazamiento para $f=3.25$ hz, con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.32%.....	112
3.5.7.6 Registro de desplazamiento para $f=3.5$ hz, con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.32%.....	113
3.5.7.7 Registro de desplazamiento para $f=3.0$ hz, con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.38%.....	114
3.5.7.8 Registro de desplazamiento para $f=3.25$ hz, con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.38%.....	115
3.5.7.9 Registro de desplazamiento para $f=3.5$ hz, con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.38%.....	116
3.5.7.10 Registro de desplazamiento para $f=3.0$ hz, con Amortiguador de Masa Sintonizada al 5.98%.....	117
3.5.7.11 Registro de desplazamiento para $f=3.25$ hz, con Amortiguador de Masa Sintonizada al 5.98%.....	118
3.5.7.12 Registro de desplazamiento para $f=3.5$ hz, con Amortiguador de Masa Sintonizada al 5.98%.....	119
3.5.7.13 Registro de desplazamiento para $f=3.0$ hz, con Amortiguador de Masa Sintonizada al 7.33%.....	120
3.5.7.14 Registro de desplazamiento para $f=3.25$ hz, con Amortiguador de Masa Sintonizada al 7.33%.....	121
3.5.7.15 Registro de desplazamiento para $f=3.5$ hz, con Amortiguador de Masa Sintonizada al 7.33%.....	122
3.5.8 Registro de aceleración máxima de la estructura en vibración forzada experimental ..	123
3.5.8.1 Registro de $a_{m\acute{a}x}$ de la estructura para $f=3$ hz, sin Amortiguador de Masa Sintonizada.....	124
3.5.8.2 Registro de $a_{m\acute{a}x}$ de la estructura para $f=3.25$ hz, sin Amortiguador de Masa Sintonizada.....	125



3.5.8.3 Registro de $a_{m\acute{a}x}$ de la estructura para $f=3.5$ hz, sin Amortiguador de Masa Sintonizada.....	126
3.5.8.4 Registro de $a_{m\acute{a}x}$ de la estructura para $f=3$ hz, con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.32%.....	127
3.5.8.5 Registro de $a_{m\acute{a}x}$ de la estructura para $f=3.25$ hz, con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.32%.....	128
3.5.8.6 Registro de $a_{m\acute{a}x}$ de la estructura para $f=3.5$ hz, sin Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.32%.....	129
3.5.8.7 Registro de $a_{m\acute{a}x}$ de la estructura para $f=3$ hz, con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.38%.....	130
3.5.8.8 Registro de $a_{m\acute{a}x}$ de la estructura para $f=3.25$ hz, con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.38%.....	131
3.5.8.9 Registro de $a_{m\acute{a}x}$ de la estructura para $f=3.5$ hz, sin Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.38%.....	132
3.5.8.10 Registro de $a_{m\acute{a}x}$ de la estructura para $f=3$ hz, con Amortiguador de Masa Sintonizada al 5.98%.....	133
3.5.8.11 Registro de $a_{m\acute{a}x}$ de la estructura para $f=3.25$ hz, con Amortiguador de Masa Sintonizada al 5.98%.....	134
3.5.8.12 Registro de $a_{m\acute{a}x}$ de la estructura para $f=3.5$ hz, sin Amortiguador de Masa Sintonizada al 5.98%.....	135
3.5.8.13 Registro de $a_{m\acute{a}x}$ de la estructura para $f=3$ hz, con Amortiguador de Masa Sintonizada al 7.33%.....	136
3.5.8.14 Registro de $a_{m\acute{a}x}$ de la estructura para $f=3.25$ hz, con Amortiguador de Masa Sintonizada al 7.33%.....	137
3.5.8.15 Registro de $a_{m\acute{a}x}$ de la estructura para $f=3.5$ hz, sin Amortiguador de Masa Sintonizada al 7.33%.....	138
3.5.9 Registro de Desplazamiento por el Metodo de Runge-Kutta en Vibraci3n Libre. ....	139
3.5.9.1 Registro de desplazamientos en vibraci3n libre sin AMS.....	140



3.5.10 Registro de Desplazamiento y Aceleración por el Método de Runge-Kutta en Vibración Forzada.....	141
3.5.10.1 Registro de desplazamientos y aceleraciones en vibración forzada sin AMS a 3.00 Hz.....	142
3.5.10.2 Registro de desplazamientos y aceleraciones en vibración forzada sin AMS a 3.25 Hz.....	143
3.5.10.3 Registro de desplazamientos y aceleraciones en vibración forzada sin AMS a 3.50 Hz.....	144
3.6 Procedimientos de Análisis de Datos .....	145
3.6.1 Cálculo de momento de inercia.....	145
3.6.2 Cálculo de rigidez estructural.....	146
3.6.3 Medrado de masa .....	147
3.6.4 Cálculo de rigidez del resorte.....	150
3.6.5 Cálculo de los períodos estructurales, frecuencia natural .....	153
3.6.6 Cálculo para la selección del Amortiguador de Masa Sintonizada.....	156
3.6.7 Desplazamiento experimental en vibración libre.....	157
3.6.7.1 Desplazamiento experimental en vibración libre sin Amortiguador de Masa Sintonizada.....	158
3.6.7.2 Desplazamiento experimental en vibración libre con 4.32% de Amortiguador de Masa Sintonizada.....	158
3.6.7.3 Desplazamiento experimental en vibración libre con 4.38% de Amortiguador de Masa Sintonizada.....	159
3.6.7.4 Desplazamiento experimental en vibración libre con 5.98% de Amortiguador de Masa Sintonizada.....	159
3.6.7.5 Desplazamiento experimental en vibración libre con 7.33% de Amortiguador de Masa Sintonizada.....	160
3.6.8 Factor de amortiguamiento teórico.....	160
3.6.9 Factor de amortiguamiento experimental.....	163





3.6.9.1 Factor de amortiguamiento experimental sin Amortiguador de Masa Sintonizada...	163
3.6.9.2 Factor de amortiguamiento experimental con 4.32% de Amortiguador de Masa Sintonizada.....	164
3.6.9.3 Factor de amortiguamiento experimental con 4.38% de Amortiguador de Masa Sintonizada.....	165
3.6.9.4 Factor de amortiguamiento experimental con 5.98% de Amortiguador de Masa Sintonizada.....	166
3.6.9.5 Factor de amortiguamiento experimental con 7.33% de Amortiguador de Masa Sintonizada.....	167
3.6.10 Periodo de vibración teórico.....	169
3.6.11 Periodo de vibración experimental.....	171
3.6.11.1 Periodo de vibración experimental sin Amortiguador de Masa Sintonizada.....	171
3.6.11.2 Periodo de vibración experimental con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.32%.....	171
3.6.11.3 Periodo de vibración experimental con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.38%.....	172
3.6.11.4 Periodo de vibración experimental con Amortiguador de Masa Sintonizada al 5.98%.....	173
3.6.11.5 Periodo de vibración experimental con Amortiguador de Masa Sintonizada al 7.33%.....	173
3.6.12 Desplazamiento experimental en vibración forzada.....	175
3.6.12.1 Desplazamiento experimental en vibración forzada sin Amortiguador de Masa Sintonizada.....	176
3.6.12.2 Desplazamiento experimental en vibración forzada con 4.32% de Amortiguador de Masa Sintonizada... ..	176
3.6.12.3 Desplazamiento experimental en vibración forzada con 4.38% de Amortiguador de Masa Sintonizada... ..	177
3.6.12.4 Desplazamiento experimental en vibración forzada con 5.98% de Amortiguador de Masa Sintonizada... ..	178



3.6.12.5 Desplazamiento experimental en vibración forzada con 7.33% de Amortiguador de Masa Sintonizada...	178
3.6.13 Aceleración máxima experimental de la estructura en vibración forzada.....	179
3.6.13.1 Aceleración máxima experimental de la estructura en vibración forzada sin Amortiguador de Masa Sintonizada.....	179
3.6.13.2 Aceleración máxima experimental de la estructura en vibración forzada con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.32%.....	180
3.6.13.3 Aceleración máxima experimental de la estructura en vibración forzada con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.38%.....	180
3.6.13.4 Aceleración máxima experimental de la estructura en vibración forzada con Amortiguador de Masa Sintonizada al 5.98%.....	181
3.6.13.5 Aceleración máxima experimental de la estructura en vibración forzada con Amortiguador de Masa Sintonizada al 7.33%.....	182
3.6.14 Gráficos de Aceleración experimental de Manera Continua .....	183
3.6.14.1 Aceleración experimental a $f=3.50$ hz de manera continua sin Amortiguador de Masa Sintonizada.....	183
3.6.14.2 Aceleración experimental a $f=3.50$ hz de manera continua con amortiguador de masa sintonizada a 4.32%.....	183
3.6.14.3 Aceleración experimental a $f=3.50$ hz de manera continua con 4.38% .....	184
3.6.14.4 Aceleración experimental a $f=3.50$ hz de manera continua con 5.98%.....	184
3.6.14.5 Aceleración experimental $f=3.50$ hz de manera continua con 7.33%.....	185
3.6.15 Método de Runge-Kutta (Forma Numérica).....	185
3.6.15.1 Desplazamiento numérico en vibración libre.....	186
3.6.15.2 Desplazamiento numérico en vibración forzada sin AMS.....	186
3.6.15.3 Aceleración numérica en vibración forzada sin AMS .....	188
3.6.16 Gráficos comparativos entre resultados Numéricos y Experimentales.....	190
3.6.16.1 Comparación de Desplazamiento Numérico y Experimental en Vibración Libre sin AMS.....	190



3.6.16.2 Comparación de Desplazamientos Experimentales y Numericos a diferentes frecuencias en vibración forzada sin AMS .....	191
3.6.16.3 Comparación de aceleraciones Experimentales y Analíticas a Diferentes Frecuencias en Vibración Forzada Sin AMS .....	192
3.6.17 Gráficos comparativos entre resultados con y sin amortiguador de masa sintonizada.....	193
Capítulo IV: Resultados .....	194
4.1 Periodo de vibración.....	194
4.2 Factor de amortiguamiento.....	195
4.2.1 Comparación del factor de amortiguamiento numérico y experimental.....	195
4.3 Desplazamiento en vibración forzada .....	196
4.4 Aceleración en vibración forzada.....	197
Capítulo V: Discusión .....	198
Glosario .....	202
Nomenclatura .....	205
Conclusiones .....	207
Recomendaciones.....	212
Referencias .....	213
Anexos.....	215
Apéndices .....	250

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> .....	22
<b>Tabla 2</b> .....	60
<b>Tabla 3</b> .....	72



<b>Tabla 4</b> .....	86
<b>Tabla 5</b> .....	87
<b>Tabla 6</b> .....	89
<b>Tabla 7</b> .....	90
<b>Tabla 8</b> .....	92
<b>Tabla 9</b> .....	94
<b>Tabla 10</b> .....	97
<b>Tabla 11</b> .....	145
<b>Tabla 12</b> .....	146
<b>Tabla 13</b> .....	149
<b>Tabla 14</b> .....	151
<b>Tabla 15</b> .....	153
<b>Tabla 16</b> .....	157
<b>Tabla 17</b> .....	162
<b>Tabla 18</b> .....	168
<b>Tabla 19</b> .....	170
<b>Tabla 20</b> .....	175
<b>Tabla 21</b> .....	194
<b>Tabla 22</b> .....	194
<b>Tabla 23</b> .....	195
<b>Tabla 24</b> .....	195
<b>Tabla 25</b> .....	196
<b>Tabla 26</b> .....	196
<b>Tabla 27</b> .....	197
<b>Tabla 28</b> .....	197
<b>Tabla 29</b> .....	251



Tabla 30 ..... 251

## Índice de Figuras

Figura 1 ..... 1

Figura 2 ..... 2

Figura 3 ..... 3

Figura 4 ..... 3

Figura 5 ..... 16

Figura 6 ..... 16

Figura 7 ..... 17

Figura 8 ..... 18

Figura 9 ..... 19

Figura 10 ..... 20

Figura 11 ..... 20

Figura 12 ..... 23

Figura 13 ..... 26

Figura 14 ..... 27

Figura 15 ..... 27

Figura 16 ..... 28

Figura 17 ..... 28

Figura 18 ..... 29

Figura 19 ..... 31

Figura 20 ..... 33

Figura 21 ..... 34

Figura 22 ..... 35

Figura 23 ..... 36



<b>Figura 24</b> .....	37
<b>Figura 25</b> .....	38
<b>Figura 26</b> .....	38
<b>Figura 27</b> .....	39
<b>Figura 28</b> .....	40
<b>Figura 29</b> .....	43
<b>Figura 30</b> .....	44
<b>Figura 31</b> .....	45
<b>Figura 32</b> .....	48
<b>Figura 33</b> .....	49
<b>Figura 34</b> .....	50
<b>Figura 35</b> .....	50
<b>Figura 36</b> .....	51
<b>Figura 37</b> .....	52
<b>Figura 38</b> .....	53
<b>Figura 39</b> .....	54
<b>Figura 40</b> .....	55
<b>Figura 41</b> .....	56
<b>Figura 42</b> .....	58
<b>Figura 43</b> .....	60
<b>Figura 44</b> .....	68
<b>Figura 45</b> .....	69
<b>Figura 46</b> .....	71
<b>Figura 47</b> .....	93
<b>Figura 48</b> .....	95
<b>Figura 49</b> .....	96



<b>Figura 50</b> .....	96
<b>Figura 51</b> .....	98
<b>Figura 52</b> .....	98
<b>Figura 53</b> .....	99
<b>Figura 54</b> .....	99
<b>Figura 55</b> .....	105
<b>Figura 56</b> .....	106
<b>Figura 57</b> .....	106
<b>Figura 58</b> .....	107
<b>Figura 59</b> .....	107
<b>Figura 60</b> .....	152
<b>Figura 61</b> .....	154
<b>Figura 62</b> .....	154
<b>Figura 63</b> .....	155
<b>Figura 64</b> .....	155
<b>Figura 65</b> .....	158
<b>Figura 66</b> .....	158
<b>Figura 67</b> .....	159
<b>Figura 68</b> .....	159
<b>Figura 69</b> .....	160
<b>Figura 70</b> .....	164
<b>Figura 71</b> .....	165
<b>Figura 72</b> .....	166
<b>Figura 73</b> .....	167
<b>Figura 74</b> .....	168
<b>Figura 75</b> .....	171



<b>Figura 76</b> .....	172
<b>Figura 77</b> .....	172
<b>Figura 78</b> .....	173
<b>Figura 79</b> .....	174
<b>Figura 80</b> .....	176
<b>Figura 81</b> .....	176
<b>Figura 82</b> .....	177
<b>Figura 83</b> .....	178
<b>Figura 84</b> .....	178
<b>Figura 85</b> .....	179
<b>Figura 86</b> .....	180
<b>Figura 87</b> .....	180
<b>Figura 88</b> .....	181
<b>Figura 89</b> .....	182
<b>Figura 90</b> .....	183
<b>Figura 91</b> .....	183
<b>Figura 92</b> .....	184
<b>Figura 93</b> .....	184
<b>Figura 94</b> .....	185
<b>Figura 95</b> .....	186
<b>Figura 96</b> .....	186
<b>Figura 97</b> .....	187
<b>Figura 98</b> .....	187
<b>Figura 99</b> .....	188
<b>Figura 100</b> .....	188
<b>Figura 101</b> .....	189





<b>Figura 102</b> .....	189
<b>Figura 103</b> .....	190
<b>Figura 104</b> .....	190
<b>Figura 105</b> .....	191
<b>Figura 106</b> .....	192
<b>Figura 107</b> .....	193

## Capítulo I: Planteamiento del Problema

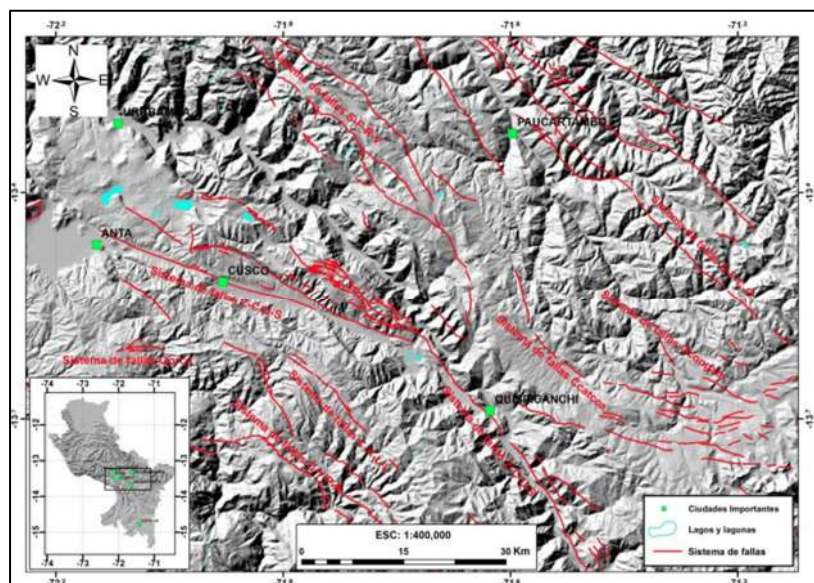
### 1.1 Identificación del Problema

#### 1.1.1 Descripción del Problema

Los terremotos ocurridos en el mundo han demostrado que las estructuras son susceptibles a sufrir daño estructural, generando pérdidas de vidas humanas debido al colapso de las estructuras, estos fenómenos, son generados por la liberación de energía acumulada en la litósfera del planeta a través de movimientos bruscos del terreno. Los terremotos se propagan en forma de ondas (*love y rayleigh*) a través de la superficie del suelo, con diferentes magnitudes de aceleración y contenido de frecuencias de vibración de las ondas, las cuales dependen del epicentro, características geológicas de la zona, tipo de falla, entre otros. El Perú es un país de significativa actividad sísmica por ser parte del cinturón de fuego del pacífico, principalmente por el fenómeno de subducción presente en toda la costa peruana entre las placas de Nazca y Sudamericana, principal causa de la sismicidad en el territorio peruano. La sismicidad de la región del Cusco se da principalmente por las fallas: Zurite, Tamboray, Qoricocha, Tambomachay, Pachatusan, Urcos, entre otros como se muestra en la **Figura 1**.

#### Figura 1

*Distribución del Sistema de Fallas Geológicas en la Región.*

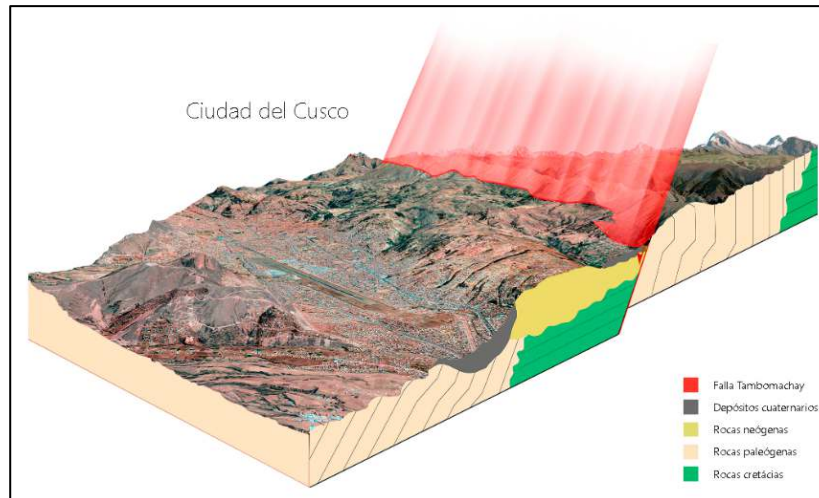


*Nota:* La figura muestra las diferentes fallas geológicas presentes, que rodean la ciudad del Cusco. Reproducida de “Monitoreo geodésico del sistema de fallas geológicas en la región de Cusco” (p. 6), por Maquerhua, Madera, Alegre, & Escobar, 2014, INGEMMET.



## Figura 2

### Falla de Tambomachay



*Nota:* Adaptado de “Machu Picchu, supremacía inca”, por C. Benavente y R. Walker, 2020, (<https://portal.andina.pe/edpespeciales/2018/machupicchu/index.html>)

El INGEMMET realizó un estudio en la cual describen 53 fallas geológicas, todas con evidencia de ruptura superficial, lo que indica que estas fallas pueden generar sismos mayores a 6.5 de magnitud en la escala de Richter a 50 Km. a la redonda (Maquerhua et al., 2014). Sismos, que; por ser superficiales, pueden ser muy destructivos, como los sismos recientes ocurridos en Indonesia (30/09/2018) que dejaron cientos de fallecidos y cuantiosos daños en la infraestructura. Vale la pena recordar además que el año 2014, se reactivó un segmento de la falla Paruro, el mismo que está descrito en el boletín antes mencionado, este sismo tuvo consecuencias fatales para la región Cusco. (Benavente Escobar, Delgado Madera, Taipe Maquerhua, Audin, & Pari Pinto, 2013)

Según el INGEMMET, la ciudad del Cusco es una de los lugares de más alto índice de actividad sísmica en el Perú, debido a que esta está rodeada por fallas geológicas, por lo tanto está expuesto a un riesgo latente, el problema está en que no se crea una conciencia sísmica, a pesar de las innumerables advertencias que se viene dando, no solo en nuestro país, actualmente en el Perú es muy poco difundido la aplicación de nuevas técnicas sísmicas, los sistemas de protección sismorresistente de control pasivo como los Amortiguadores de Masa Sintonizada (AMS) cumplen la función de aminorar en gran medida los daños en una estructura que suponen la continuidad de su funcionamiento y la preservación de la vida humana, el hecho de que la aplicación de sistemas de control sismorresistentes sea mínima en nuestro país genera una gran desventaja para el desarrollo del mismo.



### Figura 3

*Qoricancha después del terremoto en 1950*

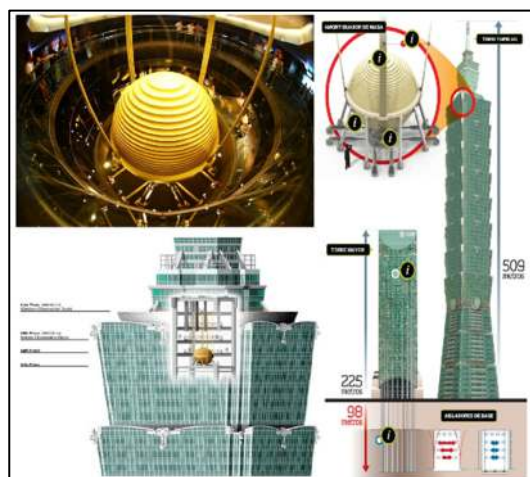


*Nota:* Apadtado de “Cusco en ruinas!!! Terremoto de 1950”, 2020  
(<https://www.skyscrapercity.com/members/koko-cusco.261928/>)

El Amortiguador de Masa Sintonizada (AMS) es una técnica sismorresistente que permite disminuir los desplazamientos ocasionados por una actividad sísmica, bajo el concepto de la resonancia entre la frecuencia natural de la estructura principal y la frecuencia natural del Amortiguador de masa Sintonizada (AMS), reduciendo claramente los daños de una estructura a comparación de una estructura sin Amortiguadores de Masa Sintonizada. Estos pueden colocarse en estructuras existentes en el último piso, además de ello, son los más económicos en cuanto a sistemas de protección sismorresistentes de control pasivo.

### Figura 4

*Amortiguador de Masa Sintonizada, Taipei 101*



*Nota:* Reproducido de “Control Pasivo de Vibraciones aplicado a la Residencial “Las Dalias” Mediante Amortiguadores de Masa Sintonizada”, por R. F. Rojas, 2016, Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga



## **1.1.2 Formulación interrogativa del problema**

### **1.1.2.1 Formulación interrogativa del problema general**

¿Cuál será el comportamiento dinámico de una maqueta con sistema estructural aporticado de cuatro niveles, sometido a vibraciones unidireccionales por efecto de movimiento de base, con y sin amortiguador de masa sintonizada (AMS) simulado de forma numérica y experimental?

### **1.1.2.2 Formulación interrogativa de los problemas específicos**

#### **Problema específico N° 01.**

¿Cuál será el periodo de vibración natural de una maqueta con sistema estructural aporticado con y sin amortiguador de masa sintonizada (AMS), sometido a vibración libre unidireccional, en forma numérica y experimental?

#### **Problema específico N° 02.**

¿Cuál será el factor de amortiguamiento de una maqueta con sistema estructural aporticado con y sin amortiguador de masa sintonizada (AMS), sometido a vibración libre unidireccional, en forma numérica y experimental?

#### **Problema específico N° 03.**

¿Cuál será la respuesta dinámica en términos de desplazamiento de una maqueta con sistema estructural aporticado con y sin amortiguador de masa sintonizada (AMS), sometido a vibración forzada unidireccional, en forma numérica y experimental?

#### **Problema específico N° 04.**

¿Cuál será la respuesta dinámica en términos de aceleración de una maqueta con sistema estructural aporticado con y sin amortiguador de masa sintonizada (AMS), sometido a vibración forzada unidireccional, en forma numérica y experimental?

## **1.2 Justificación e Importancia de la Investigación**

### **1.2.1 Justificación técnica**

El presente trabajo se encuentra en el área de estructuras, en la especialidad de control de vibraciones, con el enfoque de mejorar el comportamiento dinámico de estructuras frente a fuerzas externas tales como, sismos y vientos, haciendo uso de sistemas de protección sísmica



de control pasivo como son los Amortiguadores de Masa Sintonizada, que actúan como reductores de energía cinética impuesta a la estructura por efecto del movimiento de base o fuerza de viento, como consecuencia la reducción de los desplazamientos relativos máximos y aceleración de los diafragmas rígidos en las estructuras de edificaciones. La imposición de la energía en la estructura, se hará mediante el uso de una mesa vibratoria unidireccional, con frecuencia variable, aplicado a un modelo de maqueta experimental, el modelo utilizado es un sistema aporticado. Para obtener los desplazamientos y aceleraciones en la estructura se utiliza accesorios electrónicos.

La ciudad del Cusco está dentro de las regiones con mayor movimiento sísmico, además de presentar un aumento en su población, se han iniciado construcciones de edificios cada vez más esbeltos, generando que sean más vulnerables a cualquier movimiento sísmico, por tal razón, es necesario el entendimiento de mecanismos que reduzcan las vibraciones. Al reducir las vibraciones, se reducen desplazamientos relativos y aceleraciones en los diafragmas rígidos, garantizando un comportamiento estable de la estructura, además de garantizar que sus ocupantes no entren en pánico durante un evento sísmico.

### **1.2.2 Justificación social**

Esta investigación contribuirá al conocimiento de los estudiantes de ingeniería e ingenieros en actividad, que estén interesados o inmersos dentro del mundo de las estructuras, en los sistemas de protección sismorresistente. También la utilización de sistemas de protección sismorresistente traerá consigo seguridad, estabilidad y una mejor calidad de vida a los usuarios, ya que las edificaciones se verán menos afectadas durante los sismos que se puedan ocasionar, debido a que los desplazamientos y aceleraciones serán menores en comparación con las estructuras que no cuentan con sistema de protección sismorresistente.

### **1.2.3 Justificación por viabilidad**

La investigación se realizará con materiales y equipos accesibles de bajo costo para su adquisición. En relación a su ensamblaje, el equipo requiere conocimientos básicos de Ingeniería Mecánica y Electrónica. El software para el control de la mesa vibratoria, utilizará el Arduino 1.8.13 que es de uso libre, y para la toma de datos mediante los sensores electrónicos se hará uso del MatLab, y los que serán instalados en los computadores personales de los investigadores.



#### 1.2.4 Justificación por relevancia

Los Amortiguadores de Masa Sintonizada, han mostrado en otros países su efectividad en cuanto a la reducción de desplazamiento y aceleración de la estructura frente a movimientos sísmicos, siendo esto relevante para evitar posibles fallas estructurales y colapsos. Esto representa una reducción en cuanto a daños materiales y personales de gran importancia. Estos sistemas han sido estudiados y aplicados mostrando gran efectividad, por lo cual se hará su estudio, para su posterior recomendación e implementación de edificaciones de gran importancia y altura, ajustados a la actividad sísmica presente en la región.

### 1.3 Limitaciones de la Investigación

- a. La presente investigación se limita a una maqueta con sistema estructural aporticado de acero, sometido a vibración unidireccional, en el cual solo se realizará la verificación de la influencia del amortiguador de masa sintonizada.
- b. La investigación se limita al estudio del comportamiento dinámico del sistema estructural aporticado de acero, enfocándose a una vibración libre y forzada unidireccional, por medio de una mesa vibratoria.
- c. Las variables a manipular en la investigación son la masa y la rigidez del resorte para formar el sintonizador de masa.
- d. El sistema estructural aporticado es de 04 niveles, con columnas representadas por platinas de acero con dimensiones de 2.5cm x 0.3cm y vigas representadas por perfiles en “L” de acero con dimensiones de 2.5cm x 2.5cm x 0.3cm, con losas representadas por planchas de acero de 3 mm. de espesor, dimensiones de la columna de entrepiso del primer nivel es de 30 cm. del segundo nivel al último nivel planta típica de entrepiso de 28 cm., dimensiones de las vigas de 40 cm. en el eje X-X y de 30 cm. en el eje Y-Y, la losa con material de acero con peso específico de 7860 kg/m<sup>3</sup>.
- e. El sistema estructural es representado por un sistema de edificio de corte, donde el diafragma rígido es representado por las losas y vigas.
- f. Para el modelamiento matemático de la estructura se toma como fuente, la configuración geométrica estructural y propiedades mecánicas de los materiales que han sido utilizados en el sistema estructural aporticado (*Shear Building*). Estructura de acero con módulo de elasticidad  $E=2100000 \text{ kg/cm}^2$  y peso específico de 7860 kg/m<sup>3</sup>.
- g. La modelación matemática de la estructura esta basado en la formulación de rigideces de un edificio de corte y masa concentradas en los diafragmas rígidos



- h. La investigación del comportamiento dinámico de la estructura con y sin AMS se realiza con frecuencias próximas al primer modo de vibración
- i. El Amortiguador de Masa Sintonizada que se utiliza, es de comportamiento lineal y del tipo traslacional.
- j. El sensor para medir los desplazamientos de la estructura, es del tipo VL53L0X que tiene un ruido entre el 3 y 5% que se estima en  $\pm 5$  mm.
- k. El sensor para medir las aceleraciones de la estructura, es del tipo MPU6050 que tiene un ruido del 3%.
- l. Para la excitación de la base se toman las frecuencias de 3.00, 3.25 y 3.5 hz. Debido a que es en este rango donde se muestran los mayores desplazamientos y aceleraciones, además de que el motor usado no tiene la capacidad suficiente para alcanzar mayor amplitud a estas frecuencias.
- m. Los ensayos numéricos se limitan únicamente a la estructura aporticada sin incluir el Amortiguador de Masa Sintonizada.
- n. Los ensayos experimentales no toman en consideración ni serán evaluados los efectos torsionales que pueda sufrir la estructura.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo general

Comparar la influencia de un sintonizador de masa lineal en el comportamiento dinámico de una maqueta con sistema estructural aporticado de cuatro niveles, sometido a vibraciones unidireccionales por efecto de movimiento de base, con y sin amortiguador de masa sintonizada (AMS) simulado de forma numérica y experimental.

### 1.4.2 Objetivos específicos

#### Objetivo específico N° 01.

Determinar el periodo de vibración natural de una maqueta con sistema estructural aporticado con y sin amortiguador de masa sintonizada (AMS), sometido a vibración libre unidireccional, en forma numérica y experimental.





**Objetivo específico N° 02.**

Determinar el factor de amortiguamiento de una maqueta con sistema estructural aporticado con y sin amortiguador de masa sintonizada (AMS), sometido a vibración libre unidireccional, en forma numérica y experimental.

**Objetivo específico N° 03.**

Determinar la respuesta dinámica en términos de desplazamiento de una maqueta con sistema estructural aporticado con y sin amortiguador de masa sintonizada (AMS), sometido a vibración forzada unidireccional, en forma numérica y experimental.

**Objetivo específico N° 04.**

Determinar la respuesta dinámica en términos de aceleración de una maqueta con sistema estructural aporticado con y sin amortiguador de masa sintonizada (AMS), sometido a vibración forzada unidireccional, en forma numérica y experimental.



## Capítulo II: Marco Teórico

### 2.1 Antecedentes de la Tesis o Investigación Actual

#### 2.1.1 Antecedentes a Nivel Nacional

##### Antecedente N° 1

**Título:** “MODELAMIENTO ESTRUCTURAL PARA EL ANÁLISIS COMPARATIVO DE MODELOS A ESCALA PARA ESTRUCTURAS PROVISTAS CON AMORTIGUADORES DE MASA CONCENTRADA”

**Autores:** Abel Alexander, Aguilar Pachao y Cesar Arturo Valdivia Begazo (2015)

**Centro de Estudios:** UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

**Resumen:** El presente trabajo busca el modelamiento de estructuras con amortiguadores de masa sintonizadas, esto para entender su comportamiento en forma experimental, teniendo su fundamento en que este tipo de amortiguadores son poco usados en nuestro territorio, siendo este parte del cinturón de fuego del pacifico, por ello la presencia de movimientos sísmicos se pueden dar en cualquier momento.

Es así que en este trabajo se hace el estudio de los diferentes tipos de disipadores sísmicos haciendo énfasis en el estudio de amortiguadores de masa sintonizada, además de la búsqueda de parámetros esenciales para el funcionamiento y proceso de construcción de una mesa sísmica, así también el modelamiento de una estructura a escala, el cual deberá cumplir con características dinámicas proporcionales a una estructura a escala normal, para ello se hace uso de ángulos de aluminio las cuales presentan propiedades mecánicas necesarias para el estudio adecuado del comportamiento dinámico del pórtico. Teniendo la mesa sísmica, así como el modelo a escala, se ejecutan pruebas sísmicas con aceleraciones variables, acoplándose un acelerómetro que permite obtener datos importantes sobre el comportamiento dinámico con y sin amortiguador de masa sintonizada, en esta investigación se ha tomado la razón de masa en un 10%.

Luego de esto se lleva a su simulación por medio analítico, haciendo uso del programa ETABS, para hacer una comparación de resultados, además por medio de este programa se hace la simulación de sismos ocurridos en el pasado, sobre el modelo acoplado con amortiguadores de masa sintonizada.



**Conclusión:** Luego del trabajo realizado se llegó a comprobar la eficiencia de los amortiguadores de masa concentrada al momento de absorber y disipar la energía, producto de movimientos del terreno, tomando como parámetro de respuesta la aceleración. Se observó que se tiene una reducción de hasta el 85%, el cual, de ser instalada en la parte más alta de una estructura, proporcionara protección significativa ante un movimiento sísmico. Así también mediante el modelamiento matemático se pudo predecir el comportamiento dinámico entre 70 y 80%.

**Aporte:** Este trabajo considera que la implementación de amortiguadores de masa sintonizada, deberían ser instalados en las estructuras de gran altura, debido a que estas reducen en gran medida la aceleración producida por los sismos.

La construcción de una mesa vibratoria con reguladores de frecuencia, es de vital importancia para el estudio experimental del comportamiento dinámico de estructuras a escala.

## **Antecedente N° 2**

**Título:** “ANÁLISIS DE UN EDIFICIO ASIMÉTRICO DE 10 NIVELES DE CONCRETO ARMADO CON AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA”

**Autor:** Ray Paul, Cotacallapa Turpo (2017)

**Centro de Estudios:** UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN

**Resumen:** El tema de tesis es el diseño estructural de un edificio de concreto armado incorporando un sistema de masa sintonizada en el último nivel con el objeto de reducir la respuesta sísmica de la estructura.

Es muy importante la etapa de estructuración, es ahí en donde se define el comportamiento de la estructura si el edificio es rígido, flexible o híbrido. Primero se estructura el edificio en la cual se busca que la estructura sea la más simple posible para su idealización al realizar el análisis sísmico, se acerque más al comportamiento real de la estructura. Luego se realiza el predimensionamiento de todos los elementos estructurales y el metrado de cargas.

Se realiza el análisis sísmico, donde hacemos una “idealización” de la estructura que sea simple y que cumpla los requisitos de la norma E-030.

Al incorporar los amortiguadores de masa sintonizada en una estructura de mediana o gran altura, se modifica su respuesta dinámica, se logran menores derivas de entrepiso, menores



esfuerzos en la estructura, se logran estructuras más seguras y el costo de los amortiguadores de masa son económicos, las limitaciones son que no es recomendable usarlas en estructuras de baja altura, el tipo de amortiguador como el de la presente tesis solo actúa en un rango limitado de frecuencias (las más críticas para la estructura).

**Conclusión:** Con el uso de Amortiguador de Masa Sintonizada en la estructura se logró la reducción de las derivas, en la dirección X-X en un 37%, y en la dirección Y-Y en 26%, y a su vez hubo incrementos en los períodos de la estructura, en el primer modo un 25%, en el segundo modo un 40.5% y en el tercer modo 43.5%, el incremento del período de acuerdo al espectro da menores pseudo-aceleraciones y menor cortante basal

**Aporte:** Esta tesis en la cual se hizo el análisis dinámico de un edificio de mediana altura tuvo una eficiencia baja, sin embargo, aún queda evaluar su eficiencia en edificios de gran altura para sismos, ya que son bastante eficientes para efectos de viento según estudios realizados.

### **Antecedente N° 3**

**Título:** “CONTROL PASIVO DE VIBRACIONES APLICADO A LA RESIDENCIAL “LAS DALIAS” MEDIANTE AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA”

**Autor:** Richard Frank, Rojas Atachao (2016)

**Centro de Estudios:** UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA

**Resumen:** El trabajo presente busca dar solución a los problemas torsionales y de desplazamiento que presenta la residencial “Las Dalias”, agregando amortiguadores de masa sintonizada, para esto hacen un estudio de los diferentes sistemas de amortiguación estructural, las cuales reducen el desplazamiento, haciendo énfasis en los amortiguadores de masa sintonizada.

El trabajo se realizó por medios analíticos haciendo uso del programa ETABS, para esto se hizo la simulación completa de la estructura a estudiar, tomando en cuenta todos los factores influyentes en una estructura, las cargas vivas y muertas, además de las características mecánicas y dinámicas de los elementos con los cuales fue construido la estructura, así las formas de modos y frecuencia, factores de participación modal y porcentajes de participación de masas son calculados por el programa en mención, a este se hace ingreso del espectro de diseño de acuerdo a la norma E-030 de Reglamento Nacional de Edificaciones, con todo esto



se hace un análisis tiempo historia, haciendo uso de un registro de aceleraciones correspondiente a sismos reales.

Se hace el modelamiento del amortiguador de masa sintonizada, tomando como masa equivalente el 1%, introduciéndose así al programa, luego se realiza la simulación con datos de sismos reales

**Conclusión:** Luego de realizar el análisis se tiene que con la incorporación de masa inercial se reduce los desplazamientos hasta en un 20.67% en el caso de un análisis estático, en un 28.47% en el análisis modal espectral y en un 37.56% en el análisis tiempo historia. El amortiguador de masa sintonizada hace que los periodos de vibración se reduzcan debido a la sincronización de frecuencias, así se tiene la reducción de deformación torsional en un 21.82%.

Así también se tiene que, si la masa del Amortiguador de Masa Sintonizada es incrementada, se tendrá mejores resultados debido a que el amortiguamiento y la rigidez dependen de esta.

**Aporte:** El trabajo presente hace una simulación de un Amortiguador de Masa Sintonizada, esto haciendo énfasis para el control de deformación torsional de la estructura, además de instalar estas en lugares calculador a partir de una estructura irregular, las cuales proporcionan un control mejorado en los diferentes modos de vibración.

## 2.1.2 Antecedentes a nivel internacional

### Antecedente N° 1

**Título:** “ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DE LOS AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA EN LA RESPUESTA SÍSMICA DE EDIFICIOS ESTRUCTURALES EN BASE A MARCOS DE HORMIGÓN ARMADO”

**Autor:** Sergio Patricio, Yefi Carcamo (2011)

**Centro de Estudios:** UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE

**Resumen:** El trabajo hace el estudio de la eficiencia de los amortiguadores de masa sintonizada, en la respuesta de edificios estructurados en base a marcos de hormigón armado sometidos a aceleraciones basales, para esto se hace una búsqueda bibliográfica de todos los métodos disponibles para el control estructural ante movimientos sísmicos, dentro de los cuales se tiene el amortiguador de masa sintonizada, considerando un grado de libertad. De acuerdo a la



herramienta disponible se hace el modelado del Amortiguador de Masa Sintonizada como una columna de acero de 1m de longitud con una masa concentrada en el extremo.

En este caso para la simulación de la estructura se utiliza la norma Nch 1537 of.86, norma establecida para edificaciones en el país de Chile, aplicados a las estructuras en estudio de 4 y 10 pisos. Para luego estos ser simulados dentro del programa analítico tanto con y sin la incorporación del amortiguador de masa sintonizada, aplicando sismos registrados en el país.

**Conclusión:** En este trabajo se realizó el modelamiento de estructuras presentes en ese país, siendo estos sometidos a acelerogramas registrados en ese país, debido a la alta sismicidad de este. Así luego de las simulaciones se tiene un mejor comportamiento de los edificios en relación a la altura implementados con un amortiguador de masa sintonizada.

En el caso de estructuras flexibles, con la incorporación de un amortiguador de masa sintonizada, se tiene una reducción del 50% en cuanto a su respuesta sísmica.

**Aporte:** Se hace un estudio de la incorporación de Amortiguador de Masa Sintonizada en estructuras reales presentes en ese país, añadiendo a este acelerogramas de sismos ocurridos y registrados adecuadamente.

La simulación de Amortiguador de Masa Sintonizada se hizo según a las posibilidades del programa utilizado, siendo esto un precedente para adición de amortiguadores de masa sintonizada en los diferentes programas de simulación de estructuras.

## **Antecedente N° 2**

**Título:** “SISTEMA PENDULAR PARA EL CONTROL PASIVO DE VIBRACIONES DE ESTRUCTURAS BAJO EXITACIÓN DE BASE”

**Autores:** Eliot Pezo Zegarra (2016)

**Centro de Estudios:** Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil.

**Resumen:** La presente tesis menciona sobre la problemática en cuanto a las estructuras en la actualidad, las cuales cuentan con más niveles y son más esbeltas, esto hace que la frecuencia natural de la estructura sea próxima a las frecuencias de excitación de cargas ambientales. Debido a ello muchas de las estructuras principales en el mundo han optado por incorporar amortiguadores de masa sintonizada. Por ello se busca analizar la influencia de un sistema pendular pasivo en el control de vibraciones de estructuras. Un amortiguador de masa sintonizada está compuesto de una masa colocada en la cima de una estructura conectada a la



estructura, formando un sistema estructural con dos grados de libertad. Los valores óptimos se determinan de acuerdo a Den Hartog (1956), Brock (1946).

Un sistema de control pasivo pendular muestra alta eficiencia reduciendo los desplazamientos laterales relativos y consecuentemente los esfuerzos, tiene un factor limitante en cuanto al inicio de movimiento, el cual deberá ser capaz de pasar la fuerza de rozamiento generada por el contacto de material y la superficie de la curva. Este tipo de amortiguador de masa puede ser colocado en la parte superior simulando un péndulo o en la base de la estructura como aislador, siendo estos casos estudiados correspondientemente.

**Conclusión:** En relación al parámetro de masas, la eficiencia del amortiguador de masa sintonizada tipo pendular, aumenta según la relación de esta, pero está limitada a la sobrecarga que pueda soportar la estructura.

En cuanto a la relación de frecuencias, el valor óptimo próximo se encuentra entre 0.9 y 1 para una relación de masa de 0.01

Se tiene que los amortiguadores de masa sintonizado pendulares tiene una buena eficiencia no solo en el control de desplazamientos, sino también en el control de las aceleraciones, aumentando la seguridad de la estructura y el confort de los usuarios.

**Aporte:** Esta investigación propone el uso del sistema pendular como controlador pasivo de vibraciones en estructuras y equipamientos, principalmente en edificaciones para aminorar las vibraciones de estructuras sometidas a un movimiento de base.

### **Antecedente N° 3**

**Título:** “PROTOTIPO A ESCALA DE UN MODELO DE RESONANCIA EN EDIFICACIONES PARA EL LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA”

**Autores:** Fabián, Cárdenas Hernández y Camilo, Cepeda Isidro (2016)

**Centro de Estudios:** UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA

**Resumen:** El presente trabajo pretende demostrar los posibles efectos que generan los movimientos oscilatorios mediante un modelo físico, el cual permite conocer el movimiento y comportamiento de las estructuras cuando se presentan sismos con diferentes frecuencias, también se estudió y se propuso mecanismos que atenúen o aislen los movimientos oscilatorios evitando que la estructura entre en resonancia.



Este proyecto fue llevado a cabo con el fin de proporcionar prácticas de laboratorio en el área de física estructural, de tal forma que se puedan realizar ensayos que, mediante la exposición de diferentes frecuencias de vibración, pueda generarse el estado de resonancia en todo el sistema y por ende su debido análisis.

El trabajo describe las distintas fases del proceso que se implementaron para la elaboración del prototipo, su complejidad y el funcionamiento del mismo, abarca la importancia de cada material y elemento utilizado para su ejecución tomando como referentes prototipos ya implementados en distintas universidades nacionales e internacionales.

**Conclusión:** En base al funcionamiento del prototipo se pudo concluir que, la estructura que presenta una mayor masa necesitó de una baja frecuencia para poder entrar en resonancia, por otro lado, la edificación que tenía menor altura y menor masa requirió de una mayor velocidad en el motor para que la frecuencia de la estructura con el fin de conseguir sus movimientos resonantes, también se concluye que los sistemas aislantes son más efectivos que los sistemas disipadores de energía, ya que los disipadores de energía necesitan un mayor mantenimiento, además a largo plazo afecta negativamente a la estructura generando deformaciones residuales permanentes en ella, por otro lado los sistemas aislantes disminuyen drásticamente los desplazamientos en la estructura causados por un evento sísmico, de esta manera puede proteger y mantener a la edificación operativa durante y después de un sismo severo.

**Aporte:**

Esta investigación propone como solución ante las vibraciones en edificios altos, mediante sistemas de control pasivo como el manejo de aisladores y disipadores para reducir de forma significativa la magnitud de las vibraciones en las estructuras. Y además de ello que estas alternativas son eficaces y económicas para el mejoramiento de las respuestas dinámicas de las estructuras.

## **2.2 Aspectos Teóricos Pertinentes**

### **2.2.1 Características físicas, mecánicas y dinámicas de estructura**

#### **2.2.1.1 Desplazamiento**

Se llama desplazamiento al cambio de posición de un cuerpo resultante de los movimientos de sólido rígido y las deformaciones.



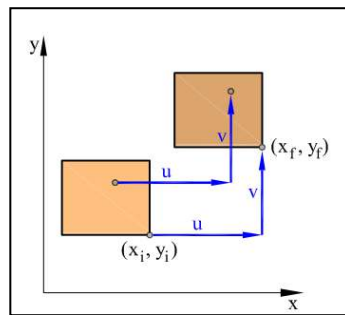


Consideremos un cuerpo bidimensional que se desplaza sin girar y sin deformarse a una nueva posición. Este movimiento del cuerpo se llama traslación de solido rígido. Las componentes del desplazamiento de un punto "P", "u" y "v", en las direcciones x e y, respectivamente, pueden expresarse mediante las correspondientes diferencias entre la posición final (x<sub>f</sub>, y<sub>f</sub>) e inicial (x<sub>i</sub>, y<sub>i</sub>) (Ruiz & Díaz, 2015):

$$\begin{aligned} u &= x_f - x_i \\ v &= y_f - y_i \end{aligned} \quad \text{Ec. (1)}$$

**Figura 5**

*Traslación de Solido Rígido*



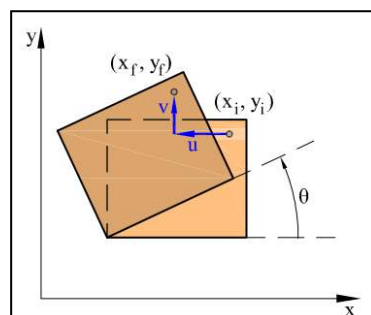
*Nota:* Reproducida de “Resistencia de Materiales” (p. 16), por M. C. Ruiz & E. B. Diaz, 2015, CIMNE.

Las componentes *u* y *v* son las mismas para cualquier parte del cuerpo, no hay cambio en el tamaño o forma del mismo, es decir, no hay deformación.

Considerando otro cuerpo bidimensional pero ahora los desplazamientos son el resultado de un giro alrededor de un eje. Este movimiento del cuerpo se llama giro de solido rígido.

**Figura 6**

*Giro de Solido Rígido*



*Nota:* Reproducida de “Resistencia de Materiales” (p. 16), por M. C. Ruiz & E. B. Diaz, 2015, CIMNE.

Las componentes  $u$  y  $v$  son diferentes para los distintos puntos del cuerpo. Cambia la orientación del cuerpo, pero no hay cambio en el tamaño o forma del cuerpo, es decir, no hay deformación. De esto se concluye:

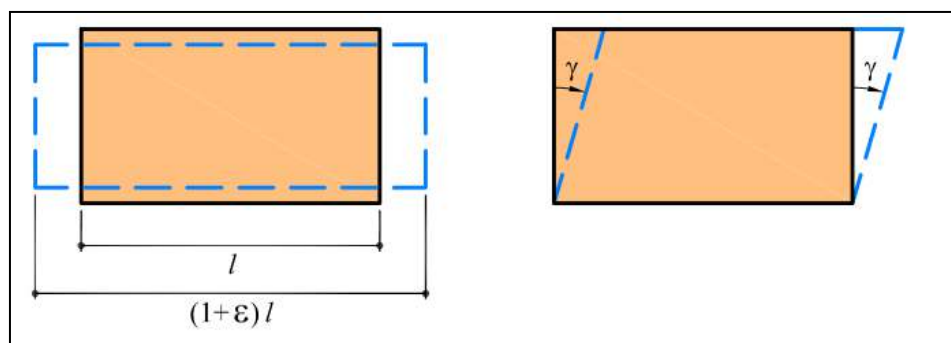
- Los movimientos de sólido rígido solo desplazan el cuerpo hasta una nueva posición.
- Cualquier movimiento de sólido puede analizarse como combinación de una traslación y un giro de sólido rígido.
- En los movimientos de sólido rígido no hay deformación porque los desplazamientos resultantes son tales que no hay variación de las distancias entre dos puntos cualquiera del cuerpo (Ruiz & Díaz, 2015).

### 2.2.1.2 Deformación

Considerando un cuerpo sometido a la acción de fuerzas aplicadas, y con vínculos suficientes para impedir el movimiento de sólido rígido, dado que no existe material alguno que sea infinitamente rígido, la acción de las fuerzas se traduce en que el cuerpo se deforma, es decir, cambia de tamaño y de forma. Suponiendo en lo que sigue que el cuerpo se comporta de forma suficientemente rígida como para que los movimientos que se producen en el proceso de deformación sean pequeños comparados con las dimensiones del cuerpo (principio de rigidez) (Ruiz & Díaz, 2015)

#### Figura 7

*Deformación Longitudinal y Deformación por Cortante.*



*Nota:* Reproducida de “Resistencia de Materiales” (p. 16), por M. C. Ruiz & E. B. Diaz, 2015, CIMNE.

### 2.2.1.3 Masa y peso

La masa ( $m$ ) es una medida de la cantidad de materia. El peso ( $w$ ) es una medida de la fuerza necesaria para impartir una aceleración dada una masa. En la tierra, al nivel del mar, la aceleración que impone la gravedad ( $g$ ) y tiene un valor aproximado de  $9.81 \frac{m}{s^2}$ . Por lo tanto, el peso  $w$  que tiene una masa  $m$  en la tierra, al nivel del mar, es igual al producto  $w = m * g$ . (Reyes, 1998)

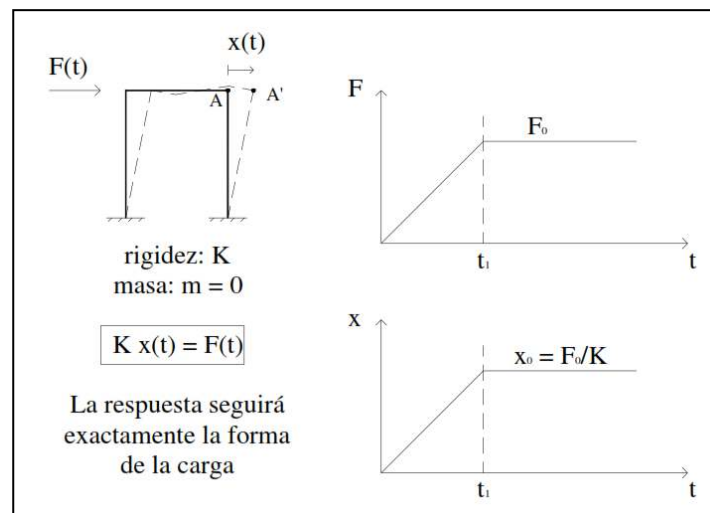
#### 2.2.1.3.1 Importancia de la masa en el problema dinámico

La respuesta dinámica de una estructura varía directamente proporcional a la masa que vibra con ella para una misma función de carga. Una estructura sin masa y una con masa responden de la siguiente manera:

Estructura sin masa = sin inercia

#### Figura 8

*Comportamiento sin Inercia*

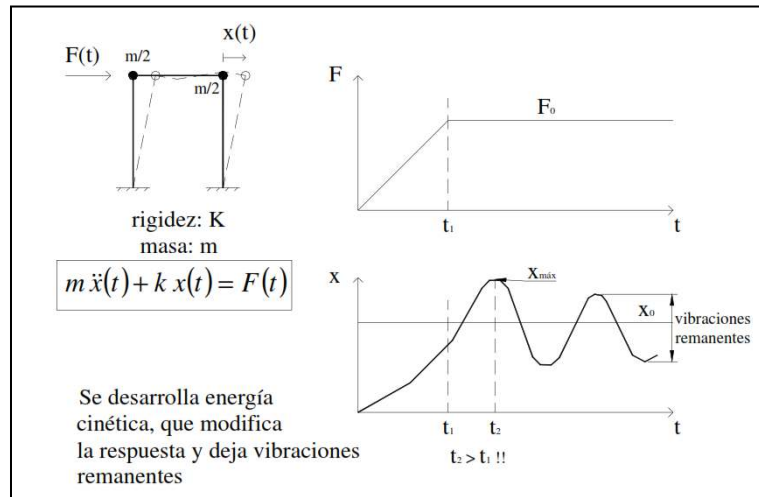


*Nota:* Reproducida de “Análisis de Estructuras Bajo Acciones Dinámicas” (p. 2-4), por A. M. Cassano, 2009, edUTecNe.

Estructura con masa = con inercia

**Figura 9**

*Comportamiento con Inercia*



*Nota:* Reproducida de “Análisis de Estructuras Bajo Acciones Dinámicas” (p. 2-4), por A. M. Cassano, 2009, edUTecNe.

### 2.2.1.4 Rigidez

Todo cuerpo elástico que está sometido a fuerzas externas, ya sean estáticas o dinámicas, sufre una deformación. La rigidez se define como la relación entre estas fuerzas externas y las deformaciones que ellas inducen en el cuerpo.

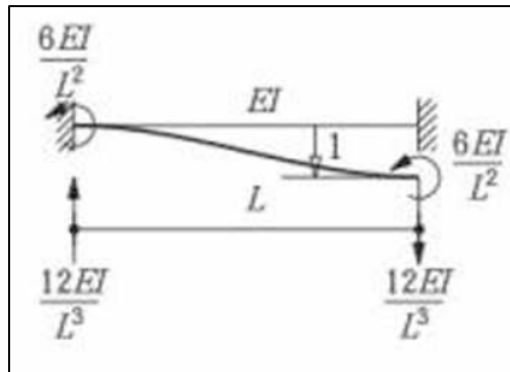
La rigidez puede también definirse como la fuerza que debe aplicarse al sistema para obtener una deformación unitaria en la misma dirección y sentido de carga, la relación entre las fuerzas y los desplazamientos usualmente se denomina por la letra  $K$ .

#### 2.2.1.4.1 Cálculo de coeficientes de rigidez lateral para un elemento a flexión.

Para obtener la expresión matemática que representa la rigidez lateral de un elemento sometido a flexión únicamente, es posible determinar a partir de la ecuación de la elástica generada por la deflexión para un elemento de marco (uniforme) prismático y elástico lineal. De la figura 11 se observa que la rigidez lateral es directamente proporcional al módulo de elasticidad del material y al segundo momento de área de la sección (Momento de inercia).

**Figura 10**

*Rigidez Lateral para Elementos Empotrados*



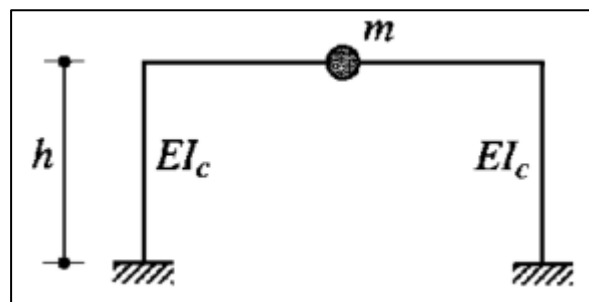
*Nota:* Adaptada de “Dinámica de Estructuras” (p. 33), por A. K. Chopra, 2014, Pearson Educación.

Su aplicación y cálculo para la estructura de la investigación se aplicada de la siguiente manera:

$$K_{col} = \frac{12EI}{h^3} \quad \text{Ec. (2)}$$

**Figura 11**

*Esquemmatización de un Pórtico con Apoyos Empotrados*



*Nota:* Adaptada de “Modelamiento Estructural para el Analisis Comparativo de Modelos a Escala para Estructuras Provistas con Amortiguadores de Masa Concentrada”, por A. A. Aguilar & C. A. Valdivia, 2015, Universidad Católica de Santa María.

Cuando el pórtico está unido por un diafragma rígido, la rigidez equivalente del entrepiso es la suma de las rigideces laterales de todas las columnas para una adeterminada dirección, esto debido a que el diafragma rigido impone desplazamientos laterales de la misma magnitud en todas las columnas conectadas al diafragma rígido lo que simula un comportamiento de resortes



en paralelo. Para que la Ec. (2) sea aplicable, las condiciones de frontera de las columnas deben ser, empotradas en los dos extremos y liberada del grado de libertad en dirección de la fuerza perpendicular que genera la flexión; la rigidez lateral de las columnas que representa a la Ec. (2) es utilizada para definir el comportamiento de una edificación de corte Así la rigidez de entrepiso es:

$$K = \sum_{columnas} \frac{12EI_c}{h^3} \quad \text{Ec. (3)}$$

### 2.2.1.5 Deformación elástica y plástica

Cuando un elemento estructural se somete a una fuerza de tensión uniaxial, se produce una deformación del material. Si el material vuelve a sus dimensiones originales cuando la fuerza cesa, se dice que el material ha sufrido una *deformación elástica*. El número de deformaciones elásticas de un material es limitado debido a que los átomos del material son desplazados de su posición original, pero no hasta el extremo de que tomen nuevas posiciones fijas. Así cuando la fuerza cesa, los átomos vuelven a sus posiciones originales y el material adquiere su forma original.

Si el material es deformado hasta el punto que los átomos no pueden recuperar sus posiciones originales, se dice que ha experimentado una *deformación plástica*.

La diferencia entre cuerpos elásticos y los inelásticos, radica en que los cuerpos elásticos son los cuerpos que después de aplicarles una fuerza vuelven a su forma inicial, mientras que los inelásticos tienen su grado de elasticidad muy bajo si los deforman no vuelven a su forma original. (Medina Guzmán, 2009)

### 2.2.1.6 Ley de Hooke para resortes

En la zona de comportamiento elástico se cumple la Ley de Hooke. Robert Hooke fue el primero en enunciar esta relación con su invento de un volante de resorte para un reloj, en términos generales, encontró que una pieza que actúa sobre un resorte produce alargamiento o elongación que es directamente proporcional a la magnitud de la fuerza.

$$F = -k\Delta l \quad \text{Ec. (4)}$$

El signo menos es porque la fuerza es en oposición a la deformación.



La constante de la proporcionalidad ( $k$ ) varía mucho de acuerdo con el tipo de material y recibe el nombre de constante del resorte o coeficiente de rigidez. (Medina Guzmán, 2009)

$$k = \frac{F}{\Delta l} \quad \text{Ec. (5)}$$

### 2.2.1.7 Módulo Elástico o de Elasticidad

La constante de proporcionalidad puede escribirse según la Ley de Hooke en su forma general como:

$$\text{Módulo Elástico} = \frac{\text{esfuerzo}}{\text{deformacion}}$$

Para el caso de Deformación por tracción o compresión longitudinal, el esfuerzo es:

$$S = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. (6)}$$

La deformación unitaria es:

$$\delta = \frac{\Delta l}{l} \quad \text{Ec. (7)}$$

El módulo elástico es conocido como el *Módulo de Young*

$$Y = \frac{F/A}{\Delta l/l} = \frac{S}{\delta} \quad \text{Ec. (8)}$$

**Tabla 1**

*Módulo de Elasticidad o Módulo de Young.*

Nombre	Módulo de elasticidad $Y$ $10^{10} \text{ N/m}^2$
Aluminio	6,8
Cobre	10,8
Oro	7,6
Hierro, fundido	7,8
Plomo	1,7
Nickel	20,6
Platino	16,7
Plata	7,4
Latón	4,6
Acero	20,0

*Nota:* Reproducido de “Física 2” (p. 2), por H. Medina, 2009, Universidad Católica del Perú.

### 2.2.2 Principio de D'Alembert

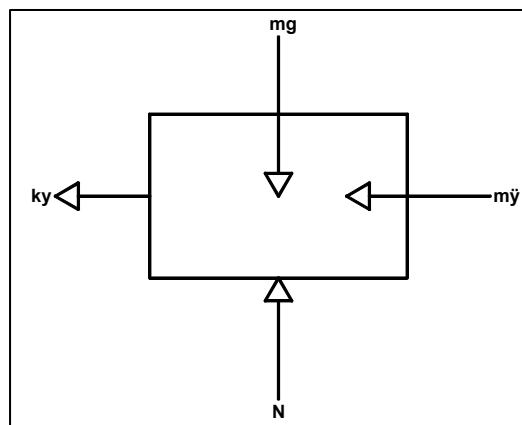
Establece que un sistema puede ser puesto en estado de *equilibrio dinámico*, agregando a las fuerzas externas una fuerza ficticia, comúnmente conocida como *fuerza de inercia*.

En la siguiente figura se muestra un DCL con inclusión de la fuerza de inercia  $m\ddot{y}$ . Esta fuerza es igual a la masa multiplicada por la aceleración que experimenta la masa, y debe estar siempre dirigida opuesta al movimiento. La aplicación del principio de D'Alembert nos permite usar ecuaciones de equilibrio para obtener las ecuaciones del movimiento. La suma de las fuerzas en la dirección  $y$  da directamente.

$$m\ddot{y} + ky = 0 \quad \text{Ec. (9)}$$

**Figura 12**

*Diagrama de Cuerpo Libre*



*Nota:* Adaptado de “Dinámica Estructural” (p. 10), por M. Paz, 1991, Editorial Reverte S. A.

#### 2.2.2.1 Solución a la Ecuación Diferencial del Movimiento

Para solucionar una ecuación diferencial como la Ec. (9), se sigue un método sistemático, que consiste primero en clasificar la ecuación diferencial. Debido a que la variable dependiente  $y$  y su derivada segunda  $\ddot{y}$  tienen el exponente de primer grado, esta ecuación se clasifica como lineal y de segundo orden. El hecho que los coeficientes de  $y$  e  $\ddot{y}$  ( $k$  y  $m$ , respectivamente) sean constantes, y que el segundo miembro (de la derecha) de la ecuación sea cero, clasifican esta ecuación como homogénea con coeficientes constantes. Para esta ecuación diferencial de segundo orden podemos proceder directamente introduciendo como posible solución:





$$y = A \cos(\omega t) \quad \text{ó} \quad y = B \sin(\omega t) \quad \text{Ec. (10)}$$

Donde  $A$  y  $B$  son constantes que dependen de las condiciones iniciales del movimiento, mientras que  $\omega$  es un valor que denota una propiedad física del sistema como se demuestra al reemplazar:

$$(-m\omega^2 + k)A \cos \omega t = 0 \quad \text{Ec. (11)}$$

Para que la ecuación se satisfaga en cualquier instante de tiempo, el factor entre paréntesis debe ser igual a cero, o sea:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \text{Ec. (12)}$$

La cual se conoce como la *frecuencia natural* del sistema.

Siendo  $y = A \cos \omega t$  y  $y = B \sin \omega t$  soluciones de la ecuación  $m\ddot{y} + ky = 0$  y que esta ecuación es lineal, la superposición de estas dos soluciones, indicadas por la ecuación  $y = A \cos \omega t + B \sin \omega t$ , también es una solución. Mas aun, teniendo esta ecuación dos constantes de integración,  $A$  y  $B$ , es de hecho la solución general para esta ecuación de segundo orden.

La expresión de velocidad  $\dot{y}$  se encuentra diferenciado con respecto al tiempo, o sea:

$$\dot{y} = -A\omega \sin \omega t + B\omega \cos \omega t \quad \text{Ec. (13)}$$

Luego se determina las constantes de integración  $A$  y  $B$ . Estas son determinadas por valores conocidos del movimiento del sistema que casi invariablemente son el desplazamiento  $y_0$  y la velocidad  $v_0$  al iniciarse el movimiento, para el instante  $t=0$ .

Estas dos condiciones se conocen como *condiciones iniciales* y el problema de resolver la ecuación diferencial para sus condiciones iniciales se conoce como *problema de valor inicial*

Después de sustituir  $t=0$ ,  $y=y_0$ , e  $\dot{y}=v_0$  se obtiene:

$$y_0 = A$$

$$v_0 = B\omega$$

Finalmente, la aplicación de  $A$  y  $B$  se tiene:

$$y = y_0 \cos \omega t + \frac{v_0}{\omega} \sin \omega t \quad \text{Ec. (14)}$$



Que es la expresión del desplazamiento y del oscilador simple en función de la variable tiempo, ( $t$ ). Por lo tanto, se consigue describir el movimiento del oscilador simple sin amortiguación que modela estructuras con un grado de libertad.

### 2.2.2.2 Frecuencia y periodo

De la Ec. (14) se ve que el movimiento descrito en esta ecuación es armónico y por lo tanto periódico; por lo tanto, puede ser expresado por una función seno o coseno de la misma frecuencia ( $\omega$ ). El periodo puede ser fácilmente calculado ya que las funciones seno y coseno tienen un periodo de  $2\pi$ . El periodo ( $T$ ) del movimiento está determinado por

$$\omega T = 2\pi \text{ ó } T = 2\pi / \omega \quad \text{Ec. (15)}$$

Habitualmente, el periodo se expresa en segundos por ciclo o simplemente en segundos, entendiéndose tácitamente que se trata de segundos *por segundo*. El valor recíproco del periodo es la *frecuencia natural*, ( $f$ ). Obteniéndose.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad \text{Ec. (16)}$$

La frecuencia natural ( $f$ ) se expresa generalmente en hercios o ciclos por segundo (cps). Debido a que la cantidad ( $\omega$ ) solo difiere de la frecuencia natural ( $f$ ) en el factor constante  $2\pi$ , también algunas veces se la denomina frecuencia natural. Para distinguir entre estas dos expresiones de la frecuencia natural, se puede llamar a ( $\omega$ ) frecuencia circular o angular. A menudo estas dos cantidades se distinguen por el contexto o por las unidades. La frecuencia natural ( $f$ ) se expresa en (cps), como se indica, mientras que la frecuencia circular ( $\omega$ ) se da en radianes por segundo ( $rad/s$ )

### 2.2.2.3 Amplitud del Movimiento

Examinando la ecuación Ec. (14), que describe el movimiento vibratorio del oscilador simple sin amortiguación. Una simple transformación trigonométrica muestra que podemos escribir esta ecuación en las formas equivalentes.

$$y = C \text{sen}(\omega t + \alpha) \text{ ó} \quad \text{Ec. (17)}$$

$$y = C \text{cos}(\omega t - \beta) \quad \text{Ec. (18)}$$



Donde:

$$C = \sqrt{y_0^2 + (v_0 / \omega)^2} \quad \text{Ec. (19)}$$

$$\tan \alpha = \frac{y_0}{v_0 / \omega} \quad \text{Ec. (20)}$$

$$\tan \beta = \frac{v_0 / \omega}{y_0} \quad \text{Ec. (21)}$$

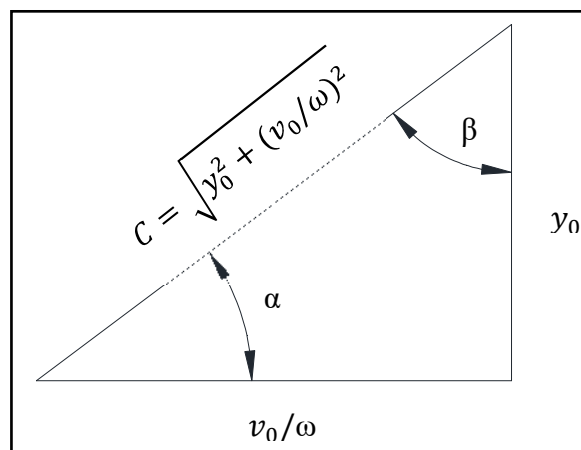
Por lo tanto:

$$y = C \left( \frac{y_0}{C} \cos \omega t + \frac{v_0 / \omega}{C} \text{sen} \omega t \right) \quad \text{Ec. (22)}$$

Con la ayuda de la siguiente figura:

**Figura 13**

*Definición de los Ángulos  $\alpha$  y  $\beta$*



*Nota:* Adaptado de “Dinámica Estructural” (p. 17), por M. Paz, 1991, Editorial Reverte S. A.

Se obtiene:

$$\text{sen} \alpha = \frac{y_0}{C} \quad \text{Ec. (23)}$$

$$\text{cos} \alpha = \frac{v_0 / \omega}{C} \quad \text{Ec. (24)}$$

Aplicando estas ecuaciones en la Ec. (22)

Se tiene:

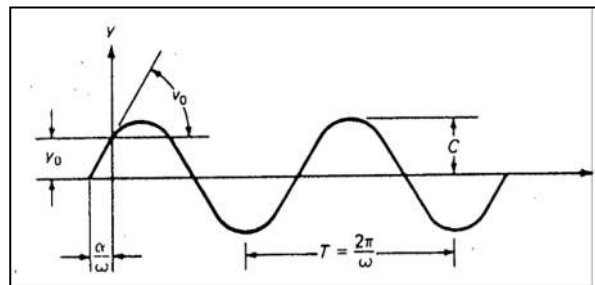
$$y = C(\text{sen}\alpha \cos \omega t + \cos \alpha \text{sen}\omega t) \quad \text{Ec. (25)}$$

La expresión dentro del paréntesis es igual a  $\text{sen}(\omega t + \alpha)$ , por lo tanto, esta ecuación es idéntica a la ecuación Ec. (17), pudiéndose verificar la solución en la ecuación Ec. (18)

El valor de "C" se conoce como *amplitud o desplazamiento máximo del movimiento* y el ángulo  $\alpha$  ( $\text{o } \beta$ ) como *ángulo de la fase*. La solución del desplazamiento del oscilador se muestra gráficamente en la siguiente figura:

**Figura 14**

*Respuesta en Vibración Libre sin Amortiguación*



*Nota:* Reproducido de "Dinámica Estructural" (p. 17), por M. Paz, 1991, Editorial Reverte S.

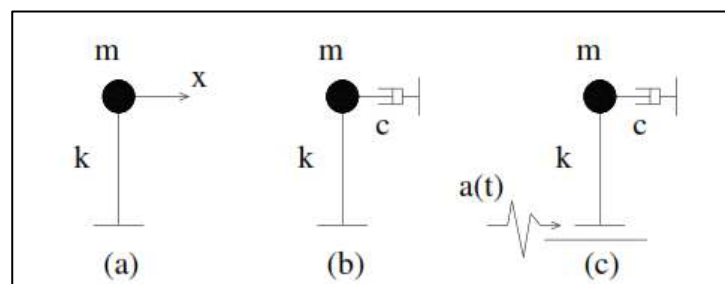
A.

### 2.2.3 Formulación de la ecuación de movimiento para un sistema de 1GDL

Tomando como referencia la siguiente figura:

**Figura 15**

*Modelos con un solo grado de libertad.*



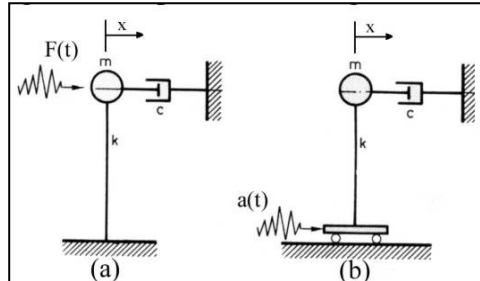
*Nota:* (a) modelo conservativo; (b) modelo con amortiguamiento; (c) modelo sísmico, Reproducida de "Análisis de Estructuras Bajo Acciones Dinámicas" (p. 2-10), por A. M.

Cassano, 2009, edUTecNe.

Se puede distinguir dos casos:

**Figura 16**

*Casos para la Ecuación de Movimiento*

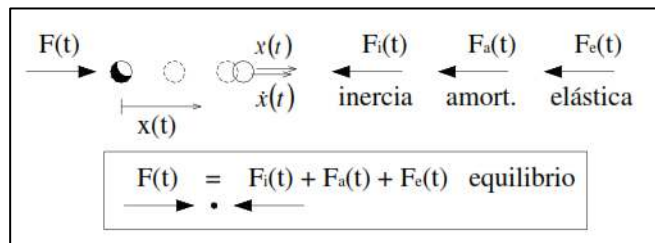


*Nota:* (a) fuerza aplicada; (b) modelo sísmico, Reproducida de “Análisis de Estructuras Bajo Acciones Dinámicas” (p. 2-13), por A. M. Cassano, 2009, edUTecNe.

Para el modelo (a), aplicando el principio de D’Alembert, tendríamos:

**Figura 17**

*Equilibrio de Fuerzas para 1 GDL*



*Nota:* Reproducida de “Análisis de Estructuras Bajo Acciones Dinámicas” (p. 2-14), por A. M. Cassano, 2009, edUTecNe.

Al aplicar una fuerza exterior  $F(t)$ , se genera aceleración, velocidad y desplazamiento para un cierto instante  $t$ ; a causa de esto se producen fuerzas:

1. De inercia

$$F_i(t) = m\ddot{x}(t) \quad \text{Ec. (26)}$$

2. De amortiguamiento

$$F_a(t) = c\dot{x}(t) \quad \text{Ec. (27)}$$

3. Elásticas

$$F_e(t) = kx(t) \quad \text{Ec. (28)}$$

Equilibrio en el instante "t"

$$F(t) - F_i(t) - F_a(t) - F_e(t) = 0 \quad \text{Ec. (29)}$$

$$F_i(t) + F_a(t) + F_e(t) = F(t) \quad \text{Ec. (30)}$$

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F \quad \text{Ec. (31)}$$

Esta última ecuación corresponde al movimiento a 1GDL con carga exterior y amortiguamiento.

Para el modelo (b) de la figura 16, el planteo es similar, solo que no tiene fuerza exterior aplicada y la fuerza de inercia se ve afectada por la aceleración total de la masa:

$$F_i = m[a + \ddot{x}] \quad \text{Ec. (32)}$$

Entonces la ecuación del movimiento queda:

$$-m[a + \ddot{x}] - c\dot{x} - kx = 0 \quad \text{Ec. (33)}$$

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = -ma \quad \text{Ec. (34)}$$

Esta última es la ecuación de movimiento para 1GDL con aceleración de apoyo (sísmico) y amortiguamiento. Un caso general sería la aceleración de apoyo y fuerza exterior:

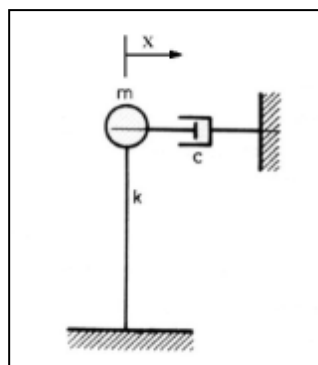
$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F - ma \quad \text{Ec. (35)}$$

### 2.2.3.1 Características dinámicas con amortiguamiento

El amortiguamiento puede definirse estudiando las vibraciones libres de la siguiente figura:

**Figura 18**

*Modelo de 1GDL con Amortiguamiento (Vibraciones libres)*



*Nota:* Reproducida de "Análisis de Estructuras Bajo Acciones Dinámicas" (p. 3-3), por A. M. Cassano, 2009, edUTecNe.



Tomando la Ec. (35):

Sin cargas ni aceleraciones de apoyo (Vibraciones libres), dividiendo la por m se obtiene:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad \text{Ec. (36)}$$

$$\ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega^2 x = 0 \quad \text{Ec. (37)}$$

Donde:

$$2\beta = \frac{c}{m} \quad \text{Ec. (38)}$$

La solución se tiene:

$$x = e^{rt} \quad \text{Ec. (39)}$$

Que proporcionaría la ecuación característica:

$$r^2 + 2\beta r + \omega^2 = 0 \quad \text{Ec. (40)}$$

Ya que la Ec. (37) es una ecuación diferencial de segundo orden, lineal, homogénea a coeficientes constantes.

Las soluciones a la Ec. (40) son:

$$r_{1,2} = -\beta \pm \sqrt{\beta^2 - \omega^2} = 0 \quad \text{Ec. (41)}$$

Según sea el radicando ( $\beta^2 - \omega^2$ ) se encuentran tres tipos de amortiguamiento:

$\beta^2 - \omega^2 > 0 \rightarrow$  SUPERCRÍTICO: la estructura NO VIBRA

$\beta^2 - \omega^2 = 0 \rightarrow$  CRÍTICO: caso limite  $\beta = \omega \rightarrow c_r = -2\omega m$

$\beta^2 - \omega^2 < 0 \rightarrow$  SUBCRÍTICO: la estructura vibra con amplitud decreciente

Este es el caso más frecuente en ingeniería civil, por lo que se enfatiza su estudio.

Para este caso, la cantidad  $\beta^2 - \omega^2$  es negativa, lo que hace q se tenga raíces complejas:

$$r_{1,2} = -\beta \pm i\omega\sqrt{1 - \xi^2} = 0 \quad \text{Ec. (42)}$$

$$\text{Con } i = \sqrt{-1}$$

Llamando frecuencia de vibración amortiguada a:

$$\omega_v = \omega\sqrt{1 - \xi^2} \quad \text{Ec. (43)}$$

Se obtiene:

$$r_{1,2} = -\beta \pm i\omega_v \quad \text{Ec. (44)}$$

$$r_{1,2} = -\xi\omega \pm i\omega_v \quad \text{Ec. (45)}$$

En las ecuaciones anteriores aparece la magnitud

$$\xi = \frac{c}{c_r} = \frac{2\beta m}{2\omega m} \quad \text{Ec. (46)}$$

Conocida como fracción de amortiguamiento crítico (en estructuras corrientes  $0.02 < \xi < 0.06$ ), también:

$$\xi = \frac{\beta}{\omega} \quad \text{ó} \quad \xi = \frac{c}{2m\omega} \quad \text{Ec. (47)}$$

Volviendo a la resolución de la, se escribe la solución general en la forma:

$$x = c_1 e^{r_1 t} + c_2 e^{r_2 t} \quad \text{Ec. (48)}$$

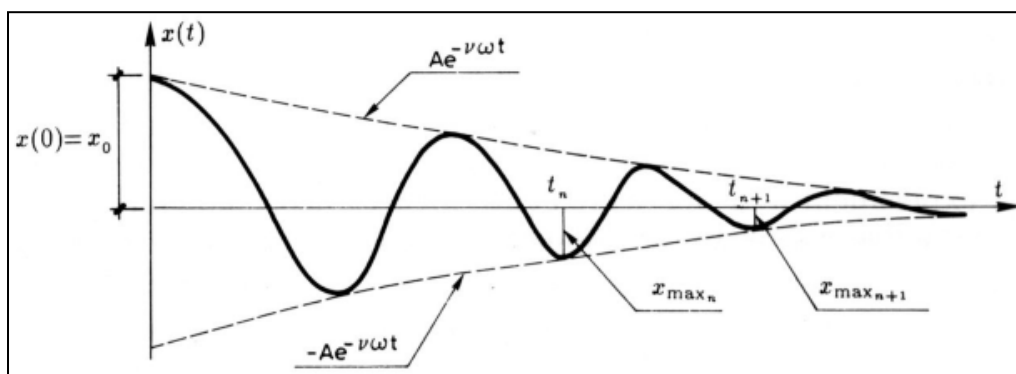
Sustituyendo  $r_1$  y  $r_2$  en la Ec. (45), se obtiene:

$$x = A e^{-\xi\omega t} \text{sen}(\omega_v t + \psi) \quad \text{Ec. (49)}$$

Las constantes  $A$  y  $\psi$  se obtienen de las condiciones iniciales.

### Figura 19

*Vibraciones Libres Amortiguadas para 1GDL*



*Nota:* Reproducida de “Análisis de Estructuras Bajo Acciones Dinámicas” (p. 3-5), por A. M. Cassano, 2009, edUTecNe.





La evaluación del amortiguamiento en una estructura es un problema esencial en la dinámica estructural.

### 2.2.4 Decremento Logarítmico

Un modo conveniente de determinar la cantidad de amortiguamiento en un sistema consiste en medir la proporción de caída de las oscilaciones libres. A mayor amortiguamiento, mayor proporción de caída.

A partir de lo definido que denominaremos decremento logarítmico al logaritmo natural de la razón de dos amplitudes sucesivas cualesquiera, cuya expresión resulta:

$$\delta = \ln \frac{x_n}{x_{n+1}} = \ln \frac{e^{-\xi \cdot \omega_0 \cdot t_n} \cdot \text{seno}(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \omega_0 \cdot t_n - \theta)}{e^{-\xi \cdot \omega_0 \cdot t_{n+1}} \cdot \text{seno}(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \omega_0 \cdot t_{n+1} - \theta)} \quad \text{Ec. (50)}$$

Y puesto que los valores de los senos son iguales cuando el tiempo se incrementa en el periodo amortiguado  $T_d$  la razón de arriba se reduce a:

$$\delta = \ln \frac{e^{-\xi \cdot \omega_0 \cdot t_n}}{e^{-\xi \cdot \omega_0 \cdot t_{n+1}}} \quad \text{Ec. (51)}$$

Donde:

$$t_{n+1} = t_n + T_d$$

Sustituyendo:

$$\delta = \ln(e^{\xi \cdot \omega_0 \cdot T_d}) = \xi \cdot \omega_0 \cdot T_d \quad \text{Ec. (52)}$$

Sustituyendo el periodo amortiguado por:

$$T_d = \frac{2\pi}{\omega_0 \cdot \sqrt{1-\xi^2}} \quad \text{Ec. (53)}$$

O tambien

$$T_d = \frac{T_n}{\sqrt{1-\xi^2}} \quad \text{Ec. (54)}$$

La expresión del decremento logarítmico queda:

$$\delta = \frac{2\pi \cdot \xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \quad \text{Ec. (55)}$$

que es una ecuación exacta.

Si despejamos  $\xi$  de esta última obtenemos la razón de amortiguamiento en función del decremento logarítmico:

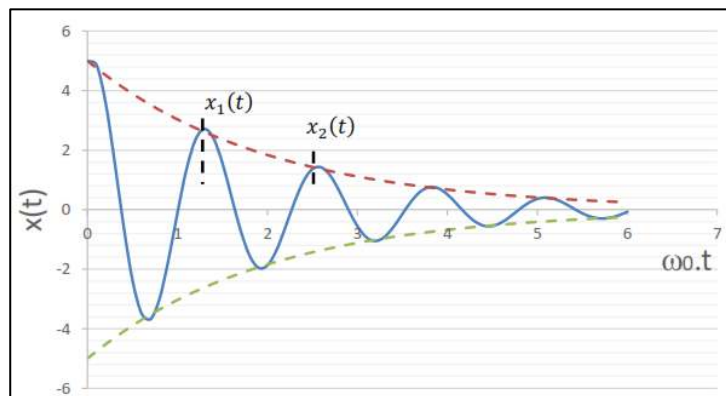
$$\xi = \frac{\delta}{\sqrt{4\pi^2 - \delta^2}} \quad \text{Ec. (56)}$$

Si medimos experimentalmente  $x(t)$  de un gráfico como la figura (), correspondiente a picos sucesivos  $x_n(t)$  y  $x_{n+1}(t)$  se puede utilizar la ecuación Ec. (57) para estimar el valor de  $\delta$ , y reemplazarlo en la ecuación Ec. (56) para calcular la razón de amortiguamiento

$$\xi = \ln \frac{x_n(t)}{x_{n+1}(t)} \quad \text{Ec. (57)}$$

### Figura 20

*Desplazamiento Caso Sub-Amortiguado (Cálculo de Amortiguamiento)*



*Nota:* Reproducido de “Vibraciones de un Grado de Libertad”, (p. 19) por L. Ringegni & A. M. del Pezzo (2018), Universidad Nacional de la Plata

### 2.2.5 Tipos de excitación dinámica

Toda estructura se ve afectada numerosas veces durante sus vidas por efectos dinámicos que van desde magnitudes despreciables, hasta efectos que pueden poner en peligro su estabilidad. Dentro de los tipos de excitación dinámica que pueden afectar una estructura, o un elemento estructural, se tiene:

*Causada por equipos mecánicos:* dentro de este grupo están los efectos causados por maquinarias y equipos que tengan componentes que roten o se desplacen periódicamente

*Causada por impacto:* el hecho de que una masa sufra una colisión con otra, induce una fuerza impulsiva aplicada sobre las dos masas, la cual induce vibraciones.

*Causada por explosiones:* una explosión produce ondas de presión en el aire, o movimientos del terreno. Ambos efectos afectan estructuras localizadas cerca del lugar de la explosión

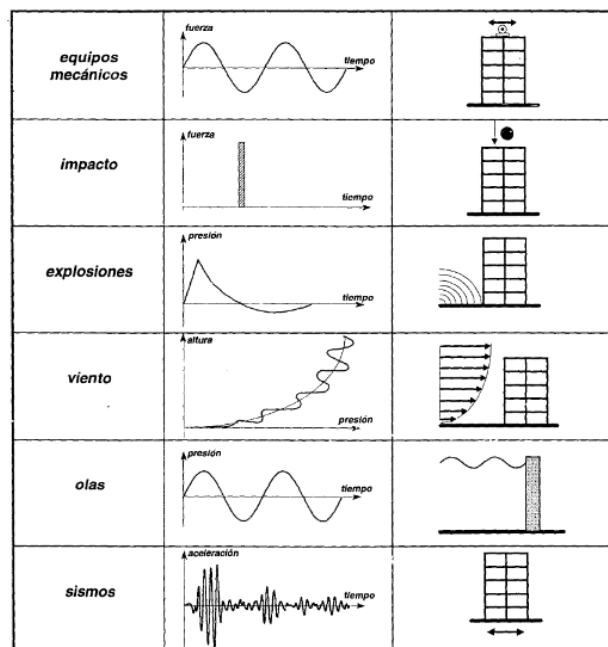
*Causada por el viento:* la intensidad de las presiones que ejercen el viento sobre las estructuras varia en el tiempo. Esto induce efectos vibratorios sobre ellas.

*Causada por olas:* en las estructuras hidráulicas las olas inducen efectos dinámicos correspondiente a las variaciones del empuje hidráulico sobre ellas.

*Causadas por sismos:* el efecto sobre las estructuras de los movimientos del terreno producidos por la ocurrencia de un sismo conduce a vibraciones importantes de la estructura.

## Figura 21

### Tipos de Excitación Dinámica



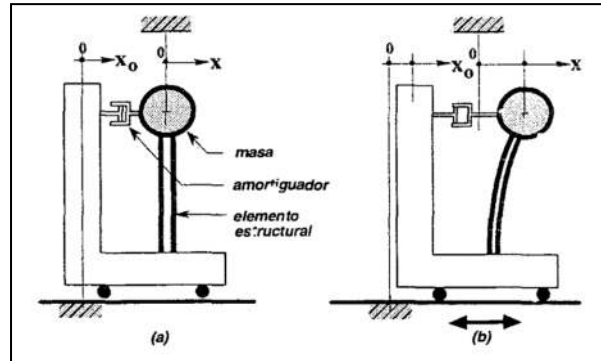
*Nota:* Reproducido de “Dinamica Estructural Aplicada al Diseño Sismico”, (p. 14) por L. E. Garcia (1998), Universidad de los Andes

### 2.2.6 Excitación en la base

En el caso en el cual la excitación del sistema proviene de un movimiento en su base es muy importante en la dinamica estructural, pues la excitación sismica induce este tipo de respuesta del sistema. En la siguiente figura se presenta la idealizacion de un sistema dinamico de un grado de libertad.

## Figura 22

### Sistema Sometido a Excitación en su Base



Nota: Reproducido de “Dinámica Estructural Aplicada al Diseño Sísmico”, (p. 35) por L. E. Garcia (1998), Universidad de los Andes

La ordenada  $x_0$  describe el movimiento de la base de la estructura y la ordenada  $x$  corresponde a la posición de la masa.

Al hacer el cuerpo libre de la masa del sistema puede verse que la fuerza inercial, está dada por:

$$F_i = -m\ddot{x} \quad \text{Ec. (58)}$$

La fuerza en el resorte, o elemento estructural, está descrita por la constante del resorte multiplicada por el desplazamiento relativo entre sus extremos.

$$F_r = k(x - x_0) \quad \text{Ec. (59)}$$

De igual manera la fuerza ejercida por el amortiguador, se determina por medio de la constante del amortiguador multiplicada por la velocidad relativa entre sus extremos:

$$F_a = c(\dot{x} - \dot{x}_0) \quad \text{Ec. (60)}$$

Al aplicar el principio de D'Alembert se obtiene:

$$F_r + F_a - F_i = 0 \quad \text{Ec. (61)}$$

Lo cual conduce a la siguiente ecuación diferencial de equilibrio:

$$m\ddot{x} + c(\dot{x} - \dot{x}_0) + k(x - x_0) = 0 \quad \text{Ec. (62)}$$

Se define la variable ( $u$ ) para describir el desplazamiento relativo entre la masa y la base de apoyo del sistema, entonces:



$$u = x - x_0 \quad \text{Ec. (63)}$$

Que al derivarla contra el tiempo conduce a:

$$\dot{u} = \dot{x} - \dot{x}_0 \quad \text{Ec. (64)}$$

Y al derivarla nuevamente:

$$\ddot{u} = \ddot{x} - \ddot{x}_0 \quad \text{y} \quad \ddot{x} = \ddot{u} + \ddot{x}_0 \quad \text{Ec. (65)}$$

Reemplazando se obtiene la siguiente ecuación:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{x}_0 \quad \text{Ec. (66)}$$

## 2.2.7 Sistemas de Control estructural ante sismos

Los sistemas de protección sísmica de estructuras utilizados en la actualidad incluyen diseños relativamente simples hasta sistemas avanzados totalmente automatizados. Los sistemas de protección sísmica se pueden clasificar en cuatro categorías: Sistemas pasivos, sistemas semi-activos, sistemas activos y sistemas híbridos. (Nitsche, 2011)

### 2.2.7.1 Sistemas de control pasivo

Los sistemas pasivos son los dispositivos de protección sísmica más comúnmente utilizados en la actualidad. A esta categoría corresponden los sistemas de aislación sísmica de base y los disipadores de energía. Los sistemas pasivos permiten reducir la respuesta dinámica de las estructuras a través de sistemas mecánicos especialmente diseñados para disipar energía por medio de calor. (Nitsche, 2011)

### Figura 23

*Diagrama de Flujo del Mecanismo de Operación de los Sistemas de Protección*



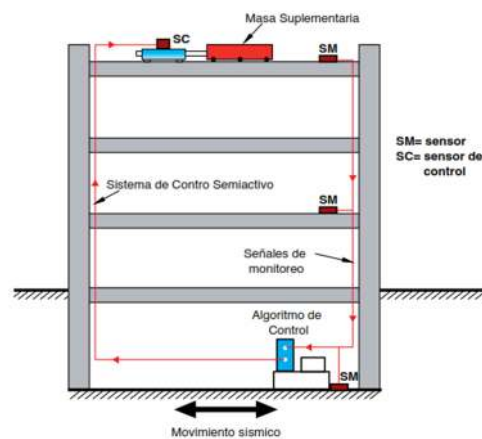
*Nota:* Reproducido de “Proteccion Sismica de Estructuras”, (p. 13) por C. Nitsche (2011), Trama Impresiones S. A.

### 2.2.7.2 Sistemas de control Semiactivo

Los sistemas semi-activos de protección sísmica, al igual que los activos, cuentan con un mecanismo de monitoreo en tiempo real de la respuesta estructural. Sin embargo, a diferencia de los sistemas activos no aplican fuerzas de control directamente sobre la estructura. Los sistemas semi-activos actúan modificando, en tiempo real, las propiedades mecánicas de los dispositivos de disipación de energía. Ejemplos de estos sistemas son los amortiguadores de masa semiactivos, los dispositivos de fricción con fricción controlable, y los disipadores con fluidos electro- o magneto-reológicos. (Nitsche, 2011)

#### Figura 24

*Esquema de Estructura con Sistema de Control Semiactivo.*



*Nota:* Reproducido de “Protección Sísmica de Estructuras”, (p. 13) por C. Nitsche (2011), Trama Impresiones S. A.

### 2.2.7.3 Sistemas de control activo

Los sistemas activos de protección sísmica son sistemas complejos que incluyen sensores de movimiento, sistemas de control y procesamiento de datos, y actuadores dinámicos.

Estos sistemas monitorean la respuesta sísmica de la estructura en tiempo real, detectando movimientos y aplicando las fuerzas necesarias para contrarrestar los efectos sísmicos. El actuar de los sistemas activos se resume de la siguiente forma: las excitaciones externas y la respuesta de la estructura son medidas mediante sensores, principalmente acelerómetros, instalados en puntos estratégicos de la estructura. Un algoritmo de control procesa, también en tiempo real, la información obtenida por los instrumentos, y determina las fuerzas necesarias que deben

aplicar los actuadores para estabilizar la estructura. Las fuerzas que estos sistemas utilizan son, generalmente, aplicadas por actuadores que actúan sobre masas, elementos de arriostre o tendones activos. Una de las principales desventajas de los sistemas activos de protección sísmica, además de su costo, es que necesitan de una fuente de alimentación externa continua para su funcionamiento durante un sismo. No obstante, constituyen la mejor alternativa de protección sísmica de estructuras, ya que permiten ir modificando la respuesta de los dispositivos en tiempo real, lo que implica un mejor comportamiento de la estructura durante el sismo. Los sistemas de protección sísmica activos han sido desarrollados en Estados Unidos y en Japón. Estos sistemas han sido aplicados principalmente en Japón, donde las restricciones de espacio de las grandes urbes, han detonado la construcción de estructuras de gran esbeltez. (Nitsche, 2011)

### Figura 25

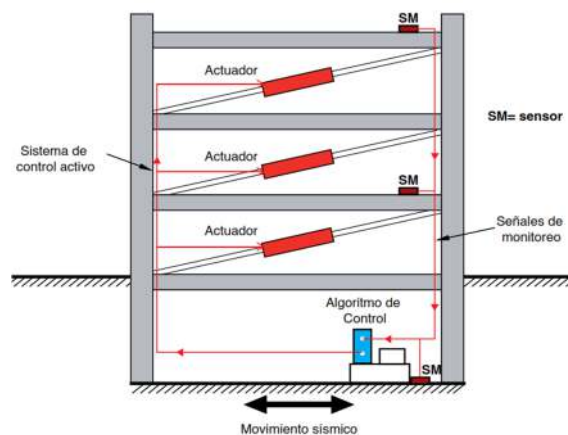
*Esquema Mecanismo de Operación de Sistemas Activos.*



*Nota:* Reproducido de “Protección Sísmica de Estructuras”, (p. 12) por C. Nitsche (2011), Trama Impresiones S. A.

### Figura 26

*Esquema de Estructura con Sistema de Control Activo.*



*Nota:* Reproducido de “Protección Sísmica de Estructuras”, (p. 13) por C. Nitsche (2011), Trama Impresiones S. A.



#### 2.2.7.4 Sistemas de control Híbrido

Resultan de la combinación de sistemas de control pasivos y activos, debido a que el control se consigue a partir de la actuación de un dispositivo pasivo los sistemas híbridos suponen mejoras con respecto a los sistemas activos, tales como:

- En caso de falla del sistema activo que lo conforma, aunque de forma menos efectiva, el sistema pasivo sigue ejerciendo funciones de control.
- Los requerimientos energéticos son inferiores.

Un ejemplo de estos sistemas es el Híbrido Mass Damper (HMD), este dispone de una masa oscilante pasiva que por sí misma reduce la respuesta del edificio y un aislamiento de base con control activo el cual mejora la eficiencia del sistema y además le brinda mayor robustez frente a cambios dinámicos que puede enfrentar la estructura. (López Vanegas & Méndez Riso, 2018)

#### Figura 27

*Amortiguador Híbrido de Masa Sintonizada*



*Nota:* Reproducido de “Modelo y Análisis de una Estructura Metálica de 20 Niveles con Sistemas de Masas Sintonizadas”, (p. 24) R. E. López & G. S. Méndez (2018), Universidad Nacional de Ingeniería.

#### 2.2.8 Control pasivo mediante sistemas inerciales acoplados (Amortiguadores de masa sintonizada)

Estos son los osciladores resonantes o Amortiguadores de Masa Sintonizada (AMS). Estos sistemas, que generalmente se montan en la parte superior de las estructuras, son activados por las fuerzas inerciales transmitidas por la estructura. Un Amortiguador de Masa Sintonizada es





un sistema constituido por una masa, elementos restitutivos, y mecanismos de disipación de energía. Este tipo de dispositivo utiliza el acoplamiento entre las frecuencias naturales de vibración de la estructura y del oscilador resonante para reducir la respuesta dinámica de la estructura. Los osciladores resonantes son generalmente utilizados en edificios de gran altura para reducir las vibraciones inducidas por el viento, sin embargo, también existen aplicaciones para mejorar el comportamiento de estructuras ante eventos sísmicos. La gran ventaja de este tipo de dispositivo es que se pueden instalar a nivel de techo de las estructuras, minimizando el impacto en la arquitectura. No obstante, la respuesta de este tipo de dispositivos depende del grado de sintonización con la estructura durante el sismo. El diseño del Amortiguador de Masa Sintonizada debe incorporar un mecanismo de ajuste de las propiedades dinámicas del Amortiguador de Masa Sintonizada. (Nitsche, 2011)

### Figura 28

*Amortiguador de Masa Sintonizada*



*Nota:* Reproducido de “Protección Sísmica de Estructuras”, (p. 21) por C. Nitsche (2011), Trama Impresiones S. A.

Estos amortiguadores pueden ser simples (un solo sistema de masa amortiguador) o múltiples. También se utilizan sistemas basados en líquidos (tanques de agua generalmente o columnas de líquidos). El amortiguador de masa sintonizado (AMS) consiste en un sistema masa/resorte/amortiguador que se coloca en la estructura principal. La frecuencia natural del dispositivo debe ser cercana a la frecuencia dominante del sistema principal, para que vibre en resonancia. Su uso requiere conocer con precisión las relaciones de frecuencia y amortiguamiento entre el dispositivo y la estructura. El sistema sólo puede ser sintonizado con una sola frecuencia de vibración del sistema estructural primario. En general se ubican en el techo de las edificaciones. Estas masas normalmente están apoyadas sobre aisladores y deslizadores. La masa se sintoniza a una frecuencia cercana a la frecuencia del modo que se



desea disminuir. Estos sistemas interfieren únicamente en un nivel de la estructura, con pesos aproximadamente del 1-2% de la masa modal del modo de interés.

### **2.2.8.1 Principio operativo de los sistemas de amortiguadores de masa sintonizada (AMS)**

Un sistema de Amortiguador de Masa Sintonizada es un dispositivo de control estructural utilizado para reducir las amplitudes de los desplazamientos, velocidades y aceleraciones que se traducen en vibraciones en construcciones y sistemas mecánicos. Con la reducción de los desplazamientos se reduce la fatiga de la estructura y con la reducción de aceleraciones el desconfort de los usuarios de la estructura. Hay varias topologías diferentes de sistemas de Amortiguadores de Masa Sintonizada. La topología más simple es el Amortiguador de Masa Sintonizada pasivo el cual contiene una masa, un resorte, y un dispositivo de energía disipativa como un amortiguador. Cuando el Amortiguador de Masa Sintonizada es sintonizado con valores cercanos a la frecuencia natural de la estructural de interés, el Amortiguador de Masa Sintonizada resonará fuera de fase con la estructura, y la energía de vibración resultante será disipada por el amortiguador al medio ambiente en forma de calor. La selección de los parámetros del sistema Amortiguador de Masa Sintonizada para hacer coincidir la frecuencia del amortiguador con la frecuencia natural de la estructura a sintonizar es el acto de “sintonización” del sistema Amortiguador de Masa Sintonizada con la estructura. Por lo tanto, al ajustar correctamente el Amortiguador de Masa Sintonizada a los modos de excitación fundamentales de la estructura principal el Amortiguador de Masa Sintonizada disipará una cantidad significativa de vibración estructural. De lo contrario el dispositivo incrementará los desplazamientos, velocidades y aceleraciones en la estructura, a este fenómeno se le conoce con “desintonizar” (Lourenco, 2011).

El diseño de un sistema Amortiguador de Masa Sintonizada es construido generalmente como un problema de optimización. La optimización es la determinación de los parámetros del sistema que maximizan el rendimiento según un criterio de rendimiento (también conocido como función objetivo). El deseo es desarrollar expresiones de forma cerrada que relacionen la relación de amortiguamiento y la relación de masa (relación de la masa Amortiguador de Masa Sintonizada a la masa de la estructura principal). Y la relación de frecuencia sintonizada (relación entre la frecuencia sintonizada y la frecuencia natural de la estructura principal). El criterio de rendimiento se selecciona en función de un nivel de respuesta deseable para la



estructura (por ejemplo, la aceleración del techo) cuando se excita. Deben darse consideraciones prácticas con respecto a la selección de la relación de masas. Para estructuras a gran escala, la masa estructural puede superar las 100,000 toneladas.

Dado que la relación de masa está generalmente dentro de fracción de la masa total de la estructura la capacidad de contener dicha masa dentro de la estructura se convierte en una preocupación práctica. Como resultado, las proporciones de masa de los ensamblajes Amortiguador de Masa Sintonizada para estructuras de edificios grandes generalmente caen por debajo de 1 %.

El desarrollo y la utilización de diferentes topologías de sistema Amortiguador de Masa Sintonizada tienen como objetivo superar las limitaciones de rendimiento inherentes de los sistemas de protección pasivos Amortiguador de Masa Sintonizada. Las limitaciones de rendimiento pueden basarse en la solidez a los cambios en la rigidez estructural, las limitaciones espaciales dentro de la estructura, o el costo y la vida útil del sistema Amortiguador de Masa Sintonizada. Las siguientes secciones de este capítulo se centran en diferentes topologías de sistemas. (Lourenco, 2011)

### **2.2.9 Clasificación de amortiguadores de masa sintonizada pasivos**

Los sistemas pasivos son caracterizados por la ausencia de una fuente externa de energía. Como resultado la estabilidad general del sistema no suele ser una preocupación. Un sistema de control pasivo Amortiguador de Masa Sintonizada es cualquier topología Amortiguador de Masa Sintonizada que no contiene ningún elemento activo, como un actuador. Como resultado estos sistemas son completamente mecánicos.

Una limitación compartida por todos los sistemas de control pasivo Amortiguador de Masa Sintonizada es su falta de robustez a las condiciones de desafinación (Setareh, 2006). Fuera de la estrecha banda de frecuencia sintonizada del Amortiguador de Masa Sintonizada, la eficacia del Amortiguador de Masa Sintonizada para reducir la vibración estructural disminuye. Incluso las pequeñas desviaciones de la frecuencia de sintonización óptima pueden deteriorar significativamente el rendimiento. Como resultado, la efectividad de un sistema de control pasivo Amortiguador de Masa Sintonizada depende de la precisión de su ajuste inicial y de si hay algún desafinador estructural posteriormente. (Roffel, Lourenco, Narasimhan, & Yarusevych, 2011)

A pesar de esta significativa, los sistemas de control pasivo Amortiguador de Masa Sintonizada se utilizan porque son sistemas relativamente económicos, que funcionan bien cuando se sintonizan correctamente. Además, la ausencia de un actuador externo o una fuente de energía significa que no hay costos operativos adicionales una vez que el sistema está instalado. Los dos tipos más comunes de control pasivo de amortiguadores de masa sintonizados son los Amortiguador de Masa Sintonizada de traslación y los Amortiguador de Masa Sintonizada Pendular. (Connor, 2003)

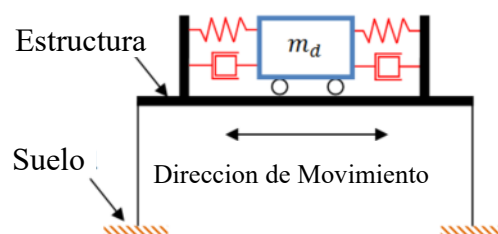
### 2.2.9.1 Sistemas de Amortiguador de Masa Sintonizada traslacionales.

Un Amortiguador de Masa Sintonizada traslacional pueden ser de sistemas unidireccionales o bidireccionales. (Connor, 2003). En los sistemas unidireccionales, el movimiento de la masa Amortiguador de Masa Sintonizada se restringe en una sola dirección, a menudo colocando la masa en un conjunto de rieles o rodamientos de rodillos. Como se muestra en la Figura 29. En sistemas bidireccionales, la masa puede moverse a lo largo de ambos ejes de coordenadas. En cualquiera de las topologías se coloca un conjunto de resortes y amortiguadores entre la masa Amortiguador de Masa Sintonizada y la estructura de soporte la cual es fijada a la estructura principal.

Los sistemas de Amortiguador de Masa Sintonizada traslacionales se han implementado en estructuras a gran escala durante más de 40 años. (Kareem et al, 2007). Ejemplos de estructuras que contienen sistemas Amortiguadores de Masa Sintonizada traslacionales incluyen la Torre del Aeropuerto Nacional de Washington, la Torre John Hancock y la Torre del Puerto de Chiba. (Lourenco, 2011)

#### Figura 29

*Esquema de un Amortiguador de Masa Sintonizada Traslacional Unidireccional.*



*Nota:* Adaptado de “Desing, Construction and Testing o fan Adaptive Pendulum Tuned Mass Damper”, (p. 8) por R. Lourenco (2011), University of Waterloo.

### 2.2.9.2 Sistemas de Amortiguador de Masa Sintonizada pendular.

Estos sistemas reemplazan el sistema de resorte y amortiguador de traslación con un péndulo, que consta de una masa sostenida por un cable que gira alrededor de un punto. Son comúnmente modelado como un péndulo simple. Para pequeñas oscilaciones angulares se comportarán de manera similar a un AMS traslacional y se puede modelar de manera idéntica con una rigidez equivalente y relación de amortiguamiento equivalente. Por lo tanto, la metodología de diseño tanto para el sistema AMS traslacional y los sistemas AMS pendular son idénticos.

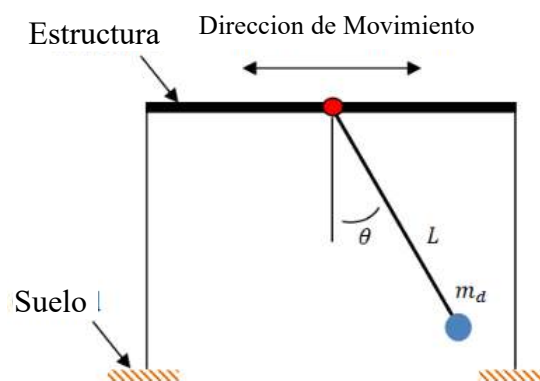
Un factor de motivación importante para usar un sistema AMS pendular sobre un AMS traslacional equivalente, es la ausencia de cojinetes para soportar la masa del AMS.

La estructura de soporte de rodamientos utilizada en el ensamblaje AMS traslacional es costosa y susceptible a desgaste durante la vida útil del sistema de AMS. Como resultado, los diseños de AMS pendular pueden ser menos costosos de fabricar y durar más. Casi el 50% de las estructuras en Japón que usan sistemas AMS utilizan Sistemas pendulare. Los ejemplos incluyen Crystal Tower en Osaka, Higashimiyama Sky Tower en Nagoya y Taipei 101 en Taipei.

Los estudios sobre el uso de los sistemas de AMS pendular generalmente se centran en la optimización del diseño de parámetros para reducir las deflexiones laterales excesivas en las estructuras. Gerges y Vickery (2003) utilizó un sistema Amortiguador de Masa Sintonizada Pendular (AMSP) de resorte de cable no lineal en un estudio de caso experimental, concluyendo que su rendimiento se acerca a los diseños del AMS lineales óptimos al tiempo que proporciona menores desplazamientos relativos para relaciones de masa más bajas.

#### Figura 30

*Esquema de un Amortiguador de Masa Sintonizada Pendular Unidireccional.*



*Nota:* Adaptado de “Desing, Construction and Testing o fan Adaptive Pendulum Tuned Mass Damper”, (p. 9) por R. Lourenco (2011), University of Waterloo.

### 2.2.10 Introduccion al Amortiguador de Masa Sintonizada

En esta sección, el concepto de amortiguador de masa sintonizado se ilustra utilizando el sistema de dos masas que se muestra en la figura (31). Aquí, el subíndice “ $d$ ” se refiere al Amortiguador de Masa Sintonizada; la estructura se idealiza como un sistema de 1GDL.

Introduciendo la siguiente notación

$$\omega^2 = \frac{k}{m} \quad \text{Ec. (67)}$$

$$c = 2\xi\omega m \quad \text{Ec. (68)}$$

$$\omega_d^2 = \frac{k_d}{m_d} \quad \text{Ec. (69)}$$

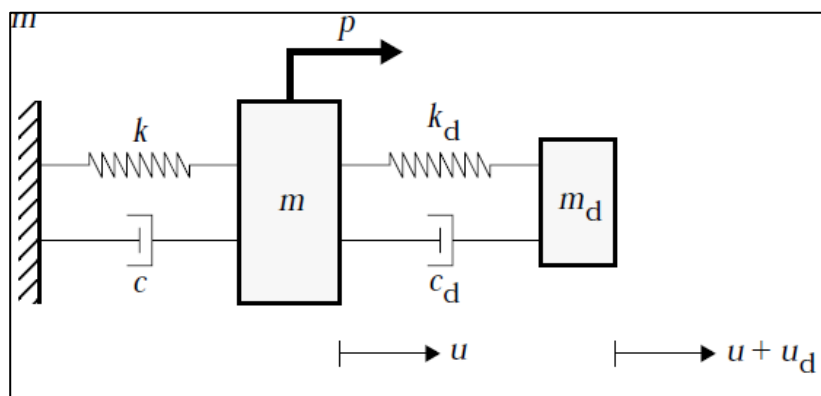
$$c_d = 2\xi_d\omega_d m_d \quad \text{Ec. (70)}$$

y definiendo  $\bar{m}$  como la relación de masa

$$\bar{m} = \frac{m_d}{m} \quad \text{Ec. (71)}$$

**Figura 31**

*Sistema Amortiguador de Masa Sintonizada de 1GDL*



*Nota:* Reproducido de “Introduction to Structural Motion Control”, (p. 260) por J. J. Connor (2003), Pearson Education.

Las ecuaciones de movimiento que gobiernan están dadas por:

$$(1 + \bar{m})\ddot{u} + 2\xi\omega\dot{u} + \omega^2 u = \frac{P}{m} - \bar{m}\ddot{u}_d \quad \text{Ec. (72)}$$



$$\ddot{u}_d + 2\xi_d \omega_d \dot{u}_d + \omega_d^2 u_d = -\ddot{u} \quad \text{Ec. (73)}$$

El propósito de agregar el amortiguador de masa es limitar el movimiento de la estructura cuando se somete a una excitación particular. El diseño de la masa amortiguador implica especificar la masa  $m_d$ , rigidez  $k_d$  y coeficiente de amortiguamiento  $c_d$ . En este ejemplo, la aproximación casi óptima para la frecuencia del amortiguador.

$$\omega_d = \omega \quad \text{Ec. (74)}$$

se utiliza para ilustrar el procedimiento de diseño. Las rigideces para esta combinación de frecuencias están relacionadas por:

$$k_d = \bar{m}k \quad \text{Ec. (75)}$$

La Ec. (74) corresponde a ajustar el amortiguamiento al período fundamental de la estructura.

Considerando una excitación periódica

$$p = \hat{p} \sin(\Omega t) \quad \text{Ec. (76)}$$

la respuesta viene dada por:

$$u = \hat{u} \sin(\Omega t + \delta_1) \quad \text{Ec. (77)}$$

$$u_d = \hat{u}_d \sin(\Omega t + \delta_1 + \delta_2) \quad \text{Ec. (78)}$$

donde  $\hat{u}$  y  $\delta$  denotan la amplitud de desplazamiento y el cambio de fase respectivamente. El escenario de carga crítica es la condición resonante  $\Omega = \omega$ . La solución para este caso tiene la siguiente forma

$$\hat{u} = \frac{\hat{p}}{k\bar{m}} \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{2\xi}{\bar{m}} + \frac{1}{2\xi_d}\right)^2}} \quad \text{Ec. (79)}$$

$$\hat{u}_d = \frac{1}{2\xi_d} \hat{u} \quad \text{Ec. (80)}$$

$$\tan \delta_1 = -\left[\frac{2\xi}{\bar{m}} + \frac{1}{2\xi_d}\right] \quad \text{Ec. (81)}$$

$$\tan \delta_2 = -\frac{\pi}{2} \quad \text{Ec. (82)}$$



Tenga en cuenta que la respuesta de la masa sintonizada está desfasada  $90^\circ$  con la respuesta de la masa primaria. Esta diferencia de fase produce la disipación de energía aportada por la fuerza de inercia del amortiguador.

La respuesta para un no-amortiguado viene dada por:

$$\hat{u} = \frac{\hat{p}}{k} \left( \frac{1}{2\xi} \right) \quad \text{Ec. (83)}$$

$$\delta_1 = -\frac{\pi}{2} \quad \text{Ec. (84)}$$

Para comparar estos dos casos, se puede expresar la Ec. (79) en términos de una razón de amortiguamiento equivalente

$$\hat{u} = \frac{\hat{p}}{k} \left( \frac{1}{2\xi_e} \right) \quad \text{Ec. (85)}$$

Donde:

$$\xi_e = \frac{\bar{m}}{2} \sqrt{1 + \left( \frac{2\xi}{\bar{m}} + \frac{1}{2\xi_d} \right)^2} \quad \text{Ec. (86)}$$

### 2.2.10.1 Teoría de amortiguador de masa sintonizada para sistemas de 1GDL.

#### 2.2.10.1.1 Estructura amortiguada - Amortiguador de Masa Sintonizada amortiguado

Todos los sistemas reales contienen algo de amortiguación. Aunque es probable que se agregue un absorbedor solo a un sistema ligeramente amortiguado, evaluar el efecto de la amortiguación en el sistema real sobre la sintonización óptima del absorbedor es una consideración de diseño importante.

El sistema principal de la figura (32) consiste en la masa  $m$ , rigidez del resorte  $k$ , y amortiguación viscosa  $c$ . El sistema Amortiguador de Masa Sintonizada tiene masa  $m_d$ , rigidez  $k_d$ , y amortiguación viscosa  $c_d$ . Considerando que el sistema está sujeto tanto a fuerza externa como a excitación del suelo, las ecuaciones de movimiento son:

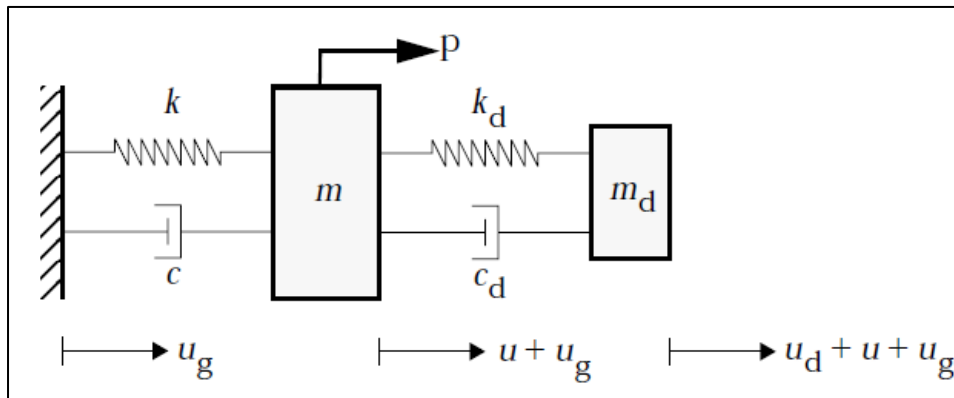
$$m_d \ddot{u}_d + c_d \dot{u}_d + k_d u_d + m_d \ddot{u} = -m_d a_g \quad \text{Ec. (87)}$$

$$m \ddot{u} + c \dot{u} + k u - c_d \dot{u}_d - k_d u_d = -m a_g + p \quad \text{Ec. (88)}$$



**Figura 32**

*Sistema de IGDL Amortiguado Acoplado a un Sistema Amortiguador de Masa Sintonizada Amortiguado*



*Nota:* Reproducido de “Introduction to Structural Motion Control”, (p. 292) por J. J. Connor (2003), Pearson Education.

Los diversos términos  $H_5$  y  $D_3$  se definen a continuación:

$$H_5 = \frac{\sqrt{[f^2 - \rho^2]^2 + [2\xi_d \rho f]^2}}{|D_3|} \quad \text{Ec. (89)}$$

$$|D_3| = \left\{ \left[ -f^2 \rho^2 \bar{m} + (1 - \rho^2)(f^2 - \rho^2) - 4\xi_d \xi_d f \rho^2 \right]^2 + 4 \left[ \xi_d \rho (f^2 - \rho^2) + \xi_d f \rho (1 - \rho^2 (1 + \bar{m}))^2 \right]^2 \right\} \quad \text{Ec. (90)}$$

$$k_d = \frac{m_d}{m} * f_{opt} * k \quad \text{Ec. (91)}$$

Se define una relación de amortiguamiento equivalente para el sistema primario.

$$\xi_e = \frac{1}{2H_5|_{opt}} \quad \text{Ec. (92)}$$

La figura (34) muestra la variación de  $\xi_e$  en función de  $\bar{m}$  y  $\xi$ .

(Tasi y Lin, 1993) Sugiere ecuaciones para los parámetros  $f$  y  $\xi_d$  de sintonización óptima determinado por esquemas de ajuste de curvas. Las ecuaciones se enumeran a continuación:

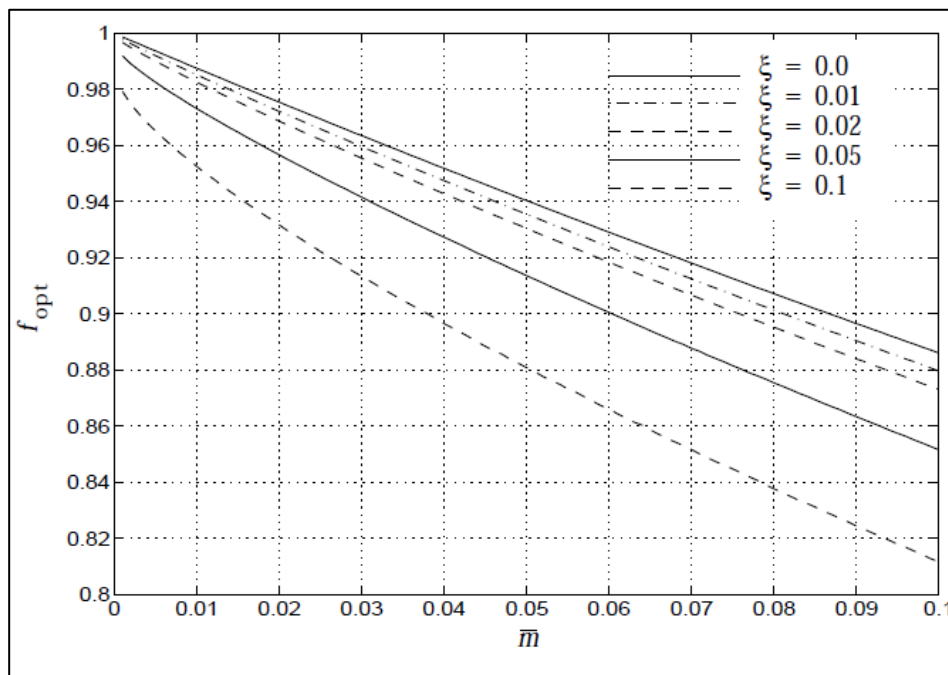


$$f_{opt} = \left( \frac{\sqrt{1-0.5\bar{m}} + \sqrt{1-2\xi^2} - 1}{1+\bar{m}} \right) - [2.375 - 1.034\sqrt{\bar{m}} - 0.426\bar{m}] \xi \sqrt{\bar{m}} - (3.730 - 16.903\sqrt{\bar{m}} + 20.496\bar{m}) \xi^2 \sqrt{\bar{m}} \quad \text{Ec. (93)}$$

$$\xi_d = \sqrt{\frac{3\bar{m}}{8(1+\bar{m})(1-0.5\bar{m})}} + (0.151\xi - 0.170\xi^2) + (0.163\xi + 4.980\xi^2) \bar{m} \quad \text{Ec. (94)}$$

**Figura 33**

*Relación de Frecuencias Optimas de Sintonización para un Amortiguador de Masa Sintonizada*

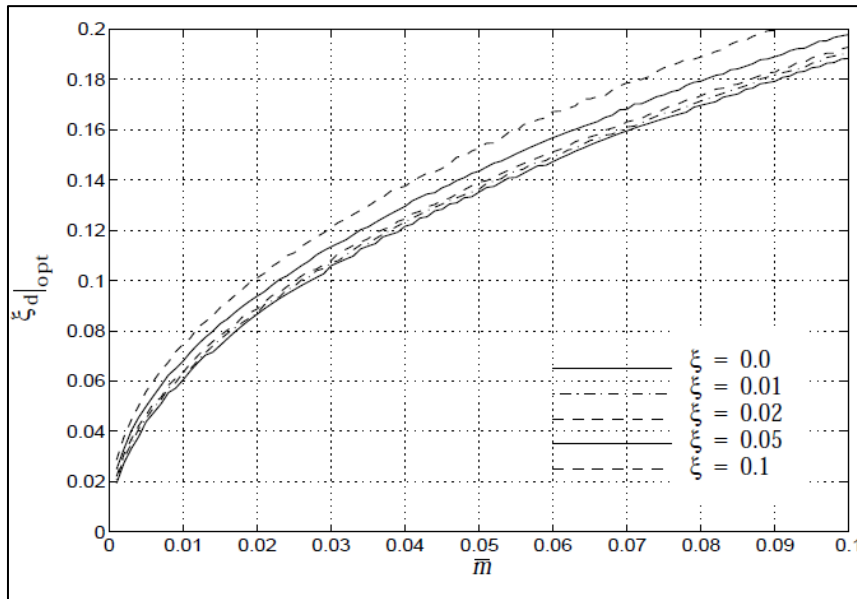


*Nota:* Reproducido de “Introduction to Structural Motion Control”, (p. 296) por J. J. Connor (2003), Pearson Education.



**Figura 34**

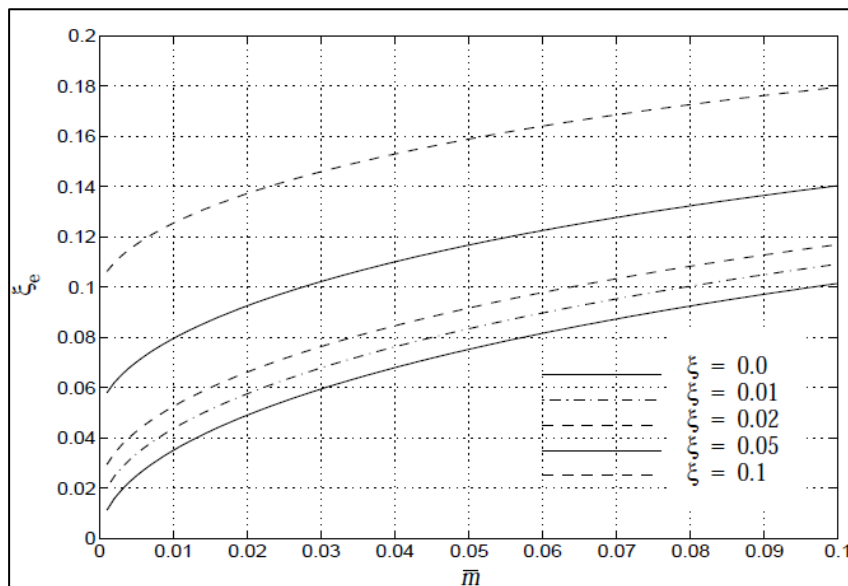
*Relación de Amortiguamiento Óptimo para un Amortiguador de Masa Sintonizada.*



*Nota:* Reproducido de “Introduction to Structural Motion Control”, (p. 296) por J. J. Connor (2003), Pearson Education.

**Figura 35**

*Relación de Amortiguamiento Equivalente para un Amortiguador de Masa Sintonizada Optimizado.*



*Nota:* Reproducido de “Introduction to Structural Motion Control”, (p. 297) por J. J. Connor (2003), Pearson Education.



## 2.2.11 Software a utilizar en la investigación

### 2.2.11.1 MatLab

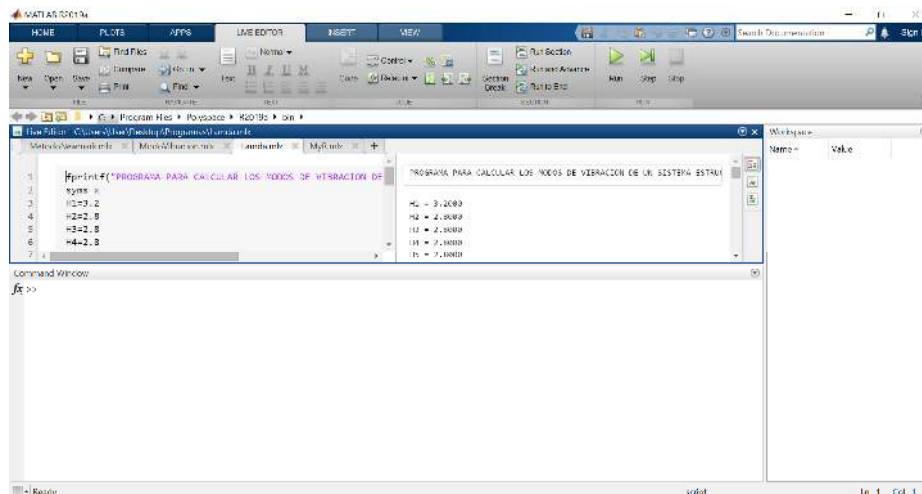
MATLAB es el nombre abreviado de “MATriz LABoratory”. Es un programa para realizar cálculos numéricos con vectores y matrices, y por tanto se puede trabajar también con números escalares (tanto reales como complejos), con cadenas de caracteres y con otras estructuras de información más complejas.

Matlab es un lenguaje de alto rendimiento para cálculos técnicos, es al mismo tiempo un entorno t un lenguaje de programación. Uno de sus puntos fuertes es que permite construir nuestras propias herramientas reutilizables. Podemos crear fácilmente nuestras propias funcione y programas especiales (conocidos como M-archivos) en código Matlab, los podemos agrupar en Toolbox (también llamadas librerías): colección especializada de M-archivos para trabajar en clases particulares de problemas.

Matlab, a parte del cálculo matricial y algebra lineal, también puede manejar polinomios, funciones, ecuaciones diferenciales ordinarias, gráficos, etc. (Fernández, 2009)

### Figura 36

#### Interfaz de Inicio MATLAB



Nota: Obtenido de la Interfaz MATLAB R2019a



### 2.2.11.2 Maple

Maple es un programa desarrollado desde 1980 por el grupo de cálculo simbólico de la Universidad de Waterloo (Ontario, Canada). Su nombre proviene de las palabras MATHematical PLEasure.

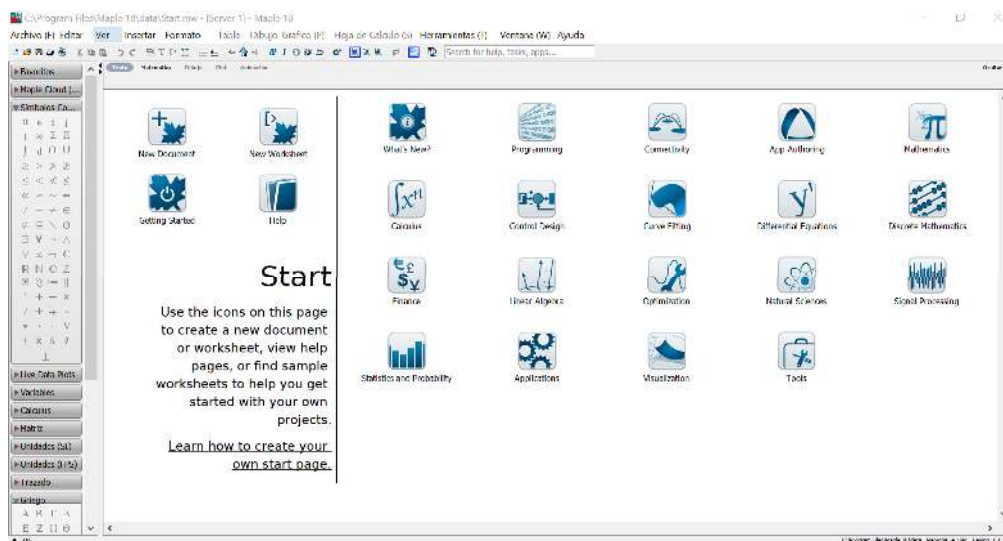
La principal característica de este programa es que es capaz de realizar cálculos simbólicos, es decir, operaciones similares a las que llevan a cabo por ejemplo cuando, intentando realizar una demostración matemática, se despeja una variable de una expresión, se sustituye en otra expresión matemática, se agrupan términos, se simplifica, se deriva y/o se integra, etc.

Cuenta con un gran conjunto de herramientas gráficas que permiten visualizar los resultados (algunas veces complejos) obtenidos, algoritmos numéricos para poder estimar resultados y resolver problemas donde soluciones exactas no existan y también un lenguaje de programación para que el usuario pueda desarrollar sus propias funciones y programas.

También es idóneo para realizar documentos técnicos. El usuario puede crear hojas de trabajo interactivas basadas en cálculos matemáticos en las que puede cambiar un dato o una ecuación y actualizar todas las soluciones inmediatamente. Además, el programa cuenta con una gran facilidad para estructurarlos, empleando herramientas tales como los estilos o los hipervínculos, así como con la posibilidad de traducir y exportar documentos realizados a otros formatos.

### Figura 37

*Interfaz de Inicio Maple*



*Nota:* Obtenido de la Interfaz MAPLE 18.



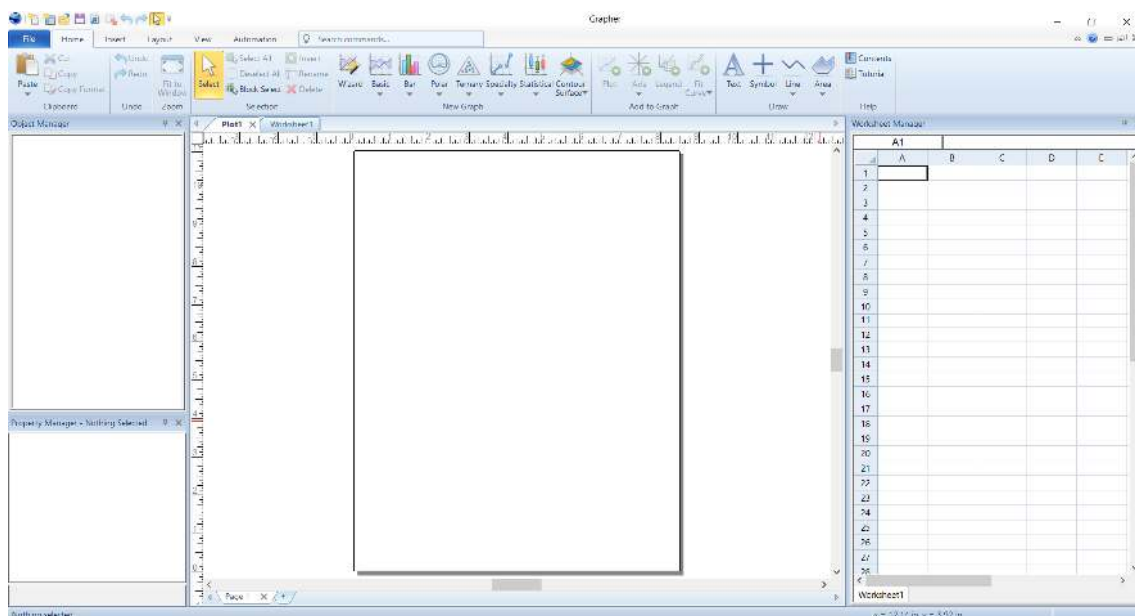
## Grapher

Grapher es un programa de computación de macOS capaz de crear gráficos en 2D y 3D a partir de ecuaciones simples y complejas. Su versión más reciente es la 2.0. Fue desarrollado por Apple.

Grapher es una calculadora gráfica, capaz de crear gráficos tanto en 2D incluyendo márgenes, clásico, polares, lin-log, log-log, blanco polar y de registro, así como los gráficos 3D incluyendo marco, degradado, blanco, cilíndrico sistema esférico sistema, blanco y negro y blanco. Cacao Grapher es una aplicación que aprovecha las ventajas de Mac OS X API. También soporta múltiples ecuaciones en un gráfico, las ecuaciones de exportación a formato LaTeX, y viene con varios preconfeccionados ecuación ejemplos. Es uno de los pocos programas de gráficos sofisticados capaces de limpiar fácilmente exportar imágenes vectoriales para su uso en los documentos impresos (aunque los gráficos 3D para la exportación del vector no es posible). Animación de gráficos también se apoya en 2D y 3D, la generación de un archivo QuickTime.

### Figura 38

#### *Interfaz de Inicio Grapher*



*Nota:* Obtenido de la Interfaz GRAPHER 12



### 2.2.11.3 Arduino

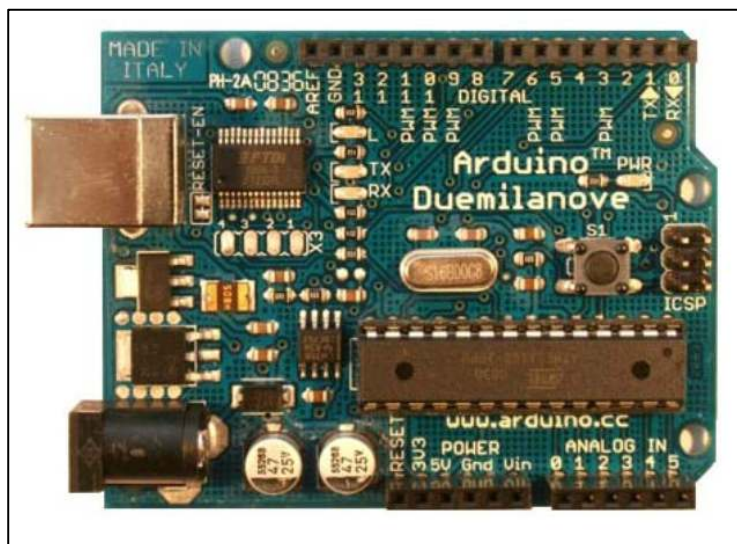
#### 2.2.11.3.1 Características Generales de la Placa

Se trata de una placa open hardware por lo que su diseño es de libre distribución y utilización, que incluso podemos construir.

El programa se implementará haciendo uso del entorno de programación propio de Arduino y se transferirá empleando un cable USB. Si bien en el caso de la placa USB no es preciso utilizar una fuente de alimentación externa, ya que el propio cable USB la proporciona, para la realización de algunos de los experimentos prácticos sí que será necesario disponer de una fuente de alimentación externa ya que la alimentación proporcionada por el USB puede no ser suficiente. El voltaje de la fuente puede estar entre 6 y 25 voltios.

#### Figura 39

*Aspecto de la Placa Arduino Duemilanove*



*Nota:* Reproducido de “Manual de Arduino”, (p. 2) por J. P. Baeza (2009), Universidad de Alicante.

#### 2.2.11.3.2 Entorno de Desarrollo

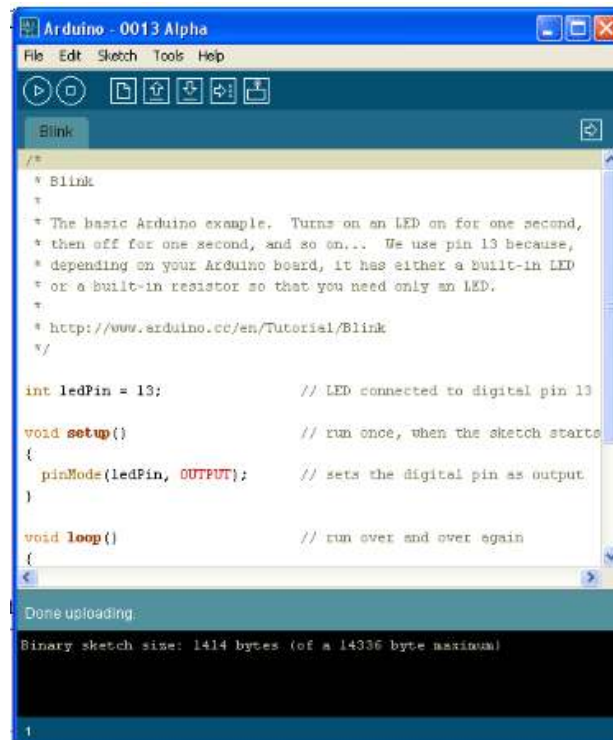
Para programar la placa es necesario descargarse de la página web de Arduino el entorno de desarrollo (IDE). Se dispone de versiones para Windows y para MAC, así como las fuentes para compilarlas en LINUX. En la siguiente figura se muestra el aspecto del entorno de



programación. En el caso de disponer de una placa USB es necesario instalar los drivers FTDI. Estos drivers vienen incluidos en el paquete Arduino.

### Figura 40

*Entorno de Desarrollo*



```
Arduino - 0013 Alpha
File Edit Sketch Tools Help
Blink
/*
 * Blink
 *
 * The basic Arduino example. Turns on an LED on for one second,
 * then off for one second, and so on... We use pin 13 because,
 * depending on your Arduino board, it has either a built-in LED
 * or a built-in resistor so that you need only an LED.
 *
 * http://www.arduino.cc/en/Tutorial/Blink
 */

int ledPin = 13;          // LED connected to digital pin 13

void setup()              // run once, when the sketch starts
{
  pinMode(ledPin, OUTPUT); // sets the digital pin as output.
}

void loop()               // run over and over again
{
  digitalWrite(ledPin, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the positive voltage)
  delay(1000);               // wait for a second
  digitalWrite(ledPin, LOW);  // turn the LED off by making the pin LOW (no voltage)
  delay(1000);               // wait for a second
}
```

Done uploading.  
Binary sketch size: 1414 bytes (of a 14336 byte maximum)

*Nota:* Reproducido de “Manual de Arduino”, (p. 3) por J. P. Baeza (2009), Universidad de Alicante.

## 2.2.12 Sensor de desplazamiento y aceleración

### 2.2.12.1 Sensor laser modelo VL53L0X

El principio de funcionamiento del sensor es la medición del tiempo de vuelo de la señal. El sensor emite pulsos de luz láser infrarrojo y mide el tiempo que tardan alcanzar al objetivo más cercano y volver al detector, siendo considerado como un minúsculo sistema LIDAR (Bonilla, 2019)

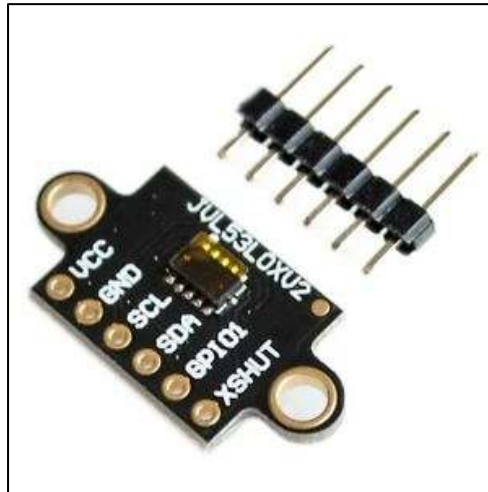
El sensor posee una sensibilidad de  $\pm 1$  mm. en un rango teórico de medición de 2 cm a 200 cm, y un ángulo total de medición de  $25^\circ$ . No se ve afectado por el efecto rebote y las condiciones de luz ambiental afectan mínimamente la medición, el ángulo de medición estrecho permite estimar la distancia de un objeto frente al sensor con mayor precisión.





## Figura 41

*Sensor láser VL53L0X*



*Nota:* Reproducido de “Diseño e Implementación de Algoritmos con Robótica Cooperativo para la Clasificación de Objetos de Color en un Entorno Estructurado”, (p. 64) por G. E. Bonilla (2009), Universidad de las Fuerzas Armadas.

Las características técnicas del sensor se describen a continuación.

- Dimensiones: 21x18x2.8 mm.
- Voltaje de alimentación: 3.5V – 5V.
- Consumo de corriente: 18 mA.
- Rango de medición: 2 cm. – 200 cm.
- Emisor láser: 940 nm VCSEL (Vertical Cavity Surface-Emitting Laser).

### 2.2.12.1.1 Calibración del sensor laser VL53L0X

La calibración, según el vocabulario internacional de términos metrológicos (VIM) es el conjunto de operaciones que establecen, en condiciones especificadas, la relación entre los valores de una magnitud indicados por un instrumento de medida o un sistema de medida, o los valores representados por una medida materializada o por un material de referencia, y los valores correspondientes de esa magnitud realizados por patrones (Vicente, 2013).

La calibración determina las características metrológicas del instrumento o del material de referencia y se realiza mediante comparación directa con patrones de medida o materiales de referencia certificados. La calibración da lugar a un certificado de calibración y, en la mayoría de los casos, se fija una etiqueta al instrumento calibrado (Laguna & Cristóbal, 2013).



Una manera práctica de entender el concepto de calibración, es, asociarlo directamente con el termino comparación, agregando que lo que se compara es el valor indicado por un equipo de medición cuales quiera, con el proporcionado por un patrón de medición. El Patrón empleado debe ser de mayor exactitud y debe estar calibrado (Laguna & Cristóbal, 2013).

Operación que bajo condiciones especificadas establece, en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas obtenidas a partir de los patrones de medida, y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación (Laguna & Cristóbal, 2013).

NOTAS:

1. Una calibración puede expresarse mediante una declaración, una función de calibración, un diagrama de calibración, una curva de calibración o una tabla de calibración. En algunos casos puede consistir en una corrección aditiva o multiplicativa de la indicación con su incertidumbre correspondiente.
2. Conviene no confundir la calibración con el ajuste de un sistema de medida, a menudo llamado incorrectamente “autocalibración”, ni con una verificación de la calibración.
3. Frecuentemente se interpreta que únicamente la primera etapa de esta definición corresponde a la calibración.

#### **2.2.12.1.2 Importancia de la calibración**

El envejecimiento de los componentes y los cambios de temperatura que soportan los equipos deterioran poco a poco sus funciones. Cuando esto sucede, los ensayos y medidas comienzan a perder confianza y se refleja tanto en el diseño como en la calidad del producto. Este tipo de situaciones pueden ser evitadas por medio del proceso de calibración. La correcta calibración de los equipos proporciona la seguridad de que los productos o servicios que se ofrecen reúnen las especificaciones requeridas (Laguna & Cristóbal, 2013). Cada vez son más numerosas las razones que llevan a los fabricantes a calibrar sus equipos de medida con el fin de mantener y verificar el buen funcionamiento de los equipos, responder a los requisitos establecidos en las normas de calidad y garantizar la fiabilidad y trazabilidad<sup>4</sup> de las medidas. Pero para que todo esto sea factible se necesita tener un mantenimiento preventivo y constante de todas las instalaciones donde se realiza la calibración y de los instrumentos de calibración utilizados (Laguna & Cristóbal, 2013). Gracias a este mantenimiento se conseguirá:

- a. Confiabilidad



- b. Disminución del tiempo de parada de los equipos
- c. Mayor duración de los equipos y de las instalaciones
- d. Menor coste de las reparaciones

### 2.2.12.1.3 Patrón

Medida materializada, instrumento de medida, material de referencia o sistema de medida destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o varios valores de una magnitud para que sirvan de referencia (Laguna & Cristóbal, 2013).

### 2.2.12.1.4 Patrón de trabajo

Patrón que se utiliza corrientemente para calibrar o controlar medidas materializadas, instrumentos de medida o materiales de referencia.

Para esta investigación el patrón será el calibrador electrodigital que utiliza un sistema de detección de desplazamiento tipo capacitancia, y es casi del mismo tamaño y peso que el calibrador Vernier convencional del mismo rango de medición. Estos calibradores en la actualidad son utilizados extensamente debido a las ventajas que se lograron gracias al sistema digital. Es empleado para realizar lecturas rápidas, libre de errores de paralaje e ideales para cuando es requerido el control estadístico (Laguna & Cristóbal, 2013).

**Figura 42**  
*Vernier Digital*



*Nota:* Reproducido de “Establecimiento de un Sistema de Aseguramiento Metrológico Conforme a la Norma NTE, ISO 10012:2007 para el Laboratorio de Calibración de Instrumentos de Longitud Inen”, (p. 46) por V. Laguna & S. Cristóbal (2013), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Especificaciones técnicas del patrón de trabajo (Vernier o pie de rey)



- Tolerancia a 0.002" (0.05mm)
- Capacidad máxima 6" (150mm)
- Capacidad mínima 0.005" (0.01mm)
- Temperatura de operación 0 a 40°C
- Temperatura de almacenamiento -20°C a 70°C
- Longitud total 230 mm
- Ancho de la bayoneta 3 mm
- Batería 1,5V

#### 2.2.12.1.5 Cálculos para calibración del sensor laser VL53L0X.

El cálculo para el error del sensor laser VL53L0X se realizará con la siguiente ecuación (Laguna & Cristóbal, 2013).

$$E = L_s - L_v$$

E: Error absoluto

$L_s$ : Valor de indicación del sensor

$L_v$ : Valor de indicación del vernier

El cálculo para el error relativo del sensor laser VL53L0X se realizará con la siguiente ecuación (Laguna & Cristóbal, 2013).

$$E_r = \frac{E}{L_v} * 100\%$$

E: Error absoluto.

$L_v$ : Valor de indicación del vernier (Se toma como el valor verdadero).

$E_r$ : Error relativo porcentual.

#### 2.2.12.2 Sensor modelo MPU6050

Sensor de aceleración MPU-6050 de la empresa InvenSense, el sensor está compuesto por 3 acelerómetros y 3 giróscopos, cada uno con su respectivo ADC de 16 bits. Presenta la posibilidad de modificar la escala de trabajo, proporcionando así más precisión para movimientos más lentos.

**Tabla 2**

*Rango de escalas del sensor MPU6050*

Rango de escalas				
Acelerómetro	±2g	±4g	±8g	±16g
Giroscopio	±250°/seg	±500°/seg	±1000°/seg	±2000°/seg

*Nota:* Reproducido de “MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification” ,2013

(<https://uk.farnell.com/invensense/mpu-6050/gyro-accel-6-axis-i2c-qfn-24/dp/1864742RL?CMP=GRHB-SF-FC>)

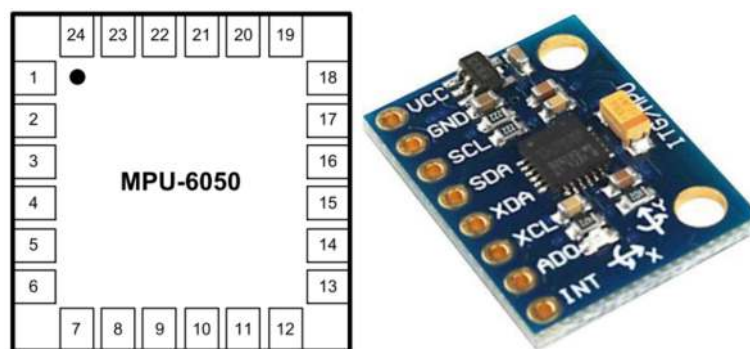
La interfaz de comunicación que utiliza es I2C y el dispositivo posee la posibilidad de configurar su dirección de esclavo a través del pin AD0. Este pin modifica el valor de bit menos significativo de la dirección del acelerómetro.

La sensibilidad del sensor esta expresada en LSB/g, para la aceleración, y LSB/(°/seg), para el giróscopo. La misma varía para la escala se operación seleccionada y puede calcularse como

$$\frac{2^{16}}{2 * \text{escala}}$$

**Figura 43**

*Sensor MPU6050*



*Nota:* Reproducido de “MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification” ,2013

(<https://uk.farnell.com/invensense/mpu-6050/gyro-accel-6-axis-i2c-qfn-24/dp/1864742RL?CMP=GRHB-SF-FC>)



### 2.2.12.2.1 Calibración del sensor MPU6050

Existen técnicas más específicas que si cumplen los requisitos, pero a costa de un instrumental muy sofisticado y a un coste prohibitivo. A continuación, se describe el fundamento de métodos de calibración convencionales y específicos, reseñando los trabajos más relevantes en cuanto a la aplicabilidad a los regímenes de funcionamiento requeridos.

Desde el punto de vista metrológico, los métodos de calibración de acelerómetros se clasifican según la referencia de aceleraciones (Santiago Prowald, 2000).

- Calibración absoluta
- Calibración por comparación
- Calibración por reciprocidad

En la calibración absoluta se mide la excitación (por ejemplo, la proyección de la aceleración gravitatoria) mediante algún patrón de medida trazable. La entrada así determinada se relaciona con la salida del espécimen para obtener la función de respuesta con el nivel de entrada. La calibración por comparación se diferencia en que la señal de referencia se mide con otro espécimen previamente calibrado y de calidad igual o superior, en lugar de usar patrones directamente (Santiago Prowald, 2000). Este procedimiento simplifica las operaciones y reduce costes; es el preferido para la producción de instrumentos de precisión media y alta. La calibración por reciprocidad, en esencia, consiste en calibrar previamente el propio aparato y procedimiento que genera la señal de referencia, de manera que una consigna se relaciona con la aceleración que entra en el espécimen. Es vital en este caso el riguroso control de las condiciones ambientales para garantizar la repetitividad de la referencia. Evidentemente, el método más preciso y fiable es la calibración absoluta por estar sometido a menos fuentes de incertidumbre (Santiago Prowald, 2000).

Desde un punto de vista más pragmático, las técnicas de calibración de acelerómetros se clasifican según la forma de producir la señal de referencia, o bien según la forma de medir la excitación. Por una parte, están las técnicas convencionales, pensadas para navegación inercial, guiado, sismología, prospección y que, con modificaciones, podrían adaptarse a los rangos requeridos aquí. Por otra parte, a la vista de la difícil extensión de los convencionales, están los métodos desarrollados específicamente para cada aplicación particular de la microacelerometría. Tanto unos como otros aprovechan la equivalencia local entre gravedad y aceleración cinemática, de manera que hay procedimientos basados en generar movimientos de espectro conocido y otros que se valen de la gravedad terrestre u otra generada por masas



calibradas. En general hay que considerar el rango de frecuencias, los niveles de aceleración, la resolución y la precisión (Santiago Prowald, 2000).

## **2.3 Hipótesis**

### **2.3.1 Hipótesis general**

La maqueta con sistema estructural aporticado con amortiguador de masa sintonizada, tendrá una reducción de desplazamientos y aceleraciones, y una variación del período fundamental y factor de amortiguamiento, por efecto del sintonizador, en relación a la misma estructura sin Amortiguador de Masa Sintonizada, simulado de forma numérica y experimental.

### **2.3.2 Sub hipótesis**

#### **Sub-hipótesis N° 01.**

El período de vibración natural de una maqueta con sistema estructural aporticado con Amortiguador de Masa Sintonizada se verá incrementado de acuerdo a las propiedades dinámicas del sintonizador en relación a la misma estructura sin Amortiguador de Masa Sintonizada, en forma numérica y experimental.

#### **Sub-hipótesis N° 02.**

El factor de amortiguamiento de una maqueta con sistema estructural aporticado con Amortiguador de Masa Sintonizada será incrementado de acuerdo a las propiedades dinámicas del sintonizador en relación a la misma estructura sin Amortiguador de Masa Sintonizada, en forma numérica y experimental.

#### **Sub-hipótesis N° 03.**

El desplazamiento de una maqueta con sistema estructural aporticado con Amortiguador de Masa Sintonizada será reducido en relación a la misma estructura sin Amortiguador de Masa Sintonizada, en forma numérica y experimental.

#### **Sub-hipótesis N° 04.**

La aceleración de una maqueta con sistema estructural aporticado con Amortiguador de Masa Sintonizada será reducido en relación a la misma estructura sin Amortiguador de Masa Sintonizada, en forma numérica y experimental.



## 2.4 Variables e indicadores

### 2.4.1 Variables independientes

- Frecuencia de excitación externa

#### Indicadores de variables independientes

- Frecuencia de vibración

### 2.4.2 Variables dependientes

- Periodo (T)
- Aceleración (a)
- Desplazamiento ( $\Delta$ )
- Masa del amortiguador ( $m_d$ )
- Razón de amortiguamiento de la estructura principal ( $\beta$ )

#### Indicadores de variables dependientes

- Periodo de vibración de la estructura
- Aceleración de la estructura
- Desplazamiento lateral del pórtico
- Masa del amortiguador
- Factor de amortiguamiento del material de la estructura principal





2.4.3 Cuadro de operacionalización de variables

CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES					
TIPO DE VARIABLE	NOMBRE DE VARIABLE	DESCRIPCIÓN	INDICADOR	UNIDADES	INSTRUMENTO
Independiente	Frecuencia de excitación externa ( $\Omega$ )	Número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier evento periódico	Frecuencia de vibración	rad/s	Acelerómetro
Dependiente	Periodo (T)	Intervalo de tiempo necesario para completar un ciclo repetitivo	Periodo de vibración de la estructura	s	Acelerómetro
	Aceleración (a)	Magnitud derivada vectorial que nos indica la variación de velocidad por unidad de tiempo	Aceleración de la estructura	m/s <sup>2</sup>	Acelerómetro y modelos matemáticos
	Desplazamiento ( $\Delta$ )	Vector que define la posición de un punto o partícula con relación a un origen A con respecto a una posición B	Desplazamiento lateral del pórtico	cm	Sensor de Movimiento y modelos matemáticos
	Masa del amortiguador(m)	Magnitud física y propiedad fundamental de la materia, que expresa la inercia o resistencia al cambio de movimiento de un cuerpo	Masa del amortiguador	kg	Ficha de metro
	Razón de amortiguamiento de la estructura principal ( $\beta$ )	Capacidad de un sistema o cuerpo para disipar energía cinética en otro tipo de energía	Factor de amortiguamiento del material de la estructura principal	Adimensional	



## Capítulo III: Metodología

### 3.1 Metodología de la Tesis

#### 3.1.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es de carácter **CUANTITATIVO**, debido a que se realiza la recolección de datos para nuestra hipótesis con base en la medición numérica, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teorías. (Sampieri, Collado, Lucio, Valencia, & Torres, 1998)

#### 3.1.2 Nivel de investigación

El nivel de investigación es **DESCRIPTIVA**, pues se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a análisis. (Sampieri et al., 1998)

La investigación consiste en hacer un análisis comparativo del comportamiento dinámico de una maqueta con sistema estructural aporticado, con y sin amortiguadores de masa sintonizada, en la cual se va comparar los desplazamientos, aceleraciones, periodo de vibración y factor de amortiguamiento.

#### 3.1.3 Método de investigación

El método de investigación es de carácter **HIPOTÉTICO-DEDUCTIVO**, el cual inicia con la formulación de las hipótesis derivadas de la teoría, continua con la operacionalización de las variables, la recolección, el procesamiento de los datos y la interpretación. Esto implica en la atención en probar hipótesis a partir de un doble referente: el cuerpo conceptual de un lado y la realidad concreta que se estudia del otro lado.



## 3.2 Diseño de la Investigación

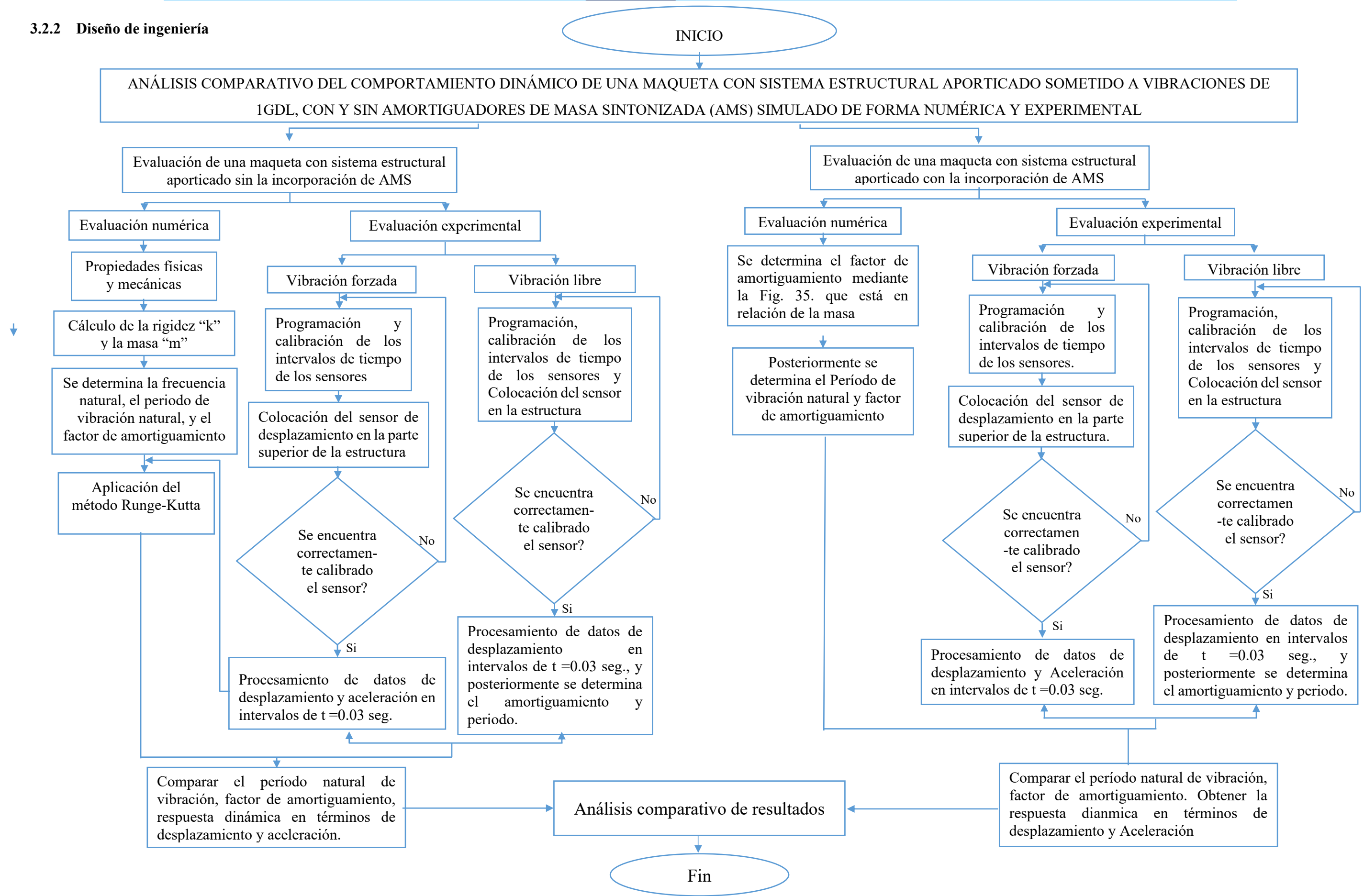
### 3.2.1 Diseño Metodológico

Según (Hernández & Baptista, 2010) Se refiere a un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas-antecedentes), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos-consecuentes), dentro de una situación de control para el investigador.

El diseño de la presente tesis es **EXPERIMENTAL** debido a que se manipula las frecuencias de la mesa vibratoria en la vibración forzada.



3.2.2 Diseño de ingeniería



### 3.3 Población y muestra

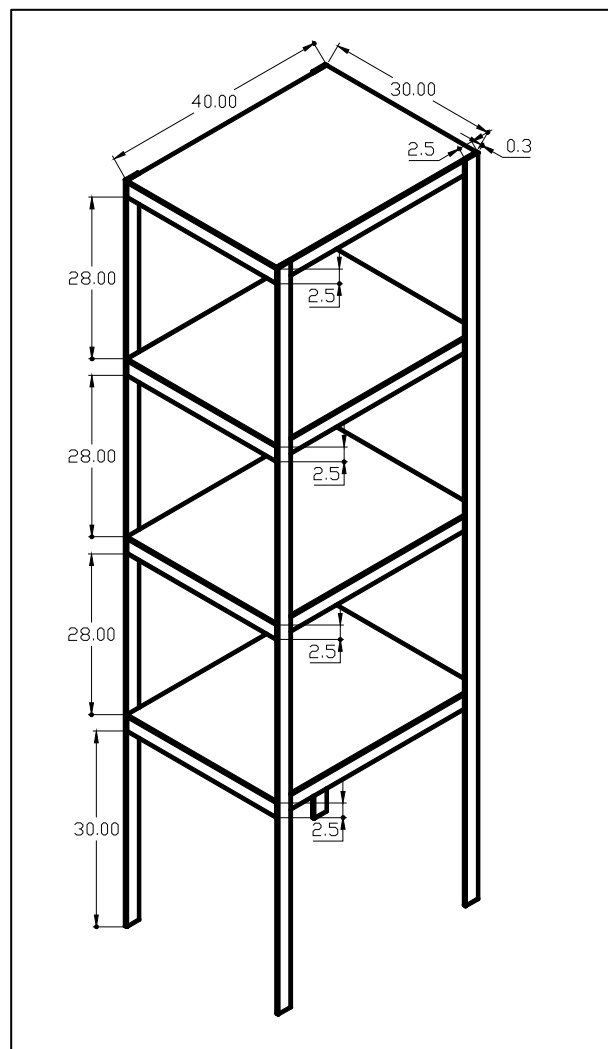
#### 3.3.1 Población

##### 3.3.1.1 Descripción de la Población

Está conformado por dos estructuras, una maqueta con una estructura aportricada sin la incorporación de Amortiguador de Masa Sintonizada y otra maqueta con estructura aportricada con la incorporación de Amortiguador de Masa Sintonizada.

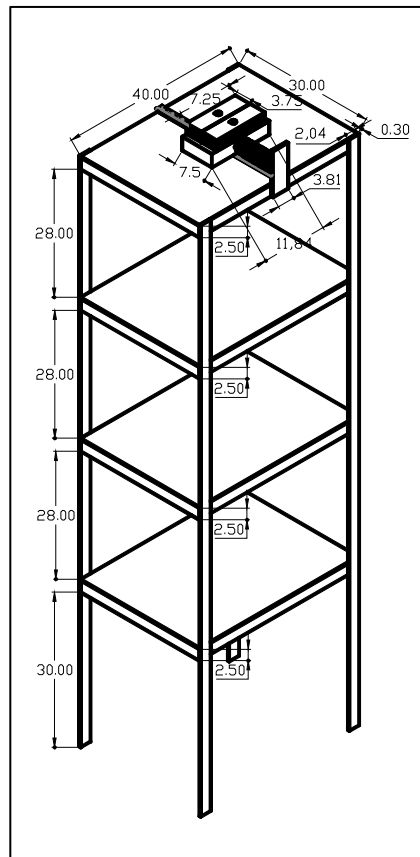
#### Figura 44

*Plano de Vista Isométrica de la Maqueta con Estructura Aportricada*



**Figura 45**

*Plano de Vista Isométrica de la Maqueta con Estructura Aporticada con la Incorporación de Amortiguador de Masa Sintonizada.*



### 3.3.1.2 Cuantificación de la Población

La población de la presente investigación está conformada por un conjunto finito referido a todos los elementos estructurales, entre vigas, columnas, losas y Amortiguador de Masa Sintonizada, existentes en la maqueta con sistema estructural aporticado con y sin la incorporación de Amortiguador de Masa Sintonizada.

### 3.3.2 Muestra

#### 3.3.2.1 Descripción de la muestra

La presente tesis posee una muestra del tipo censal, según la clasificación de (Ramírez. 1999), es decir que la muestra de esta investigación considera todo el universo de estudio, donde la muestra es igual a la población constituida por la maqueta con sistema estructural aporticado sin la incorporación de Amortiguador de Masa Sintonizada, y la maqueta con sistema estructural aporticado con la incorporación de Amortiguador de Masa Sintonizada, por consiguiente, la muestra es coincidente con la población.



### 3.3.2.2 Cuantificación de la muestra

Al considerar una muestra del tipo censal, existe igualdad de elementos con los de la población, entonces, la muestra está dada por todos los elementos que constituyen la maqueta con sistema estructural sin la incorporación de Amortiguador de Masa Sintonizada y la maqueta con sistema estructural aporticado con la incorporación de Amortiguador de Masa Sintonizada.

### 3.3.2.3 Método de muestreo

El tipo de muestreo de esa investigación es **no probabilístico** y a su vez usa la sub-clasificación de muestreo intencional o de conveniencia debido a que la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características del investigador o del que hace la muestra. El procedimiento no es mecánico, ni en base a fórmulas de probabilidad, sino que depende del proceso de toma de decisiones de una persona o grupo de personas, y desde luego, las muestras seleccionadas por decisiones subjetivas. (Sampieri, 1991)

Se cree conveniente citar la razón, por la que se escogió este método de muestreo:

- Este estudio quiere mostrar en qué medida mejora el comportamiento dinámico en términos de desplazamiento y aceleración un sistema estructural aporticado con la incorporación de Amortiguador de Masa Sintonizada con respecto a un sistema estructural aporticado sin la incorporación de Amortiguador de Masa Sintonizada.

### 3.3.2.4 Criterios de evaluación de muestra

Respecto a los criterios de evaluación de la muestra, se tomaron como criterios, resultados obtenidos a partir de experimentos, de acuerdo al siguiente detalle:

Diseño experimental

- La estructura, se prueba en una mesa vibratoria, que se mueve en un solo eje. Con desplazamiento de 2.5mm y Frecuencias entre 3.00 y 3.50 hz, con capacidad de carga de 50 kg. Previamente se calibró la mesa para aproximar la frecuencia de vibración a la frecuencia natural de la estructura.

Vibración libre: Determinación de las frecuencias de vibración

- La estructura se somete a vibraciones libres para obtener sus frecuencias naturales, tanto con y sin amortiguador de masa sintonizada. Esto para comparar con lo calculado de forma numérica.



- La vibración libre se induce alejando la estructura de su posición de equilibrio aplicando un desplazamiento casi estatico en el nivel superior.
- Se realiza el registro de desplazamientos y aceleraciones mediante los sensores VL53L0X y MPU6050 respectivamente.

Vibración forzada: Comportamiento de la estructura con y sin amortiguador de masa sintonizada

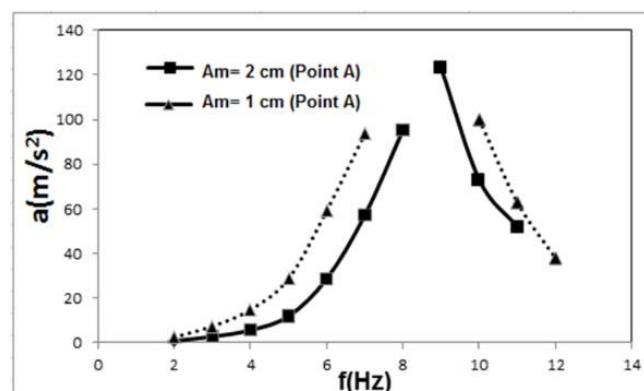
- La estructura se somete a vibraciones de base, por medio de la mesa sísmica, con desplazamientos de acuerdo a la capacidad del motor.
- El amortiguador de masa sintonizada es ubicado en la parte superior de la estructura debido a tener una mejor respuesta frente a los demás pisos.
- Las vibraciones se realizan en los rangos de 3.00 a 3.50 hz aproximando a la frecuencia natural de la estructura.
- Los valores de desplazamiento y aceleración son registrados mediante sensores antes mencionados.

### Aceleraciones referenciales.

De acuerdo al experimento realizado por (Castillo, Cruchaga, & Structures, 2012), se obtuvieron las aceleraciones según la figura 46, de esto tomamos como referencia las aceleraciones registradas entre 3 a 4 hz. Para tomar como base en la toma de datos del presente trabajo de investigación.

**Figura 46**

*Aceleración vs. Frecuencia Impuesta para la Estructura para dos Diferentes Amplitudes*



*Nota:* Reproducido de “Experimental Vibration Analysis for a 3D Scaled Model of a Three-Flor Steel Structure” por E. Castillo & M. Cruchaga, 2012, Latin American Journal of Solids and Structures.





De la figura se puede apreciar que conforme aumenta la frecuencia de excitación, hay un incremento en la lectura de aceleración.

### 3.3.3 Criterios de inclusión de la muestra

- El material utilizado es el acero el cual muestra un comportamiento plástico frente a la aplicación de una fuerza externa, el cual posee un módulo de elasticidad  $E=2100000 \text{ kgf/cm}^2$ , una resistencia a la tracción entre  $4,080\text{-}5,620 \text{ kgf/cm}^2$  y de peso específico  $7860 \text{ kgf/m}^3$  según ficha técnica del fabricante, esto para que el desplazamiento que sufra sea visible.
- Elemento Estructural: Maqueta con estructura aportricada
- Columna: Las dimensiones de las columnas de entrepiso: del primer nivel son de 30 cm y del segundo al último nivel son de 28 cm. representados por platinas de acero con dimensiones de  $2.5\text{cm}\times 0.3\text{cm}$
- Viga: Las dimensiones de las vigas en el eje X-X son de 40 cm y las dimensiones de las vigas en el eje Y-Y son de 30 cm representado por perfiles de ángulo en “L” de acero con dimensiones de  $2.5\text{cm}\times 0.1375\text{cm}$ .
- Losa: Las dimensiones de las losas son de  $30\text{cm}\times 40\text{cm}$  y espesor de 3 mm, representado por una plancha de acero.
- La muestra se encuentra debidamente empotrada a la plataforma de la mesa sísmica, mediante perfiles de acero, las cuales mediante pernos se asegura la posición de la estructura.
- La unión de los elementos de la estructura se realiza mediante soldadura, lo cual garantiza la rigidez de cada piso.

**Tabla 3**

*Propiedades Físicas y Mecánicas del Acero*




 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b> 					
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL APORTRICADO MODELADO A ESCALA SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS) SIMULADO DE FORMA ANALÍTICA Y EXPERIMENTAL					
PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL ACERO					
TESISTAS:	Lening Rafael Apaza Surco			FECHA:	11/11/2020
	Bohon Vidal Ccana Ccapatinta				
LUGAR:	Trabajo en gabinete				
MATERIAL:	Hoja de cálculo				
PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL ACERO					
	Peso específico (kgf/m <sup>3</sup> )	Módulo de elasticidad (kgf/cm <sup>2</sup> )	Fluencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coeficiente de Poisson	Módulo de corte (kgf/cm <sup>2</sup> )
	7860	2100000	4200	0.27	787437.93






### 3.4 Instrumentos

#### 3.4.1 Instrumentos Metodológicos o Instrumentos de Recolección

##### 3.4.1.1 Formato para cálculo de inercia



 <p><b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b></p> 					
<p>ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL</p>					
<p><b>HOJA PARA EL CÁLCULO DE INERCIA</b></p>					
TESISTAS:	Lening Rafael Apaza Surco	FECHA:	11/11/2020		
	Bohon Vidal Ccana Ccapatinta				
LUGAR:	Trabajo en gabinete				
MATERIAL:	Hoja de cálculo				
CÁLCULO DE INERCIA					
		$I_x = \frac{b * h^3}{12}$	$I_y = \frac{h * b^3}{12}$		
	Descripción	b (cm)	h (cm)	Ix	Iy
	Figura				

##### 3.4.1.2 Formato para cálculo de rigidez

 <p><b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b></p> 					
<p>ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL</p>					
<p><b>HOJA PARA EL CÁLCULO DE RIGIDEZ</b></p>					
TESISTAS:	Lening Rafael Apaza Surco				
	Bohon Vidal Ccana Ccapatinta				
LUGAR:	Trabajo en gabinete				
MATERIAL:	Hoja de cálculo				
CÁLCULO DE RIGIDEZ					
		$k_{col} = \frac{12EI}{h^3}$			
	Nivel	E (kgf/cm2)	I (cm4)	h (cm)	Kcol (kgf/cm2)
	1				
	2				
	3				
	4				



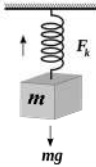


### 3.4.1.3 Formato de metrado

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL					
<b>HOJA DE METRADO</b>					
TESISTAS:	Lening Rafael Apaza Surco			FECHA:	11/11/2020
	Bohon Vidal Ccana Ccapatinta				
LUGAR:	Trabajo en gabinete				
MATERIAL:	Hoja de cálculo				
<b>METRADO</b>					
<b>1° Nivel</b>					
Descripción	Número de elem.	Área (m2)	Longitud (m)	Peso específico (kgf/cm3)	Peso (kgf)
Columnas					
Vigas x-x					
Vigas y-y					
Losa					
Total					
<b>2° - 3° Nivel</b>					
Descripción	Número de elem.	Área (m2)	Longitud (m)	Peso específico (kgf/cm3)	Peso (kgf)
Columnas					
Vigas x-x					
Vigas y-y					
Losa					
Total					
<b>4° Nivel</b>					
Descripción	Número de elem.	Área (m2)	Longitud (m)	Peso específico (kgf/cm3)	Peso (kgf)
Columnas					
Vigas x-x					
Vigas y-y					
Losa					
Apoyo del resorte					
Carril					
Total					





### 3.4.1.4 Ley de Hooke - Formato para el cálculo de la rigidez del resorte

	<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>				
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL					
<b>HOJA PARA LA RIGIDEZ DEL RESORTE</b>					
TESISTAS:	Lening Rafael Apaza Surco Bohon Vidal Ccana Ccapatinta	FECHA: 12/11/2020			
LUGAR:	Trabajo en gabinete				
MATERIAL:	Hoja de cálculo				
CÁLCULO DE LA RIGIDEZ DEL RESORTE					
					
$F = k * x$ $x = L_f - L_i$					
Resorte tipo 1					
Incremento (Kgf)	Peso(Kgf)	Li (inicial cm)	Lf (final cm)	x (deformación cm)	K (kgf/cm)
Promedio					
Resorte tipo 2					
Incremento (Kgf)	Peso(Kgf)	Li (inicial cm)	Lf (final cm)	x (deformación cm)	K (kgf/cm)
Promedio					
Resorte tipo 3					
Incremento (Kgf)	Peso(Kgf)	Li (inicial cm)	Lf (final cm)	x (deformación cm)	K (kgf/cm)
Promedio					



### 3.4.1.5 Formato para cálculo de los períodos estructurales, frecuencia natural

	<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>	
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL		
<b>HOJA DE CÁLCULO DE LOS PERÍODOS ESTRUCTURALES, FRECUENCIA NATURAL</b>		
TESISTAS:	Lening Rafael Apaza Surco	FECHA: 11/11/2020
	Bohon Vidal Ccana Ccapatinta	
LUGAR:	Trabajo en gabinete	
MATERIAL:	Hoja de cálculo	
<b>PERÍODO ESTRUCTURAL Y FRECUENCIA CIRCULAR</b>		
Matriz de Masa	( )	
Matriz de Rigidez	( )	
Modo - 1	Valor propio	$\lambda =$
	Frecuencia circular	$f =$
	Frecuencia	$w =$
	Periodo	$T$
Modo - 2	Valor propio	$\lambda =$
	Frecuencia circular	$f =$
	Frecuencia	$w =$
	Periodo	$T$
Modo - n	Valor propio	$\lambda =$
	Frecuencia circular	$f =$
	Frecuencia	$w =$
	Periodo	$T$
Vectores propios	( )	
Valores propios	( )	





### 3.4.1.6 Formato para la selección del Amortiguador de Masa Sintonizada

 <p><b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b></p> 							
<p>ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL</p>							
<b>HOJA PARA LA SELECCIÓN DE LA MASA DEL AMS</b>							
TESISTAS:	Lening Rafael Apaza Surco				FECHA:		
	Bohon Vidal Ccana Ccapatinta						
LUGAR:	Trabajo en gabinete						
MATERIAL:	Hoja de cálculo						
CÁLCULO DE LA MASA DEL AMS							
		m: masa de la estructura principal					
		k: rigidez de la estructura principal					
		m <sub>d</sub> : masa del AMS					
		k <sub>d</sub> : rigidez del AMS					
		ε: factor de amortiguamiento					
		f opt: frecuencia óptima en función de la relación de masas y factor de amortiguamiento					
Selección de la masa para el AMS							
$\omega_n$ (rad/seg)	m (kg.)	K (kgf/cm)	k <sub>d</sub>	ε	f opt	m <sub>d</sub>	





### 3.4.1.7 Formato de toma de datos de desplazamiento con vibración libre

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b> 															
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL															
HOJA DE TOMA DE DATOS DE DESPLAZAMIENTO CON VIBRACIÓN LIBRE															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco								Fecha:		11/11/2020			
		Bohon Vidal Ccana Ccapatinta													
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
MATERIAL		Hoja de cálculo													
DESPLAZAMIENTO DE VIBRACIÓN LIBRE															
t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)
0.00		1.50		3.00		4.50		6.00		7.50		9.00		10.50	
0.05		1.55		3.05		4.55		6.05		7.55		9.05		10.55	
0.10		1.60		3.10		4.60		6.10		7.60		9.10		10.60	
0.15		1.65		3.15		4.65		6.15		7.65		9.15		10.65	
0.20		1.70		3.20		4.70		6.20		7.70		9.20		10.70	
0.25		1.75		3.25		4.75		6.25		7.75		9.25		10.75	
0.30		1.80		3.30		4.80		6.30		7.80		9.30		10.80	
0.35		1.85		3.35		4.85		6.35		7.85		9.35		10.85	
0.40		1.90		3.40		4.90		6.40		7.90		9.40		10.90	
0.45		1.95		3.45		4.95		6.45		7.95		9.45		10.95	
0.50		2.00		3.50		5.00		6.50		8.00		9.50		11.00	
0.55		2.05		3.55		5.05		6.55		8.05		9.55		11.05	
0.60		2.10		3.60		5.10		6.60		8.10		9.60		11.10	
0.65		2.15		3.65		5.15		6.65		8.15		9.65		11.15	
0.70		2.20		3.70		5.20		6.70		8.20		9.70		11.20	
0.75		2.25		3.75		5.25		6.75		8.25		9.75		11.25	
0.80		2.30		3.80		5.30		6.80		8.30		9.80		11.30	
0.85		2.35		3.85		5.35		6.85		8.35		9.85		11.35	
0.90		2.40		3.90		5.40		6.90		8.40		9.90		11.40	
0.95		2.45		3.95		5.45		6.95		8.45		9.95		11.45	
1.00		2.50		4.00		5.50		7.00		8.50		10.00		11.50	
1.05		2.55		4.05		5.55		7.05		8.55		10.05		11.55	
1.10		2.60		4.10		5.60		7.10		8.60		10.10		11.60	
1.15		2.65		4.15		5.65		7.15		8.65		10.15		11.65	
1.20		2.70		4.20		5.70		7.20		8.70		10.20		11.70	
1.25		2.75		4.25		5.75		7.25		8.75		10.25		11.75	
1.30		2.80		4.30		5.80		7.30		8.80		10.30		11.80	
1.35		2.85		4.35		5.85		7.35		8.85		10.35		11.85	
1.40		2.90		4.40		5.90		7.40		8.90		10.40		11.90	
1.45		2.95		4.45		5.95		7.45		8.95		10.45		...	



3.4.1.8 Formato para el cálculo del factor de amortiguamiento teórico

	<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>						
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL							
<b>HOJA DE CÁLCULO DEL FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO TEÓRICO</b>							
TESISTAS:				Lening Rafael Apaza Surco		Fecha: 11/11/2020	
				Bohon Vidal Ccana Ccapatinta			
LUGAR:				Trabajo en gabinete			
MATERIAL:				Hoja de cálculo			
<b>FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO TEÓRICO</b>							
<p>m: Relación de masas</p> <p>p: Relación de la frecuencia de excitación y la frecuencia natural</p> <p><math>\xi_d</math>: factor de amortiguamiento para el AMS</p> <p>f: Relación de la frecuencia del AMS y la frecuencia natural</p> <p>D3: Factor que depende de <math>\xi</math>, <math>\xi_d</math>, f, p y m</p> <p><math>\xi_e</math>: Amortiguamiento equivalente para el sistema primario</p>							
	m	p	$\xi_d$	f	D3	H5	Ee







### 3.4.1.9 Formato para el cálculo del factor de amortiguamiento experimental

<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>							
<b>ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL</b>							
<b>HOJA DE CÁLCULO DEL FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO EXPERIMENTAL</b>							
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco			Fecha:		11/11/2020
		Bohon Vidal Ccana Ccapatinta					
LUGAR:		Trabajo en gabinete					
MATERIAL:		Hoja de cálculo					
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO EXPERIMENTAL							
Siendo:		$\delta = \frac{2 * \pi * \epsilon_i}{\sqrt{1 - \epsilon_i^2}}$					
x_1=	Amplitud inicial	$\delta = \frac{1}{n} * \ln\left(\frac{x_1}{x_{n+1}}\right)$					
x_{n+1}=	Amplitud final en el periodo n						
n=	N° de periodos						
δ=	decremento log						
						$\epsilon_i = \frac{\delta}{\sqrt{4 * \pi^2 + \delta^2}}$	
Cálculo del amortiguamiento experimental							
AMS (%)	x_1	x_{n+1}	n	δ	ε <sub>i</sub>	ε <sub>i</sub> (%)	Promedio
0							
0							
0							
2							
2							
2							
4							
4							
4							
6							
6							
6							
8							
8							
8							
10							
10							
10							



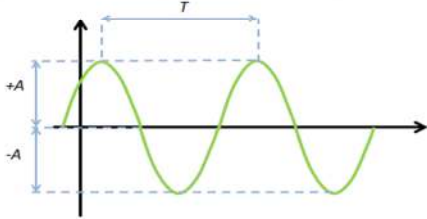


### 3.4.1.10 Formato para el cálculo del periodo de vibración teórico

	<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>																														
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL																															
<b>HOJA DE CÁLCULO PARA EL PERIODO DE VIBRACIÓN TEÓRICO</b>																															
TESISTAS:	Lening Rafael Apaza Surco	Fecha:	11/11/2020																												
	Bohon Vidal Ccana Ccapatinta																														
LUGAR:	Trabajo en gabinete																														
MATERIAL:	Hoja de cálculo																														
PERIODO DE VIBRACIÓN TEÓRICO																															
Siendo:																															
$\xi_v$ =	Factor de amortiguamiento	$T_D = \frac{T_n}{\sqrt{1 - \xi^2}}$																													
$T_n$ =	Periodo de vibración natural																														
$T_D$ =	Periodo de vibración amortiguado																														
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">AMS (%)</th> <th style="width: 15%;">Tn</th> <th style="width: 15%;"><math>\xi_v</math></th> <th style="width: 15%;">TD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">0</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">6</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">8</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">10</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>				AMS (%)	Tn	$\xi_v$	TD	0				2				4				6				8				10			
AMS (%)	Tn	$\xi_v$	TD																												
0																															
2																															
4																															
6																															
8																															
10																															





### 3.4.1.11 Formato para el cálculo del periodo de vibración experimental

	<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>		
<b>ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL</b>			
<b>HOJA DE CÁLCULO DEL FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO EXPERIMENTAL</b>			
TESISTAS:	Lening Rafael Apaza Surco	Fecha:	11/11/2020
	Bohon Vidal Ccana Ccapatinta		
LUGAR:	Trabajo en gabinete		
MATERIAL:	Hoja de cálculo		
<b>FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO EXPERIMENTAL</b>			
	Siendo:		
	T	Periodo de vibración	
	Gráfico		
			
	Cálculo del amortiguamiento experimental		
	AMS (%)	T	Promedio
	0		
	0		
	0		
	2		
	2		
	2		
	4		
	4		
	4		
	4		
	6		
	6		
	6		
	6		
	8		
	8		
	8		
	8		
	10		
	10		
	10		





### 3.4.1.12 Formato para toma de datos de desplazamiento con vibración forzada

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b> 															
<b>ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL</b>															
HOJA DE TOMA DE DATOS DE DESPLAZAMIENTO CON VIBRACIÓN FORZADA															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco										Fecha:		11/11/2020	
		Bohon Vidal Ccana Ccapatinta													
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
MATERIAL:		Hoja de cálculo													
DESPLAZAMIENTO DE VIBRACIÓN LIBRE															
Frecuencia=															
Desplazamiento=															
t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)
0.00		0.90		1.80		4.48		5.38		6.28		7.18		8.08	
0.03		0.93		1.83		4.51		5.41		6.31		7.21		8.11	
0.06		0.96		3.10		4.54		5.44		6.34		7.24		8.14	
0.09		0.99		3.15		4.57		5.47		6.37		7.27		8.17	
0.12		1.02		3.20		4.60		5.50		6.40		7.30		8.20	
0.15		1.05		3.25		4.63		5.53		6.43		7.33		8.23	
0.18		1.08		3.30		4.66		5.56		6.46		7.36		8.26	
0.21		1.11		3.35		4.69		5.59		6.49		7.39		8.29	
0.24		1.14		3.40		4.72		5.62		6.52		7.42		8.32	
0.27		1.17		3.45		4.75		5.65		6.55		7.45		8.35	
0.30		1.20		3.50		4.78		5.68		6.58		7.48		8.38	
0.33		1.23		3.55		4.81		5.71		6.61		7.51		8.41	
0.36		1.26		3.60		4.84		5.74		6.64		7.54		8.44	
0.39		1.29		3.65		4.87		5.77		6.67		7.57		8.47	
0.42		1.32		3.70		4.90		5.80		6.70		7.60		8.50	
0.45		1.35		3.75		4.93		5.83		6.73		7.63		8.53	
0.48		1.38		3.80		4.96		5.86		6.76		7.66		8.56	
0.51		1.41		3.85		4.99		5.89		6.79		7.69		8.59	
0.54		1.44		3.90		5.02		5.92		6.82		7.72		8.62	
0.57		1.47		3.95		5.05		5.95		6.85		7.75		8.65	
0.60		1.50		4.00		5.08		5.98		6.88		7.78		8.68	
0.63		1.53		4.05		5.11		6.01		6.91		7.81		8.71	
0.66		1.56		4.10		5.14		6.04		6.94		7.84		8.74	
0.69		1.59		4.15		5.17		6.07		6.97		7.87		8.77	
0.72		1.62		4.20		5.20		6.10		7.00		7.90		8.80	
0.75		1.65		4.25		5.23		6.13		7.03		7.93		8.83	
0.78		1.68		4.30		5.26		6.16		7.06		7.96		8.86	
0.81		1.71		4.35		5.29		6.19		7.09		7.99		8.89	
0.84		1.74		4.40		5.32		6.22		7.12		8.02		8.92	
0.87		1.77		4.45		5.35		6.25		7.15		8.05		8.95	



### 3.4.1.13 Formato para toma de datos de aceleración máxima experimental de la estructura

 <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b></p> 															
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL															
HOJA DE TOMA DE DATOS DE ACELERACIÓN MÁX. EXPERIMENTAL DE LA ESTRUCTURA															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco						Fecha:		11/11/2020					
		Bohon Vidal Ccana Ccapatinta													
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
MATERIAL:		Hoja de cálculo													
ACELERACIONES MÁXIMAS EXPERIMENTALES DE LA ESTRUCTURA															
Frecuencia=															
Desplazamiento=															
t(s)	a(cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a(cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a(cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a(cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a(cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a(cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a(cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a(cm/s <sup>2</sup> )
0.00		0.90		1.80		2.70		3.60		4.50		5.40		6.30	
0.03		0.93		1.83		2.73		3.63		4.53		5.43		6.33	
0.06		0.96		1.86		2.76		3.66		4.56		5.46		6.36	
0.09		0.99		1.89		2.79		3.69		4.59		5.49		6.39	
0.12		1.02		1.92		2.82		3.72		4.62		5.52		6.42	
0.15		1.05		1.95		2.85		3.75		4.65		5.55		6.45	
0.18		1.08		1.98		2.88		3.78		4.68		5.58		6.48	
0.21		1.11		2.01		2.91		3.81		4.71		5.61		6.51	
0.24		1.14		2.04		2.94		3.84		4.74		5.64		6.54	
0.27		1.17		2.07		2.97		3.87		4.77		5.67		6.57	
0.30		1.20		2.10		3.00		3.90		4.80		5.70		6.60	
0.33		1.23		2.13		3.03		3.93		4.83		5.73		6.63	
0.36		1.26		2.16		3.06		3.96		4.86		5.76		6.66	
0.39		1.29		2.19		3.09		3.99		4.89		5.79		6.69	
0.42		1.32		2.22		3.12		4.02		4.92		5.82		6.72	
0.45		1.35		2.25		3.15		4.05		4.95		5.85		6.75	
0.48		1.38		2.28		3.18		4.08		4.98		5.88		6.78	
0.51		1.41		2.31		3.21		4.11		5.01		5.91		6.81	
0.54		1.44		2.34		3.24		4.14		5.04		5.94		6.84	
0.57		1.47		2.37		3.27		4.17		5.07		5.97		6.87	
0.60		1.50		2.40		3.30		4.20		5.10		6.00		6.90	
0.63		1.53		2.43		3.33		4.23		5.13		6.03		6.93	
0.66		1.56		2.46		3.36		4.26		5.16		6.06		6.96	
0.69		1.59		2.49		3.39		4.29		5.19		6.09		6.99	
0.72		1.62		2.52		3.42		4.32		5.22		6.12		7.02	
0.75		1.65		2.55		3.45		4.35		5.25		6.15		7.05	
0.78		1.68		2.58		3.48		4.38		5.28		6.18		7.08	
0.81		1.71		2.61		3.51		4.41		5.31		6.21		7.11	
0.84		1.74		2.64		3.54		4.44		5.34		6.24		7.14	
0.87		1.77		2.67		3.57		4.47		5.37		6.27		7.17	



### 3.4.1.14 Formato para el cálculo de desplazamiento y aceleración por el método de Runge - Kutta

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																	
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL																	
HOJA DEL MÉTODO RUNGE KUTTA																	
TESISTAS:	Lening Rafael Apaza Surco Bohon Vidal Ccana Ccapatinta																
LUGAR:	Trabajo en gabinete																
MATERIAL:	Hoja de cálculo																
	Fecha: 11/11/2020																
t(s)	d1 (cm)	d2 (cm)	d3 (cm)	d4 (cm)	a4 (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	d1 (cm)	d2 (cm)	d3 (cm)	d4 (cm)	a4 (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	d1 (cm)	d2 (cm)	d3 (cm)	d4 (cm)	a4 (cm/s <sup>2</sup> )
0.00						2.01						4.02					
0.03						2.04						4.05					
0.06						2.07						4.08					
0.09						2.10						4.11					
0.12						2.13						4.14					
0.15						2.16						4.17					
0.18						2.19						4.20					
0.21						2.22						4.23					
0.24						2.25						4.26					
0.27						2.28						4.29					
0.30						2.31						4.32					
0.33						2.34						4.35					
0.36						2.37						4.38					
0.39						2.40						4.41					
0.42						2.43						4.44					
0.45						2.46						4.47					
0.48						2.49						4.50					
0.51						2.52						4.53					
0.54						2.55						4.56					
0.57						2.58						4.59					
0.60						2.61						4.62					
0.63						2.64						4.65					
0.66						2.67						4.68					
0.69						2.70						4.71					
0.72						2.73						4.74					
0.75						2.76						4.77					
0.78						2.79						4.80					
0.81						2.82						4.83					
0.84						2.85						4.86					
0.87						2.88						4.89					
0.90						2.91						4.92					
0.93						2.94						4.95					
0.96						2.97						4.98					
0.99						3.00						5.01					
1.02						3.03						5.04					
1.05						3.06						5.07					
1.08						3.09						5.10					
1.11						3.12						5.13					
1.14						3.15						5.16					
1.17						3.18						5.19					
1.20						3.21						5.22					
1.23						3.24						5.25					
1.26						3.27						5.28					
1.29						3.30						5.31					
1.32						3.33						5.34					
1.35						3.36						5.37					
1.38						3.39						5.40					
1.41						3.42						5.43					
1.44						3.45						5.46					
1.47						3.48						5.49					
1.50						3.51						5.52					
1.53						3.54						5.55					
1.56						3.57						5.58					
1.59						3.60						5.61					
1.62						3.63						5.64					
1.65						3.66						5.67					
1.68						3.69						5.70					
1.71						3.72						5.73					
1.74						3.75						5.76					
1.77						3.78						5.79					
1.80						3.81						5.82					
1.83						3.84						5.85					
1.86						3.87						5.88					
1.89						3.90						5.91					
1.92						3.93						5.94					
1.95						3.96						5.97					
1.98						3.99						6.00					



### 3.4.2 Instrumentos de Ingeniería

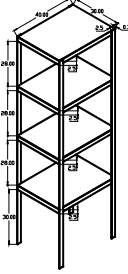


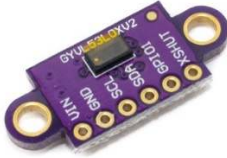

Tabla 4

*Software de Ingeniería*

<ul style="list-style-type: none"><li>• Matlab</li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Arduino</li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• AutoCAD 2020</li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Solidwork 2020</li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Maple</li></ul>	

**Tabla 5**

*Equipos de Análisis, Recolección y Procesamiento*

<ul style="list-style-type: none"><li>• Configuración de la maqueta estructural del sistema aporticado.</li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Microsoft Excel 2016. (Hojas de cálculo).</li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Grapher</li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• 01 sensores VL53L0X que miden el desplazamiento.</li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• 02 sensores MPU6050 que miden la aceleración.</li></ul>	





<ul style="list-style-type: none"><li>• 04 Arduino Uno R3</li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• 01 vernier.</li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• 01 cronómetro</li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• 01 mesa vibratoria.</li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• 01 regla de 40 cm.</li></ul>	



### 3.5 Procedimientos de Recolección de datos

#### 3.5.1 Propiedades de los materiales

a) Objetivos:

Reconocer las propiedades de los materiales en el sistema estructural utilizados en columnas, vigas y losas.

b) Instrumentos utilizados en la prueba

Especificaciones técnicas

c) Procedimiento

La obtención de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales se hizo mediante las especificaciones técnicas de los materiales.

d) Toma de datos

**Tabla 6**

*Propiedades Físicas y Mecánicas del Acero.*

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL					
<b>PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL ACERO</b>					
TESISTAS:	Lening Rafael Apaza Surco		FECHA:	11/11/2020	
	Bohon Vidal Ccana Ccapatinta				
LUGAR:	Trabajo en gabinete				
MATERIAL:	Hoja de cálculo				
<b>PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL ACERO</b>					
	Peso específico (kgf/m <sup>3</sup> )	Módulo de elasticidad (kgf/cm <sup>2</sup> )	Fluencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de Poisson	Módulo de corte (kgf/cm <sup>2</sup> )
	7860	2100000	4200	0.27	787437.93

#### 3.5.2 Momento de inercia

a) Objetivos:



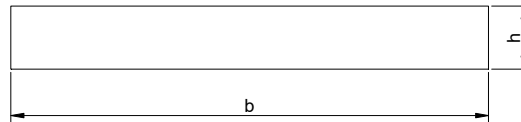
Definir el momento de inercia de la sección transversal de la platina de acero, el cual desempeña un papel análogo al de la masa inercial en el caso del movimiento rectilíneo y uniforme.

b) Instrumentos utilizados en la prueba

Hoja electrónica para el cálculo de Inercia y Vernier

c) Procedimiento

Se identificaron las dimensiones de la sección transversal de la platina de acero y centroide



• **Cálculo del momento de inercia.**

El momento de inercia referente a un eje paralelo que cruza el centro de masas.




$$I = \frac{b * h^3}{12} \quad \text{Ec. (95)}$$

Nota: se trabajará en el sentido x el cual es el lado menos rígido para poder apreciar el desplazamiento y las aceleraciones

d) Toma de datos

**Tabla 7**

*Toma de Datos para el Cálculo de Inercia*

 <p><b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b></p> 				
<p>ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON E: SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL</p>				
<p><b>HOJA PARA EL CÁLCULO DE INERCIA</b></p>				
TESISTAS:	Lening Rafael Apaza Surco	FECHA:	11/11/2020	
	Bohon Vidal Ccana Ccapatinta			
LUGAR:	Trabajo en gabinete			
MATERIAL:	Hoja de cálculo			
CÁLCULO DE INERCIA				
		$I_x = \frac{b * h^3}{12}$	$I_y = \frac{h * b^3}{12}$	
Descripción	b (cm)	h (cm)	Ix	Iy
Figura	2.5	0.300		



### 3.5.3 Rigidez estructural

a) Objetivos:

- Identificar los parámetros necesarios que intervienen en el cálculo de la rigidez.
- Calcular el aporte de rigidez de la columna en 1GDL, la cual se define como la capacidad de soportar cargas o tensiones sin deformarse o desplazarse excesivamente, también la rigidez se define como la relación entre las fuerzas externas y las deformaciones que ellas inducen en el cuerpo.

b) Instrumentos utilizados en la prueba

Hoja electrónica de propiedades de los materiales

c) Procedimiento

Se identificaron las propiedades mecánicas del material, el módulo de elasticidad, así también la altura de la columna, y el momento inercia

- **Cálculo la rigidez estructural.**

Se calcula el aporte de rigidez de los elementos estructurales resistentes a flexo compresión (columnas), en función de las propiedades como el módulo de elasticidad, la inercia y altura de la columna

$$k_{col} = \frac{12EI}{h^3} \quad \text{Ec. (96)}$$

$E$  = Módulo de elasticidad

$I$  = Inercia

$h$  = altura de la columna



d) Toma de datos

**Tabla 8**

*Toma de Datos para el Cálculo de la Rigidez*

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p> 						
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL						
HOJA PARA EL CÁLCULO DE RIGIDEZ ESTRUCTURAL						
TESISTAS:	Lening Rafael Apaza Surco			Fecha:	11/11/2020	
	Bohon Vidal Ccana Ccapatinta					
LUGAR:	Trabajo en gabinete					
MATERIAL:	Hoja de cálculo					
CÁLCULO DE RIGIDEZ						
				$k_{col} = \frac{12EI}{h^3}$		
Nivel	E (kgf/cm <sup>2</sup> )	I (cm <sup>4</sup> )	h (cm)	K 1col (kgf/cm)	K 4col (kgf/cm)	K 4col (kgf/m)
1	2100000.00		30.0			
2	2100000.00		28.0			
3	2100000.00		28.0			
4	2100000.00		28.0			

### 3.5.4 Metrado de masa

a) Objetivos:

- Cuantificar la masa de los materiales utilizados para los elementos estructurales en la maqueta con sistema estructural aporticado por nivel.

b) Instrumentos utilizados en la prueba

Hoja electrónica de metrado de masa y propiedades físicas de los materiales.

c) Procedimiento

Se identificaron las dimensiones de los elementos estructurales columna, viga y losa.



**Figura 47**

*Metrado de estructura para cálculo de masa.*



- **Metrado de materiales**

Se calcula la masa de la maqueta con estructura aporricada por piso.

$$P_{elem} = C_{elem} * A * L * P$$

$P_{elem}$ : Peso del elemento estructural.

$C_{elem}$ : Cantidad de elementos

$A$ : Sección o área.

$L$ : Longitud

$P$ : Peso específico

d) Toma de datos



**Tabla 9**

*Toma de Datos para el Metrado*

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		A ESCALA ALÍptica Y	
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL							
<b>HOJA DE METRADO</b>							
TESISTAS:	Lening Rafael Apaza Surco			FECHA:		11/11/2020	
	Bohon Vidal Ccana Ccapatinta						
LUGAR:	Trabajo en gabinete						
MATERIAL:	Hoja de cálculo						
<b>METRADO</b>							
<b>1° Nivel</b>							
Descripción	Número de elem.	Área (m2)	Longitud (m)	Peso específico (kgf/cm3)	Peso (kgf)	Masa (kgf-s2/m)	
Columnas	4	0.0000794	0.33	7860			
Vigas x-x	2	0.0001487	0.40	7860			
Vigas y-y	2	0.0001487	0.30	7860			
Losa	1	0.12000	0.003	7860			
Total							
<b>2° - 3° Nivel</b>							
Descripción	Número de elem.	Área (m2)	Longitud (m)	Peso específico (kgf/cm3)	Peso (kgf)	Masa (kgf-s2/m)	
Columnas	4	0.0000794	0.33	7860			
Vigas x-x	2	0.0001487	0.40	7860			
Vigas y-y	2	0.0001487	0.30	7860			
Losa	1	0.12000	0.003	7860			
Total							
<b>4° Nivel</b>							
Descripción	Número de elem.	Área (m2)	Longitud (m)	Peso específico (kgf/cm3)	Peso (kgf)	Masa (kgf-s2/m)	
Columnas	4	0.0000794	0.33	7860			
Vigas x-x	2	0.0001487	0.40	7860			
Vigas y-y	2	0.0001487	0.30	7860			
Losa	1	0.12000	0.003	7860			
Apoyo del res	1	0.0000794	0.090	7860			
Carril	1	-	-	-			
Total							



### 3.5.5 Rigidez del resorte – ley de hook

a) Objetivos:

- Determinar la rigidez del resorte con la ley de Hook

b) Instrumentos utilizados en la prueba

Hoja electrónica de formato para el cálculo de Rigidez del resorte – ley de Hook, regla metálica y pesas de platina.

c) Procedimiento

Se coloca el resorte y las respectivas masas y se ve el incremento proporcional de la deformación para poder calcular la rigidez del resorte.

#### Figura 48

*Medida de Longitud Inicial del Resorte para Calcular sus Rigideces Mediante la ley de Hook.*







**Figura 49**

*Medición de Masas en la Balanza para Colocar al Resorte y ver la Deformación.*



**Figura 50**

*Incorporación de Pesas al Resorte para Medir la Longitud Final.*





- Rigidez del resorte

Se calcula la masa de la maqueta con estructura aporticada por piso.

- d) Toma de datos

**Tabla 10**

*Toma de Datos para Determinar la Rigidez del Resorte*

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL					
<b>HOJA PARA LA RIGIDEZ DEL RESORTE</b>					
TESISTAS:	Lening Rafael Apaza Surco			FECHA:	12/11/2020
	Bohon Vidal Ccana Ccapatinta				
LUGAR:	Trabajo en gabinete				
MATERIAL:	Hoja de cálculo				
CÁLCULO DE LA RIGIDEZ DEL RESORTE					
		$F = k * x$ $x = L_f - L_i$			
Resorte tipo 1					
Incremento (Kgf)	Peso(Kgf)	Li (inicial cm)	Lf (final cm)	x (deformación cm)	K (kgf/cm)
0.419	0.419	7.9	8.77		
0.418	0.837	7.9	9.64		
0.415	1.252	7.9	10.50		
0.417	1.669	7.9	11.37		
0.42	2.089	7.9	12.25		
Resorte tipo 2					
Incremento (Kgf)	Peso(Kgf)	Li (inicial cm)	Lf (final cm)	x (deformación cm)	K (kgf/cm)
0.417	0.417	7.75	8.23		
0.417	0.834	7.75	8.70		
0.417	1.251	7.75	9.25		
0.416	1.667	7.75	9.75		
0.421	2.088	7.75	10.20		
Resorte tipo 3					
Incremento (Kgf)	Peso(Kgf)	Li (inicial cm)	Lf (final cm)	x (deformación cm)	K (kgf/cm)
0.421	0.421	9.7	10.24		
0.418	0.839	9.7	10.78		
0.417	1.256	9.7	11.33		
0.417	1.673	9.7	11.85		
0.418	2.091	9.7	12.41		



### 3.5.6 Registro de desplazamiento en vibración libre

a) Objetivos:

- Registrar los datos del desplazamiento con el sensor VL53L0X de la estructura a partir de una vibración libre, para poder determinar el periodo de vibración y el factor de amortiguamiento de la estructura, sin Amortiguador de Masa Sintonizada y con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.32%, 4.38%, 5.98% y 7.33%.

b) Instrumentos utilizados en la prueba

- Hoja electrónica de formato para toma de datos de desplazamiento en vibración libre, sensor VL53LX, ARDUINO UNO R3 (controlador) y MATLAB (recolector).

c) Procedimiento

- Se instala correctamente el sensor de desplazamiento, se coloca un receptor, en este caso una hoja blanca que según especificaciones es lo recomendado. Esto sobre una superficie fija.

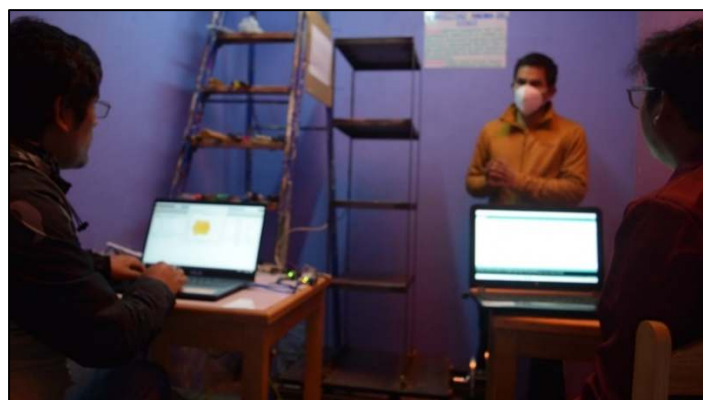
#### Figura 51

*Ubicación de Sensores de Desplazamiento y Aceleración en parte Superior de la Estructura.*



#### Figura 52

*Indicaciones Previas a la Toma de Datos por parte del Ing. Asesor.*





**Figura 53**

*Movimiento de Estructura para Cálculo de Amortiguamiento por Medio de Vibración Libre y Registro de Datos Mediante Matlab.*



**Figura 54**



*Desplazamiento Inicial de la Estructura Incorporado con Amortiguador de Masa Sintonizada para Cálculo de Amortiguamiento y Recolección de Datos Mediante Matlab*





d) Toma de datos

### 3.5.6.1 Registro de desplazamiento en vibración libre sin Amortiguador de Masa Sintonizada

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL											
 															
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO MODELADO A ESCALA SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS) SIMULADO DE FORMA ANALÍTICA Y EXPERIMENTAL															
<b>HOJA DE TOMA DE DATOS DE DESPLAZAMIENTO CON VIBRACIÓN LIBRE</b>															
TESISTAS:	Lening Rafael Apaza Surco								Fecha:	16/11/2020					
	Bohon Vidal Ccana Ccapatinta														
LUGAR:	Trabajo en gabinete														
MATERIAL:	Hoja de cálculo														
DESPLAZAMIENTO DE VIBRACIÓN LIBRE															
t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)
0.00	0.00	0.90	-4.83	1.80	1.07	2.70	3.07	3.60	2.37	4.50	2.07	5.40	-1.03	6.30	-1.43
0.03	2.87	0.93	-4.53	1.83	-2.73	2.73	-0.53	3.63	-0.73	4.53	2.27	5.43	0.57	6.33	-1.43
0.06	5.77	0.96	0.17	1.86	-3.93	2.76	-3.23	3.66	-2.63	4.56	0.47	5.46	2.07	6.36	-0.33
0.09	1.07	0.99	3.57	1.89	-1.63	2.79	-3.03	3.69	-2.63	4.59	-2.13	5.49	1.17	6.39	1.77
0.12	-2.53	1.02	4.37	1.92	1.17	2.82	-0.53	3.72	0.47	4.62	-2.13	5.52	-0.43	6.42	1.77
0.15	-5.43	1.05	1.37	1.95	3.87	2.85	2.37	3.75	2.57	4.65	-0.83	5.55	-1.63	6.45	-0.03
0.18	-1.23	1.08	-3.43	1.98	1.47	2.88	3.07	3.78	2.27	4.68	1.07	5.58	-1.63	6.48	-1.33
0.21	2.97	1.11	-4.43	2.01	-2.13	2.91	0.47	3.81	-0.23	4.71	2.27	5.61	0.07	6.51	-1.33
0.24	5.17	1.14	-1.93	2.04	-3.83	2.94	-1.63	3.84	-1.43	4.74	1.27	5.64	1.67	6.54	-0.33
0.27	3.97	1.17	2.97	2.07	-1.33	2.97	-3.13	3.87	-2.53	4.77	-1.13	5.67	1.77	6.57	1.17
0.30	-2.13	1.20	4.37	2.10	2.27	3.00	-0.83	3.90	-0.33	4.80	-2.03	5.70	-0.23	6.60	1.77
0.33	-5.33	1.23	1.07	2.13	3.87	3.03	1.57	3.93	1.17	4.83	-1.43	5.73	-1.63	6.63	0.07
0.36	-3.83	1.26	-1.93	2.16	0.37	3.06	2.77	3.96	2.67	4.86	1.17	5.76	-1.63	6.66	-1.23
0.39	2.47	1.29	-4.33	2.19	-1.83	3.09	1.87	3.99	1.67	4.89	2.37	5.79	-1.03	6.69	-1.23
0.42	4.97	1.32	-1.93	2.22	-3.73	3.12	-1.63	4.02	-1.13	4.92	2.27	5.82	1.67	6.72	-0.23
0.45	3.87	1.35	0.97	2.25	-0.23	3.15	-2.93	4.05	-2.43	4.95	-0.23	5.85	1.77	6.75	1.07
0.48	0.07	1.38	4.27	2.28	1.87	3.18	-2.13	4.08	-2.13	4.98	-1.93	5.88	0.67	6.78	1.77
0.51	-4.83	1.41	3.37	2.31	3.57	3.21	1.77	4.11	1.07	5.01	-1.93	5.91	-1.43	6.81	0.27
0.54	-5.13	1.44	-1.03	2.34	0.77	3.24	2.57	4.14	2.37	5.04	0.17	5.94	-1.53	6.84	-0.53
0.57	-0.73	1.47	-4.23	2.37	-1.83	3.27	2.17	4.17	1.97	5.07	1.27	5.97	-1.13	6.87	-1.13
0.60	3.47	1.50	-3.63	2.40	-3.63	3.30	-0.93	4.20	-0.53	5.10	2.27	6.00	1.37	6.90	-1.13
0.63	4.67	1.53	0.47	2.43	-2.13	3.33	-2.83	4.23	-2.33	5.13	-0.13	6.03	1.77	6.93	0.67
0.66	2.37	1.56	3.37	2.46	1.37	3.36	-2.13	4.26	-2.23	5.16	-1.83	6.06	0.77	6.96	1.67
0.69	-3.43	1.59	3.77	2.49	3.57	3.39	0.27	4.29	-0.63	5.19	-1.83	6.09	-1.03	6.99	0.17
0.72	-5.03	1.62	1.37	2.52	2.57	3.42	2.67	4.32	2.37	5.22	0.07	6.12	-1.53	7.02	-1.03
0.75	-2.43	1.65	-3.13	2.55	-1.43	3.45	1.27	4.35	1.87	5.25	1.27	6.15	-1.43	7.05	-1.03
0.78	0.77	1.68	-4.03	2.58	-3.53	3.48	-2.13	4.38	0.47	5.28	1.97	6.18	0.37	7.08	-0.83
0.81	4.37	1.71	-1.73	2.61	-2.33	3.51	-2.73	4.41	-2.03	5.31	-0.23	6.21	1.77	7.11	1.17
0.84	3.07	1.74	2.97	2.64	0.37	3.54	0.87	4.44	-2.23	5.34	-1.33	6.24	1.27	7.14	1.67
0.87	-0.93	1.77	3.77	2.67	2.57	3.57	2.77	4.47	0.27	5.37	-1.73	6.27	-0.43	7.17	1.17



### 3.5.6.2 Registro de desplazamiento en vibración libre con Amortiguador de Masa



Sintonizada al 4.32%

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL											
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO MODELADO A ESCALA SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS) SIMULADO DE FORMA ANALÍTICA Y EXPERIMENTAL													
<b>HOJA DE TOMA DE DATOS DE DESPLAZAMIENTO CON VIBRACIÓN LIBRE</b>													
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco						Fecha:		16/11/2020			
		Bohon Vidal Ccana Ccapatinta											
LUGAR:		Trabajo en gabinete											
MATERIAL		Hoja de cálculo											
DESPLAZAMIENTO DE VIBRACIÓN LIBRE													
t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)
0.00	0	0.90	0.369	1.80	0.00	2.70	0.00	3.60	0.00	4.50	0.00	5.40	0.00
0.03	0.169	0.93	1.069	1.83	0.00	2.73	0.00	3.63	0.00	4.53	0.00	5.43	0.00
0.06	0.269	0.96	1.069	1.86	0.00	2.76	0.00	3.66	0.00	4.56	0.00	5.46	0.00
0.09	-0.33	0.99	0.369	1.89	0.00	2.79	0.00	3.69	0.00	4.59	0.00	5.49	0.00
0.12	-0.73	1.02	-0.83	1.92	0.00	2.82	0.00	3.72	0.00	4.62	0.00	5.52	0.00
0.15	-0.83	1.05	-0.83	1.95	0.00	2.85	0.00	3.75	0.00	4.65	0.00	5.55	0.00
0.18	-1.03	1.08	-0.13	1.98	0.00	2.88	0.00	3.78	0.00	4.68	0.00	5.58	0.00
0.21	0.169	1.11	0.269	2.01	0.00	2.91	0.00	3.81	0.00	4.71	0.00	5.61	0.00
0.24	0.869	1.14	0.569	2.04	0.00	2.94	0.00	3.84	0.00	4.74	0.00	5.64	0.00
0.27	1.569	1.17	0.669	2.07	0.00	2.97	0.00	3.87	0.00	4.77	0.00	5.67	0.00
0.30	1.269	1.20	-0.03	2.10	0.00	3.00	0.00	3.90	0.00	4.80	0.00	5.70	0.00
0.33	-0.23	1.23	-0.73	2.13	0.00	3.03	0.00	3.93	0.00	4.83	0.00	5.73	0.00
0.36	-0.93	1.26	-0.73	2.16	0.00	3.06	0.00	3.96	0.00	4.86	0.00	5.76	0.00
0.39	-1.63	1.29	-0.53	2.19	0.00	3.09	0.00	3.99	0.00	4.89	0.00	5.79	0.00
0.42	-0.43	1.32	0.169	2.22	0.00	3.12	0.00	4.02	0.00	4.92	0.00	5.82	0.00
0.45	0.869	1.35	0.469	2.25	0.00	3.15	0.00	4.05	0.00	4.95	0.00	5.85	0.00
0.48	1.869	1.38	0.569	2.28	0.00	3.18	0.00	4.08	0.00	4.98	0.00	5.88	0.00
0.51	1.569	1.41	0.569	2.31	0.00	3.21	0.00	4.11	0.00	5.01	0.00	5.91	0.00
0.54	0.669	1.44	-0.23	2.34	0.00	3.24	0.00	4.14	0.00	5.04	0.00	5.94	0.00
0.57	-0.93	1.47	-0.53	2.37	0.00	3.27	0.00	4.17	0.00	5.07	0.00	5.97	0.00
0.60	-1.33	1.50	-0.53	2.40	0.00	3.30	0.00	4.20	0.00	5.10	0.00	6.00	0.00
0.63	-1.23	1.53	-0.13	2.43	0.00	3.33	0.00	4.23	0.00	5.13	0.00	6.03	0.00
0.66	0.169	1.56	0.169	2.46	0.00	3.36	0.00	4.26	0.00	5.16	0.00	6.06	0.00
0.69	0.769	1.59	0.269	2.49	0.00	3.39	0.00	4.29	0.00	5.19	0.00	6.09	0.00
0.72	1.369	1.62	-0.03	2.52	0.00	3.42	0.00	4.32	0.00	5.22	0.00	6.12	0.00
0.75	0.569	1.65	-0.23	2.55	0.00	3.45	0.00	4.35	0.00	5.25	0.00	6.15	0.00
0.78	-0.33	1.68	-0.33	2.58	0.00	3.48	0.00	4.38	0.00	5.28	0.00	6.18	0.00
0.81	-0.93	1.71	-0.23	2.61	0.00	3.51	0.00	4.41	0.00	5.31	0.00	6.21	0.00
0.84	-1.03	1.74	0.069	2.64	0.00	3.54	0.00	4.44	0.00	5.34	0.00	6.24	0.00
0.87	-0.83	1.77	0.00	2.67	0.00	3.57	0.00	4.47	0.00	5.37	0.00	6.27	0.00



### 3.5.6.3 Registro de desplazamiento en vibración libre con Amortiguador de Masa



Sintonizada al 4.38%

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>													
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO MODELADO A ESCALA SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS) SIMULADO DE FORMA ANALÍTICA Y EXPERIMENTAL															
<b>HOJA DE TOMA DE DATOS DE DESPLAZAMIENTO CON VIBRACIÓN LIBRE</b>															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco						Fecha:		16/11/2020					
		Bohon Vidal Ccana Ccpatinta													
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
MATERIAL		Hoja de cálculo													
DESPLAZAMIENTO DE VIBRACIÓN LIBRE															
t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)		
0.00	0	0.90	-0.62	1.80	0.00	2.70	0.00	3.60	0.00	4.50	0.00	5.40	0.00	6.30	0.00
0.03	-1.62	0.93	0.684	1.83	0.00	2.73	0.00	3.63	0.00	4.53	0.00	5.43	0.00	6.33	0.00
0.06	-1.72	0.96	0.684	1.86	0.00	2.76	0.00	3.66	0.00	4.56	0.00	5.46	0.00	6.36	0.00
0.09	-0.32	0.99	0.584	1.89	0.00	2.79	0.00	3.69	0.00	4.59	0.00	5.49	0.00	6.39	0.00
0.12	1.284	1.02	0.084	1.92	0.00	2.82	0.00	3.72	0.00	4.62	0.00	5.52	0.00	6.42	0.00
0.15	1.684	1.05	-0.32	1.95	0.00	2.85	0.00	3.75	0.00	4.65	0.00	5.55	0.00	6.45	0.00
0.18	-0.02	1.08	-0.42	1.98	0.00	2.88	0.00	3.78	0.00	4.68	0.00	5.58	0.00	6.48	0.00
0.21	-1.02	1.11	-0.42	2.01	0.00	2.91	0.00	3.81	0.00	4.71	0.00	5.61	0.00	6.51	0.00
0.24	-1.32	1.14	0.184	2.04	0.00	2.94	0.00	3.84	0.00	4.74	0.00	5.64	0.00	6.54	0.00
0.27	-0.92	1.17	0.484	2.07	0.00	2.97	0.00	3.87	0.00	4.77	0.00	5.67	0.00	6.57	0.00
0.30	-0.32	1.20	0.384	2.10	0.00	3.00	0.00	3.90	0.00	4.80	0.00	5.70	0.00	6.60	0.00
0.33	0.884	1.23	-0.22	2.13	0.00	3.03	0.00	3.93	0.00	4.83	0.00	5.73	0.00	6.63	0.00
0.36	1.384	1.26	-0.22	2.16	0.00	3.06	0.00	3.96	0.00	4.86	0.00	5.76	0.00	6.66	0.00
0.39	-0.12	1.29	-0.12	2.19	0.00	3.09	0.00	3.99	0.00	4.89	0.00	5.79	0.00	6.69	0.00
0.42	-0.72	1.32	0.184	2.22	0.00	3.12	0.00	4.02	0.00	4.92	0.00	5.82	0.00	6.72	0.00
0.45	-1.02	1.35	0.284	2.25	0.00	3.15	0.00	4.05	0.00	4.95	0.00	5.85	0.00	6.75	0.00
0.48	-1.02	1.38	0.284	2.28	0.00	3.18	0.00	4.08	0.00	4.98	0.00	5.88	0.00	6.78	0.00
0.51	0.384	1.41	0.084	2.31	0.00	3.21	0.00	4.11	0.00	5.01	0.00	5.91	0.00	6.81	0.00
0.54	0.684	1.44	-0.12	2.34	0.00	3.24	0.00	4.14	0.00	5.04	0.00	5.94	0.00	6.84	0.00
0.57	1.084	1.47	-0.02	2.37	0.00	3.27	0.00	4.17	0.00	5.07	0.00	5.97	0.00	6.87	0.00
0.60	0.384	1.50	0.084	2.40	0.00	3.30	0.00	4.20	0.00	5.10	0.00	6.00	0.00	6.90	0.00
0.63	-0.42	1.53	0.084	2.43	0.00	3.33	0.00	4.23	0.00	5.13	0.00	6.03	0.00	6.93	0.00
0.66	-0.82	1.56	0.034	2.46	0.00	3.36	0.00	4.26	0.00	5.16	0.00	6.06	0.00	6.96	0.00
0.69	-0.42	1.59	-0.02	2.49	0.00	3.39	0.00	4.29	0.00	5.19	0.00	6.09	0.00	6.99	0.00
0.72	0.584	1.62	0.00	2.52	0.00	3.42	0.00	4.32	0.00	5.22	0.00	6.12	0.00	7.02	0.00
0.75	0.884	1.65	0.00	2.55	0.00	3.45	0.00	4.35	0.00	5.25	0.00	6.15	0.00	7.05	0.00
0.78	0.884	1.68	0.00	2.58	0.00	3.48	0.00	4.38	0.00	5.28	0.00	6.18	0.00	7.08	0.00
0.81	0.484	1.71	0.00	2.61	0.00	3.51	0.00	4.41	0.00	5.31	0.00	6.21	0.00	7.11	0.00
0.84	0.084	1.74	0.00	2.64	0.00	3.54	0.00	4.44	0.00	5.34	0.00	6.24	0.00	7.14	0.00
0.87	-0.62	1.77	0.00	2.67	0.00	3.57	0.00	4.47	0.00	5.37	0.00	6.27	0.00	7.17	0.00



### 3.5.6.4 Registro de desplazamiento en vibración libre con Amortiguador de Masa

Sintonizada al 5.98%



 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b> 													
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO MODELADO A ESCALA SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS) SIMULADO DE FORMA ANALÍTICA Y EXPERIMENTAL													
HOJA DE TOMA DE DATOS DE DESPLAZAMIENTO CON VIBRACIÓN LIBRE													
TESISTAS:				Lening Rafael Apaza Surco				Fecha:		16/11/2020			
				Bohon Vidal Ccana Ccapatinta									
LUGAR:				Trabajo en gabinete									
MATERIAL				Hoja de cálculo									
DESPLAZAMIENTO DE VIBRACIÓN LIBRE													
t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)
0.00	0	0.90	-0.95	1.80	0.00	2.70	0.00	3.60	0.00	4.50	0.00	5.40	0.00
0.03	-0.95	0.93	-1.25	1.83	0.00	2.73	0.00	3.63	0.00	4.53	0.00	5.43	0.00
0.06	-1.75	0.96	-0.75	1.86	0.00	2.76	0.00	3.66	0.00	4.56	0.00	5.46	0.00
0.09	-1.25	0.99	0.447	1.89	0.00	2.79	0.00	3.69	0.00	4.59	0.00	5.49	0.00
0.12	0.547	1.02	0.947	1.92	0.00	2.82	0.00	3.72	0.00	4.62	0.00	5.52	0.00
0.15	2.147	1.05	0.847	1.95	0.00	2.85	0.00	3.75	0.00	4.65	0.00	5.55	0.00
0.18	2.547	1.08	0.447	1.98	0.00	2.88	0.00	3.78	0.00	4.68	0.00	5.58	0.00
0.21	1.147	1.11	-0.75	2.01	0.00	2.91	0.00	3.81	0.00	4.71	0.00	5.61	0.00
0.24	-0.35	1.14	-0.95	2.04	0.00	2.94	0.00	3.84	0.00	4.74	0.00	5.64	0.00
0.27	-2.45	1.17	-0.85	2.07	0.00	2.97	0.00	3.87	0.00	4.77	0.00	5.67	0.00
0.30	-2.05	1.20	0.047	2.10	0.00	3.00	0.00	3.90	0.00	4.80	0.00	5.70	0.00
0.33	-0.45	1.23	0.447	2.13	0.00	3.03	0.00	3.93	0.00	4.83	0.00	5.73	0.00
0.36	1.547	1.26	0.447	2.16	0.00	3.06	0.00	3.96	0.00	4.86	0.00	5.76	0.00
0.39	2.047	1.29	0.247	2.19	0.00	3.09	0.00	3.99	0.00	4.89	0.00	5.79	0.00
0.42	1.547	1.32	-0.25	2.22	0.00	3.12	0.00	4.02	0.00	4.92	0.00	5.82	0.00
0.45	-0.45	1.35	-0.25	2.25	0.00	3.15	0.00	4.05	0.00	4.95	0.00	5.85	0.00
0.48	-1.45	1.38	-0.05	2.28	0.00	3.18	0.00	4.08	0.00	4.98	0.00	5.88	0.00
0.51	-1.95	1.41	0.117	2.31	0.00	3.21	0.00	4.11	0.00	5.01	0.00	5.91	0.00
0.54	-0.45	1.44	0.057	2.34	0.00	3.24	0.00	4.14	0.00	5.04	0.00	5.94	0.00
0.57	0.747	1.47	0.057	2.37	0.00	3.27	0.00	4.17	0.00	5.07	0.00	5.97	0.00
0.60	1.747	1.50	0.00	2.40	0.00	3.30	0.00	4.20	0.00	5.10	0.00	6.00	0.00
0.63	1.547	1.53	0.00	2.43	0.00	3.33	0.00	4.23	0.00	5.13	0.00	6.03	0.00
0.66	0.147	1.56	0.00	2.46	0.00	3.36	0.00	4.26	0.00	5.16	0.00	6.06	0.00
0.69	-1.15	1.59	0.00	2.49	0.00	3.39	0.00	4.29	0.00	5.19	0.00	6.09	0.00
0.72	-1.75	1.62	0.00	2.52	0.00	3.42	0.00	4.32	0.00	5.22	0.00	6.12	0.00
0.75	-1.35	1.65	0.00	2.55	0.00	3.45	0.00	4.35	0.00	5.25	0.00	6.15	0.00
0.78	1.047	1.68	0.00	2.58	0.00	3.48	0.00	4.38	0.00	5.28	0.00	6.18	0.00
0.81	1.347	1.71	0.00	2.61	0.00	3.51	0.00	4.41	0.00	5.31	0.00	6.21	0.00
0.84	1.147	1.74	0.00	2.64	0.00	3.54	0.00	4.44	0.00	5.34	0.00	6.24	0.00
0.87	0.547	1.77	0.00	2.67	0.00	3.57	0.00	4.47	0.00	5.37	0.00	6.27	0.00





### 3.5.6.5 Registro de desplazamiento en vibración libre con Amortiguador de Masa

Sintonizada al 7.33%

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL													
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO MODELADO A ESCALA SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS) SIMULADO DE FORMA ANALÍTICA Y EXPERIMENTAL															
<b>HOJA DE TOMA DE DATOS DE DESPLAZAMIENTO CON VIBRACIÓN LIBRE</b>															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco								Fecha:		16/11/2020			
		Bohon Vidal Ccana Ccpatinta													
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
MATERIAL		Hoja de cálculo													
DESPLAZAMIENTO DE VIBRACIÓN LIBRE															
t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)
0.00	0	0.90	-0.48	1.80	0.00	2.70	0.00	3.60	0.00	4.50	0.00	5.40	0.00	6.30	0.00
0.03	-2.88	0.93	0.02	1.83	0.00	2.73	0.00	3.63	0.00	4.53	0.00	5.43	0.00	6.33	0.00
0.06	-0.78	0.96	0.62	1.86	0.00	2.76	0.00	3.66	0.00	4.56	0.00	5.46	0.00	6.36	0.00
0.09	1.12	0.99	0.92	1.89	0.00	2.79	0.00	3.69	0.00	4.59	0.00	5.49	0.00	6.39	0.00
0.12	2.92	1.02	0.72	1.92	0.00	2.82	0.00	3.72	0.00	4.62	0.00	5.52	0.00	6.42	0.00
0.15	2.12	1.05	0.12	1.95	0.00	2.85	0.00	3.75	0.00	4.65	0.00	5.55	0.00	6.45	0.00
0.18	-0.08	1.08	-0.68	1.98	0.00	2.88	0.00	3.78	0.00	4.68	0.00	5.58	0.00	6.48	0.00
0.21	-1.58	1.11	-0.78	2.01	0.00	2.91	0.00	3.81	0.00	4.71	0.00	5.61	0.00	6.51	0.00
0.24	-2.18	1.14	-0.28	2.04	0.00	2.94	0.00	3.84	0.00	4.74	0.00	5.64	0.00	6.54	0.00
0.27	-1.38	1.17	0.42	2.07	0.00	2.97	0.00	3.87	0.00	4.77	0.00	5.67	0.00	6.57	0.00
0.30	0.72	1.20	0.72	2.10	0.00	3.00	0.00	3.90	0.00	4.80	0.00	5.70	0.00	6.60	0.00
0.33	2.12	1.23	0.52	2.13	0.00	3.03	0.00	3.93	0.00	4.83	0.00	5.73	0.00	6.63	0.00
0.36	1.62	1.26	0.02	2.16	0.00	3.06	0.00	3.96	0.00	4.86	0.00	5.76	0.00	6.66	0.00
0.39	0.42	1.29	-0.38	2.19	0.00	3.09	0.00	3.99	0.00	4.89	0.00	5.79	0.00	6.69	0.00
0.42	-0.98	1.32	-0.48	2.22	0.00	3.12	0.00	4.02	0.00	4.92	0.00	5.82	0.00	6.72	0.00
0.45	-1.88	1.35	-0.18	2.25	0.00	3.15	0.00	4.05	0.00	4.95	0.00	5.85	0.00	6.75	0.00
0.48	-1.58	1.38	0.02	2.28	0.00	3.18	0.00	4.08	0.00	4.98	0.00	5.88	0.00	6.78	0.00
0.51	0.02	1.41	0.07	2.31	0.00	3.21	0.00	4.11	0.00	5.01	0.00	5.91	0.00	6.81	0.00
0.54	1.62	1.44	0.002	2.34	0.00	3.24	0.00	4.14	0.00	5.04	0.00	5.94	0.00	6.84	0.00
0.57	1.52	1.47	-0.08	2.37	0.00	3.27	0.00	4.17	0.00	5.07	0.00	5.97	0.00	6.87	0.00
0.60	0.82	1.50	-0.08	2.40	0.00	3.30	0.00	4.20	0.00	5.10	0.00	6.00	0.00	6.90	0.00
0.63	-0.88	1.53	0.02	2.43	0.00	3.33	0.00	4.23	0.00	5.13	0.00	6.03	0.00	6.93	0.00
0.66	-1.48	1.56	0.02	2.46	0.00	3.36	0.00	4.26	0.00	5.16	0.00	6.06	0.00	6.96	0.00
0.69	-1.18	1.59	0.00	2.49	0.00	3.39	0.00	4.29	0.00	5.19	0.00	6.09	0.00	6.99	0.00
0.72	0.52	1.62	0.00	2.52	0.00	3.42	0.00	4.32	0.00	5.22	0.00	6.12	0.00	7.02	0.00
0.75	1.32	1.65	0.00	2.55	0.00	3.45	0.00	4.35	0.00	5.25	0.00	6.15	0.00	7.05	0.00
0.78	1.02	1.68	0.00	2.58	0.00	3.48	0.00	4.38	0.00	5.28	0.00	6.18	0.00	7.08	0.00
0.81	0.22	1.71	0.00	2.61	0.00	3.51	0.00	4.41	0.00	5.31	0.00	6.21	0.00	7.11	0.00
0.84	-1.08	1.74	0.00	2.64	0.00	3.54	0.00	4.44	0.00	5.34	0.00	6.24	0.00	7.14	0.00
0.87	-0.98	1.77	0.00	2.67	0.00	3.57	0.00	4.47	0.00	5.37	0.00	6.27	0.00	7.17	0.00



### 3.5.7 Registro de desplazamiento en vibración forzada

a) Objetivos:

- Registrar los datos del desplazamiento de la estructura a partir de una vibración forzada, para poder apreciar el comportamiento de la estructura en función de desplazamientos máximos, tanto con Amortiguador de Masa Sintonizada y sin Amortiguador de Masa Sintonizada.

b) Instrumentos utilizados en la prueba

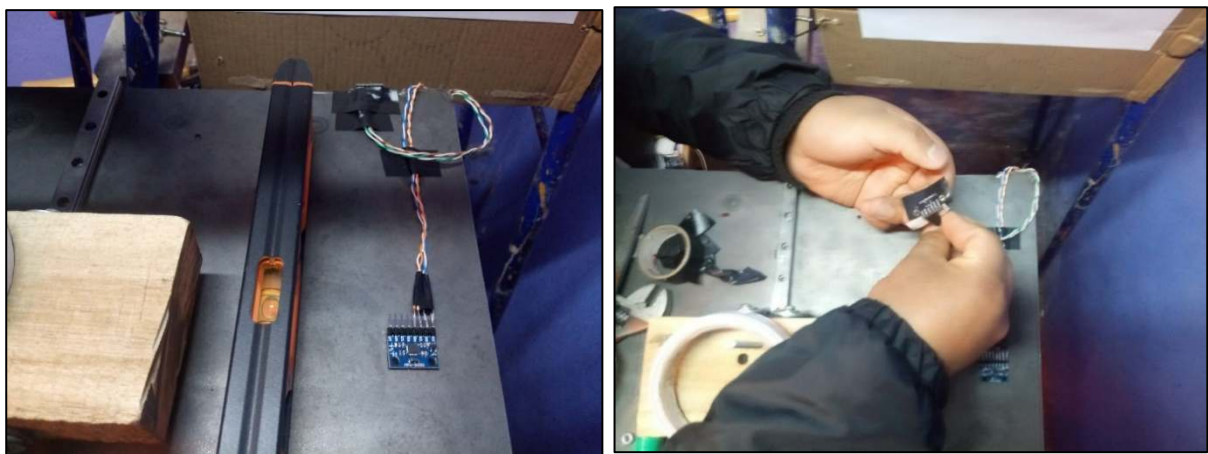
- Hoja electrónica de formato para toma de datos de desplazamiento en vibración forzada, mesa sísmica, sensor VL53L0X, ARDUINO UNO R3 (controlador). y MATLAB (recolector).

c) Procedimiento

- Se instala correctamente el sensor de desplazamiento, se coloca un receptor, en este caso una hoja blanca que según especificaciones es lo recomendado. Esto sobre una superficie fija.

**Figura 55**

*Ubicación de Sensores de Desplazamiento y Aceleración en Parte Superior de la Estructura.*





**Figura 56**

*Medida de Masa de Acuerdo a la Rigidez de los Resortes Disponibles.*



**Figura 57**

*Envío de señal Mediante Arduino para el Movimiento de Base de la Estructura, Tomándose los Datos de Aceleración y Desplazamiento Mediante Matlab, para la Estructura sin Amortiguador de Masa Sintonizada*





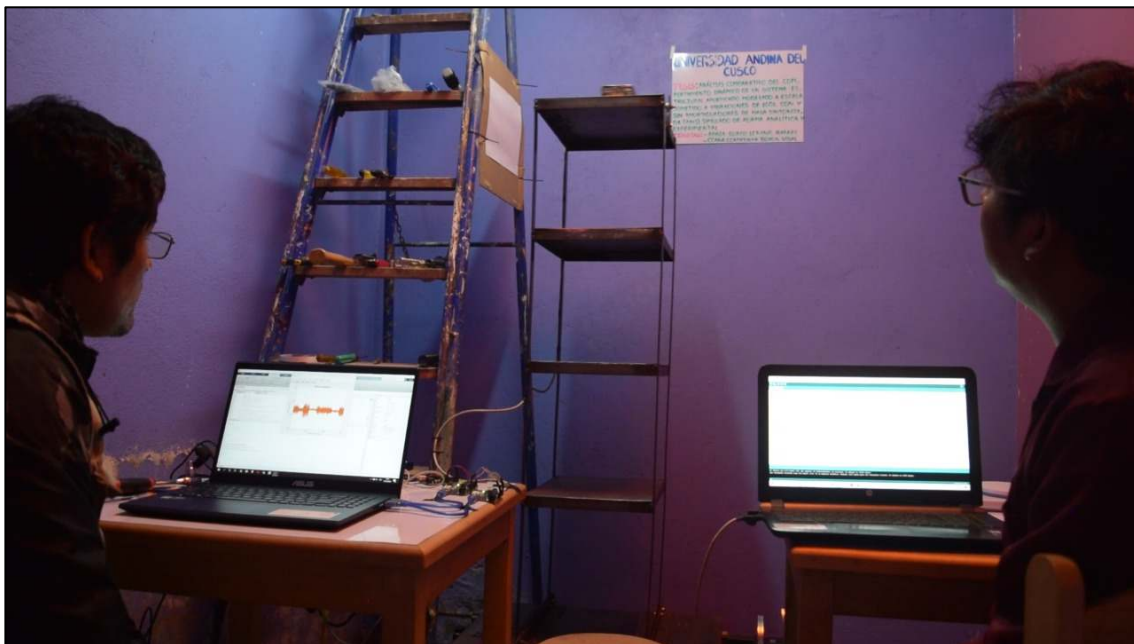
**Figura 58**

*Envío de Señal Mediante Arduino para el Movimiento de base de la Estructura Incorporada con Amortiguador de Masa Sintonizada, Recolección de Datos de Aceleración y Desplazamiento Mediante Matlab, con la Estructura Incorporada con Amortiguador de Masa Sintonizada*



**Figura 59**

*Recolección y Verificación de Datos en Tiempo Real, Mediante Matlab*





d) Toma de datos

**3.5.7.1 Registro de desplazamiento para  $f=3.0$  hz, sin Amortiguador de Masa Sintonizada**

HOJA DE TOMA DE DATOS DE DESPLAZAMIENTO CON VIBRACIÓN FORZADA															
TESISTAS: Lening Rafael Apaza Surco												Fecha:		18/11/2020	
Bohon Vidal Ccana Ccpatinta															
LUGAR: Trabajo en gabinete															
DESPLAZAMIENTO DE VIBRACIÓN FORZADA															
t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)
0.00	0	1.53	0.438	3.06	0.038	4.59	0.138	6.12	0.038	7.65	0.038	9.18	0.138	10.71	-0.26
0.03	-0.56	1.56	0.938	3.09	-0.16	4.62	0.338	6.15	-0.66	7.68	0.138	9.21	-0.06	10.74	0.338
0.06	-0.06	1.59	-0.06	3.12	-0.06	4.65	0.638	6.18	-0.56	7.71	0.638	9.24	-0.76	10.77	0.338
0.09	0.238	1.62	-0.76	3.15	0.138	4.68	-0.16	6.21	-0.16	7.74	0.238	9.27	0.338	10.80	0.338
0.12	0.638	1.65	-0.26	3.18	0.638	4.71	-0.56	6.24	0.538	7.77	-0.16	9.30	0.338	10.83	-0.56
0.15	-0.26	1.68	-0.36	3.21	0.538	4.74	0.038	6.27	0.138	7.80	-0.66	9.33	0.138	10.86	-0.66
0.18	-0.46	1.71	0.338	3.24	-0.46	4.77	0.338	6.30	0.338	7.83	-0.06	9.36	0.138	10.89	-0.56
0.21	-0.56	1.74	0.438	3.27	-0.36	4.80	0.638	6.33	-0.16	7.86	-0.06	9.39	-0.26	10.92	0.238
0.24	0.738	1.77	0.138	3.30	-0.46	4.83	0.138	6.36	0.038	7.89	0.638	9.42	-0.56	10.95	0.338
0.27	0.538	1.80	-0.56	3.33	0.538	4.86	-0.16	6.39	0.138	7.92	-0.16	9.45	-0.16	10.98	0.438
0.30	0.438	1.83	-0.46	3.36	0.438	4.89	0.238	6.42	0.238	7.95	-0.46	9.48	0.538	11.01	-0.36
0.33	0.038	1.86	0.138	3.39	0.438	4.92	-0.36	6.45	0.638	7.98	-0.06	9.51	0.538	11.04	-0.66
0.36	-0.26	1.89	0.138	3.42	-0.16	4.95	0.038	6.48	-0.26	8.01	-0.16	9.54	0.438	11.07	-0.36
0.39	-0.46	1.92	0.638	3.45	-0.46	4.98	0.238	6.51	-0.26	8.04	0.338	9.57	-0.16	11.10	0.538
0.42	-0.16	1.95	0.238	3.48	-0.76	5.01	0.538	6.54	-0.76	8.07	0.038	9.60	-0.76	11.13	0.838
0.45	0.238	1.98	-0.76	3.51	0.238	5.04	0.538	6.57	0.138	8.10	-0.06	9.63	0.038	11.16	0.338
0.48	0.338	2.01	-0.56	3.54	0.438	5.07	-0.26	6.60	0.638	8.13	-0.46	9.66	-0.56	11.19	-0.16
0.51	-0.06	2.04	0.238	3.57	0.638	5.10	-0.66	6.63	0.538	8.16	-0.36	9.69	0.438	11.22	-0.66
0.54	-0.66	2.07	0.238	3.60	-0.06	5.13	-0.26	6.66	0.138	8.19	-0.86	9.72	-0.06	11.25	0.338
0.57	-0.36	2.10	0.538	3.63	-0.46	5.16	0.838	6.69	-0.56	8.22	-0.06	9.75	-0.56	11.28	0.238
0.60	-0.46	2.13	0.038	3.66	-0.56	5.19	0.238	6.72	-0.16	8.25	0.438	9.78	-0.46	11.31	0.638
0.63	0.038	2.16	-0.26	3.69	0.138	5.22	0.038	6.75	0.138	8.28	0.438	9.81	-0.46	11.34	0.738
0.66	0.638	2.19	-0.26	3.72	0.538	5.25	-0.06	6.78	0.738	8.31	-0.16	9.84	0.438	11.37	-0.76
0.69	-0.26	2.22	0.138	3.75	0.038	5.28	-0.36	6.81	0.238	8.34	-0.56	9.87	0.238	11.40	-0.76
0.72	-0.16	2.25	0.138	3.78	-0.46	5.31	0.338	6.84	-0.26	8.37	-0.26	9.90	0.038	11.43	-0.56
0.75	-0.66	2.28	0.938	3.81	-0.56	5.34	0.538	6.87	-0.06	8.40	-0.16	9.93	-0.46	11.46	0.438
0.78	0.038	2.31	-0.06	3.84	-0.16	5.37	0.038	6.90	-0.76	8.43	0.138	9.96	-0.46	11.49	0.738
0.81	0.738	2.34	-0.36	3.87	0.638	5.40	-0.16	6.93	-0.76	8.46	0.438	9.99	0.238	11.52	0.438
0.84	0.74	2.37	-0.96	3.90	0.438	5.43	-0.36	6.96	0.938	8.49	-0.16	10.02	0.838	11.55	-0.16
0.87	0.24	2.40	0.24	3.93	0.838	5.46	-0.86	6.99	0.938	8.52	-0.66	10.05	0.438	11.58	-0.96
0.90	-0.66	2.43	0.44	3.96	0.138	5.49	-0.06	7.02	0.438	8.55	-0.46	10.08	-0.06	11.61	-0.66
0.93	-0.16	2.46	1.04	3.99	-0.16	5.52	0.338	7.05	-0.46	8.58	0.038	10.11	-0.76	11.64	-0.16
0.96	0.14	2.49	0.64	4.02	-0.36	5.55	0.138	7.08	-0.46	8.61	0.938	10.14	-0.36	11.67	0.538
0.99	0.64	2.52	-0.26	4.05	0.338	5.58	0.138	7.11	-0.16	8.64	0.538	10.17	-0.06	11.70	0.538
1.02	0.24	2.55	-0.86	4.08	0.738	5.61	-0.56	7.14	0.338	8.67	-0.66	10.20	-0.16	11.73	-0.56
1.05	0.24	2.58	-0.16	4.11	0.138	5.64	-0.46	7.17	0.338	8.70	-0.56	10.23	1.038	11.76	-0.76
1.08	-0.86	2.61	0.24	4.14	-0.16	5.67	0.038	7.20	0.038	8.73	-0.26	10.26	-0.06	11.79	0.138
1.11	-0.26	2.64	0.84	4.17	-0.66	5.70	0.638	7.23	-0.36	8.76	0.238	10.29	-0.16	11.82	0.538
1.14	-0.06	2.67	0.44	4.20	-0.26	5.73	0.138	7.26	-0.76	8.79	0.638	10.32	-0.76	11.85	0.638
1.17	0.24	2.70	-0.46	4.23	0.238	5.76	-0.16	7.29	-0.36	8.82	0.238	10.35	-0.06	11.88	-0.26
1.20	0.94	2.73	-0.36	4.26	0.738	5.79	-0.06	7.32	0.238	8.85	-0.26	10.38	-0.26	11.91	-0.36
1.23	0.24	2.76	-0.16	4.29	-0.36	5.82	-0.86	7.35	0.538	8.88	-0.66	10.41	0.738	11.94	-0.36
1.26	-0.66	2.79	0.14	4.32	-0.26	5.85	0.238	7.38	0.138	8.91	-0.56	10.44	0.138	11.97	-0.16
1.29	-0.56	2.82	0.54	4.35	-0.26	5.88	-0.16	7.41	0.238	8.94	-0.26	10.47	-0.66	12.00	0.138
1.32	-0.06	2.85	0.04	4.38	-0.46	5.91	0.538	7.44	-0.76	8.97	0.538	10.50	-0.46		
1.35	0.24	2.88	-0.36	4.41	0.338	5.94	0.438	7.47	-0.16	9.00	0.538	10.53	-0.26		
1.38	0.54	2.91	-0.56	4.44	0.238	5.97	-0.56	7.50	0.738	9.03	-0.26	10.56	0.638		
1.41	-0.36	2.94	-0.36	4.47	0.238	6.00	-0.46	7.53	0.738	9.06	-0.96	10.59	0.538		
1.44	-0.16	2.97	0.54	4.50	-0.06	6.03	-0.16	7.56	0.338	9.09	-0.56	10.62	0.138		
1.47	-0.56	3.00	0.94	4.53	-0.66	6.06	0.338	7.59	-0.46	9.12	0.438	10.65	0.238		
1.50	0.14	3.03	0.54	4.56	-0.56	6.09	0.838	7.62	-0.56	9.15	0.238	10.68	-0.46		



### 3.5.7.2 Registro de desplazamiento para $f=3.25$ hz, sin Amortiguador de Masa Sintonizada

HOJA DE TOMA DE DATOS DE DESPLAZAMIENTO CON VIBRACIÓN FORZADA															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco								Fecha:		18/11/2020			
		Bohon Vidal Ccana Ccapatinta													
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)
0.00	0	1.53	0.966	3.06	-0.93	4.59	-0.83	6.12	1.366	7.65	0.366	9.18	-2.03	10.71	-0.23
0.03	1.266	1.56	1.166	3.09	-1.23	4.62	0.766	6.15	1.366	7.68	-0.83	9.21	-0.53	10.74	0.866
0.06	1.666	1.59	-0.43	3.12	-0.83	4.65	1.466	6.18	-0.43	7.71	-1.73	9.24	0.866	10.77	1.666
0.09	0.266	1.62	-1.53	3.15	1.066	4.68	0.866	6.21	-1.43	7.74	0.066	9.27	1.566	10.80	-0.43
0.12	-1.53	1.65	-1.03	3.18	1.766	4.71	-1.23	6.24	-0.73	7.77	1.366	9.30	0.366	10.83	-1.33
0.15	-1.63	1.68	0.966	3.21	-0.53	4.74	-1.53	6.27	0.366	7.80	0.866	9.33	-1.33	10.86	-1.23
0.18	-0.33	1.71	1.666	3.24	-1.23	4.77	-0.23	6.30	1.066	7.83	0.066	9.36	-1.73	10.89	0.366
0.21	1.866	1.74	0.166	3.27	-1.03	4.80	1.466	6.33	0.666	7.86	-1.13	9.39	0.166	10.92	2.166
0.24	0.866	1.77	-1.53	3.30	0.866	4.83	0.866	6.36	-0.83	7.89	-1.03	9.42	1.666	10.95	0.066
0.27	-0.83	1.80	-1.03	3.33	1.366	4.86	-1.03	6.39	-1.13	7.92	1.366	9.45	0.666	10.98	-0.93
0.30	-1.33	1.83	0.366	3.36	1.166	4.89	-0.93	6.42	-0.53	7.95	1.866	9.48	-0.63	11.01	-1.53
0.33	-0.73	1.86	1.666	3.39	-1.03	4.92	-0.93	6.45	1.266	7.98	0.366	9.51	-1.63	11.04	-0.53
0.36	0.766	1.89	1.166	3.42	-1.43	4.95	1.066	6.48	1.166	8.01	-1.33	9.54	-0.43	11.07	1.366
0.39	1.866	1.92	-0.43	3.45	-0.83	4.98	1.466	6.51	-0.63	8.04	-1.33	9.57	0.466	11.10	1.366
0.42	0.366	1.95	-1.93	3.48	1.066	5.01	0.566	6.54	-1.53	8.07	0.166	9.60	1.166	11.13	0.366
0.45	-1.73	1.98	-0.83	3.51	1.366	5.04	-1.43	6.57	-0.73	8.10	1.566	9.63	-0.13	11.16	-1.63
0.48	-1.83	2.01	0.666	3.54	-0.43	5.07	-1.53	6.60	0.766	8.13	1.166	9.66	-1.23	11.19	-0.63
0.51	-0.23	2.04	1.666	3.57	-1.33	5.10	-0.33	6.63	1.266	8.16	-0.03	9.69	-1.53	11.22	0.466
0.54	1.266	2.07	1.166	3.60	-1.33	5.13	1.766	6.66	0.666	8.19	-1.53	9.72	0.366	11.25	1.466
0.57	1.266	2.10	-1.13	3.63	0.866	5.16	1.066	6.69	-1.13	8.22	-1.23	9.75	1.866	11.28	0.666
0.60	-0.33	2.13	-1.23	3.66	1.466	5.19	-0.93	6.72	-1.63	8.25	1.066	9.78	1.466	11.31	-1.33
0.63	-1.43	2.16	0.466	3.69	0.766	5.22	-1.33	6.75	-0.83	8.28	1.166	9.81	-0.33	11.34	-1.13
0.66	-1.33	2.19	1.466	3.72	-0.73	5.25	-0.73	6.78	1.466	8.31	0.166	9.84	-1.53	11.37	-0.43
0.69	0.866	2.22	1.066	3.75	-1.43	5.28	0.766	6.81	1.166	8.34	-1.13	9.87	-1.33	11.40	0.866
0.72	1.566	2.25	-1.03	3.78	-0.43	5.31	1.466	6.84	-0.03	8.37	-1.23	9.90	0.266	11.43	1.466
0.75	0.566	2.28	-1.23	3.81	0.966	5.34	0.566	6.87	-1.33	8.40	0.466	9.93	1.666	11.46	-0.23
0.78	-1.33	2.31	-0.23	3.84	1.966	5.37	-1.63	6.90	-1.13	8.43	1.266	9.96	1.166	11.49	-1.73
0.81	-1.63	2.34	0.866	3.87	-0.03	5.40	-1.33	6.93	1.066	8.46	1.466	9.99	-1.33	11.52	-0.63
0.84	-0.53	2.37	1.87	3.90	-1.13	5.43	-0.03	6.96	1.766	8.49	-0.83	10.02	-1.23	11.55	0.566
0.87	1.57	2.40	-0.13	3.93	-1.33	5.46	1.466	6.99	0.166	8.52	-1.63	10.05	0.466	11.58	1.766
0.90	1.37	2.43	-1.23	3.96	0.566	5.49	1.466	7.02	-0.93	8.55	-0.93	10.08	1.366	11.61	0.866
0.93	-0.13	2.46	-1.03	3.99	1.866	5.52	-0.13	7.05	-1.43	8.58	1.066	10.11	1.666	11.64	-0.23
0.96	-1.43	2.49	0.87	4.02	0.566	5.55	-1.13	7.08	-0.13	8.61	1.466	10.14	-0.13	11.67	-1.63
0.99	-1.43	2.52	1.37	4.05	-0.93	5.58	-0.73	7.11	1.366	8.64	0.566	10.17	-1.43	11.70	-0.93
1.02	0.07	2.55	0.67	4.08	-1.73	5.61	1.066	7.14	1.166	8.67	-1.33	10.20	-1.13	11.73	1.566
1.05	1.57	2.58	-1.43	4.11	0.066	5.64	1.666	7.17	-0.93	8.70	-1.53	10.23	0.666	11.76	1.566
1.08	0.87	2.61	-1.33	4.14	0.866	5.67	0.066	7.20	-1.43	8.73	0.666	10.26	2.066	11.79	0.066
1.11	-1.33	2.64	0.57	4.17	1.466	5.70	-1.23	7.23	-0.63	8.76	1.766	10.29	0.566	11.82	-1.53
1.14	-1.33	2.67	1.37	4.20	0.066	5.73	-1.73	7.26	1.066	8.79	1.166	10.32	-1.23	11.85	-1.23
1.17	-0.23	2.70	1.27	4.23	-1.33	5.76	0.266	7.29	1.566	8.82	-1.13	10.35	-1.63	11.88	0.566
1.20	1.57	2.73	-0.73	4.26	-1.13	5.79	1.566	7.32	0.466	8.85	-1.53	10.38	-0.63	11.91	1.866
1.23	1.27	2.76	-1.63	4.29	0.166	5.82	1.366	7.35	-1.43	8.88	-1.33	10.41	1.066	11.94	0.766
1.26	-0.63	2.79	-0.33	4.32	1.866	5.85	-0.53	7.38	-1.03	8.91	0.866	10.44	0.866	11.97	-1.03
1.29	-1.53	2.82	1.37	4.35	1.266	5.88	-1.23	7.41	-0.13	8.94	1.566	10.47	-0.63	12.00	-1.63
1.32	-0.73	2.85	1.37	4.38	-1.33	5.91	-1.23	7.44	1.366	8.97	0.566	10.50	-1.53		
1.35	0.47	2.88	0.77	4.41	-1.63	5.94	0.666	7.47	1.366	9.00	-0.43	10.53	-0.73		
1.38	1.67	2.91	-1.63	4.44	-0.33	5.97	1.566	7.50	-0.23	9.03	-1.43	10.56	0.766		
1.41	0.57	2.94	-1.43	4.47	1.266	6.00	0.866	7.53	-1.73	9.06	-0.23	10.59	1.466		
1.44	-1.33	2.97	0.57	4.50	1.166	6.03	-1.03	7.56	-1.03	9.09	1.366	10.62	0.966		
1.47	-1.43	3.00	1.57	4.53	-0.03	6.06	-1.23	7.59	1.266	9.12	1.266	10.65	-1.03		
1.50	-0.13	3.03	0.87	4.56	-1.93	6.09	-0.23	7.62	1.466	9.15	-1.13	10.68	-1.53		



### 3.5.7.3 Registro de desplazamiento para $f=3.5$ hz, sin Amortiguador de Masa

#### Sintonizada

HOJA DE TOMA DE DATOS DE DESPLAZAMIENTO CON VIBRACIÓN FORZADA															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco								Fecha:		18/11/2020			
		Bohon Vidal Ccana Ccpatinta													
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)
0.00	0	1.53	4.096	3.06	-5.5	4.59	3.696	6.12	0.196	7.65	-4.4	9.18	5.496	10.71	-4.8
0.03	-5.9	1.56	5.096	3.09	-2.1	4.62	-1.8	6.15	5.796	7.68	-5.2	9.21	1.996	10.74	0.896
0.06	-4	1.59	0.096	3.12	4.196	4.65	-5.5	6.18	3.896	7.71	0.596	9.24	-3.9	10.77	5.496
0.09	4.096	1.62	-5.3	3.15	5.196	4.68	-2.1	6.21	-3.8	7.74	5.596	9.27	-5.3	10.80	3.196
0.12	5.296	1.65	-4.2	3.18	0.396	4.71	4.396	6.24	-5.4	7.77	2.196	9.30	0.296	10.83	-2.3
0.15	0.796	1.68	1.796	3.21	-5.3	4.74	4.496	6.27	-0.3	7.80	-3.6	9.33	4.696	10.86	-5.6
0.18	-5.3	1.71	6.096	3.24	-4.2	4.77	-1.9	6.30	5.096	7.83	-4.7	9.36	4.796	10.89	-2.5
0.21	-4.7	1.74	0.796	3.27	3.996	4.80	-5.6	6.33	4.496	7.86	-0.1	9.39	-1.8	10.92	3.496
0.24	3.096	1.77	-5	3.30	5.896	4.83	-2.4	6.36	-1.9	7.89	4.796	9.42	-5.7	10.95	4.496
0.27	5.796	1.80	-4.4	3.33	0.996	4.86	3.796	6.39	-5.7	7.92	4.396	9.45	-3	10.98	-2
0.30	1.196	1.83	1.296	3.36	-4.8	4.89	5.896	6.42	-3.2	7.95	-1.7	9.48	3.196	11.01	-5.3
0.33	-4.9	1.86	5.696	3.39	-4.7	4.92	0.796	6.45	3.396	7.98	-5.7	9.51	5.896	11.04	-3.2
0.36	-5	1.89	3.396	3.42	0.896	4.95	-4.7	6.48	5.696	8.01	-2.7	9.54	0.496	11.07	3.296
0.39	0.896	1.92	-3.1	3.45	5.696	4.98	-4.6	6.51	1.396	8.04	2.796	9.57	-5.1	11.10	5.396
0.42	5.396	1.95	-5.6	3.48	3.696	5.01	0.396	6.54	-5.5	8.07	5.996	9.60	-4.6	11.13	0.296
0.45	4.096	1.98	-1.2	3.51	-3	5.04	5.096	6.57	-3.6	8.10	1.296	9.63	1.196	11.16	-5.1
0.48	-2.5	2.01	4.396	3.54	-5.4	5.07	3.696	6.60	2.996	8.13	-4.3	9.66	5.696	11.19	-4.5
0.51	-5.8	2.04	5.196	3.57	-2	5.10	-2.1	6.63	5.896	8.16	-4.8	9.69	1.696	11.22	0.796
0.54	-2.1	2.07	-0	3.60	5.696	5.13	-5.6	6.66	2.396	8.19	0.396	9.72	-4.1	11.25	5.796
0.57	3.896	2.10	-5.7	3.63	3.796	5.16	-2	6.69	-4.5	8.22	5.296	9.75	-5	11.28	3.096
0.60	5.396	2.13	-4.1	3.66	-1.8	5.19	5.896	6.72	-5.1	8.25	2.696	9.78	0.596	11.31	-2.6
0.63	0.396	2.16	1.896	3.69	-5.2	5.22	4.296	6.75	-0	8.28	-4.2	9.81	5.096	11.34	-5.6
0.66	-5.8	2.19	5.296	3.72	-1.9	5.25	-1.9	6.78	5.296	8.31	-5.4	9.84	3.596	11.37	-1.8
0.69	-2.9	2.22	2.996	3.75	3.896	5.28	-5.6	6.81	4.796	8.34	-0.6	9.87	-2.8	11.40	5.196
0.72	3.696	2.25	-5.2	3.78	5.696	5.31	-2.3	6.84	-1.4	8.37	4.796	9.90	-5.7	11.43	3.896
0.75	6.596	2.28	-4.5	3.81	0.096	5.34	3.796	6.87	-5.2	8.40	4.396	9.93	-2.5	11.46	-1.9
0.78	1.196	2.31	1.096	3.84	-5	5.37	5.796	6.90	-0.8	8.43	-1.5	9.96	3.596	11.49	-5.3
0.81	-4.8	2.34	6.396	3.87	-4.6	5.40	1.096	6.93	5.496	8.46	-5.6	9.99	5.596	11.52	-2.1
0.84	-4.90	2.37	3.30	3.90	0.996	5.43	-5.1	6.96	4.496	8.49	-2.9	10.02	-1.6	11.55	4.096
0.87	0.60	2.40	-3.10	3.93	5.896	5.46	-4.5	6.99	-1.3	8.52	3.096	10.05	-5.6	11.58	5.696
0.90	5.50	2.43	-5.80	3.96	1.296	5.49	0.696	7.02	-5.5	8.55	5.496	10.08	-2.6	11.61	0.496
0.93	3.60	2.46	-1.60	3.99	-4.2	5.52	5.496	7.05	-3.3	8.58	1.496	10.11	3.396	11.64	-5
0.96	-3.00	2.49	4.20	4.02	-5.5	5.55	3.596	7.08	3.196	8.61	-4.6	10.14	5.896	11.67	-4.5
0.99	-5.80	2.52	5.20	4.05	-0.1	5.58	-2.7	7.11	5.796	8.64	-4.7	10.17	1.296	11.70	0.996
1.02	-1.70	2.55	-0.30	4.08	5.396	5.61	-4.8	7.14	2.096	8.67	0.796	10.20	-4.5	11.73	5.496
1.05	4.60	2.58	-5.50	4.11	3.696	5.64	0.096	7.17	-4.4	8.70	5.696	10.23	-4.9	11.76	3.596
1.08	5.40	2.61	-2.60	4.14	-1.9	5.67	5.396	7.20	-5.1	8.73	4.096	10.26	0.396	11.79	-2.9
1.11	0.20	2.64	4.00	4.17	-5.6	5.70	4.196	7.23	-0	8.76	-2.3	10.29	5.296	11.82	-5
1.14	-5.40	2.67	5.20	4.20	-2.5	5.73	-1.8	7.26	5.196	8.79	-5.1	10.32	3.896	11.85	0.496
1.17	-4.20	2.70	0.40	4.23	3.796	5.76	-5.5	7.29	2.296	8.82	-0.3	10.35	-2.5	11.88	5.496
1.20	2.00	2.73	-5.20	4.26	4.996	5.79	-2.4	7.32	-4.1	8.85	5.096	10.38	-5.7	11.91	3.396
1.23	5.60	2.76	-4.50	4.29	0.796	5.82	3.196	7.35	-5.4	8.88	4.196	10.41	-2	11.94	-2.5
1.26	3.00	2.79	1.50	4.32	-5.4	5.85	3.996	7.38	-0.6	8.91	-2	10.44	4.996	11.97	-6.2
1.29	-4.90	2.82	5.90	4.35	-4.5	5.88	-1.5	7.41	5.096	8.94	-5.4	10.47	4.196	12.00	-2.2
1.32	-4.30	2.85	3.30	4.38	3.296	5.91	-5.5	7.44	4.596	8.97	-2.7	10.50	-1.3		
1.35	0.80	2.88	-3.20	4.41	5.096	5.94	-2.9	7.47	-1.3	9.00	3.796	10.53	-5.7		
1.38	5.40	2.91	-5.30	4.44	1.496	5.97	3.396	7.50	-5.4	9.03	5.696	10.56	-2.6		
1.41	3.50	2.94	-1.00	4.47	-4.3	6.00	5.496	7.53	-3.2	9.06	0.996	10.59	3.896		
1.44	-2.70	2.97	5.10	4.50	-4.5	6.03	1.396	7.56	3.296	9.09	-4.7	10.62	5.496		
1.47	-5.50	3.00	5.80	4.53	0.296	6.06	-5.2	7.59	5.296	9.12	-3.2	10.65	1.196		
1.50	-2.00	3.03	-2.50	4.56	4.796	6.09	-5.2	7.62	1.596	9.15	3.496	10.68	-4.8		

### 3.5.7.4 Registro de desplazamiento para $f=3.0$ hz, con Amortiguador de Masa

**Sintonizada al 4.32%**

HOJA DE TOMA DE DATOS DE DESPLAZAMIENTO CON VIBRACIÓN FORZADA															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco										Fecha:		18/11/2020	
		Bohon Vidal Ccana Ccapatinta													
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
DESPLAZAMIENTO DE VIBRACIÓN FORZZADA															
t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)
0.00	0	1.53	0.702	3.06	0.602	4.59	-1.3	6.12	1.402	7.65	-1.4	9.18	0.002	10.71	1.502
0.03	1.702	1.56	-0.4	3.09	-1	4.62	-0.5	6.15	0.302	7.68	-1.4	9.21	0.902	10.74	0.902
0.06	0.402	1.59	-1	3.12	-1.7	4.65	0.902	6.18	-1.1	7.71	0.102	9.24	1.402	10.77	-0.5
0.09	-1.4	1.62	-0.9	3.15	-0.5	4.68	1.902	6.21	-1.6	7.74	0.802	9.27	0.202	10.80	-1.4
0.12	-1.3	1.65	-0.5	3.18	0.402	4.71	1.002	6.24	-0.7	7.77	1.902	9.30	-0.7	10.83	-0.8
0.15	-0.7	1.68	1.202	3.21	1.602	4.74	-0.3	6.27	0.402	7.80	0.802	9.33	-1.7	10.86	0.402
0.18	1.302	1.71	1.302	3.24	1.102	4.77	-0.9	6.30	1.602	7.83	-0.5	9.36	-1.9	10.89	1.402
0.21	1.602	1.74	1.202	3.27	-0.5	4.80	-1.3	6.33	1.402	7.86	-2	9.39	-0.5	10.92	1.502
0.24	1.302	1.77	-0.1	3.30	-1.5	4.83	-0.7	6.36	0.302	7.89	-1.2	9.42	1.402	10.95	0.302
0.27	0.002	1.80	-1.3	3.33	-1.2	4.86	0.302	6.39	-1.4	7.92	-0.1	9.45	1.502	10.98	-0.3
0.30	-1	1.83	-1.6	3.36	-0.9	4.89	1.402	6.42	-1.7	7.95	1.402	9.48	0.402	11.01	-1.8
0.33	-1.5	1.86	-0.8	3.39	1.002	4.92	0.502	6.45	-1.2	7.98	1.702	9.51	-0.8	11.04	-1.2
0.36	0.102	1.89	0.802	3.42	0.902	4.95	0.002	6.48	0.002	8.01	0.902	9.54	-1.8	11.07	0.002
0.39	0.602	1.92	1.302	3.45	1.002	4.98	-1.3	6.51	2.002	8.04	-0.5	9.57	-1.8	11.10	0.902
0.42	1.702	1.95	1.002	3.48	-0.2	5.01	-1.6	6.54	0.902	8.07	-1.4	9.60	-0.7	11.13	1.802
0.45	0.702	1.98	-0.1	3.51	-0.5	5.04	-0.2	6.57	0.502	8.10	-1.8	9.63	0.802	11.16	0.402
0.48	0.002	2.01	-0.8	3.54	-1.7	5.07	0.402	6.60	-1	8.13	-0.2	9.66	2.002	11.19	-0.8
0.51	-1.4	2.04	-1.5	3.57	-0.1	5.10	1.502	6.63	-1.7	8.16	1.502	9.69	0.702	11.22	-1.4
0.54	-1.6	2.07	-1.2	3.60	0.702	5.13	1.102	6.66	-0.9	8.19	1.802	9.72	-0.4	11.25	-1.6
0.57	-0.2	2.10	0.602	3.63	1.702	5.16	-0.5	6.69	0.502	8.22	0.602	9.75	-1.6	11.28	-0.3
0.60	1.302	2.13	1.402	3.66	1.202	5.19	-1.4	6.72	2.002	8.25	-0.7	9.78	-1.2	11.31	1.302
0.63	1.902	2.16	1.502	3.69	0.102	5.22	-1.2	6.75	1.502	8.28	-1	9.81	-0.3	11.34	1.402
0.66	1.302	2.19	0.002	3.72	-1.5	5.25	-0.5	6.78	0.402	8.31	-1.1	9.84	1.102	11.37	1.002
0.69	0.702	2.22	-1.4	3.75	-0.9	5.28	1.602	6.81	-1	8.34	0.002	9.87	1.802	11.40	-1.1
0.72	-1.3	2.25	-1.5	3.78	-0.9	5.31	1.802	6.84	-2	8.37	1.202	9.90	0.802	11.43	-1.8
0.75	-1.5	2.28	-0.8	3.81	0.802	5.34	0.102	6.87	-0.6	8.40	1.502	9.93	-0.1	11.46	-1.2
0.78	-0.8	2.31	0.202	3.84	2.002	5.37	-1.5	6.90	0.502	8.43	1.202	9.96	-2.2	11.49	-0.2
0.81	0.402	2.34	1.302	3.87	1.102	5.40	-1.3	6.93	1.702	8.46	-0.8	9.99	-1.4	11.52	0.502
0.84	1.70	2.37	1.80	3.90	-0.6	5.43	-0.1	6.96	1.202	8.49	-2	10.02	-0.2	11.55	1.402
0.87	1.10	2.40	0.00	3.93	-1.3	5.46	0.902	6.99	-0.5	8.52	-1.3	10.05	1.502	11.58	1.502
0.90	0.20	2.43	-0.50	3.96	-1.9	5.49	1.602	7.02	-1.6	8.55	0.102	10.08	1.002	11.61	-0.8
0.93	-1.10	2.46	-1.50	3.99	-0.8	5.52	0.602	7.05	-1.7	8.58	1.102	10.11	0.602	11.64	-0.9
0.96	-1.50	2.49	-1.40	4.02	1.002	5.55	-0.4	7.08	-0.9	8.61	2.002	10.14	-0.7	11.67	-1.3
0.99	-1.40	2.52	-0.40	4.05	1.702	5.58	-1.4	7.11	0.602	8.64	0.502	10.17	-1.5	11.70	-0.8
1.02	0.00	2.55	0.60	4.08	1.102	5.61	-1	7.14	1.402	8.67	-1.1	10.20	-1.1	11.73	0.502
1.05	0.70	2.58	1.80	4.11	0.702	5.64	-0.1	7.17	1.102	8.70	-1.7	10.23	0.302	11.76	1.702
1.08	1.20	2.61	1.20	4.14	-1.4	5.67	1.002	7.20	-0.3	8.73	-1.2	10.26	1.102	11.79	1.602
1.11	0.70	2.64	-0.40	4.17	-1.2	5.70	1.402	7.23	-1.2	8.76	0.402	10.29	1.902	11.82	0.002
1.14	-0.70	2.67	-1.60	4.20	-0.6	5.73	0.902	7.26	-2.1	8.79	1.502	10.32	0.302	11.85	-1.3
1.17	-0.90	2.70	-1.20	4.23	0.402	5.76	-0.4	7.29	-0.9	8.82	1.502	10.35	-1.5	11.88	-1.5
1.20	-1.30	2.73	-0.60	4.26	1.802	5.79	-1.6	7.32	1.202	8.85	1.002	10.38	-1.7	11.91	-0.9
1.23	0.50	2.76	1.60	4.29	1.302	5.82	-0.4	7.35	1.802	8.88	-1	10.41	-0.4	11.94	0.902
1.26	1.00	2.79	1.50	4.32	0.102	5.85	0.102	7.38	0.802	8.91	-1.8	10.44	0.102	11.97	1.802
1.29	1.70	2.82	1.10	4.35	-0.9	5.88	1.602	7.41	-0.2	8.94	-1.2	10.47	1.302	12.00	1.302
1.32	1.20	2.85	-0.60	4.38	-1.5	5.91	1.302	7.44	-1.6	8.97	0.002	10.50	1.902		
1.35	-0.90	2.88	-1.30	4.41	-0.8	5.94	0.602	7.47	-1.6	9.00	0.902	10.53	0.202		
1.38	-1.60	2.91	-1.40	4.44	0.702	5.97	-0.8	7.50	-0.3	9.03	1.102	10.56	-1.2		
1.41	-1.40	2.94	-0.30	4.47	1.702	6.00	-0.8	7.53	1.202	9.06	0.402	10.59	-1.8		
1.44	-0.50	2.97	0.50	4.50	1.202	6.03	-1	7.56	1.802	9.09	-1	10.62	-1.7		
1.47	1.20	3.00	1.60	4.53	0.102	6.06	0.102	7.59	0.402	9.12	-1.6	10.65	0.002		
1.50	1.40	3.03	1.20	4.56	-1.6	6.09	1.202	7.62	0.002	9.15	-1.2	10.68	1.602		





### 3.5.7.5 Registro de desplazamiento para $f=3.25$ hz, con Amortiguador de Masa

Sintonizada al 4.32%

HOJA DE TOMA DE DATOS DE DESPLAZAMIENTO CON VIBRACIÓN FORZADA															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco								Fecha:		18/11/2020			
		Bohon Vidal Ccana Ccapatinta													
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
DESPLAZAMIENTO DE VIBRACIÓN FORZADA															
t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)
0.00	0	1.53	-0.25	3.06	-0.55	4.59	-0.55	6.12	0.053	7.65	0.254	9.18	0.454	10.71	0.053
0.03	-0.65	1.56	-0.15	3.09	-0.45	4.62	-0.35	6.15	-0.35	7.68	0.354	9.21	0.154	10.74	0.654
0.06	-0.15	1.59	0.454	3.12	-0.55	4.65	-0.75	6.18	-0.65	7.71	-0.05	9.24	0.254	10.77	0.654
0.09	0.654	1.62	0.354	3.15	0.053	4.68	-0.25	6.21	-0.55	7.74	-0.45	9.27	0.254	10.80	0.154
0.12	0.454	1.65	0.554	3.18	0.354	4.71	0.454	6.24	0.053	7.77	-0.75	9.30	-0.25	10.83	-0.25
0.15	-0.35	1.68	-0.05	3.21	0.354	4.74	1.054	6.27	0.754	7.80	-0.05	9.33	-0.15	10.86	-0.45
0.18	0.154	1.71	-0.55	3.24	0.053	4.77	-0.25	6.30	0.654	7.83	0.754	9.36	0.254	10.89	-0.05
0.21	-0.75	1.74	-0.25	3.27	-0.55	4.80	-0.05	6.33	-0.35	7.86	0.454	9.39	0.254	10.92	0.154
0.24	0.254	1.77	-0.45	3.30	-0.45	4.83	-0.15	6.36	-0.45	7.89	-0.05	9.42	0.154	10.95	0.554
0.27	0.554	1.80	0.754	3.33	0.354	4.86	0.154	6.39	-0.15	7.92	-0.15	9.45	0.554	10.98	0.254
0.30	1.154	1.83	0.854	3.36	0.454	4.89	0.053	6.42	-0.05	7.95	-0.15	9.48	-0.25	11.01	-0.25
0.33	-0.05	1.86	0.654	3.39	0.654	4.92	0.154	6.45	0.154	7.98	-0.55	9.51	-0.55	11.04	0.053
0.36	-0.85	1.89	0.154	3.42	0.354	4.95	0.554	6.48	0.654	8.01	0.254	9.54	0.154	11.07	-0.45
0.39	-0.65	1.92	-0.35	3.45	-0.85	4.98	-0.85	6.51	0.154	8.04	0.354	9.57	0.053	11.10	0.053
0.42	-0.25	1.95	-0.05	3.48	-0.15	5.01	-0.45	6.54	-0.35	8.07	0.254	9.60	0.754	11.13	0.354
0.45	0.354	1.98	0.254	3.51	-0.25	5.04	-0.25	6.57	-0.65	8.10	0.454	9.63	0.154	11.16	0.654
0.48	0.554	2.01	0.354	3.54	0.554	5.07	-0.05	6.60	-0.35	8.13	0.053	9.66	-0.15	11.19	-0.25
0.51	0.754	2.04	0.154	3.57	0.154	5.10	0.254	6.63	-0.25	8.16	-0.65	9.69	-0.55	11.22	-0.65
0.54	0.053	2.07	0.454	3.60	0.654	5.13	0.454	6.66	0.354	8.19	-0.25	9.72	-0.35	11.25	-0.45
0.57	-0.25	2.10	-0.95	3.63	-0.55	5.16	0.254	6.69	0.754	8.22	0.254	9.75	-0.15	11.28	-0.25
0.60	-0.85	2.13	-0.85	3.66	-0.25	5.19	-0.85	6.72	-0.25	8.25	0.654	9.78	0.454	11.31	0.354
0.63	0.354	2.16	-0.65	3.69	-0.65	5.22	-0.35	6.75	-0.15	8.28	0.354	9.81	0.454	11.34	0.053
0.66	0.354	2.19	-0.25	3.72	-0.05	5.25	0.254	6.78	-0.35	8.31	-0.45	9.84	0.053	11.37	0.154
0.69	0.354	2.22	0.053	3.75	0.354	5.28	0.754	6.81	-0.15	8.34	-0.55	9.87	-0.15	11.40	-0.35
0.72	0.053	2.25	0.354	3.78	0.754	5.31	0.154	6.84	-0.05	8.37	-0.25	9.90	-0.65	11.43	-0.45
0.75	-0.65	2.28	0.154	3.81	0.053	5.34	0.354	6.87	0.454	8.40	-0.05	9.93	-0.55	11.46	-0.05
0.78	-0.55	2.31	-0.55	3.84	-0.45	5.37	0.154	6.90	0.754	8.43	0.654	9.96	0.554	11.49	-0.05
0.81	-0.35	2.34	-0.55	3.87	-0.35	5.40	-0.35	6.93	-0.25	8.46	0.554	9.99	0.654	11.52	0.554
0.84	0.15	2.37	0.55	3.90	-0.35	5.43	-0.05	6.96	-0.25	8.49	0.053	10.02	0.053	11.55	0.654
0.87	0.15	2.40	0.25	3.93	0.053	5.46	0.454	6.99	-0.55	8.52	0.154	10.05	-0.45	11.58	-0.45
0.90	0.15	2.43	0.45	3.96	0.754	5.49	0.354	7.02	0.154	8.55	-0.65	10.08	-0.25	11.61	-0.45
0.93	-0.25	2.46	0.05	3.99	0.254	5.52	0.454	7.05	0.354	8.58	-0.25	10.11	-0.45	11.64	-0.45
0.96	-0.15	2.49	-0.85	4.02	-0.65	5.55	0.053	7.08	0.254	8.61	0.154	10.14	0.254	11.67	-0.15
0.99	-0.25	2.52	-0.25	4.05	-0.35	5.58	-0.35	7.11	0.154	8.64	0.854	10.17	0.454	11.70	0.854
1.02	-0.25	2.55	-0.55	4.08	-0.15	5.61	-0.65	7.14	-0.45	8.67	0.354	10.20	0.154	11.73	0.554
1.05	0.15	2.58	0.85	4.11	-0.05	5.64	0.254	7.17	-0.55	8.70	-0.35	10.23	-0.15	11.76	0.454
1.08	0.05	2.61	0.35	4.14	0.554	5.67	0.053	7.20	-0.35	8.73	-0.65	10.26	-0.45	11.79	-0.35
1.11	0.15	2.64	0.25	4.17	0.554	5.70	0.754	7.23	0.554	8.76	-0.45	10.29	-0.15	11.82	-0.05
1.14	-0.15	2.67	-0.25	4.20	-0.25	5.73	0.154	7.26	0.454	8.79	-0.25	10.32	0.053	11.85	-0.95
1.17	-0.65	2.70	-0.35	4.23	-0.65	5.76	-0.55	7.29	0.053	8.82	0.254	10.35	0.154	11.88	0.254
1.20	-0.35	2.73	-0.15	4.26	-0.45	5.79	-0.35	7.32	-0.15	8.85	0.554	10.38	0.554	11.91	0.454
1.23	0.05	2.76	0.55	4.29	-0.05	5.82	-0.65	7.35	-0.95	8.88	0.354	10.41	0.354	11.94	-0.05
1.26	0.35	2.79	0.15	4.32	0.154	5.85	0.053	7.38	-0.35	8.91	-0.55	10.44	-0.15	11.97	0.053
1.29	0.35	2.82	0.15	4.35	0.554	5.88	0.554	7.41	-0.25	8.94	-0.35	10.47	-0.65	12.00	-0.55
1.32	-0.35	2.85	0.65	4.38	0.454	5.91	0.454	7.44	0.154	8.97	-0.35	10.50	-0.85	12.03	
1.35	-0.45	2.88	-0.15	4.41	-0.45	5.94	0.053	7.47	0.754	9.00	0.254	10.53	0.354	12.06	
1.38	-0.15	2.91	-0.55	4.44	-1.05	5.97	-0.15	7.50	0.354	9.03	0.754	10.56	0.254	12.09	
1.41	0.75	2.94	-0.25	4.47	-0.05	6.00	-0.85	7.53	-0.15	9.06	-0.05	10.59	0.354	12.12	
1.44	0.25	2.97	0.35	4.50	0.053	6.03	0.053	7.56	-0.45	9.09	-0.15	10.62	-0.45	12.15	
1.47	0.45	3.00	0.55	4.53	-0.05	6.06	0.254	7.59	-0.25	9.12	-0.55	10.65	-0.35	12.18	
1.50	0.15	3.03	-0.05	4.56	0.354	6.09	0.454	7.62	0.454	9.15	-0.25	10.68	-0.25	12.21	



### 3.5.7.6 Registro de desplazamiento para $f=3.5$ hz, con Amortiguador de Masa

Sintonizada al 4.32%

HOJA DE TOMA DE DATOS DE DESPLAZAMIENTO CON VIBRACIÓN FORZADA															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco								Fecha:		18/11/2020			
		Bohon Vidal Ccana Ccapatinta													
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
DESPLAZAMIENTO DE VIBRACIÓN FORZZADA															
t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)
0.00	0	1.53	-0.15	3.06	0.35	4.59	0.45	6.12	-0.35	7.65	0.15	9.18	0.05	10.71	-0.05
0.03	-0.15	1.56	0.15	3.09	-0.05	4.62	-0.65	6.15	-0.15	7.68	0.35	9.21	0.25	10.74	-0.25
0.06	-0.55	1.59	0.75	3.12	0.15	4.65	-0.35	6.18	-0.45	7.71	0.05	9.24	-0.25	10.77	0.05
0.09	1.15	1.62	0.45	3.15	-0.75	4.68	-0.35	6.21	0.55	7.74	-0.15	9.27	-0.15	10.80	0.75
0.12	0.05	1.65	-0.55	3.18	0.05	4.71	-0.05	6.24	0.25	7.77	-0.45	9.30	-0.25	10.83	0.15
0.15	0.55	1.68	-0.05	3.21	-0.55	4.74	0.35	6.27	0.35	7.80	0.25	9.33	0.75	10.86	0.35
0.18	-0.35	1.71	-0.55	3.24	0.45	4.77	0.35	6.30	-0.35	7.83	-0.05	9.36	-0.25	10.89	0.05
0.21	-0.55	1.74	0.55	3.27	0.35	4.80	-0.45	6.33	-0.15	7.86	0.55	9.39	0.05	10.92	-0.25
0.24	-0.55	1.77	0.35	3.30	0.35	4.83	-0.65	6.36	-0.25	7.89	-0.05	9.42	-0.15	10.95	-0.45
0.27	0.45	1.80	0.05	3.33	-0.65	4.86	-0.35	6.39	0.55	7.92	0.05	9.45	-0.35	10.98	0.55
0.30	0.45	1.83	0.25	3.36	-0.05	4.89	0.05	6.42	0.35	7.95	-0.65	9.48	-0.05	11.01	0.45
0.33	0.65	1.86	-0.85	3.39	-0.35	4.92	0.65	6.45	0.05	7.98	-0.05	9.51	1.05	11.04	0.15
0.36	-0.05	1.89	0.15	3.42	0.35	4.95	0.05	6.48	-0.55	8.01	0.65	9.54	0.45	11.07	-0.25
0.39	-0.45	1.92	0.15	3.45	0.35	4.98	0.05	6.51	-0.35	8.04	0.15	9.57	0.25	11.10	0.15
0.42	-0.45	1.95	0.25	3.48	0.45	5.01	-0.35	6.54	-0.55	8.07	0.15	9.60	-0.45	11.13	-0.25
0.45	-0.15	1.98	-0.15	3.51	-0.25	5.04	-0.45	6.57	1.05	8.10	0.15	9.63	-0.45	11.16	0.45
0.48	0.35	2.01	-0.25	3.54	0.05	5.07	0.05	6.60	0.15	8.13	-0.65	9.66	-0.25	11.19	0.45
0.51	0.55	2.04	-0.35	3.57	-0.35	5.10	0.25	6.63	0.75	8.16	0.05	9.69	0.35	11.22	0.25
0.54	-0.45	2.07	0.35	3.60	0.75	5.13	0.15	6.66	-0.35	8.19	-0.45	9.72	-0.05	11.25	-0.25
0.57	-0.75	2.10	-0.45	3.63	0.05	5.16	0.05	6.69	-0.05	8.22	-0.15	9.75	0.15	11.28	-0.45
0.60	-0.05	2.13	0.15	3.66	0.05	5.19	-0.45	6.72	-0.25	8.25	0.15	9.78	-0.75	11.31	-0.05
0.63	0.25	2.16	0.25	3.69	-0.25	5.22	-0.25	6.75	0.85	8.28	0.35	9.81	-0.25	11.34	0.55
0.66	-0.05	2.19	0.15	3.72	0.05	5.25	-0.65	6.78	0.05	8.31	0.05	9.84	-0.55	11.37	0.75
0.69	0.55	2.22	-0.25	3.75	-0.15	5.28	0.25	6.81	0.05	8.34	-0.35	9.87	0.65	11.40	0.25
0.72	-0.55	2.25	-0.05	3.78	0.45	5.31	-0.05	6.84	-0.25	8.37	-0.35	9.90	-0.35	11.43	-0.15
0.75	-0.25	2.28	-0.25	3.81	-0.15	5.34	0.25	6.87	-0.25	8.40	0.45	9.93	0.25	11.46	-0.35
0.78	-0.45	2.31	0.25	3.84	0.25	5.37	-0.75	6.90	-0.05	8.43	0.05	9.96	-0.55	11.49	-0.05
0.81	0.35	2.34	0.25	3.87	-0.55	5.40	-0.45	6.93	0.35	8.46	0.35	9.99	-0.35	11.52	0.15
0.84	-0.05	2.37	0.45	3.90	0.05	5.43	0.05	6.96	0.35	8.49	-0.15	10.02	-0.55	11.55	0.15
0.87	0.15	2.40	0.25	3.93	-0.35	5.46	0.55	6.99	-0.15	8.52	-0.05	10.05	-0.05	11.58	0.55
0.90	-0.25	2.43	-0.15	3.96	0.65	5.49	0.65	7.02	-0.55	8.55	-0.05	10.08	0.25	11.61	0.25
0.93	-0.85	2.46	-0.65	3.99	0.25	5.52	0.55	7.05	-0.35	8.58	0.05	10.11	0.25	11.64	-0.45
0.96	-0.35	2.49	0.45	4.02	0.45	5.55	-0.65	7.08	-0.35	8.61	-0.05	10.14	-0.05	11.67	-0.35
0.99	-0.25	2.52	0.45	4.05	-0.05	5.58	-0.35	7.11	0.35	8.64	0.25	10.17	-0.45	11.70	0.35
1.02	0.35	2.55	0.25	4.08	-0.05	5.61	-0.65	7.14	0.25	8.67	-0.65	10.20	0.05	11.73	-0.15
1.05	0.45	2.58	0.15	4.11	-0.55	5.64	0.25	7.17	0.05	8.70	-0.25	10.23	-0.35	11.76	0.35
1.08	-0.25	2.61	-0.05	4.14	0.35	5.67	0.05	7.20	-0.65	8.73	-0.35	10.26	0.45	11.79	-0.15
1.11	-0.05	2.64	-0.25	4.17	0.25	5.70	-0.05	7.23	-0.45	8.76	0.35	10.29	0.25	11.82	-0.75
1.14	-0.45	2.67	0.05	4.20	0.05	5.73	-0.35	7.26	-0.15	8.79	0.15	10.32	-0.35	11.85	-0.55
1.17	-0.15	2.70	0.65	4.23	0.65	5.76	0.25	7.29	0.65	8.82	0.35	10.35	-0.35	11.88	-0.05
1.20	0.55	2.73	0.15	4.26	-0.35	5.79	-0.25	7.32	-0.05	8.85	-0.15	10.38	0.15	11.91	0.15
1.23	0.25	2.76	0.15	4.29	-0.05	5.82	0.35	7.35	0.25	8.88	-0.15	10.41	-0.15	11.94	-0.25
1.26	0.65	2.79	-0.35	4.32	-0.55	5.85	0.75	7.38	-0.25	8.91	-0.05	10.44	0.05	11.97	0.05
1.29	-0.35	2.82	-0.55	4.35	0.85	5.88	-0.15	7.41	-0.35	8.94	-0.05	10.47	0.15	12.00	-0.35
1.32	0.35	2.85	-0.25	4.38	-0.15	5.91	-0.25	7.44	-0.65	8.97	0.35	10.50	0.05	12.03	
1.35	0.05	2.88	0.35	4.41	-0.25	5.94	-0.45	7.47	0.85	9.00	0.35	10.53	-0.45	12.06	
1.38	0.45	2.91	0.15	4.44	-0.45	5.97	0.15	7.50	0.35	9.03	-0.35	10.56	-0.35	12.09	
1.41	-0.15	2.94	-0.05	4.47	-0.05	6.00	0.15	7.53	0.15	9.06	-0.05	10.59	0.15	12.12	
1.44	0.35	2.97	-0.75	4.50	0.15	6.03	0.55	7.56	-0.25	9.09	-0.45	10.62	0.85	12.15	
1.47	-0.65	3.00	-0.15	4.53	0.55	6.06	0.35	7.59	-0.05	9.12	0.25	10.65	0.15	12.18	
1.50	-0.25	3.03	-0.15	4.56	-0.05	6.09	0.45	7.62	-0.45	9.15	-0.15	10.68	0.55	12.21	



### 3.5.7.7 Registro de desplazamiento para $f=3.0$ hz, con Amortiguador de Masa

Sintonizada al 4.38%

HOJA DE TOMA DE DATOS DE DESPLAZAMIENTO CON VIBRACIÓN FORZADA															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco										Fecha:		18/11/2020	
		Bohon Vidal Ccana Ccapatinta													
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)
0.00	0	1.53	1.033	3.06	-0.47	4.59	0.433	6.12	0.733	7.65	-1.17	9.18	0.433	10.71	-0.87
0.03	-0.57	1.56	1.333	3.09	-1.17	4.62	1.333	6.15	0.233	7.68	0.033	9.21	-0.67	10.74	-0.57
0.06	0.433	1.59	0.033	3.12	-1.17	4.65	1.033	6.18	-0.97	7.71	0.033	9.24	-1.07	10.77	0.733
0.09	0.733	1.62	-1.07	3.15	0.133	4.68	0.333	6.21	-1.37	7.74	1.333	9.27	-0.77	10.80	1.433
0.12	1.233	1.65	-1.17	3.18	1.333	4.71	-0.57	6.24	-0.57	7.77	0.433	9.30	0.433	10.83	0.433
0.15	0.133	1.68	-0.87	3.21	1.033	4.74	-0.97	6.27	0.733	7.80	-0.57	9.33	1.233	10.86	0.133
0.18	-1.17	1.71	0.533	3.24	0.233	4.77	-0.77	6.30	1.233	7.83	-0.87	9.36	1.333	10.89	-1.07
0.21	-0.97	1.74	0.633	3.27	-0.57	4.80	0.133	6.33	1.033	7.86	-0.87	9.39	-0.17	10.92	-1.17
0.24	-0.57	1.77	0.733	3.30	-1.07	4.83	0.333	6.36	-0.37	7.89	-0.17	9.42	-0.87	10.95	-0.37
0.27	0.433	1.80	0.433	3.33	-0.87	4.86	1.233	6.39	-1.17	7.92	0.633	9.45	-0.87	10.98	0.333
0.30	1.533	1.83	-0.77	3.36	0.733	4.89	0.433	6.42	-1.37	7.95	1.033	9.48	-0.47	11.01	1.633
0.33	0.633	1.86	-1.47	3.39	0.933	4.92	-0.77	6.45	-0.37	7.98	0.633	9.51	0.533	11.04	1.033
0.36	-1.07	1.89	-0.47	3.42	0.833	4.95	-1.37	6.48	0.933	8.01	-0.17	9.54	1.033	11.07	-0.37
0.39	-0.97	1.92	0.633	3.45	-0.07	4.98	-1.07	6.51	1.233	8.04	-1.37	9.57	0.933	11.10	-0.67
0.42	-1.17	1.95	1.033	3.48	-0.87	5.01	0.333	6.54	0.633	8.07	-0.87	9.60	-0.07	11.13	-1.27
0.45	0.233	1.98	0.833	3.51	-1.17	5.04	0.733	6.57	-0.27	8.10	-0.17	9.63	-1.47	11.16	-0.37
0.48	0.933	2.01	-0.17	3.54	-0.17	5.07	1.333	6.60	-0.87	8.13	0.533	9.66	-1.17	11.19	0.333
0.51	1.133	2.04	-0.67	3.57	0.633	5.10	0.033	6.63	-1.17	8.16	0.033	9.69	-0.27	11.22	1.433
0.54	0.533	2.07	-1.07	3.60	1.133	5.13	-1.07	6.66	0.033	8.19	-0.97	9.72	0.633	11.25	1.133
0.57	-0.37	2.10	-0.37	3.63	0.633	5.16	-1.37	6.69	1.333	8.22	0.033	9.75	1.633	11.28	-0.27
0.60	-1.07	2.13	0.733	3.66	-0.27	5.19	-0.67	6.72	1.333	8.25	1.033	9.78	0.633	11.31	-1.07
0.63	-1.17	2.16	1.733	3.69	-1.27	5.22	0.733	6.75	0.133	8.28	0.433	9.81	-0.57	11.34	-1.37
0.66	0.033	2.19	0.733	3.72	-0.97	5.25	1.133	6.78	-0.87	8.31	-1.17	9.84	-0.67	11.37	-0.57
0.69	0.933	2.22	-0.07	3.75	-0.27	5.28	0.933	6.81	-1.37	8.34	-0.37	9.87	-1.07	11.40	-0.07
0.72	1.033	2.25	-1.27	3.78	0.633	5.31	0.333	6.84	-0.97	8.37	1.033	9.90	-0.27	11.43	0.733
0.75	0.733	2.28	-0.97	3.81	1.433	5.34	-0.87	6.87	0.333	8.40	1.233	9.93	0.733	11.46	0.533
0.78	-0.37	2.31	0.033	3.84	1.133	5.37	-1.27	6.90	1.033	8.43	-0.77	9.96	1.033	11.49	0.333
0.81	-0.87	2.34	0.933	3.87	-0.27	5.40	-0.77	6.93	1.133	8.46	-1.17	9.99	0.433	11.52	-0.67
0.84	-1.17	2.37	1.53	3.90	-1.07	5.43	0.233	6.96	0.433	8.49	0.133	10.02	-0.47	11.55	-1.37
0.87	-0.37	2.40	0.43	3.93	-1.17	5.46	1.133	6.99	-1.07	8.52	1.533	10.05	-0.87	11.58	-0.47
0.90	0.23	2.43	-0.67	3.96	-0.27	5.49	1.333	7.02	-0.87	8.55	0.633	10.08	-1.27	11.61	0.933
0.93	1.03	2.46	-1.27	3.99	0.633	5.52	0.533	7.05	-0.37	8.58	-0.37	10.11	0.733	11.64	1.233
0.96	0.23	2.49	-1.27	4.02	1.133	5.55	-0.67	7.08	0.333	8.61	-1.07	10.14	0.833	11.67	0.933
0.99	-0.47	2.52	-0.57	4.05	0.833	5.58	-1.17	7.11	0.933	8.64	-0.97	10.17	0.833	11.70	-0.37
1.02	-1.27	2.55	0.73	4.08	-0.37	5.61	0.133	7.14	0.833	8.67	0.333	10.20	0.533	11.73	-0.87
1.05	-0.57	2.58	1.03	4.11	-1.17	5.64	0.733	7.17	0.333	8.70	1.133	10.23	-0.57	11.76	-0.97
1.08	-0.37	2.61	0.43	4.14	-1.17	5.67	1.033	7.20	-1.07	8.73	1.433	10.26	-0.87	11.79	-0.77
1.11	0.23	2.64	-0.57	4.17	0.233	5.70	1.033	7.23	-0.57	8.76	0.133	10.29	-0.77	11.82	-0.17
1.14	1.23	2.67	-1.07	4.20	0.533	5.73	-0.27	7.26	-0.07	8.79	-0.87	10.32	-0.17	11.85	1.433
1.17	0.23	2.70	-0.67	4.23	1.033	5.76	-1.27	7.29	0.433	8.82	-0.87	10.35	1.133	11.88	0.933
1.20	-0.37	2.73	0.23	4.26	0.433	5.79	-1.07	7.32	1.633	8.85	-0.77	10.38	1.333	11.91	0.833
1.23	-1.17	2.76	0.93	4.29	-0.17	5.82	-0.77	7.35	1.533	8.88	0.633	10.41	1.033	11.94	-0.57
1.26	-1.07	2.79	1.53	4.32	-1.07	5.85	0.533	7.38	0.133	8.91	0.733	10.44	-0.07	11.97	-0.87
1.29	-0.07	2.82	0.13	4.35	-1.07	5.88	0.933	7.41	-1.27	8.94	1.133	10.47	-1.17	12.00	-0.87
1.32	1.33	2.85	-0.57	4.38	-0.17	5.91	0.633	7.44	-1.07	8.97	0.633	10.50	-0.67		
1.35	0.93	2.88	-1.17	4.41	0.733	5.94	0.433	7.47	-0.57	9.00	-1.07	10.53	-0.87		
1.38	0.13	2.91	-0.77	4.44	0.933	5.97	-0.87	7.50	0.733	9.03	-1.27	10.56	0.533		
1.41	-0.77	2.94	0.13	4.47	0.633	6.00	-1.47	7.53	1.533	9.06	-1.07	10.59	1.633		
1.44	-0.97	2.97	1.03	4.50	-0.37	6.03	-0.57	7.56	0.733	9.09	0.533	10.62	0.933		
1.47	-0.77	3.00	0.73	4.53	-1.47	6.06	0.533	7.59	0.233	9.12	1.233	10.65	-0.57		
1.50	0.03	3.03	0.23	4.56	-0.97	6.09	1.733	7.62	-0.87	9.15	1.133	10.68	-0.97		



### 3.5.7.8 Registro de desplazamiento para $f=3.25$ hz, con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.38%

HOJA DE TOMA DE DATOS DE DESPLAZAMIENTO CON VIBRACIÓN FORZADA															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco								Fecha:		18/11/2020			
		Bohon Vidal Ccana Ccapatinta													
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)
0.00	0	1.53	-0.34	3.06	-0.34	4.59	-0.04	6.12	-0.04	7.65	-0.34	9.18	0.26	10.71	0.66
0.03	0.16	1.56	-0.44	3.09	-0.74	4.62	-0.54	6.15	-0.04	7.68	0.16	9.21	0.36	10.74	0.96
0.06	-0.04	1.59	0.16	3.12	-0.04	4.65	-0.04	6.18	-0.14	7.71	0.46	9.24	0.46	10.77	0.06
0.09	0.66	1.62	0.46	3.15	0.66	4.68	-0.04	6.21	0.16	7.74	0.36	9.27	0.06	10.80	-0.44
0.12	0.16	1.65	0.06	3.18	1.16	4.71	-0.34	6.24	0.86	7.77	0.26	9.30	-0.44	10.83	-0.54
0.15	-0.44	1.68	0.16	3.21	0.26	4.74	0.26	6.27	0.26	7.80	-0.74	9.33	-0.14	10.86	-0.34
0.18	-0.04	1.71	-0.14	3.24	0.06	4.77	-0.64	6.30	-0.14	7.83	-0.44	9.36	-0.14	10.89	-0.14
0.21	-0.74	1.74	-0.74	3.27	-0.24	4.80	-0.44	6.33	-0.84	7.86	-0.24	9.39	0.26	10.92	0.56
0.24	0.16	1.77	0.16	3.30	-0.24	4.83	-0.14	6.36	0.26	7.89	0.26	9.42	0.56	10.95	-0.04
0.27	0.36	1.80	0.26	3.33	0.16	4.86	-0.04	6.39	0.56	7.92	0.76	9.45	0.16	10.98	-0.14
0.30	0.76	1.83	0.56	3.36	0.36	4.89	0.36	6.42	0.66	7.95	0.26	9.48	-0.54	11.01	-0.64
0.33	-0.14	1.86	-0.14	3.39	0.26	4.92	0.56	6.45	-0.04	7.98	-0.24	9.51	-0.24	11.04	-0.54
0.36	-0.44	1.89	-0.84	3.42	0.56	4.95	-0.04	6.48	-0.64	8.01	-0.74	9.54	-0.44	11.07	0.26
0.39	-0.74	1.92	-0.44	3.45	-0.54	4.98	-0.24	6.51	-0.54	8.04	-0.44	9.57	-0.04	11.10	0.66
0.42	-0.44	1.95	-0.44	3.48	-0.24	5.01	-0.54	6.54	-0.04	8.07	0.06	9.60	0.66	11.13	0.66
0.45	0.76	1.98	0.56	3.51	-0.44	5.04	-0.14	6.57	-0.04	8.10	0.36	9.63	0.06	11.16	0.06
0.48	0.36	2.01	1.06	3.54	0.56	5.07	0.86	6.60	0.36	8.13	0.36	9.66	-0.54	11.19	-0.54
0.51	0.16	2.04	0.26	3.57	0.36	5.10	0.66	6.63	0.36	8.16	-0.44	9.69	-0.84	11.22	-0.24
0.54	-0.44	2.07	-0.24	3.60	0.56	5.13	-0.04	6.66	-0.24	8.19	-0.94	9.72	-0.54	11.25	0.56
0.57	-0.24	2.10	-0.34	3.63	-0.04	5.16	-0.64	6.69	-0.54	8.22	-0.54	9.75	0.06	11.28	0.06
0.60	-0.54	2.13	-0.44	3.66	-0.54	5.19	-0.54	6.72	0.16	8.25	0.26	9.78	0.26	11.31	0.36
0.63	0.16	2.16	-0.34	3.69	-0.44	5.22	-0.74	6.75	0.36	8.28	0.96	9.81	0.36	11.34	-0.04
0.66	0.56	2.19	0.56	3.72	0.06	5.25	0.36	6.78	0.36	8.31	0.56	9.84	0.36	11.37	-0.54
0.69	0.66	2.22	0.46	3.75	0.26	5.28	0.36	6.81	0.16	8.34	-0.54	9.87	-0.44	11.40	-0.94
0.72	0.16	2.25	-0.14	3.78	0.46	5.31	0.66	6.84	-0.74	8.37	-0.34	9.90	0.06	11.43	-0.14
0.75	-0.34	2.28	-0.14	3.81	0.06	5.34	-0.64	6.87	-0.04	8.40	0.06	9.93	0.26	11.46	0.36
0.78	-0.64	2.31	-0.54	3.84	-0.64	5.37	-0.74	6.90	-0.44	8.43	0.26	9.96	0.36	11.49	0.26
0.81	-0.14	2.34	-0.54	3.87	-0.54	5.40	-0.44	6.93	0.36	8.46	0.16	9.99	0.56	11.52	-0.24
0.84	0.46	2.37	0.06	3.90	0.06	5.43	0.16	6.96	0.56	8.49	0.26	10.02	-0.14	11.55	-0.54
0.87	0.46	2.40	0.26	3.93	0.46	5.46	0.46	6.99	0.26	8.52	-0.14	10.05	-0.34	11.58	-0.44
0.90	0.56	2.43	0.66	3.96	0.86	5.49	0.26	7.02	-0.04	8.55	-0.94	10.08	-0.14	11.61	-0.14
0.93	-0.34	2.46	-0.44	3.99	0.26	5.52	-0.24	7.05	-0.84	8.58	-0.74	10.11	-0.24	11.64	-0.34
0.96	-0.54	2.49	-0.24	4.02	-0.34	5.55	-0.14	7.08	-0.54	8.61	-0.04	10.14	0.16	11.67	0.16
0.99	-0.14	2.52	-0.14	4.05	-0.54	5.58	-0.54	7.11	0.06	8.64	0.56	10.17	0.46	11.70	0.16
1.02	0.36	2.55	-0.14	4.08	-0.64	5.61	0.26	7.14	0.76	8.67	0.66	10.20	0.66	11.73	-0.14
1.05	0.76	2.58	0.36	4.11	0.56	5.64	0.16	7.17	0.76	8.70	0.16	10.23	-0.14	11.76	-0.64
1.08	0.36	2.61	0.66	4.14	-0.24	5.67	0.26	7.20	-0.54	8.73	-0.04	10.26	-0.14	11.79	-0.04
1.11	0.16	2.64	0.06	4.17	0.26	5.70	-0.04	7.23	-0.64	8.76	-0.24	10.29	-0.44	11.82	0.26
1.14	-0.24	2.67	-0.74	4.20	-0.14	5.73	-0.64	7.26	-0.84	8.79	-0.34	10.32	0.26	11.85	0.86
1.17	-0.64	2.70	-0.14	4.23	-0.54	5.76	-0.44	7.29	0.06	8.82	0.26	10.35	0.66	11.88	0.16
1.20	-0.54	2.73	-0.24	4.26	-0.44	5.79	-0.04	7.32	0.56	8.85	0.26	10.38	0.66	11.91	0.26
1.23	0.26	2.76	0.46	4.29	0.46	5.82	0.16	7.35	0.36	8.88	0.36	10.41	-0.14	11.94	0.26
1.26	-0.04	2.79	0.46	4.32	0.66	5.85	0.26	7.38	-0.04	8.91	-0.64	10.44	-0.74	11.97	-0.34
1.29	0.06	2.82	0.66	4.35	0.36	5.88	0.06	7.41	-0.24	8.94	-0.44	10.47	-0.04	12.00	-0.34
1.32	-0.54	2.85	-0.14	4.38	0.36	5.91	-0.24	7.44	-0.04	8.97	0.16	10.50	0.26		
1.35	-0.64	2.88	-0.34	4.41	-0.44	5.94	-0.64	7.47	-0.04	9.00	0.36	10.53	0.46		
1.38	-0.14	2.91	-0.04	4.44	-0.64	5.97	-0.54	7.50	0.56	9.03	0.66	10.56	0.36		
1.41	0.26	2.94	0.46	4.47	-0.14	6.00	0.46	7.53	0.26	9.06	0.46	10.59	-0.14		
1.44	0.16	2.97	0.46	4.50	0.26	6.03	0.46	7.56	0.06	9.09	-0.14	10.62	-0.54		
1.47	0.16	3.00	0.26	4.53	0.56	6.06	0.26	7.59	0.06	9.12	-0.34	10.65	-0.44		
1.50	-0.04	3.03	0.16	4.56	0.06	6.09	-0.34	7.62	-0.04	9.15	-0.44	10.68	0.46		



### 3.5.7.9 Registro de desplazamiento para $f=3.5$ hz, con Amortiguador de Masa

Sintonizada al 4.38%

HOJA DE TOMA DE DATOS DE DESPLAZAMIENTO CON VIBRACIÓN FORZADA															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco										Fecha:		18/11/2020	
		Bohon Vidal Ccana Ccapatinta													
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)
0.00	0	2.55	-0.58	5.10	-0.08	7.65	0.518	10.20	-0.08	12.75	0.018	15.30	0.318	17.85	0.218
0.05	0.218	2.60	-0.08	5.15	-0.28	7.70	0.118	10.25	-0.08	12.80	0.518	15.35	0.518	17.90	-0.38
0.10	-0.68	2.65	0.018	5.20	0.618	7.75	-0.38	10.30	-0.28	12.85	0.018	15.40	-0.18	17.95	-0.08
0.15	0.418	2.70	0.518	5.25	0.318	7.80	-0.38	10.35	0.018	12.90	0.418	15.45	-0.68	18.00	-0.38
0.20	0.218	2.75	0.018	5.30	-0.08	7.85	-0.58	10.40	0.218	12.95	-0.18	15.50	0.018	18.05	0.418
0.25	0.218	2.80	0.018	5.35	-0.68	7.90	0.418	10.45	0.218	13.00	0.018	15.55	-0.48	18.10	0.318
0.30	-0.08	2.85	-0.28	5.40	-0.18	7.95	0.518	10.50	0.018	13.05	0.118	15.60	0.518	18.15	0.118
0.35	-0.18	2.90	0.018	5.45	-0.28	8.00	0.218	10.55	-0.68	13.10	0.318	15.65	-0.38	18.20	-1.08
0.40	-0.58	2.95	-0.18	5.50	0.618	8.05	-0.08	10.60	-0.18	13.15	0.418	15.70	0.018	18.25	-0.08
0.45	0.718	3.00	0.218	5.55	0.118	8.10	-0.58	10.65	0.418	13.20	0.018	15.75	-0.58	18.30	-0.18
0.50	0.418	3.05	-0.18	5.60	0.418	8.15	-0.08	10.70	0.118	13.25	-0.58	15.80	-0.28	18.35	0.418
0.55	0.218	3.10	0.318	5.65	-0.28	8.20	-0.18	10.75	0.318	13.30	0.018	15.85	0.318	18.40	0.418
0.60	-0.38	3.15	-0.38	5.70	-0.68	8.25	0.318	10.80	-0.08	13.35	0.018	15.90	0.518	18.45	0.318
0.65	-1.08	3.20	0.118	5.75	-0.08	8.30	-0.08	10.85	0.218	13.40	0.718	15.95	0.118	18.50	-0.38
0.70	-0.08	3.25	0.318	5.80	0.718	8.35	-0.18	10.90	0.418	13.45	0.318	16.00	0.318	18.55	0.418
0.75	-0.18	3.30	0.118	5.85	0.418	8.40	-0.28	10.95	0.318	13.50	-0.08	16.05	-0.78	18.60	-0.28
0.80	0.018	3.35	-0.08	5.90	-0.08	8.45	0.018	11.00	0.818	13.55	-0.08	16.10	-0.28	18.65	0.418
0.85	0.318	3.40	0.618	5.95	-0.38	8.50	0.118	11.05	0.418	13.60	0.218	16.15	-0.28	18.70	0.218
0.90	-0.28	3.45	-0.38	6.00	0.018	8.55	-0.18	11.10	-0.18	13.65	-0.48	16.20	0.818	18.75	0.718
0.95	-0.38	3.50	-0.98	6.05	-0.08	8.60	0.118	11.15	-0.38	13.70	0.618	16.25	0.518	18.80	-0.58
1.00	-0.08	3.55	0.018	6.10	-0.28	8.65	0.418	11.20	-0.68	13.75	0.118	16.30	0.318	18.85	-0.28
1.05	-0.28	3.60	0.018	6.15	0.718	8.70	-0.68	11.25	0.318	13.80	0.218	16.35	-0.38	18.90	-0.08
1.10	0.818	3.65	0.118	6.20	0.318	8.75	-0.08	11.30	0.518	13.85	-0.68	16.40	-0.08	18.95	0.018
1.15	-0.08	3.70	0.118	6.25	-0.08	8.80	-0.48	11.35	0.518	13.90	-0.38	16.45	-0.18	19.00	0.418
1.20	0.218	3.75	-0.78	6.30	-0.08	8.85	0.118	11.40	-0.18	13.95	-0.58	16.50	0.518	19.05	0.118
1.25	-0.68	3.80	-0.58	6.35	-0.58	8.90	0.118	11.45	-0.18	14.00	0.618	16.55	0.218	19.10	-0.38
1.30	0.218	3.85	-0.48	6.40	0.018	8.95	0.618	11.50	-0.58	14.05	0.318	16.60	0.318	19.15	-0.38
1.35	-0.58	3.90	-0.18	6.45	0.618	9.00	-0.48	11.55	-0.18	14.10	0.018	16.65	-0.58	19.20	-0.08
1.4	-0.18	3.95	0.62	6.50	0.418	9.05	-0.08	11.60	0.618	14.15	-0.68	16.70	0.318	19.25	0.118
1.45	0.32	4.00	0.42	6.55	-0.38	9.10	-0.28	11.65	-0.08	14.20	-0.28	16.75	-0.48	19.30	0.118
1.5	0.62	4.05	-0.08	6.60	-0.48	9.15	0.518	11.70	0.018	14.25	-0.38	16.80	0.518	19.35	0.418
1.55	-0.08	4.10	-0.48	6.65	-0.58	9.20	-0.08	11.75	-0.48	14.30	0.518	16.85	0.018	19.40	0.118
1.6	-0.48	4.15	-0.28	6.70	0.718	9.25	0.418	11.80	-0.38	14.35	0.818	16.90	-0.18	19.45	-0.58
1.65	-0.48	4.20	-0.38	6.75	0.118	9.30	-0.18	11.85	0.018	14.40	-0.08	16.95	-0.48	19.50	-0.18
1.7	0.22	4.25	0.82	6.80	0.018	9.35	-0.88	11.90	0.818	14.45	0.318	17.00	-0.28	19.55	-0.18
1.75	0.22	4.30	-0.38	6.85	-0.28	9.40	-0.68	11.95	0.018	14.50	-0.78	17.05	-0.28	19.60	0.318
1.8	0.02	4.35	0.62	6.90	0.118	9.45	0.018	12.00	-0.08	14.55	0.318	17.10	0.418	19.65	0.118
1.85	0.02	4.40	-0.08	6.95	-0.38	9.50	0.018	12.05	-0.78	14.60	0.118	17.15	0.818	19.70	-0.18
1.9	-0.48	4.45	-0.58	7.00	0.418	9.55	0.418	12.10	-0.38	14.65	0.118	17.20	0.518	19.75	-0.68
1.95	-0.48	4.50	-0.08	7.05	-0.28	9.60	-0.28	12.15	-0.28	14.70	0.118	17.25	-0.38	19.80	-0.08
2	-0.08	4.55	0.62	7.10	0.718	9.65	-0.18	12.20	0.918	14.75	0.518	17.30	-0.28	19.85	-0.08
2.05	1.12	4.60	0.22	7.15	-0.48	9.70	-0.28	12.25	0.218	14.80	-0.88	17.35	-0.08	19.90	0.818
2.1	0.82	4.65	0.02	7.20	-0.08	9.75	0.318	12.30	0.618	14.85	0.118	17.40	-0.18	19.95	0.218
2.15	0.12	4.70	-0.58	7.25	-0.38	9.80	0.618	12.35	-0.68	14.90	-0.38	17.45	0.418	20.00	0.118
2.2	-0.58	4.75	-0.48	7.30	0.418	9.85	0.518	12.40	-0.08	14.95	0.618	17.50	0.718		
2.25	-0.28	4.80	-0.18	7.35	0.118	9.90	-0.68	12.45	-0.38	15.00	0.318	17.55	-0.28		
2.3	-0.58	4.85	-0.08	7.40	0.518	9.95	-0.18	12.50	0.318	15.05	0.218	17.60	-0.38		
2.35	0.92	4.90	0.22	7.45	-0.28	10.00	0.118	12.55	0.418	15.10	-0.38	17.65	-0.08		
2.4	0.42	4.95	0.82	7.50	-0.58	10.05	-0.08	12.60	-0.18	15.15	-0.68	17.70	0.418		
2.45	0.52	5.00	0.02	7.55	-0.08	10.10	0.418	12.65	-0.58	15.20	-0.38	17.75	0.218		
2.5	0.12	5.05	-0.08	7.60	-0.08	10.15	0.018	12.70	-0.08	15.25	0.318	17.80	-0.08		



### 3.5.7.10 Registro de desplazamiento para $f=3.0$ hz, con Amortiguador de Masa

Sintonizada al 5.98%

HOJA DE TOMA DE DATOS DE DESPLAZAMIENTO CON VIBRACIÓN FORZADA															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco								Fecha:		18/11/2020			
		Bohon Vidal Ccana Ccapatinta													
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)
0.00	0	1.53	-1.99	3.06	1.313	4.59	0.813	6.12	-1.19	7.65	-1.09	9.18	-1.89	10.71	-0.99
0.03	-1.29	1.56	-0.89	3.09	2.013	4.62	-0.09	6.15	-1.79	7.68	-1.59	9.21	-0.89	10.74	0.213
0.06	-1.49	1.59	0.513	3.12	1.013	4.65	-1.59	6.18	-1.69	7.71	-1.09	9.24	1.013	10.77	1.613
0.09	-1.09	1.62	1.813	3.15	-0.39	4.68	-1.39	6.21	-0.39	7.74	0.813	9.27	1.813	10.80	1.513
0.12	0.513	1.65	1.513	3.18	-1.49	4.71	-0.19	6.24	1.113	7.77	1.513	9.30	1.613	10.83	1.013
0.15	1.513	1.68	-0.09	3.21	-2.09	4.74	0.913	6.27	1.813	7.80	1.613	9.33	0.513	10.86	-0.69
0.18	1.613	1.71	-0.69	3.24	-0.49	4.77	2.013	6.30	0.713	7.83	0.513	9.36	-1.29	10.89	-1.69
0.21	0.413	1.74	-1.99	3.27	0.813	4.80	0.813	6.33	-0.39	7.86	-1.19	9.39	-1.69	10.92	-1.79
0.24	-1.79	1.77	-0.69	3.30	2.213	4.83	-0.39	6.36	-1.49	7.89	-1.89	9.42	-1.49	10.95	-0.19
0.27	-1.99	1.80	0.113	3.33	1.513	4.86	-1.89	6.39	-0.99	7.92	-1.29	9.45	-0.19	10.98	0.313
0.30	-1.79	1.83	1.813	3.36	0.013	4.89	-1.49	6.42	0.413	7.95	-0.09	9.48	0.913	11.01	2.113
0.33	0.013	1.86	1.813	3.39	-1.39	4.92	-0.49	6.45	1.713	7.98	2.013	9.51	1.513	11.04	0.813
0.36	1.613	1.89	0.413	3.42	-1.79	4.95	0.513	6.48	1.313	8.01	1.413	9.54	0.813	11.07	-0.19
0.39	1.913	1.92	-1.39	3.45	-0.29	4.98	1.513	6.51	1.213	8.04	0.213	9.57	-0.89	11.10	-1.09
0.42	0.713	1.95	-2.19	3.48	1.413	5.01	1.713	6.54	-0.59	8.07	-1.49	9.60	-1.89	11.13	-1.89
0.45	-1.19	1.98	-0.49	3.51	1.613	5.04	0.013	6.57	-1.79	8.10	-1.99	9.63	-1.79	11.16	-0.69
0.48	-1.69	2.01	0.513	3.54	1.113	5.07	-1.49	6.60	-1.29	8.13	-0.79	9.66	-0.29	11.19	0.513
0.51	-1.39	2.04	1.913	3.57	-0.29	5.10	-1.79	6.63	-0.79	8.16	-0.09	9.69	0.613	11.22	1.513
0.54	-0.29	2.07	1.613	3.60	-1.19	5.13	-0.49	6.66	0.813	8.19	1.613	9.72	1.713	11.25	1.713
0.57	0.813	2.10	0.313	3.63	-1.29	5.16	0.813	6.69	2.013	8.22	1.913	9.75	1.513	11.28	0.013
0.60	1.913	2.13	-0.69	3.66	-0.49	5.19	1.913	6.72	1.113	8.25	0.413	9.78	-0.29	11.31	-0.99
0.63	0.113	2.16	-1.59	3.69	1.213	5.22	1.513	6.75	0.213	8.28	-0.89	9.81	-1.49	11.34	-1.69
0.66	-1.49	2.19	-1.39	3.72	1.813	5.25	0.213	6.78	-1.49	8.31	-1.49	9.84	-1.39	11.37	-1.19
0.69	-1.39	2.22	0.113	3.75	1.013	5.28	-1.59	6.81	-1.69	8.34	-1.79	9.87	-0.59	11.40	0.213
0.72	-1.19	2.25	1.513	3.78	0.013	5.31	-1.89	6.84	-0.99	8.37	0.213	9.90	0.813	11.43	1.713
0.75	0.413	2.28	1.513	3.81	-1.79	5.34	-0.89	6.87	1.013	8.40	1.213	9.93	1.313	11.46	1.713
0.78	1.413	2.31	0.413	3.84	-1.29	5.37	1.113	6.90	1.913	8.43	1.513	9.96	1.513	11.49	0.813
0.81	2.113	2.34	-1.09	3.87	-0.79	5.40	1.913	6.93	1.613	8.46	1.113	9.99	0.913	11.52	-0.99
0.84	0.31	2.37	-2.09	3.90	1.413	5.43	1.113	6.96	0.413	8.49	-0.69	10.02	-1.39	11.55	-1.59
0.87	-1.19	2.40	-0.79	3.93	1.413	5.46	1.113	6.99	-0.99	8.52	-1.19	10.05	-1.69	11.58	-1.49
0.90	-1.49	2.43	0.61	3.96	1.213	5.49	-1.29	7.02	-2.29	8.55	-1.39	10.08	-0.89	11.61	0.013
0.93	-0.99	2.46	1.81	3.99	-0.69	5.52	-1.99	7.05	-1.59	8.58	-0.39	10.11	0.513	11.64	1.213
0.96	-0.49	2.49	1.71	4.02	-1.59	5.55	-1.29	7.08	-0.39	8.61	1.013	10.14	1.513	11.67	1.713
0.99	1.41	2.52	0.01	4.05	-1.69	5.58	0.013	7.11	1.413	8.64	2.013	10.17	1.613	11.70	1.513
1.02	1.41	2.55	-1.19	4.08	-0.59	5.61	1.113	7.14	1.713	8.67	1.113	10.20	0.713	11.73	-0.59
1.05	1.01	2.58	-1.79	4.11	0.713	5.64	1.613	7.17	0.713	8.70	-0.19	10.23	-1.29	11.76	-1.69
1.08	-0.49	2.61	-0.59	4.14	2.113	5.67	0.613	7.20	-0.69	8.73	-1.49	10.26	-1.59	11.79	-1.49
1.11	-1.79	2.64	0.91	4.17	1.413	5.70	-0.69	7.23	-1.79	8.76	-1.79	10.29	-1.49	11.82	-1.39
1.14	-1.19	2.67	2.01	4.20	-0.09	5.73	-1.99	7.26	-1.19	8.79	-0.69	10.32	0.013	11.85	1.213
1.17	0.11	2.70	1.91	4.23	-1.39	5.76	-0.89	7.29	-0.79	8.82	1.413	10.35	1.713	11.88	1.513
1.20	1.41	2.73	0.11	4.26	-1.39	5.79	-0.19	7.32	1.213	8.85	2.213	10.38	1.613	11.91	0.913
1.23	1.61	2.76	-1.29	4.29	-0.59	5.82	1.513	7.35	2.013	8.88	1.813	10.41	1.113	11.94	-0.19
1.26	0.71	2.79	-1.99	4.32	1.013	5.85	1.613	7.38	1.413	8.91	-0.39	10.44	-0.79	11.97	-1.39
1.29	-1.09	2.82	-0.69	4.35	1.813	5.88	0.913	7.41	-0.39	8.94	-1.59	10.47	-1.59	12.00	-1.39
1.32	-1.69	2.85	0.91	4.38	1.613	5.91	-0.49	7.44	-1.29	8.97	-1.99	10.50	-1.39		
1.35	-1.09	2.88	1.31	4.41	-0.29	5.94	-1.89	7.47	-1.39	9.00	-0.49	10.53	0.413		
1.38	0.11	2.91	1.71	4.44	-1.79	5.97	-1.09	7.50	-0.79	9.03	0.913	10.56	1.413		
1.41	1.41	2.94	0.41	4.47	-1.39	6.00	-0.49	7.53	0.913	9.06	1.513	10.59	1.513		
1.44	2.41	2.97	-1.39	4.50	-0.29	6.03	1.513	7.56	2.013	9.09	1.513	10.62	0.213		
1.47	0.61	3.00	-1.89	4.53	1.313	6.06	1.713	7.59	1.213	9.12	-0.09	10.65	-1.59		
1.50	-1.29	3.03	-0.19	4.56	1.913	6.09	0.613	7.62	-0.29	9.15	-1.19	10.68	-1.79		



### 3.5.7.11 Registro de desplazamiento para $f=3.25$ hz, con Amortiguador de Masa

Sintonizada al 5.98%

HOJA DE TOMA DE DATOS DE DESPLAZAMIENTO CON VIBRACIÓN FORZADA															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco										Fecha:		18/11/2020	
		Bohon Vidal Ccana Ccapatinta													
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)
0.00	0	1.53	-0.41	3.06	-0.61	4.59	-0.51	6.12	-0.01	7.65	0.093	9.18	0.193	10.71	0.793
0.03	-0.21	1.56	-0.11	3.09	-0.11	4.62	-0.31	6.15	-0.51	7.68	0.093	9.21	-0.11	10.74	0.493
0.06	0.093	1.59	0.193	3.12	-0.11	4.65	-0.21	6.18	0.393	7.71	-0.21	9.24	-0.61	10.77	-0.11
0.09	0.193	1.62	0.393	3.15	0.493	4.68	-0.11	6.21	0.593	7.74	-0.31	9.27	-0.71	10.80	-0.61
0.12	0.393	1.65	0.293	3.18	0.093	4.71	0.593	6.24	0.193	7.77	-0.31	9.30	0.493	10.83	-0.21
0.15	-0.41	1.68	-0.21	3.21	0.093	4.74	0.093	6.27	0.393	7.80	0.093	9.33	0.593	10.86	-0.21
0.18	-0.61	1.71	-0.21	3.24	-0.21	4.77	-0.71	6.30	-0.11	7.83	0.093	9.36	-0.01	10.89	0.093
0.21	-0.31	1.74	-0.41	3.27	-0.41	4.80	0.093	6.33	-0.41	7.86	0.093	9.39	0.093	10.92	0.193
0.24	0.693	1.77	-0.11	3.30	0.093	4.83	-0.11	6.36	-0.01	7.89	-0.31	9.42	-0.11	10.95	-0.61
0.27	0.493	1.80	0.493	3.33	0.293	4.86	0.393	6.39	0.093	7.92	-0.31	9.45	-0.51	10.98	-0.01
0.30	0.793	1.83	-0.11	3.36	0.393	4.89	0.493	6.42	0.293	7.95	-0.51	9.48	-0.01	11.01	-0.11
0.33	-0.21	1.86	-0.41	3.39	-0.51	4.92	0.493	6.45	-0.01	7.98	0.293	9.51	0.293	11.04	0.293
0.36	-0.51	1.89	-0.31	3.42	-0.71	4.95	-0.51	6.48	0.293	8.01	0.693	9.54	0.393	11.07	0.193
0.39	0.193	1.92	-0.31	3.45	-0.41	4.98	-0.31	6.51	-0.31	8.04	-0.01	9.57	-0.11	11.10	0.793
0.42	0.193	1.95	-0.21	3.48	-0.01	5.01	-0.21	6.54	-0.51	8.07	-0.21	9.60	0.193	11.13	-0.31
0.45	0.293	1.98	0.193	3.51	-0.01	5.04	0.093	6.57	-0.11	8.10	-0.71	9.63	-0.21	11.16	0.393
0.48	0.293	2.01	0.893	3.54	0.493	5.07	0.593	6.60	0.093	8.13	-0.41	9.66	-0.21	11.19	-0.11
0.51	-0.61	2.04	0.193	3.57	0.293	5.10	0.193	6.63	0.393	8.16	0.593	9.69	-0.11	11.22	-0.01
0.54	-0.01	2.07	-0.11	3.60	-0.71	5.13	-0.21	6.66	0.393	8.19	0.493	9.72	0.393	11.25	0.593
0.57	-0.81	2.10	-0.41	3.63	-0.61	5.16	-0.21	6.69	0.293	8.22	0.193	9.75	0.293	11.28	0.493
0.60	-0.21	2.13	-0.61	3.66	-0.51	5.19	-0.11	6.72	-0.41	8.25	-0.11	9.78	-0.51	11.31	0.193
0.63	0.293	2.16	0.793	3.69	0.493	5.22	-0.21	6.75	-0.51	8.28	-0.41	9.81	-0.51	11.34	-0.31
0.66	0.193	2.19	0.493	3.72	0.193	5.25	0.093	6.78	-0.11	8.31	-0.31	9.84	-0.41	11.37	-0.61
0.69	-0.11	2.22	0.293	3.75	0.593	5.28	0.893	6.81	-0.21	8.34	0.193	9.87	0.293	11.40	-0.11
0.72	-0.61	2.25	-0.61	3.78	0.093	5.31	-0.31	6.84	0.193	8.37	0.193	9.90	0.293	11.43	0.493
0.75	-0.51	2.28	-0.01	3.81	-0.51	5.34	-0.51	6.87	0.393	8.40	0.593	9.93	0.293	11.46	0.093
0.78	-0.41	2.31	-0.81	3.84	0.093	5.37	-0.31	6.90	-0.01	8.43	0.293	9.96	0.593	11.49	0.693
0.81	0.193	2.34	0.193	3.87	-0.61	5.40	-0.61	6.93	-0.51	8.46	-0.41	9.99	-0.31	11.52	-0.11
0.84	0.59	2.37	0.39	3.90	0.593	5.43	-0.01	6.96	-0.41	8.49	-0.51	10.02	-0.51	11.55	-0.31
0.87	0.29	2.40	0.89	3.93	0.293	5.46	0.493	6.99	-0.01	8.52	0.093	10.05	-0.21	11.58	-0.21
0.90	-0.41	2.43	-0.01	3.96	-0.01	5.49	0.793	7.02	0.293	8.55	0.193	10.08	-0.11	11.61	-0.21
0.93	-0.51	2.46	-0.21	3.99	-0.01	5.52	-0.01	7.05	0.093	8.58	0.393	10.11	0.693	11.64	-0.01
0.96	-0.41	2.49	-0.71	4.02	-0.51	5.55	0.193	7.08	0.293	8.61	-0.11	10.14	0.093	11.67	0.593
0.99	-0.11	2.52	-0.31	4.05	-0.31	5.58	-0.21	7.11	-0.41	8.64	0.093	10.17	-0.61	11.70	0.093
1.02	0.39	2.55	0.29	4.08	0.493	5.61	0.293	7.14	-0.91	8.67	-0.21	10.20	-0.71	11.73	-0.31
1.05	0.79	2.58	0.39	4.11	0.693	5.64	0.693	7.17	-0.31	8.70	-0.31	10.23	-0.31	11.76	-0.11
1.08	-0.11	2.61	0.79	4.14	0.193	5.67	0.593	7.20	0.893	8.73	0.193	10.26	-0.61	11.79	-0.71
1.11	-0.11	2.64	-0.11	4.17	-0.21	5.70	0.093	7.23	0.793	8.76	0.793	10.29	0.093	11.82	-0.11
1.14	-0.51	2.67	-0.51	4.20	-0.41	5.73	-0.41	7.26	0.093	8.79	0.393	10.32	-0.11	11.85	0.093
1.17	-0.11	2.70	-0.41	4.23	-0.31	5.76	-0.31	7.29	-0.31	8.82	-0.11	10.35	0.093	11.88	0.593
1.20	-0.11	2.73	0.19	4.26	0.093	5.79	-0.31	7.32	-0.21	8.85	-0.41	10.38	-0.01	11.91	-0.21
1.23	0.59	2.76	0.69	4.29	0.293	5.82	-0.01	7.35	-0.51	8.88	-0.81	10.41	-0.31	11.94	-0.21
1.26	0.39	2.79	0.09	4.32	0.493	5.85	0.193	7.38	0.293	8.91	-0.01	10.44	-0.71	11.97	-0.51
1.29	-0.51	2.82	0.09	4.35	0.093	5.88	0.293	7.41	0.093	8.94	0.293	10.47	0.293	12.00	0.393
1.32	-1.01	2.85	-0.41	4.38	-0.11	5.91	-0.41	7.44	0.493	8.97	0.593	10.50	0.793		
1.35	-0.51	2.88	-0.21	4.41	-0.41	5.94	-0.21	7.47	-0.21	9.00	0.393	10.53	0.593		
1.38	-0.51	2.91	-0.21	4.44	-0.31	5.97	-0.31	7.50	-0.31	9.03	0.293	10.56	-0.11		
1.41	0.79	2.94	-0.01	4.47	-0.11	6.00	0.093	7.53	-0.51	9.06	-0.61	10.59	-0.51		
1.44	0.39	2.97	0.79	4.50	-0.01	6.03	0.493	7.56	-0.11	9.09	-0.21	10.62	0.193		
1.47	0.09	3.00	0.49	4.53	0.293	6.06	0.593	7.59	-0.11	9.12	0.593	10.65	-0.01		
1.50	-0.11	3.03	0.29	4.56	-0.51	6.09	0.193	7.62	0.593	9.15	0.493	10.68	0.493		



### 3.5.7.12 Registro de desplazamiento para $f=3.5$ hz, con Amortiguador de Masa

Sintonizada al 5.98%

HOJA DE TOMA DE DATOS DE DESPLAZAMIENTO CON VIBRACIÓN FORZADA															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco								Fecha:		18/11/2020			
		Bohon Vidal Ccana Ccapatinta													
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)
0.00	0	1.53	-0.03	3.06	0.068	4.59	0.068	6.12	0.568	7.65	-0.43	9.18	-0.53	10.71	0.168
0.03	0.368	1.56	0.068	3.09	0.068	4.62	0.068	6.15	0.168	7.68	-0.13	9.21	0.168	10.74	0.468
0.06	0.068	1.59	0.168	3.12	-0.03	4.65	-0.73	6.18	0.068	7.71	-0.23	9.24	0.568	10.77	-0.13
0.09	-0.33	1.62	0.168	3.15	-0.43	4.68	-0.13	6.21	-0.03	7.74	-0.03	9.27	0.568	10.80	-0.33
0.12	-0.93	1.65	-0.23	3.18	0.268	4.71	-0.23	6.24	0.768	7.77	0.368	9.30	-0.33	10.83	-0.33
0.15	-0.13	1.68	-0.63	3.21	-0.23	4.74	0.268	6.27	0.068	7.80	0.068	9.33	-0.43	10.86	0.268
0.18	-0.03	1.71	-0.13	3.24	0.068	4.77	0.168	6.30	0.268	7.83	-0.13	9.36	-0.73	10.89	-0.13
0.21	0.168	1.74	0.068	3.27	0.268	4.80	0.368	6.33	0.068	7.86	-0.13	9.39	-0.23	10.92	0.368
0.24	0.068	1.77	-0.23	3.30	0.068	4.83	-0.53	6.36	-0.33	7.89	-0.33	9.42	0.768	10.95	-0.23
0.27	0.368	1.80	-0.13	3.33	-0.23	4.86	-0.43	6.39	0.068	7.92	-0.03	9.45	0.368	10.98	-0.23
0.30	-0.13	1.83	-0.03	3.36	-0.53	4.89	-0.93	6.42	-0.53	7.95	0.368	9.48	0.168	11.01	-0.63
0.33	0.168	1.86	0.068	3.39	-0.33	4.92	-0.13	6.45	0.368	7.98	0.168	9.51	-0.23	11.04	0.768
0.36	-0.13	1.89	-0.43	3.42	-0.03	4.95	0.368	6.48	0.168	8.01	0.068	9.54	-0.03	11.07	0.168
0.39	0.468	1.92	0.368	3.45	0.568	4.98	0.268	6.51	0.668	8.04	-0.43	9.57	-0.13	11.10	0.668
0.42	0.068	1.95	0.268	3.48	0.468	5.01	0.068	6.54	-0.43	8.07	0.068	9.60	0.168	11.13	0.068
0.45	0.368	1.98	0.468	3.51	0.168	5.04	-0.23	6.57	0.068	8.10	0.168	9.63	0.468	11.16	-0.33
0.48	0.468	2.01	0.268	3.54	-0.23	5.07	-0.43	6.60	-0.53	8.13	0.768	9.66	0.368	11.19	-0.13
0.51	-0.23	2.04	-0.03	3.57	-0.43	5.10	0.268	6.63	0.268	8.16	0.368	9.69	-0.63	11.22	0.168
0.54	-0.23	2.07	-0.33	3.60	0.268	5.13	0.368	6.66	-0.03	8.19	-0.23	9.72	-0.13	11.25	0.068
0.57	-0.23	2.10	-0.13	3.63	0.668	5.16	-0.13	6.69	0.768	8.22	-0.43	9.75	-0.03	11.28	0.368
0.60	0.368	2.13	0.068	3.66	0.168	5.19	0.168	6.72	-0.33	8.25	0.268	9.78	0.068	11.31	-0.03
0.63	-0.13	2.16	0.168	3.69	0.368	5.22	-0.43	6.75	-0.13	8.28	-0.23	9.81	0.368	11.34	0.168
0.66	0.568	2.19	0.768	3.72	-0.53	5.25	0.268	6.78	-0.43	8.31	0.968	9.84	0.068	11.37	-0.23
0.69	0.068	2.22	-0.23	3.75	-0.03	5.28	-0.13	6.81	0.568	8.34	0.068	9.87	-0.83	11.40	0.368
0.72	-0.03	2.25	0.468	3.78	-0.33	5.31	0.368	6.84	0.368	8.37	0.168	9.90	-0.03	11.43	-0.13
0.75	-0.43	2.28	-0.53	3.81	0.468	5.34	-0.03	6.87	0.268	8.40	0.068	9.93	-0.23	11.46	0.468
0.78	0.468	2.31	0.268	3.84	0.068	5.37	0.568	6.90	0.068	8.43	-0.33	9.96	-0.13	11.49	-0.13
0.81	0.168	2.34	0.068	3.87	0.268	5.40	-0.23	6.93	-0.33	8.46	-0.23	9.99	-0.23	11.52	-0.23
0.84	0.57	2.37	0.57	3.90	-0.13	5.43	-0.63	6.96	-0.63	8.49	0.568	10.02	0.468	11.55	-0.43
0.87	-0.33	2.40	-0.03	3.93	-0.33	5.46	-0.53	6.99	0.268	8.52	-0.53	10.05	-0.03	11.58	0.068
0.90	-0.33	2.43	0.37	3.96	-0.73	5.49	0.168	7.02	0.568	8.55	0.368	10.08	-0.23	11.61	0.968
0.93	-0.63	2.46	-0.53	3.99	0.068	5.52	0.368	7.05	0.568	8.58	-0.03	10.11	0.068	11.64	0.468
0.96	0.37	2.49	-0.13	4.02	0.068	5.55	-0.13	7.08	-0.43	8.61	-0.03	10.14	0.568	11.67	-0.33
0.99	-0.33	2.52	0.47	4.05	0.268	5.58	0.368	7.11	-0.43	8.64	-0.53	10.17	-0.03	11.70	-0.63
1.02	0.37	2.55	0.07	4.08	-0.53	5.61	0.268	7.14	-0.43	8.67	0.768	10.20	0.168	11.73	-0.63
1.05	-0.23	2.58	-0.23	4.11	-0.73	5.64	-0.23	7.17	-0.03	8.70	-0.13	10.23	-0.23	11.76	0.168
1.08	-0.03	2.61	-0.43	4.14	-0.33	5.67	-0.03	7.20	-0.23	8.73	-0.23	10.26	-0.03	11.79	-0.13
1.11	-0.33	2.64	-0.23	4.17	0.268	5.70	0.168	7.23	0.368	8.76	-0.03	10.29	-0.43	11.82	0.368
1.14	0.07	2.67	0.37	4.20	0.068	5.73	-0.13	7.26	0.068	8.79	-0.03	10.32	-0.13	11.85	0.468
1.17	0.27	2.70	0.27	4.23	0.068	5.76	0.068	7.29	-0.43	8.82	-0.03	10.35	0.168	11.88	-0.23
1.20	0.07	2.73	0.37	4.26	0.168	5.79	-0.23	7.32	-0.33	8.85	0.068	10.38	0.468	11.91	-0.43
1.23	0.07	2.76	-0.03	4.29	-0.13	5.82	-0.13	7.35	-0.23	8.88	0.368	10.41	-0.33	11.94	-0.03
1.26	-0.43	2.79	-0.63	4.32	-0.53	5.85	-0.43	7.38	0.368	8.91	-0.03	10.44	-0.03	11.97	0.268
1.29	0.27	2.82	-0.13	4.35	0.168	5.88	0.368	7.41	0.268	8.94	0.368	10.47	-0.43	12.00	0.568
1.32	-0.43	2.85	-0.63	4.38	-0.03	5.91	0.268	7.44	0.068	8.97	-0.33	10.50	0.268		
1.35	0.27	2.88	0.07	4.41	0.068	5.94	0.468	7.47	-0.63	9.00	-0.33	10.53	0.168		
1.38	0.17	2.91	0.27	4.44	0.168	5.97	-0.53	7.50	-0.13	9.03	0.368	10.56	0.068		
1.41	0.67	2.94	0.17	4.47	-0.13	6.00	-0.03	7.53	-0.43	9.06	0.068	10.59	-0.13		
1.44	-0.23	2.97	-0.33	4.50	-0.33	6.03	-0.33	7.56	-0.13	9.09	0.168	10.62	-0.03		
1.47	-0.03	3.00	-0.43	4.53	0.068	6.06	0.168	7.59	0.068	9.12	-0.03	10.65	-0.23		
1.50	-0.63	3.03	-0.03	4.56	0.268	6.09	0.268	7.62	0.368	9.15	-0.33	10.68	-0.23		





### 3.5.7.13 Registro de desplazamiento para $f=3.0$ hz, con Amortiguador de Masa

Sintonizada al 7.33%

HOJA DE TOMA DE DATOS DE DESPLAZAMIENTO CON VIBRACIÓN FORZADA															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco										Fecha:		18/11/2020	
		Bohon Vidal Ccana Ccapatinta													
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)
0.00	0	1.53	0.991	3.06	0.291	4.59	-0.51	6.12	-0.21	7.65	0.891	9.18	0.991	10.71	-0.51
0.03	0.391	1.56	1.191	3.09	-0.71	4.62	-0.51	6.15	0.091	7.68	0.391	9.21	-0.11	10.74	-0.31
0.06	1.091	1.59	0.091	3.12	-1.11	4.65	0.291	6.18	0.491	7.71	0.491	9.24	-1.11	10.77	0.291
0.09	0.391	1.62	-1.21	3.15	-0.11	4.68	0.491	6.21	0.691	7.74	-0.21	9.27	-1.21	10.80	0.691
0.12	-0.41	1.65	-1.21	3.18	-0.11	4.71	1.091	6.24	0.091	7.77	-0.91	9.30	-0.61	10.83	0.391
0.15	-1.31	1.68	-0.61	3.21	0.791	4.74	0.391	6.27	-0.81	7.80	-0.81	9.33	-0.11	10.86	-0.01
0.18	-0.41	1.71	0.291	3.24	0.991	4.77	-0.31	6.30	-1.31	7.83	-0.61	9.36	0.791	10.89	-0.71
0.21	-0.01	1.74	0.891	3.27	0.591	4.80	-0.81	6.33	-0.41	7.86	0.091	9.39	0.591	10.92	-0.61
0.24	0.591	1.77	0.391	3.30	-0.31	4.83	-0.81	6.36	0.491	7.89	0.791	9.42	-0.51	10.95	-0.61
0.27	0.891	1.80	0.291	3.33	-1.11	4.86	0.291	6.39	1.091	7.92	0.791	9.45	-0.21	10.98	0.291
0.30	0.291	1.83	-0.41	3.36	-0.91	4.89	0.791	6.42	0.391	7.95	-0.01	9.48	-0.61	11.01	0.991
0.33	-0.51	1.86	-1.01	3.39	-0.21	4.92	0.891	6.45	-0.41	7.98	-0.91	9.51	-0.41	11.04	0.591
0.36	-0.51	1.89	-0.51	3.42	0.791	4.95	0.791	6.48	-0.71	8.01	-1.11	9.54	0.691	11.07	0.291
0.39	-0.71	1.92	-0.51	3.45	0.991	4.98	-0.51	6.51	-0.91	8.04	-0.51	9.57	0.391	11.10	-0.61
0.42	-0.71	1.95	0.691	3.48	0.291	5.01	-0.51	6.54	-0.11	8.07	0.291	9.60	0.791	11.13	-0.71
0.45	0.391	1.98	0.491	3.51	-0.51	5.04	-0.11	6.57	0.391	8.10	1.291	9.63	-0.21	11.16	-0.51
0.48	0.391	2.01	-0.01	3.54	-0.91	5.07	-0.01	6.60	1.391	8.13	0.591	9.66	-0.41	11.19	0.491
0.51	0.591	2.04	-0.21	3.57	-0.91	5.10	0.691	6.63	0.491	8.16	-0.01	9.69	-0.81	11.22	0.591
0.54	0.491	2.07	-0.41	3.60	0.091	5.13	0.591	6.66	-0.21	8.19	-0.81	9.72	-0.31	11.25	1.291
0.57	0.091	2.10	-0.81	3.63	0.591	5.16	0.491	6.69	-0.41	8.22	-0.51	9.75	0.791	11.28	0.091
0.60	-0.61	2.13	0.091	3.66	0.991	5.19	-0.61	6.72	-1.01	8.25	-0.81	9.78	0.991	11.31	-0.81
0.63	-0.81	2.16	0.891	3.69	0.391	5.22	-0.91	6.75	-0.01	8.28	-0.01	9.81	0.891	11.34	-1.11
0.66	-0.01	2.19	0.991	3.72	-0.41	5.25	-0.41	6.78	0.591	8.31	0.891	9.84	-0.71	11.37	-0.21
0.69	0.791	2.22	0.791	3.75	-0.81	5.28	-0.21	6.81	0.691	8.34	0.891	9.87	-0.91	11.40	0.791
0.72	0.291	2.25	0.091	3.78	-0.11	5.31	0.391	6.84	0.891	8.37	-0.11	9.90	-0.91	11.43	0.691
0.75	0.191	2.28	-0.81	3.81	0.191	5.34	0.691	6.87	0.091	8.40	-0.61	9.93	0.391	11.46	0.591
0.78	-0.51	2.31	-1.11	3.84	1.191	5.37	0.691	6.90	-0.41	8.43	-0.71	9.96	0.691	11.49	-0.11
0.81	-0.71	2.34	0.091	3.87	0.991	5.40	-0.11	6.93	-0.91	8.46	-0.61	9.99	0.891	11.52	-0.61
0.84	-0.91	2.37	0.29	3.90	0.491	5.43	-0.41	6.96	-0.81	8.49	-0.11	10.02	0.691	11.55	-0.61
0.87	-0.31	2.40	0.99	3.93	0.091	5.46	-0.91	6.99	0.491	8.52	0.991	10.05	-0.81	11.58	-0.21
0.90	0.99	2.43	0.39	3.96	-1.01	5.49	-0.31	7.02	0.491	8.55	0.991	10.08	-0.61	11.61	0.091
0.93	1.09	2.46	-1.01	3.99	-0.91	5.52	0.591	7.05	1.191	8.58	0.191	10.11	-0.91	11.64	0.491
0.96	-0.21	2.49	-0.81	4.02	-0.21	5.55	0.791	7.08	0.391	8.61	-0.51	10.14	-0.31	11.67	0.791
0.99	-0.71	2.52	-1.01	4.05	0.591	5.58	0.491	7.11	-0.91	8.64	-0.41	10.17	0.591	11.70	0.091
1.02	-0.71	2.55	-0.01	4.08	0.891	5.61	-0.11	7.14	-0.61	8.67	-0.41	10.20	1.191	11.73	-0.11
1.05	-0.31	2.58	0.39	4.11	0.991	5.64	-0.71	7.17	-0.91	8.70	0.291	10.23	0.291	11.76	-0.81
1.08	-0.01	2.61	0.69	4.14	-0.31	5.67	-0.71	7.20	-0.11	8.73	1.091	10.26	-0.61	11.79	-0.31
1.11	0.99	2.64	0.29	4.17	-0.71	5.70	-0.31	7.23	0.191	8.76	0.891	10.29	-0.91	11.82	-0.01
1.14	0.59	2.67	0.19	4.20	-0.71	5.73	0.591	7.26	1.191	8.79	-0.11	10.32	-0.91	11.85	0.891
1.17	-0.11	2.70	-0.51	4.23	-0.11	5.76	0.891	7.29	0.191	8.82	-0.51	10.35	-0.21	11.88	0.991
1.20	-0.61	2.73	-0.91	4.26	0.391	5.79	1.191	7.32	-0.41	8.85	-0.91	10.38	0.591	11.91	-0.01
1.23	-0.71	2.76	0.09	4.29	0.891	5.82	-0.01	7.35	-0.81	8.88	-0.61	10.41	0.791	11.94	-0.61
1.26	-0.21	2.79	0.99	4.32	0.691	5.85	-0.81	7.38	-0.81	8.91	-0.11	10.44	0.691	11.97	-1.21
1.29	-0.11	2.82	0.79	4.35	-0.51	5.88	-0.61	7.41	0.091	8.94	1.091	10.47	-0.61	12.00	-0.51
1.32	0.59	2.85	0.59	4.38	-0.61	5.91	-0.31	7.44	0.791	8.97	0.591	10.50	-0.81		
1.35	0.59	2.88	0.19	4.41	-0.31	5.94	0.391	7.47	1.091	9.00	-0.31	10.53	-0.61		
1.38	0.39	2.91	-0.91	4.44	-0.11	5.97	0.791	7.50	0.291	9.03	-0.81	10.56	0.091		
1.41	-0.71	2.94	-1.41	4.47	0.791	6.00	0.991	7.53	-0.41	9.06	-0.61	10.59	1.191		
1.44	-0.71	2.97	0.19	4.50	0.991	6.03	-0.31	7.56	-1.11	9.09	-0.51	10.62	0.691		
1.47	-0.51	3.00	0.79	4.53	0.191	6.06	-0.81	7.59	-0.61	9.12	0.791	10.65	-0.51		
1.50	0.09	3.03	0.99	4.56	0.291	6.09	-1.11	7.62	-0.21	9.15	1.091	10.68	-0.61		



### 3.5.7.14 Registro de desplazamiento para $f=3.25$ hz, con Amortiguador de Masa

Sintonizada al 7.33%

HOJA DE TOMA DE DATOS DE DESPLAZAMIENTO CON VIBRACIÓN FORZADA															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco								Fecha:		18/11/2020			
Bohon Vidal Ccana Ccapatinta															
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)
0.00	0	1.53	-0.45	3.06	-0.25	4.59	0.452	6.12	-0.15	7.65	-0.05	9.18	-0.35	10.71	-0.55
0.03	0.452	1.56	0.152	3.09	0.152	4.62	0.352	6.15	-0.05	7.68	-0.15	9.21	-0.45	10.74	-0.15
0.06	0.152	1.59	0.452	3.12	0.652	4.65	-0.05	6.18	-0.35	7.71	-0.15	9.24	0.252	10.77	0.052
0.09	-0.05	1.62	0.252	3.15	-0.35	4.68	-0.35	6.21	-0.65	7.74	-0.15	9.27	0.352	10.80	0.152
0.12	-0.35	1.65	0.452	3.18	-0.15	4.71	-0.35	6.24	-0.05	7.77	0.252	9.30	-0.05	10.83	0.152
0.15	-0.45	1.68	-0.05	3.21	-0.25	4.74	-0.75	6.27	0.552	7.80	0.252	9.33	-0.05	10.86	-0.15
0.18	0.052	1.71	-0.15	3.24	-0.05	4.77	0.252	6.30	0.452	7.83	0.152	9.36	-0.55	10.89	-0.05
0.21	-0.25	1.74	-0.35	3.27	0.052	4.80	-0.05	6.33	-0.15	7.86	-0.05	9.39	-0.05	10.92	-0.55
0.24	0.152	1.77	0.552	3.30	0.252	4.83	0.352	6.36	-0.45	7.89	0.152	9.42	-0.15	10.95	0.252
0.27	0.452	1.80	-0.05	3.33	0.152	4.86	-0.35	6.39	-0.45	7.92	-0.35	9.45	0.452	10.98	-0.05
0.30	-0.35	1.83	0.052	3.36	-0.15	4.89	-0.25	6.42	-0.55	7.95	0.452	9.48	0.552	11.01	0.652
0.33	-0.55	1.86	-0.05	3.39	-0.15	4.92	0.152	6.45	-0.25	7.98	0.252	9.51	0.152	11.04	-0.35
0.36	-0.35	1.89	-0.35	3.42	-0.15	4.95	0.152	6.48	0.252	8.01	-0.35	9.54	-0.35	11.07	-0.75
0.39	-0.15	1.92	-0.45	3.45	0.352	4.98	0.152	6.51	0.352	8.04	-0.25	9.57	-0.25	11.10	-0.35
0.42	0.652	1.95	0.852	3.48	0.552	5.01	0.352	6.54	-0.05	8.07	-0.45	9.60	-0.25	11.13	-0.25
0.45	0.252	1.98	0.052	3.51	0.352	5.04	0.452	6.57	-0.45	8.10	0.052	9.63	0.352	11.16	0.152
0.48	0.452	2.01	0.252	3.54	-0.35	5.07	-0.25	6.60	-0.45	8.13	0.252	9.66	0.452	11.19	-0.05
0.51	0.352	2.04	-0.25	3.57	-0.65	5.10	-0.15	6.63	0.152	8.16	0.152	9.69	0.252	11.22	-0.05
0.54	-0.85	2.07	-0.75	3.60	-0.35	5.13	0.052	6.66	0.152	8.19	0.352	9.72	0.052	11.25	-0.25
0.57	0.052	2.10	-0.55	3.63	0.552	5.16	0.652	6.69	0.552	8.22	0.052	9.75	-0.35	11.28	-0.05
0.60	0.152	2.13	0.052	3.66	0.352	5.19	0.652	6.72	-0.15	8.25	-0.25	9.78	-0.35	11.31	-0.65
0.63	0.452	2.16	0.252	3.69	-0.05	5.22	-0.45	6.75	-0.05	8.28	0.552	9.81	0.052	11.34	-0.25
0.66	0.252	2.19	0.152	3.72	-0.05	5.25	-0.15	6.78	-0.35	8.31	-0.15	9.84	0.452	11.37	0.552
0.69	-0.35	2.22	-0.05	3.75	0.052	5.28	-0.25	6.81	0.452	8.34	0.552	9.87	0.752	11.40	-0.25
0.72	-0.55	2.25	-0.35	3.78	-0.35	5.31	0.452	6.84	0.452	8.37	0.252	9.90	0.152	11.43	0.052
0.75	-0.15	2.28	0.052	3.81	-0.45	5.34	0.552	6.87	0.652	8.40	0.152	9.93	-0.55	11.46	-0.35
0.78	0.052	2.31	-0.15	3.84	0.152	5.37	-0.55	6.90	0.052	8.43	-0.35	9.96	-0.05	11.49	-0.75
0.81	0.152	2.34	0.052	3.87	0.052	5.40	-0.25	6.93	-0.25	8.46	-0.15	9.99	-0.15	11.52	-0.05
0.84	0.25	2.37	0.05	3.90	-0.15	5.43	-0.35	6.96	-0.25	8.49	0.252	10.02	0.252	11.55	-0.05
0.87	0.05	2.40	-0.25	3.93	-0.25	5.46	0.152	6.99	-0.05	8.52	0.052	10.05	0.452	11.58	0.152
0.90	-0.25	2.43	-0.55	3.96	-0.45	5.49	0.552	7.02	0.152	8.55	0.752	10.08	-0.05	11.61	0.052
0.93	-0.35	2.46	-0.45	3.99	-0.35	5.52	0.152	7.05	0.352	8.58	-0.35	10.11	-0.35	11.64	-0.25
0.96	-0.35	2.49	0.35	4.02	0.152	5.55	0.152	7.08	-0.25	8.61	0.252	10.14	-0.15	11.67	-0.45
0.99	0.15	2.52	0.45	4.05	0.852	5.58	-0.05	7.11	-0.45	8.64	-0.35	10.17	-0.05	11.70	0.152
1.02	0.25	2.55	0.05	4.08	0.252	5.61	-0.25	7.14	-0.15	8.67	-0.05	10.20	0.652	11.73	0.052
1.05	0.35	2.58	-0.35	4.11	-0.25	5.64	-0.15	7.17	0.352	8.70	0.352	10.23	0.552	11.76	0.252
1.08	0.15	2.61	-0.55	4.14	-0.05	5.67	0.052	7.20	0.552	8.73	0.352	10.26	0.252	11.79	0.352
1.11	-0.15	2.64	-0.15	4.17	-0.05	5.70	-0.05	7.23	0.652	8.76	0.052	10.29	0.252	11.82	0.052
1.14	-0.25	2.67	-0.35	4.20	-0.05	5.73	0.652	7.26	0.152	8.79	-0.05	10.32	-0.45	11.85	-0.45
1.17	0.15	2.70	-0.25	4.23	0.552	5.76	0.152	7.29	-0.25	8.82	-0.45	10.35	-0.05	11.88	-0.15
1.20	0.65	2.73	0.25	4.26	0.152	5.79	-0.55	7.32	0.052	8.85	-0.45	10.38	0.152	11.91	0.252
1.23	0.45	2.76	-0.25	4.29	0.452	5.82	-0.25	7.35	-0.45	8.88	0.652	10.41	0.652	11.94	0.152
1.26	0.05	2.79	-0.55	4.32	-0.35	5.85	0.052	7.38	-0.15	8.91	0.252	10.44	0.252	11.97	-0.05
1.29	0.05	2.82	-0.45	4.35	-0.55	5.88	0.152	7.41	0.452	8.94	0.152	10.47	0.252	12.00	-0.25
1.32	-0.45	2.85	-0.35	4.38	0.152	5.91	-0.15	7.44	0.552	8.97	0.052	10.50	-0.15		
1.35	-0.15	2.88	0.15	4.41	0.152	5.94	-0.25	7.47	-0.35	9.00	-0.35	10.53	-0.25		
1.38	0.25	2.91	0.35	4.44	0.252	5.97	-0.25	7.50	-0.05	9.03	-0.35	10.56	-0.75		
1.41	0.75	2.94	0.35	4.47	-0.25	6.00	-0.35	7.53	-0.15	9.06	0.152	10.59	0.752		
1.44	0.55	2.97	0.15	4.50	-0.25	6.03	-0.25	7.56	-0.35	9.09	0.852	10.62	0.252		
1.47	-0.05	3.00	-0.55	4.53	-0.45	6.06	0.352	7.59	0.852	9.12	0.252	10.65	0.152		
1.50	-0.45	3.03	-0.05	4.56	-0.15	6.09	0.152	7.62	0.252	9.15	-0.45	10.68	-0.45		



### 3.5.7.15 Registro de desplazamiento para $f=3.5$ hz, con Amortiguador de Masa

Sintonizada al 7.33%

HOJA DE TOMA DE DATOS DE DESPLAZAMIENTO CON VIBRACIÓN FORZADA															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco								Fecha:		18/11/2020			
		Bohon Vidal Ccana Ccapatinta													
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)	t(s)	d (cm)
0.00	0	1.53	-0.05	5.10	-0.15	7.65	-0.45	10.20	0.151	12.75	0.551	15.30	0.451	17.85	-0.25
0.03	-0.05	1.56	0.251	5.15	-0.35	7.70	0.451	10.25	-0.05	12.80	-0.45	15.35	-0.05	17.90	0.051
0.06	0.051	2.65	-0.15	5.20	-0.25	7.75	-0.15	10.30	0.451	12.85	-0.05	15.40	-0.15	17.95	-0.15
0.09	0.151	2.70	-0.15	5.25	-0.05	7.80	0.651	10.35	0.451	12.90	-0.15	15.45	-0.25	18.00	-0.05
0.12	-0.25	2.75	-0.45	5.30	0.251	7.85	-0.15	10.40	-0.25	12.95	-0.45	15.50	-0.15	18.05	0.451
0.15	-0.05	2.80	0.351	5.35	0.051	7.90	0.251	10.45	-0.45	13.00	-0.15	15.55	0.251	18.10	0.351
0.18	-0.15	2.85	0.451	5.40	0.151	7.95	-0.15	10.50	0.251	13.05	0.451	15.60	-0.05	18.15	-0.35
0.21	0.451	2.90	-0.15	5.45	-0.45	8.00	-0.05	10.55	0.351	13.10	0.251	15.65	-0.05	18.20	0.351
0.24	-0.35	2.95	-0.05	5.50	-0.65	8.05	-0.35	10.60	0.251	13.15	0.051	15.70	0.151	18.25	-0.45
0.27	0.451	3.00	-0.15	5.55	-0.05	8.10	0.451	10.65	-0.35	13.20	-0.15	15.75	0.151	18.30	0.151
0.30	-0.45	3.05	-0.15	5.60	-0.05	8.15	-0.05	10.70	0.451	13.25	0.351	15.80	-0.65	18.35	-0.25
0.33	0.451	3.10	0.051	5.65	-0.15	8.20	0.151	10.75	-0.65	13.30	0.051	15.85	0.151	18.40	0.251
0.36	-0.45	3.15	0.451	5.70	-0.45	8.25	-0.45	10.80	0.051	13.35	0.051	15.90	0.451	18.45	0.151
0.39	-0.15	3.20	0.151	5.75	0.151	8.30	-0.35	10.85	-0.25	13.40	0.251	15.95	0.251	18.50	0.051
0.42	-0.05	3.25	-0.25	5.80	-0.05	8.35	-0.65	10.90	0.551	13.45	0.551	16.00	-0.25	18.55	-0.25
0.45	-0.15	3.30	-0.25	5.85	0.251	8.40	-0.25	10.95	0.251	13.50	0.251	16.05	0.051	18.60	0.351
0.48	-0.35	3.35	-0.35	5.90	-0.65	8.45	0.151	11.00	-0.15	13.55	-0.55	16.10	-0.55	18.65	-0.05
0.51	0.351	3.40	-0.05	5.95	0.951	8.50	-0.15	11.05	-0.45	13.60	0.351	16.15	0.651	18.70	0.151
0.54	0.051	3.45	0.151	6.00	0.351	8.55	-0.65	11.10	-0.15	13.65	-0.15	16.20	-0.05	18.75	0.051
0.57	0.151	3.50	-0.45	6.05	-0.35	8.60	-0.05	11.15	-0.55	13.70	0.251	16.25	0.051	18.80	-0.25
0.60	-0.05	3.55	-0.05	6.10	0.151	8.65	-0.25	11.20	-0.15	13.75	-0.05	16.30	-0.35	18.85	-0.25
0.63	0.651	3.60	-0.25	6.15	-0.15	8.70	-0.05	11.25	0.151	13.80	0.551	16.35	-0.45	18.90	-0.75
0.66	0.151	3.65	0.051	6.20	0.151	8.75	0.151	11.30	0.051	13.85	0.151	16.40	-0.25	18.95	0.651
0.69	0.051	3.70	-0.25	6.25	-0.15	8.80	0.351	11.35	0.051	13.90	0.051	16.45	-0.05	19.00	-0.05
0.72	0.351	3.75	0.251	6.30	0.351	8.85	-0.05	11.40	-0.25	13.95	-0.05	16.50	-0.35	19.05	0.051
0.75	0.151	3.80	0.151	6.35	0.651	8.90	-0.45	11.45	0.151	14.00	0.251	16.55	0.351	19.10	-0.25
0.78	0.251	3.85	0.151	6.40	-0.35	8.95	-0.05	11.50	-0.35	14.05	-0.05	16.60	-0.55	19.15	0.451
0.81	0.351	3.90	-0.25	6.45	0.251	9.00	-0.25	11.55	0.451	14.10	0.651	16.65	0.151	19.20	-0.15
0.84	-0.15	3.95	-0.15	6.50	-0.35	9.05	0.451	11.60	0.351	14.15	-0.15	16.70	-0.15	19.25	0.351
0.87	-0.05	4.00	-0.25	6.55	0.051	9.10	0.051	11.65	0.251	14.20	-0.15	16.75	0.351	19.30	0.251
0.90	-0.05	4.05	-0.55	6.60	0.351	9.15	-0.05	11.70	-0.45	14.25	-0.75	16.80	-0.05	19.35	0.051
0.93	-0.25	4.10	0.75	6.65	-0.05	9.20	-0.25	11.75	0.051	14.30	0.351	16.85	0.351	19.40	0.051
0.96	0.35	4.15	0.15	6.70	-0.35	9.25	0.151	11.80	-0.45	14.35	-0.35	16.90	0.051	19.45	-0.05
0.99	0.15	4.20	0.05	6.75	0.251	9.30	-0.55	11.85	0.451	14.40	0.051	16.95	-0.15	19.50	-0.35
1.02	0.35	4.25	-0.15	6.80	-0.45	9.35	0.351	11.90	-0.55	14.45	-0.25	17.00	-0.35	19.55	0.151
1.05	-0.85	4.30	0.05	6.85	0.051	9.40	0.251	11.95	-0.05	14.50	-0.05	17.05	0.551	19.60	0.051
1.08	-0.05	4.35	0.05	6.90	0.151	9.45	0.351	12.00	0.151	14.55	0.051	17.10	0.551	19.65	0.651
1.11	-0.15	4.40	-0.25	6.95	-0.35	9.50	-0.25	12.05	-0.05	14.60	-0.15	17.15	0.251	19.70	-0.25
1.14	0.55	4.45	0.25	7.00	0.251	9.55	0.051	12.10	-0.05	14.65	-0.05	17.20	-0.15	19.75	0.051
1.17	-0.45	4.50	-0.05	7.05	-0.15	9.60	-0.25	12.15	0.051	14.70	0.551	17.25	-0.45	19.80	-0.15
1.20	0.25	4.55	-0.45	7.10	-0.25	9.65	-0.45	12.20	0.151	14.75	-0.15	17.30	0.151	19.85	-0.15
1.23	-0.15	4.60	-0.15	7.15	0.151	9.70	-0.05	12.25	0.051	14.80	-0.45	17.35	0.151	19.90	0.651
1.26	-0.15	4.65	-0.25	7.20	0.451	9.75	0.151	12.30	-0.15	14.85	-0.75	17.40	0.551	19.95	0.351
1.29	-0.25	4.70	0.35	7.25	0.551	9.80	0.151	12.35	0.151	14.90	-0.55	17.45	-0.05	20.00	-0.45
1.32	-0.05	4.75	0.15	7.30	0.551	9.85	-0.35	12.40	-0.15	14.95	0.351	17.50	0.051		
1.35	0.05	4.80	0.15	7.35	-0.45	9.90	-0.55	12.45	-0.35	15.00	0.351	17.55	-0.35		
1.38	-0.35	4.85	0.05	7.40	-0.45	9.95	-0.15	12.50	0.251	15.05	0.251	17.60	0.251		
1.41	-0.35	4.90	-0.15	7.45	0.151	10.00	0.451	12.55	0.551	15.10	-0.75	17.65	-0.55		
1.44	0.05	4.95	0.05	7.50	0.251	10.05	0.751	12.60	0.051	15.15	-0.15	17.70	0.351		
1.47	-0.25	5.00	0.05	7.55	0.151	10.10	0.051	12.65	0.051	15.20	0.051	17.75	-0.15		
1.50	0.65	5.05	0.15	7.60	0.151	10.15	-0.05	12.70	0.051	15.25	0.351	17.80	0.451		



### 3.5.8 Registro de aceleración máxima de la estructura en vibración forzada experimental

a) Objetivos:

- Registrar los datos de la aceleración máxima de la estructura a partir de una vibración forzada, para poder apreciar el comportamiento de la estructura en función de aceleraciones máximas, tanto con porcentajes de Amortiguador de Masa Sintonizada y sin Amortiguador de Masa Sintonizada.

b) Instrumentos utilizados en la prueba

- Hoja electrónica de formato para toma de datos de desplazamiento en vibración forzada, mesa sísmica, sensor MPU6050, ARDUINO UNO R3 (controlador), MATLAB (controlador) un nivel de mano.

c) Procedimiento

- Se instala correctamente el sensor MPU6050, se coloca con un nivel de mano y bien anclado a la estructura para evitar distorsiones en la toma de datos.

Es similar al procedimiento del **ítem 3.5.7**



d) Toma de datos

### 3.5.8.1 Registro de $a_{m\acute{a}x}$ de la estructura para $f=3$ hz, sin Amortiguador de Masa

#### Sintonizada

HOJA DE TOMA DE DATOS DE ACELERACIÓN MÁX. EXPERIMENTAL DE LA ESTRUCTURA													
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco						Fecha:		18/11/2020			
		Bohon Vidal Ccana Ccpatinta											
LUGAR:		Trabajo en gabinete											
t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )
0.00	0	1.53	-145.246	3.06	132.935	4.59	-116.746	6.12	104.0753	7.65	3.723956	9.18	23.0039
0.03	139.043	1.56	-129.679	3.09	168.98	4.62	-110.997	6.15	129.1032	7.68	-110.878	9.21	92.8187
0.06	29.7099	1.59	177.004	3.12	119.882	4.65	-43.4579	6.18	51.86385	7.71	-68.1266	9.24	108.027
0.09	-175.184	1.62	118.685	3.15	-128.601	4.68	154.011	6.21	-77.9462	7.74	-153.629	9.27	116.769
0.12	-36.7519	1.65	34.8592	3.18	-91.7176	4.71	101.441	6.24	-164.885	7.77	134.7315	9.30	-149.318
0.15	92.1002	1.68	-91.2386	3.21	-144.169	4.74	206.462	6.27	-183.207	7.80	195.8045	9.33	-225.839
0.18	106.231	1.71	-145.366	3.24	96.4112	4.77	-92.1966	6.30	38.93074	7.83	141.6771	9.36	48.7503
0.21	206.582	1.74	-202.727	3.27	156.526	4.80	-143.689	6.33	167.184	7.86	-167.759	9.39	145.03
0.24	-129.439	1.77	75.335	3.30	158.921	4.83	-16.1547	6.36	115.0924	7.89	-145.845	9.42	60.9649
0.27	-121.536	1.80	162.634	3.33	-142.851	4.86	141.557	6.39	-113.872	7.92	-40.2247	9.45	69.3475
0.30	-39.3864	1.83	62.2822	3.36	-123.452	4.89	158.682	6.42	-129.439	7.95	76.1733	9.48	-137.103
0.33	114.733	1.86	-48.3677	3.39	-43.0987	4.92	91.6212	6.45	-125.727	7.98	105.0333	9.51	-150.276
0.36	136.767	1.89	-165.364	3.42	81.5621	4.95	-103.453	6.48	114.3739	8.01	221.551	9.54	-201.05
0.39	54.7379	1.92	-187.638	3.45	168.861	4.98	-110.518	6.51	170.0581	8.04	-151.114	9.57	136.648
0.42	-125.128	1.95	26.3569	3.48	185.147	5.01	-161.532	6.54	182.1529	8.07	-175.903	9.60	94.0162
0.45	-112.554	1.98	166.106	3.51	-119.021	5.04	192.212	6.57	-134.349	8.10	-141.175	9.63	-84.5325
0.48	-181.531	2.01	136.408	3.54	-140.456	5.07	128.744	6.60	-84.8918	8.13	101.2013	9.66	-159.497
0.51	209.815	2.04	-20.2262	3.57	-104.77	5.10	43.0023	6.63	-88.0053	8.16	92.57918	9.69	-120.099
0.54	100.243	2.07	-173.507	3.60	143.114	5.13	-94.9508	6.66	87.78914	8.19	88.6274	9.72	-118.781
0.57	82.5201	2.10	-69.4439	3.63	130.54	5.16	-122.374	6.69	174.3691	8.22	-94.2323	9.75	124.912
0.60	-129.439	2.13	-19.7472	3.66	177.962	5.19	-242.125	6.72	177.4826	8.25	-235.059	9.78	189.098
0.63	-126.206	2.16	127.786	3.69	-135.187	5.22	185.266	6.75	-75.9104	8.28	-68.1266	9.81	-18.43
0.66	-280.325	2.19	203.948	3.72	-143.45	5.25	108.746	6.78	-128.481	8.31	176.4049	9.84	-163.927
0.69	196.643	2.22	25.6384	3.75	-138.899	5.28	99.7642	6.81	-47.4097	8.34	134.1328	9.87	-69.9229
0.72	126.588	2.25	-184.165	3.78	148.623	5.31	-116.027	6.84	102.0395	8.37	71.26351	9.90	-147.043
0.75	-3.4611	2.28	-84.5325	3.81	87.4299	5.34	-156.383	6.87	140.9586	8.40	-137.702	9.93	102.04
0.78	-141.175	2.31	19.1718	3.84	67.4315	5.37	-139.019	6.90	139.8808	8.43	-131.714	9.96	256.399
0.81	-159.257	2.34	117.847	3.87	-116.506	5.40	117.368	6.93	-18.43	8.46	-216.019	9.99	44.559
0.84	-229.43	2.37	220.59	3.90	-171.951	5.43	152.934	6.96	-184.405	8.49	178.2011	10.02	-183.806
0.87	68.87	2.40	51.27	3.93	-158.539	5.46	180.955	6.99	-96.7471	8.52	135.929	10.05	-60.1033
0.90	172.09	2.43	-113.39	3.96	140.001	5.49	-142.731	7.02	166.4655	8.55	137.9648	10.08	47.4331
0.93	127.55	2.46	-62.98	3.99	126.708	5.52	-91.4781	7.05	67.19197	8.58	-76.6289	10.11	155.209
0.96	-161.41	2.49	46.00	4.02	63.3599	5.55	-56.87	7.08	126.4687	8.61	-74.3537	10.14	156.287
0.99	-134.23	2.52	156.53	4.05	-110.997	5.58	55.3366	7.11	-43.0987	8.64	-125.008	10.17	-55.7923
1.02	-68.37	2.55	170.54	4.08	-180.573	5.61	101.321	7.14	-171.951	8.67	78.44857	10.20	-171.831
1.05	10.31	2.58	134.25	4.11	-196.021	5.64	206.343	7.17	-196.739	8.70	220.8325	10.23	-188.117
1.08	129.10	2.61	-119.38	4.14	176.285	5.67	-158.898	7.20	31.26668	8.73	63.24019	10.26	64.9167
1.11	216.52	2.64	-179.61	4.17	159.759	5.70	-132.912	7.23	100.7222	8.76	-140.696	10.29	154.61
1.14	-159.50	2.67	38.69	4.20	120.721	5.73	-57.1095	7.26	61.80318	8.79	-94.7113	10.32	87.6694
1.17	-107.29	2.70	139.88	4.23	-125.128	5.76	121.798	7.29	-90.6398	8.82	-82.4967	10.35	-76.5092
1.20	-14.72	2.73	71.62	4.26	-109.201	5.79	120.601	7.32	-135.666	8.85	72.10176	10.38	-146.564
1.23	85.03	2.76	136.53	4.29	-230.269	5.82	199.517	7.35	-228.353	8.88	188.4997	10.41	-261.165
1.26	96.17	2.79	-153.99	4.32	124.553	5.85	-153.03	7.38	12.82503	8.91	206.5821	10.44	39.4097
1.29	235.44	2.82	-196.26	4.35	159.4	5.88	-127.643	7.41	108.7456	8.94	-166.203	10.47	110.662
1.32	-117.10	2.85	-168.60	4.38	170.417	5.91	-154.108	7.44	101.9198	8.97	-116.746	10.50	46.9541
1.35	-100.82	2.88	201.07	4.41	-139.977	5.94	114.374	7.47	-6.21538	9.00	-39.8654	10.53	25.2791
1.38	-79.62	2.91	166.35	4.44	-75.6709	5.97	161.795	7.50	-165.484	9.03	71.26351	10.56	-158.898
1.41	112.58	2.94	83.72	4.47	-141.175	6.00	81.8016	7.53	-126.326	9.06	99.04573	10.59	-222.725
1.44	149.94	2.97	-66.93	4.50	134.133	6.03	-90.8793	7.56	-106.447	9.09	79.76583	10.62	-65.7316
1.47	141.80	3.00	-131.83	4.53	177.483	6.06	-151.354	7.59	134.1328	9.12	-99.8606	10.65	137.845
1.50	-59.86	3.03	-190.15	4.56	161.795	6.09	-201.17	7.62	187.422	9.15	-178.537	10.68	110.183



### 3.5.8.2 Registro de $a_{max}$ de la estructura para $f=3.25$ hz, sin Amortiguador de Masa

#### Sintonizada

HOJA DE TOMA DE DATOS DE ACELERACIÓN MÁX. EXPERIMENTAL DE LA ESTRUCTURA															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco								Fecha:		18/11/2020			
		Bohon Vidal Ccana Ccepatinta													
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )
0.00	0	1.53	-586.209	3.06	374.5526	4.59	130.6199	6.12	-575.911	7.65	335.6335	9.18	514.302	10.71	-248.033
0.03	-363.832	1.56	-550.883	3.09	448.439	4.62	-405.505	6.15	-543.698	7.68	479.694	9.21	137.4457	10.74	-540.944
0.06	-401.194	1.59	434.6676	3.12	-334.134	4.65	-381.795	6.18	431.0751	7.71	427.6023	9.24	-372.334	10.77	-477.955
0.09	-71.0408	1.62	548.1915	3.15	-550.164	4.68	211.4518	6.21	538.851	7.74	-490.528	9.27	-382.992	10.80	425.4468
0.12	404.1311	1.65	281.3864	3.18	-542.979	4.71	455.145	6.24	305.5761	7.77	-570.522	9.30	232.528	10.83	527.1154
0.15	620.1619	1.68	-480.35	3.21	420.1777	4.74	579.207	6.27	-494.839	7.80	-527.531	9.33	464.0066	10.86	412.6334
0.18	-408.978	1.71	-469.452	3.24	518.2538	4.77	-392.452	6.30	-488.014	7.83	419.1	9.36	581.8416	10.89	-496.875
0.21	-646.923	1.74	228.2169	3.27	656.2069	4.80	-601.418	6.33	217.1998	7.86	609.1448	9.39	-436.76	10.92	-527.412
0.24	-603.094	1.77	431.7936	3.30	-370.059	4.83	-464.902	6.36	438.8589	7.89	267.4952	9.42	-585.371	10.95	-147.681
0.27	540.0485	1.80	549.1495	3.33	-503.701	4.86	492.0283	6.39	550.7063	7.92	-471.488	9.45	-411.253	10.98	405.3286
0.30	475.3829	1.83	-172.949	3.36	-309.944	4.89	491.4296	6.42	-176.062	7.95	-473.165	9.48	514.9008	11.01	565.3159
0.33	209.7753	1.86	-581.779	3.39	401.7361	4.92	193.1299	6.45	-583.934	7.98	51.22498	9.51	479.8137	11.04	-148.999
0.36	-350.899	1.89	-542.979	3.42	458.498	4.95	-361.796	6.48	-498.193	8.01	440.1761	9.54	251.4486	11.07	-581.18
0.39	-404.188	1.92	454.7858	3.45	-83.4949	4.98	-380.477	6.51	417.4235	8.04	417.9025	9.57	-371.256	11.10	-519.748
0.42	-65.2927	1.95	554.6581	3.48	-473.165	5.01	255.5201	6.54	543.4015	8.07	-389.339	9.60	-391.255	11.13	391.7968
0.45	397.7843	1.98	171.455	3.51	-489.57	5.04	445.0859	6.57	175.0475	8.10	-587.886	9.63	-80.6208	11.16	572.7405
0.48	517.655	2.01	-468.375	3.54	445.3254	5.07	514.5415	6.60	-467.656	8.13	-556.152	9.66	405.5681	11.19	348.2074
0.51	-484.78	2.04	-452.927	3.57	544.9583	5.10	-468.734	6.63	-469.572	8.16	423.1715	9.69	516.697	11.22	-488.133
0.54	-609.681	2.07	197.8002	3.60	572.022	5.13	-560.942	6.66	212.6493	8.19	607.3485	9.72	-501.426	11.25	-426.102
0.57	-531.124	2.10	423.0518	3.63	-415.445	5.16	-405.146	6.69	416.8247	8.22	60.80506	9.75	-600.101	11.28	-47.2103
0.60	542.5632	2.13	640.5195	3.66	-568.846	5.19	457.4203	6.72	627.8259	8.25	-622.734	9.78	-520.346	11.31	394.551
0.63	532.3844	2.16	-339.882	3.69	-249.829	5.22	495.9801	6.75	-230.908	8.28	-559.625	9.81	543.2817	11.34	608.7855
0.66	483.047	2.19	-582.617	3.72	435.1466	5.25	297.1935	6.78	-632.314	8.31	402.2151	9.84	554.4186	11.37	-62.778
0.69	-384.429	2.22	-549.925	3.75	480.0532	5.28	-377.603	6.81	-603.813	8.34	552.0236	9.87	314.0784	11.40	-660.934
0.72	-426.821	2.25	478.9755	3.78	-48.0486	5.31	-416.762	6.84	430.5961	8.37	532.6239	9.90	-400.236	11.43	-588.125
0.75	-59.4249	2.28	532.9832	3.81	-472.326	5.34	293.0022	6.87	526.2771	8.40	-312.459	9.93	-426.701	11.46	499.9319
0.78	435.6256	2.31	-343.235	3.84	-454.962	5.37	447.2415	6.90	135.5297	8.43	-478.434	9.96	-56.3114	11.49	605.3127
0.81	482.6877	2.34	-506.575	3.87	448.918	5.40	446.523	6.93	-394.249	8.46	-316.051	9.99	392.0363	11.52	391.4375
0.84	-341.32	2.37	-487.41	3.90	530.3486	5.43	-492.923	6.96	-384.07	8.49	398.2633	10.02	448.918	11.55	-404.906
0.87	-569.44	2.40	459.82	3.93	453.1093	5.46	-555.433	6.99	-50.3239	8.52	506.1589	10.05	-345.63	11.58	-494.36
0.90	-481.31	2.43	560.17	3.96	-465.021	5.49	-505.378	7.02	460.6536	8.55	-84.3331	10.08	-562.259	11.61	-396.883
0.93	473.11	2.46	406.89	3.99	-584.054	5.52	485.0828	7.05	597.6487	8.58	-517.832	10.11	-491.846	11.64	453.9475
0.96	552.98	2.49	-446.22	4.02	-434.365	5.55	582.3206	7.08	-374.849	8.61	-488.373	10.14	489.1543	11.67	567.7109
0.99	458.86	2.52	-556.51	4.05	440.4157	5.58	268.573	7.11	-625.368	8.64	227.0194	10.17	580.165	11.70	-212.467
1.02	-379.28	2.55	146.43	4.08	540.5275	5.61	-451.49	7.14	-439.395	8.67	450.1155	10.20	475.1434	11.73	-601.298
1.05	-486.58	2.58	455.38	4.11	-9.48877	5.64	-456.759	7.17	491.9086	8.70	651.7761	10.23	-394.967	11.76	-539.746
1.08	-306.83	2.61	487.60	4.14	-462.746	5.67	32.90308	7.20	486.4	8.73	-325.152	10.26	-486.098	11.79	549.9878
1.11	456.70	2.64	-329.58	4.17	-499.869	5.70	456.3425	7.23	216.6011	8.76	-594.592	10.29	32.78333	11.82	546.6348
1.14	461.61	2.67	-592.32	4.20	431.4343	5.73	414.6692	7.26	-377.603	8.79	-569.564	10.32	439.9366	11.85	465.6831
1.17	-330.18	2.70	-549.09	4.23	540.767	5.76	-412.93	7.29	-403.709	8.82	483.047	10.35	456.4623	11.88	-339.163
1.20	-509.93	2.73	388.32	4.26	379.9414	5.79	-564.056	7.32	255.6399	8.85	547.2335	10.38	-307.549	11.91	-486.936
1.23	-519.75	2.76	516.10	4.29	-495.438	5.82	-508.371	7.35	450.9537	8.88	-112.475	10.41	-505.138	11.94	-60.3829
1.26	455.86	2.79	-35.59	4.32	-517.353	5.85	435.9849	7.38	515.1403	8.91	-484.421	10.44	-492.564	11.97	385.8092
1.29	568.31	2.82	-481.31	4.35	-395.566	5.88	552.2631	7.41	-467.297	8.94	-430.533	10.47	447.6007	12.00	484.7235
1.32	392.40	2.85	-485.74	4.38	404.3706	5.91	413.9507	7.44	-596.388	8.97	210.6135	10.50	561.0049		
1.35	-490.17	2.88	414.91	4.41	580.2848	5.94	-483.583	7.47	-411.373	9.00	467.0004	10.53	397.6646		
1.38	-478.07	2.91	531.91	4.44	-70.2025	5.97	-498.552	7.50	442.6909	9.03	637.885	10.56	-479.272		
1.41	156.01	2.94	596.93	4.47	-514.239	6.00	172.2932	7.53	524.1216	9.06	-291.023	10.59	-549.206		
1.44	444.73	2.97	-310.78	4.50	-599.741	6.03	472.2694	7.56	338.3878	9.09	-586.688	10.62	-238.453		
1.47	456.82	3.00	-444.78	4.53	451.1932	6.06	461.1326	7.59	-386.345	9.12	-514.359	10.65	435.2664		
1.50	-334.73	3.03	-312.34	4.56	529.1511	6.09	-329.104	7.62	-435.084	9.15	484.484	10.68	487.2383		



### 3.5.8.3 Registro de $a_{\max}$ de la estructura para $f=3.5$ hz, sin Amortiguador de Masa

Sintonizada

HOJA DE TOMA DE DATOS DE ACELERACIÓN MÁX. EXPERIMENTAL DE LA ESTRUCTURA															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco								Fecha:		18/11/2020			
		Bohon Vidal Ccana Ccapatinta													
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )		
0.00	0	1.53	-2025.94	3.06	1898.001	4.59	-1083.74	6.12	-1287.79	7.65	1898.001	9.18	-2025.94	10.71	1533.779
0.03	1898.001	1.56	-1325.64	3.09	453.7447	4.62	1898.001	6.15	-2025.94	7.68	1282.182	9.21	-427.982	10.74	-1822.12
0.06	988.4328	1.59	1095.011	3.12	-2025.94	4.65	1894.469	6.18	-558.75	7.71	-1488.5	9.24	1898.001	10.77	-2025.94
0.09	-2025.94	1.62	1898.001	3.15	-1553.28	4.68	77.36736	6.21	1863.333	7.74	-2025.94	9.27	1666.463	10.80	-984.465
0.12	-1637.71	1.65	1220.989	3.18	1362.176	4.71	-1978.64	6.24	1713.525	7.77	-874.174	9.30	-665.687	10.83	1813.757
0.15	696.3602	1.68	-1839.13	3.21	1898.001	4.74	-1375.21	6.27	-226.92	7.80	1898.001	9.33	-2025.94	10.86	1628.262
0.18	1898.001	1.71	-1871.1	3.24	1087.467	4.77	895.6258	6.30	-2025.94	7.83	1523.001	9.36	-966.502	10.89	-51.2452
0.21	1061.96	1.74	119.879	3.27	-1729.91	4.80	1898.001	6.33	-1286.72	7.86	173.8867	9.39	1610.3	10.92	-2025.94
0.24	-1715.07	1.77	1898.001	3.30	-2025.94	4.83	1025.316	6.36	1742.864	7.89	-1986.42	9.42	1898.001	10.95	-1412.93
0.27	-2025.94	1.80	1369.241	3.33	-282.365	4.86	-1941.51	6.39	1898.001	7.92	-1208.64	9.45	577.9264	10.98	1266.854
0.30	-367.029	1.83	-1127.57	3.36	1898.001	4.89	-2006.66	6.42	728.0942	7.95	1431.631	9.48	-2025.94	11.01	1898.001
0.33	1898.001	1.86	-2025.94	3.39	1315.952	4.92	16.41412	6.45	-1825.12	7.98	1898.001	9.51	-1671.36	11.04	866.4065
0.36	1681.911	1.89	-1028.05	3.42	-1367.43	4.95	1898.001	6.48	-1408.5	8.01	1076.33	9.54	640.7957	11.07	-1747.16
0.39	-1394.01	1.92	1898.001	3.45	-2025.94	4.98	1235.838	6.51	1005.198	8.04	-2008.69	9.57	1898.001	11.10	-1783.44
0.42	-2025.94	1.95	1898.001	3.48	-890.939	5.01	-1543.58	6.54	1898.001	8.07	-1965.7	9.60	1166.981	11.13	146.2242
0.45	-861.84	1.98	-1.90778	3.51	1703.226	5.04	-2025.94	6.57	1277.871	8.10	15.93511	9.63	-1580.58	11.16	1898.001
0.48	1691.73	2.01	-2025.94	3.54	1898.001	5.07	-769.631	6.60	-1802.12	8.13	1898.001	9.66	-2025.94	11.19	1512.104
0.51	1898.001	2.04	-1338.33	3.57	-418.641	5.10	1898.001	6.63	-2025.94	8.16	1268.291	9.69	-446.663	11.22	-1819.25
0.54	557.2095	2.07	1038.249	3.60	-2025.94	5.13	1898.001	6.66	-575.994	8.19	-1449.34	9.72	1898.001	11.25	-2025.94
0.57	-2025.94	2.10	1898.001	3.63	-995.841	5.16	151.2537	6.69	1898.001	8.22	-2025.94	9.75	1691.251	11.28	-610.602
0.60	-1284.08	2.13	1281.942	3.66	1722.746	5.19	-2025.94	6.72	1428.158	8.25	-927.104	9.78	-661.975	11.31	1850.76
0.63	1288.05	2.16	-1843.92	3.69	1898.001	5.22	-1138.58	6.75	-1058.59	8.28	1898.001	9.81	-2025.94	11.34	1623.831
0.66	1898.001	2.19	-1921.28	3.72	647.382	5.25	1410.794	6.78	-2025.94	8.31	1586.23	9.84	-1184.69	11.37	-2.38679
0.69	1122.075	2.22	91.85723	3.75	-1898.28	5.28	1898.001	6.81	-1117.15	8.34	-642.336	9.87	1550.304	11.40	-2025.94
0.72	-1753.27	2.25	1898.001	3.78	-1727.88	5.31	1043.638	6.84	1898.001	8.37	-2025.94	9.90	1898.001	11.43	-1239.17
0.75	-1789.55	2.28	1347.566	3.81	419.7354	5.34	-2007.5	6.87	1864.77	8.40	-1222.53	9.93	640.9155	11.46	1654.128
0.78	195.0826	2.31	-1080.03	3.84	1898.001	5.37	-2012.65	6.90	110.2989	8.43	1403.729	9.96	-2025.94	11.49	1898.001
0.81	1898.001	2.34	-2025.94	3.87	1226.617	5.40	663.4286	6.93	-2007.38	8.46	1898.001	9.99	-1727.4	11.52	925.803
0.84	1363.37	2.37	-714.55	3.90	-1773.5	5.43	1898.001	6.96	-1415.81	8.49	1117.045	10.02	1326.37	11.55	-1797.09
0.87	-1328.99	2.40	1898.001	3.93	-2025.94	5.46	1228.414	6.99	957.8963	8.52	-2025.94	10.05	1898.001	11.58	-1824.64
0.90	-2025.94	2.43	1867.05	3.96	-537.314	5.49	-1414.97	7.02	1898.001	8.55	-1573.4	10.08	1164.467	11.61	740.4285
0.93	-926.15	2.46	27.55	3.99	1866.207	5.52	-2025.94	7.05	1001.007	8.58	652.8906	10.11	-1560.71	11.64	1898.001
0.96	1898.001	2.49	-2025.94	4.02	1436.062	5.55	-844.116	7.08	-1971.21	8.61	1898.001	10.14	-1768.11	11.67	1352.715
0.99	1678.68	2.52	-1127.93	4.05	-1131.28	5.58	1898.001	7.11	-1930.14	8.64	1293.199	10.17	251.9643	11.70	-1753.15
1.02	-75.32	2.55	1527.67	4.08	-2025.94	5.61	1560.004	7.14	28.98797	8.67	-1429.46	10.20	1898.001	11.73	-2025.94
1.05	-2025.94	2.58	1898.001	4.11	-1068.65	5.64	-1311.38	7.17	1898.001	8.70	-2025.94	10.23	1520.846	11.76	-688.68
1.08	-1298.45	2.61	952.27	4.14	1758.551	5.67	-2025.94	7.20	1411.872	8.73	-945.306	10.26	-1349.47	11.79	1898.001
1.11	1236.32	2.64	-1994.92	4.17	1898.001	5.70	-898.603	7.23	-1550.29	8.76	1898.001	10.29	-2025.94	11.82	1357.026
1.14	1898.001	2.67	-1943.67	4.20	705.4612	5.73	1673.049	7.26	-2025.94	8.79	1590.541	10.32	-950.216	11.85	-733.466
1.17	1144.23	2.70	84.31	4.23	-2019.83	5.76	1898.001	7.29	-819.807	8.82	-659.341	10.35	1808.368	11.88	-2025.94
1.20	-1789.07	2.73	1898.001	4.26	-1388.74	5.79	498.5315	7.32	1898.001	8.85	-2025.94	10.38	1629.699	11.91	-234.74
1.23	-2025.94	2.76	1231.65	4.29	1009.389	5.82	-2025.94	7.35	1898.001	8.88	-1197.14	10.41	-116.749	11.94	1898.001
1.26	-470.37	2.79	-1566.81	4.32	1898.001	5.85	-1233.19	7.38	136.7638	8.91	1380.617	10.44	-2025.94	11.97	1898.001
1.29	1898.001	2.82	-2025.94	4.35	1282.781	5.88	1327.448	7.41	-2002.95	8.94	1898.001	10.47	-1383.59	12.00	284.8958
1.32	1361.22	2.85	-768.91	4.38	-1819.25	5.91	1898.001	7.44	-1194.39	8.97	1145.307	10.50	1283.978		
1.35	-1229.48	2.88	1898.001	4.41	-1915.17	5.94	1082.318	7.47	1472.825	9.00	-2025.94	10.53	1898.001		
1.38	-2025.94	2.91	1449.47	4.44	41.68157	5.97	-1903.79	7.50	1898.001	9.03	-1628.61	10.56	821.0209		
1.41	-989.73	2.94	-692.63	4.47	1898.001	6.00	-1762.61	7.53	1046.871	9.06	658.1596	10.59	-1740.09		
1.44	1798.91	2.97	-2025.94	4.50	1411.273	6.03	403.8085	7.56	-1999.23	9.09	1898.001	10.62	-1768.23		
1.47	1898.001	3.00	-1134.39	4.53	-1025.66	6.06	1898.001	7.59	-1962.95	9.12	1188.656	10.65	190.4123		
1.50	-17.83	3.03	1398.58	4.56	-2025.94	6.09	1392.952	7.62	668.4582	9.15	-1618.67	10.68	1898.001		



### 3.5.8.4 Registro de $a_{m\acute{a}x}$ de la estructura para $f=3$ Hz, con Amortiguador de Masa

Sintonizada al 4.32%

HOJA DE TOMA DE DATOS DE ACELERACIÓN MÁX. EXPERIMENTAL DE LA ESTRUCTURA													
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco								Fecha:		18/11/2020	
		Bohon Vidal Ccana Ccapatinta											
LUGAR:		Trabajo en gabinete											
t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )
0.00	0	1.53	-154.284	3.06	129.7652	4.59	284.2439	6.12	-212.004	7.65	181.6173	9.18	-191.407
0.03	-296.788	1.56	401.4801	3.09	415.012	4.62	144.0155	6.15	46.17897	7.68	306.1583	9.21	-671.01
0.06	98.03114	1.59	616.1936	3.12	259.3357	4.65	-379.895	6.18	311.9064	7.71	-322.894	9.24	-507.43
0.09	631.7612	1.62	325.9173	3.15	135.2737	4.68	-594.848	6.21	341.1256	7.74	-141.71	9.27	-139.315
0.12	347.3527	1.65	13.1277	3.18	-236.433	4.71	-224.937	6.24	221.0154	7.77	-699.391	9.30	329.7493
0.15	30.61134	1.68	-246.492	3.21	-585.627	4.74	89.40907	6.27	-88.9001	7.80	-101.234	9.33	473.9295
0.18	-241.702	1.71	-588.262	3.24	-340.018	4.77	412.138	6.30	-637	7.83	-89.1396	9.36	313.3434
0.21	-498.808	1.74	-335.467	3.27	115.9938	4.80	279.4539	6.33	-447.554	7.86	401.9591	9.39	-243.618
0.24	-261.342	1.77	103.1804	3.30	544.5825	4.83	109.8865	6.36	-77.5238	7.89	93.36086	9.42	-698.193
0.27	175.7495	1.80	671.0396	3.33	380.0447	4.86	-251.881	6.39	346.9934	7.92	413.4552	9.45	-460.607
0.30	646.4906	1.83	499.4364	3.36	104.7372	4.89	-615.206	6.42	526.5001	7.95	-457.853	9.48	104.9767
0.33	382.2002	1.86	44.02345	3.39	-176.438	4.92	-347.802	6.45	255.2642	7.98	-704.779	9.51	355.376
0.36	27.61757	1.89	-193.562	3.42	-473.181	4.95	144.8538	6.48	-40.6405	8.01	-454.979	9.54	515.483
0.39	-304.093	1.92	-446.477	3.45	-329.001	4.98	571.5265	6.51	-736.633	8.04	499.1969	9.57	30.25209
0.42	-371.632	1.95	-257.15	3.48	238.6188	5.01	362.5611	6.54	-286.968	8.07	758.0985	9.60	213.7106
0.45	-273.317	1.98	55.51955	3.51	660.262	5.04	68.5724	6.57	135.3934	8.10	301.3683	9.63	-560.12
0.48	87.73256	2.01	598.4705	3.54	470.0974	5.07	-202.424	6.60	742.6507	8.13	-221.943	9.66	-129.735
0.51	591.4052	2.04	514.2855	3.57	45.58022	5.10	-452.464	6.63	468.8999	8.16	-540.361	9.69	-278.466
0.54	440.0399	2.07	189.5209	3.60	-183.384	5.13	-183.623	6.66	50.96901	8.19	-672.926	9.72	502.5499
0.57	63.66261	2.10	-247.69	3.63	-469.349	5.16	422.5563	6.69	-195.119	8.22	194.3109	9.75	367.1116
0.60	-446.596	2.13	-497.73	3.66	-270.682	5.19	757.38	6.72	-420.61	8.25	36.47914	9.78	282.0884
0.63	-478.33	2.16	-304.332	3.69	204.9688	5.22	316.9359	6.75	-360.016	8.28	507.819	9.81	-229.009
0.66	-220.027	2.19	36.71864	3.72	660.3817	5.25	-73.2128	6.78	26.53981	8.31	-23.5161	9.84	-446.477
0.69	82.22401	2.22	431.4179	3.75	382.9187	5.28	-413.186	6.81	407.8269	8.34	112.7605	9.87	-733.28
0.72	317.4149	2.25	501.2327	3.78	70.24892	5.31	-296.069	6.84	821.5665	8.37	-236.074	9.90	133.3577
0.75	414.1737	2.28	161.4992	3.81	-262.539	5.34	-52.6156	6.87	173.2348	8.40	-742.98	9.93	202.454
0.78	109.8865	2.31	-219.429	3.84	-412.348	5.37	701.6958	6.90	-90.0976	8.43	-599.399	9.96	701.5761
0.81	-388.158	2.34	-458.332	3.87	-298.105	5.40	403.6356	6.93	-667.896	8.46	469.8579	9.99	30.73109
0.84	-566.71	2.37	-225.18	3.90	111.9223	5.43	40.43092	6.96	-257.15	8.49	826.4763	10.02	-38.6047
0.87	-252.84	2.40	-145.78	3.93	655.8312	5.46	-357.502	6.99	-10.104	8.52	605.7753	10.05	-433.543
0.90	-23.52	2.43	225.93	3.96	441.9559	5.49	-343.73	7.02	815.579	8.55	-225.296	10.08	-277.747
0.93	240.18	2.46	529.13	3.99	-46.628	5.52	-132.968	7.05	519.9138	8.58	-403.845	10.11	-261.94
0.96	373.94	2.49	312.51	4.02	-414.264	5.55	218.0216	7.08	132.8787	8.61	-670.411	10.14	512.0103
0.99	188.92	2.52	-109.62	4.05	-408.875	5.58	650.6819	7.11	-520.483	8.64	-24.3544	10.17	553.6836
1.02	-181.59	2.55	-533.06	4.08	-247.69	5.61	310.1101	7.14	-478.809	8.67	526.8594	10.20	315.4989
1.05	-657.84	2.58	-397.26	4.11	64.38112	5.64	-175.6	7.17	-198.951	8.70	875.5742	10.23	-179.911
1.08	-229.37	2.61	-136.32	4.14	346.1552	5.67	-513.777	7.20	308.9126	8.73	30.73109	10.26	-321.936
1.11	-5.55	2.64	120.19	4.17	437.5252	5.70	-234.757	7.23	428.6636	8.76	-354.029	10.29	-255.234
1.14	185.33	2.67	397.77	4.20	84.61903	5.73	-47.7058	7.26	561.5872	8.79	-288.405	10.32	55.51955
1.17	420.16	2.70	298.37	4.23	-492.94	5.76	225.4462	7.29	-238.709	8.82	-341.096	10.35	524.7039
1.20	236.34	2.73	2.23	4.26	-608.5	5.79	570.329	7.32	-161.948	8.85	-222.662	10.38	884.4358
1.23	19.59	2.76	-493.90	4.29	-246.612	5.82	283.2859	7.35	-797.946	8.88	255.9827	10.41	126.6516
1.26	-433.06	2.79	-473.42	4.32	47.37648	5.85	-235.475	7.38	-171.648	8.91	797.0176	10.44	-166.499
1.29	-450.43	2.82	-166.26	4.35	250.1149	5.88	-602.512	7.41	-107.102	8.94	464.1099	10.47	-565.509
1.32	-150.69	2.85	78.75	4.38	341.3651	5.91	-254.755	7.44	562.0662	8.97	-84.9483	10.50	-170.331
1.35	230.95	2.88	375.13	4.41	166.409	5.94	-62.3154	7.47	330.9468	9.00	-588.022	10.53	-125.783
1.38	551.05	2.91	275.02	4.44	-473.66	5.97	233.4695	7.50	217.4229	9.03	-313.792	10.56	409.1442
1.41	287.72	2.94	69.89	4.47	-748.249	6.00	547.6961	7.53	-810.639	9.06	1.751358	10.59	438.3634
1.44	12.89	2.97	-378.10	4.50	-279.065	6.03	209.5193	7.56	-426.478	9.09	402.7974	10.62	391.1815
1.47	-333.67	3.00	-586.11	4.53	93.12135	6.06	-214.878	7.59	-236.912	9.12	664.573	10.65	-274.754
1.50	-643.23	3.03	-232.12	4.56	300.051	6.09	-708.013	7.62	408.1862	9.15	233.709	10.68	-419.652





### 3.5.8.5 Registro de $a_{\max}$ de la estructura para $f=3.25$ hz, con Amortiguador de Masa

Sintonizada al 4.32%

HOJA DE TOMA DE DATOS DE ACELERACIÓN MÁX. EXPERIMENTAL DE LA ESTRUCTURA															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco								Fecha:		18/11/2020			
		Bohon Vidal Ccana Ccapatinta													
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )		
0.00	0	1.53	-132.856	3.06	338.604	4.59	337.7657	6.12	-113.815	7.65	47.48935	9.18	-295.118	10.71	-20.5292
0.03	281.6025	1.56	247.4735	3.09	180.7722	4.62	-101.361	6.15	372.8527	7.68	-224.705	9.21	-60.8853	10.74	48.3276
0.06	-7.95536	1.59	-139.562	3.12	97.4255	4.65	172.3896	6.18	-59.6878	7.71	-18.8527	9.24	-129.143	10.77	-218.957
0.09	114.7894	1.62	22.70089	3.15	-242.188	4.68	-212.251	6.21	170.4736	7.74	48.68686	9.27	349.7408	10.80	1.864223
0.12	-225.303	1.65	-215.484	3.18	1.744472	4.71	-7.83561	6.24	-206.383	7.77	317.6475	9.30	-121.12	10.83	35.8735
0.15	233.4626	1.68	52.51889	3.21	-78.7282	4.74	-205.425	6.27	-20.4095	7.80	14.07882	9.33	251.6648	10.86	261.6041
0.18	-5.68009	1.71	116.1067	3.24	406.9818	4.77	-36.8153	6.30	-234.165	7.83	-216.083	9.36	-214.646	10.89	-60.526
0.21	314.8933	1.74	278.2495	3.27	3.420986	4.80	142.5716	6.33	-156.207	7.86	-128.904	9.39	9.169033	10.92	-19.0922
0.24	-185.426	1.77	76.46908	3.30	327.9461	4.83	284.4765	6.36	347.8248	7.89	-96.9303	9.42	-201.593	10.95	-252.128
0.27	-130.94	1.80	-385.65	3.33	-114.534	4.86	119.3399	6.39	146.8827	7.92	357.1654	9.45	115.8672	10.98	-70.1061
0.30	-232.848	1.83	-157.644	3.36	-168.661	4.89	-320.505	6.42	127.004	7.95	-31.0673	9.48	159.9355	11.01	370.6972
0.33	-132.856	1.86	-143.274	3.39	-285.059	4.92	-150.459	6.45	-363.137	7.98	211.5482	9.51	298.3676	11.04	160.4145
0.36	270.2262	1.89	314.2945	3.42	3.540737	4.95	-116.809	6.48	-19.691	8.01	-70.7049	9.54	134.0693	11.07	106.8858
0.39	294.2961	1.92	-38.6116	3.45	119.2202	4.98	276.8125	6.51	-220.633	8.04	-183.63	9.57	-291.765	11.10	-343.617
0.42	114.1906	1.95	259.6881	3.48	246.1562	5.01	-9.39237	6.54	128.92	8.07	-311.404	9.60	-154.531	11.13	-44.4794
0.45	-231.051	1.98	-19.3317	3.51	129.5188	5.04	177.8982	6.57	-57.7718	8.10	-141.957	9.63	-110.582	11.16	-103.157
0.48	-61.8433	2.01	-161.237	3.54	-247.936	5.07	-122.797	6.60	264.1189	8.13	254.1795	9.66	277.531	11.19	108.2031
0.51	-127.826	2.04	-283.622	3.57	-227.818	5.10	84.13314	6.63	-7.23685	8.16	1.983974	9.69	-126.748	11.22	-136.089
0.54	290.4641	2.07	-72.8604	3.60	-113.815	5.13	-136.688	6.66	-99.2056	8.19	136.3446	9.72	188.1967	11.25	259.4486
0.57	-129.503	2.10	181.9697	3.63	372.1342	5.16	232.6244	6.69	-295.238	8.22	-249.014	9.75	-129.503	11.28	0.666714
0.60	161.0133	2.13	149.6369	3.66	29.64645	5.19	94.43173	6.72	-36.6956	8.25	-49.8682	9.78	88.08493	11.31	-96.5711
0.63	-160.039	2.16	15.15658	3.69	164.2465	5.22	299.4454	6.75	370.6972	8.28	-142.915	9.81	-207.7	11.34	-177.642
0.66	14.43808	2.19	-336.672	3.72	-199.796	5.25	-30.1093	6.78	163.6478	8.31	220.8888	9.84	44.01657	11.37	-53.82
0.69	-210.574	2.22	-129.263	3.75	-63.9988	5.28	-338.109	6.81	77.06784	8.34	-18.8527	9.87	92.27621	11.40	424.8247
0.72	9.648037	2.25	-97.6488	3.78	-236.56	5.31	-153.573	6.84	-396.068	8.37	295.7331	9.90	281.363	11.43	7.372768
0.75	140.1766	2.28	352.8543	3.81	-83.638	5.34	-136.807	6.87	18.86886	8.40	-208.059	9.93	-56.0952	11.46	174.4254
0.78	303.1577	2.31	-25.6785	3.84	146.4037	5.37	370.0985	6.90	-128.545	8.43	-75.4949	9.96	-333.319	11.49	-389.123
0.81	120.5374	2.34	190.5918	3.87	290.3443	5.40	-50.5867	6.93	155.2652	8.46	-262.666	9.99	-223.866	11.52	-3.16532
0.84	-391.28	2.37	-229.73	3.90	114.3104	5.43	125.9262	6.96	-64.8371	8.49	-134.173	10.02	-149.621	11.55	-114.174
0.87	-161.24	2.40	-11.79	3.93	-263.743	5.46	-328.409	6.99	279.0877	8.52	334.6522	10.05	271.5434	11.58	14.79733
0.90	-114.41	2.43	-205.54	3.96	-289.37	5.49	18.15036	7.02	-52.1435	8.55	100.2995	10.08	92.75521	11.61	-65.9148
0.93	321.84	2.46	-25.92	3.99	-140.639	5.52	-245.901	7.05	21.62313	8.58	110.2389	10.11	134.9076	11.64	296.4516
0.96	37.43	2.49	142.93	4.02	288.9073	5.55	-24.7205	7.08	-282.065	8.61	-259.792	10.14	-311.045	11.67	-35.1388
0.99	133.11	2.52	192.27	4.05	-22.565	5.58	179.9339	7.11	-97.5291	8.64	-95.7328	10.17	-23.4032	11.70	-158.961
1.02	-130.46	2.55	106.65	4.08	99.46127	5.61	309.9835	7.14	335.8497	8.67	-113.336	10.20	-220.034	11.73	-271.288
1.05	35.39	2.58	-268.89	4.11	-229.854	5.64	9.408535	7.17	13.12082	8.70	291.3023	10.23	-39.4499	11.76	-96.0921
1.08	-235.00	2.61	-180.52	4.14	122.693	5.67	-289.25	7.20	97.90451	8.73	-153.812	10.26	-27.355	11.79	362.6739
1.11	3.42	2.64	-89.87	4.17	-146.866	5.70	-115.971	7.23	-269.851	8.76	165.8033	10.29	300.4034	11.82	150.4752
1.14	233.58	2.67	385.43	4.20	190.8313	5.73	-89.865	7.26	145.4456	8.79	-149.86	10.32	-30.229	11.85	98.02426
1.17	326.99	2.70	7.25	4.23	-2.32706	5.76	399.4375	7.29	-216.921	8.82	26.17367	10.35	-128.425	11.88	-300.986
1.20	17.43	2.73	177.66	4.26	329.5029	5.79	-13.9429	7.32	153.8282	8.85	-285.778	10.38	-121.479	11.91	-133.454
1.23	-272.61	2.76	-379.90	4.29	-12.2664	5.82	201.6089	7.35	138.9791	8.88	24.37741	10.41	-92.4995	11.94	-93.2181
1.26	-125.07	2.79	30.72	4.32	-154.89	5.85	-107.588	7.38	298.7269	8.91	129.878	10.44	451.1699	11.97	443.7453
1.29	-141.48	2.82	-126.99	4.35	-258.355	5.88	-163.512	7.41	-1.4888	8.94	305.3132	10.47	173.3476	12.00	-41.7251
1.32	394.17	2.85	45.81	4.38	-113.576	5.91	-300.148	7.44	-377.387	8.97	-1.36905	10.50	146.1642		
1.35	168.80	2.88	-33.22	4.41	266.9929	5.94	-168.302	7.47	-189.498	9.00	-141.478	10.53	-400.978		
1.38	129.04	2.91	306.39	4.44	58.86569	5.97	254.419	7.50	-119.204	9.03	-274.88	10.56	-5.08133		
1.41	-358.47	2.94	83.77	4.47	100.1798	6.00	239.9292	7.53	288.0691	9.06	-105.552	10.59	-122.677		
1.44	-16.70	2.97	-184.59	4.50	-288.532	6.03	127.004	7.56	32.16122	9.09	265.4361	10.62	112.0351		
1.47	-124.11	3.00	-300.27	4.53	-63.6396	6.06	-248.296	7.59	140.2964	9.12	40.30429	10.65	-90.9428		
1.50	129.40	3.03	-112.14	4.56	-118.126	6.09	-54.4187	7.62	-120.402	9.15	115.2684	10.68	301.0022		



### 3.5.8.6 Registro de $a_{\max}$ de la estructura para $f=3.5$ Hz, sin Amortiguador de Masa

Sintonizada al 4.32%

HOJA DE TOMA DE DATOS DE ACELERACIÓN MÁX. EXPERIMENTAL DE LA ESTRUCTURA															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco								Fecha:		18/11/2020			
		Bohon Vidal Ccana Ccapatinta													
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )		
0.00	0	1.53	446.6152	3.06	-491.394	4.59	-698.803	6.12	11.67961	7.65	-718.801	9.18	-332.724	10.71	-46.1601
0.03	-694.971	1.56	-758.199	3.09	-406.012	4.62	1042.376	6.15	-3.88801	7.68	601.9322	9.21	476.4332	10.74	810.8976
0.06	258.4864	1.59	704.0798	3.12	80.77593	4.65	-819.512	6.18	-14.3063	7.71	-574.621	9.24	-71.9066	10.77	-245.306
0.09	-985.008	1.62	-820.23	3.15	46.28764	4.68	840.3564	6.21	-655.214	7.74	254.1753	9.27	465.8951	10.80	-662.878
0.12	380.8719	1.65	838.7996	3.18	7.248826	4.71	-710.299	6.24	445.2979	7.77	-49.5131	9.30	-4.60652	10.83	-367.452
0.15	-420.981	1.68	-869.209	3.21	400.032	4.74	1095.067	6.27	49.28142	7.80	828.1418	9.33	0.183518	10.86	123.7665
0.18	881.7902	1.71	497.9883	3.24	-621.683	4.77	-984.529	6.30	1068.362	7.83	-758.439	9.36	-715.808	10.89	291.8969
0.21	-821.428	1.74	-975.667	3.27	453.92	4.80	267.5874	6.33	-291.051	7.86	89.51775	9.39	25.57073	10.92	-164.474
0.24	529.1236	1.77	975.9145	3.30	15.99065	4.83	-676.17	6.36	15.63139	7.89	-830.29	9.42	-22.8087	10.95	536.3086
0.27	-791.251	1.80	-882.261	3.33	1079.499	4.86	821.6752	6.39	-508.04	7.92	518.1065	9.45	286.1489	10.98	-703.353
0.30	939.2707	1.83	410.6899	3.36	-269.256	4.89	-784.425	6.42	19.46343	7.95	-518.578	9.48	-453.313	11.01	534.5124
0.33	-1004.05	1.86	-633.299	3.39	-22.2099	4.92	95.7448	6.45	54.78996	7.98	1009.684	9.51	-459.421	11.04	-124.238
0.36	968.9689	1.89	779.4031	3.42	-540.013	4.95	-352.723	6.48	615.2245	8.01	-271.891	9.54	-406.371	11.07	1082.972
0.39	-687.427	1.92	-158.966	3.45	4.135301	4.98	520.0225	6.51	-471.875	8.04	608.5185	9.57	48.08391	11.10	-811.608
0.42	848.4994	1.95	80.29692	3.48	-394.156	5.01	198.4911	6.54	506.4906	8.07	-902.859	9.60	6.290818	11.13	431.766
0.45	-717.245	1.98	-369.009	3.51	611.153	5.04	628.6366	6.57	-908.726	8.10	347.9404	9.63	28.325	11.16	-829.331
0.48	1051.956	2.01	74.78838	3.54	-473.911	5.07	80.89568	6.60	993.9969	8.13	691.5059	9.66	367.4598	11.19	1065.847
0.51	-945.969	2.04	873.4076	3.57	-41.4898	5.10	-604.798	6.63	-422.537	8.16	444.9386	9.69	-677.248	11.22	-840.708
0.54	593.6694	2.07	-822.625	3.60	-921.899	5.13	-270.214	6.66	676.058	8.19	-68.793	9.72	425.6587	11.25	582.293
0.57	-697.366	2.10	466.9728	3.63	345.3058	5.16	377.1596	6.69	-749.937	8.22	-93.1025	9.75	110.3544	11.28	-951.956
0.60	979.986	2.13	-720.837	3.66	-394.037	5.19	693.1824	6.72	877.2397	8.25	194.2999	9.78	472.8406	11.31	698.5712
0.63	-1018.42	2.16	628.1576	3.69	698.5712	5.22	-303.146	6.75	-937.706	8.28	-25.9222	9.81	-268.897	11.34	-1055.9
0.66	757.8479	2.19	-778.557	3.72	-743.71	5.25	424.8205	6.78	412.0071	8.31	524.3335	9.84	531.6384	11.37	803.8323
0.69	-805.381	2.22	873.4076	3.75	856.7623	5.28	-616.774	6.81	-437.866	8.34	-584.68	9.87	-724.549	11.40	-769.696
0.72	748.8666	2.25	-654.854	3.78	-932.916	5.31	148.7945	6.84	1019.025	8.37	698.4515	9.90	648.5153	11.43	707.6723
0.75	-976.984	2.28	866.9411	3.81	465.8951	5.34	-465.049	6.87	-236.684	8.40	-1047.16	9.93	-819.751	11.46	-591.027
0.78	995.9129	2.31	-762.031	3.84	-442.296	5.37	570.9167	6.90	49.28142	8.43	886.1012	9.96	867.4201	11.49	1035.311
0.81	-689.822	2.34	1002.739	3.87	978.1897	5.40	-576.058	6.93	-490.676	8.46	-362.901	9.99	-854.838	11.52	-311.049
0.84	621.33	2.37	-918.19	3.90	-837.834	5.43	648.7548	6.96	-98.0123	8.49	849.4574	10.02	859.5165	11.55	595.5854
0.87	-880.94	2.40	602.53	3.93	871.1324	5.46	-1012.79	6.99	-321.108	8.52	-822.027	10.05	-816.518	11.58	-899.985
0.90	812.21	2.43	-656.41	3.96	-553.784	5.49	954.9581	7.02	659.5324	8.55	886.4605	10.08	1035.071	11.61	843.1106
0.93	-78.85	2.46	803.35	3.99	1004.056	5.52	-771.851	7.05	-394.875	8.58	-787.898	10.11	-904.655	11.64	-68.1943
0.96	493.20	2.49	-670.90	4.02	-1040.81	5.55	828.022	7.08	417.6354	8.61	848.1402	10.14	297.0462	11.67	448.5312
0.99	-333.08	2.52	730.31	4.05	595.3459	5.58	-1013.63	7.11	-787.778	8.64	-998.779	10.17	-721.196	11.70	-377.272
1.02	-49.39	2.55	-833.04	4.08	-655.333	5.61	895.5616	7.14	964.6579	8.67	1080.337	10.20	785.7499	11.73	-15.6236
1.05	116.82	2.58	557.86	4.11	876.2817	5.64	-718.203	7.17	-461.936	8.70	-707.425	10.23	-597.613	11.76	-699.402
1.08	-2.81	2.61	-452.83	4.14	-503.729	5.67	620.8528	7.20	489.8453	8.73	822.274	10.26	12.15862	11.79	-9.03731
1.11	576.43	2.64	630.07	4.17	-285.902	5.70	-901.541	7.23	-664.075	8.76	-625.276	10.29	-850.647	11.82	594.6274
1.14	258.61	2.67	-292.37	4.20	-480.497	5.73	855.8042	7.26	815.0889	8.79	1073.152	10.32	582.5325	11.85	284.5921
1.17	-379.79	2.70	647.32	4.23	-27.958	5.76	-75.1398	7.29	-931.838	8.82	-1010.75	10.35	-349.729	11.88	2.099534
1.20	-546.72	2.73	-892.44	4.26	510.8017	5.79	482.78	7.32	845.1464	8.85	626.2416	10.38	568.8809	11.91	-982.613
1.23	355.01	2.76	695.22	4.29	-696.168	5.82	-357.513	7.35	-846.456	8.88	-657.489	10.41	-270.813	11.94	381.1114
1.26	73.35	2.79	-77.77	4.32	216.0945	5.85	-4.48677	7.38	995.5536	8.91	845.7452	10.44	-4.00777	11.97	-392.839
1.29	617.38	2.82	897.72	4.35	-676.29	5.88	-751.014	7.41	-938.425	8.94	-838.552	10.47	-844.54	12.00	589.5978
1.32	-33.83	2.85	-444.33	4.38	413.5639	5.91	19.10417	7.44	884.9037	8.97	199.4491	10.50	199.8084		
1.35	-43.77	2.88	565.05	4.41	-394.635	5.94	-18.1384	7.47	-571.867	9.00	-823.703	10.53	31.07927		
1.38	-615.10	2.91	-657.97	4.44	849.4574	5.97	285.5501	7.50	931.3671	9.03	424.3415	10.56	377.7583		
1.41	476.19	2.94	344.71	4.47	-854.599	6.00	-471.276	7.53	-751.853	9.06	-607.074	10.59	-488.281		
1.44	-0.30	2.97	-41.85	4.50	914.4822	6.03	-498.46	7.56	992.0809	9.09	697.9725	10.62	527.4471		
1.47	520.50	3.00	303.87	4.53	-736.165	6.06	-384.696	7.59	-642.879	9.12	-346.136	10.65	-930.042		
1.50	-228.06	3.03	41.50	4.56	561.3366	6.09	64.37004	7.62	876.1619	9.15	-31.311	10.68	253.0976		



### 3.5.8.7 Registro de $a_{m\acute{a}x}$ de la estructura para $f=3$ hz, con Amortiguador de Masa

Sintonizada al 4.38%

HOJA DE TOMA DE DATOS DE ACELERACIÓN MÁX. EXPERIMENTAL DE LA ESTRUCTURA															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco								Fecha:		18/11/2020			
		Bohon Vidal Ccana Ccpatinta													
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
ACELERACIÓN MÁXIMA DE VIBRACIÓN FORZZADA															
t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )
0.00	0	1.53	-319.258	3.06	402.9605	4.59	-43.5909	6.12	-129.692	7.65	191.9593	9.18	19.75741	10.71	195.5518
0.03	187.6483	1.56	-266.208	3.09	409.7863	4.62	-355.901	6.15	114.8397	7.68	74.12436	9.21	532.5311	10.74	62.74801
0.06	-144.421	1.59	-51.3747	3.12	131.0061	4.65	-272.555	6.18	458.046	7.71	-202.979	9.24	328.4754	10.77	-198.668
0.09	-322.611	1.62	386.6744	3.15	-120.471	4.68	-19.0419	6.21	196.6296	7.74	-321.892	9.27	20.35617	10.80	-442.362
0.12	-211.122	1.65	374.6993	3.18	-374.822	4.71	331.7087	6.24	52.09018	7.77	-151.606	9.30	-167.892	10.83	-167.174
0.15	68.61581	1.68	107.7744	3.21	-249.563	4.74	567.0194	6.27	-239.024	7.80	276.5035	9.33	-364.044	10.86	96.63754
0.18	517.3227	1.71	-215.074	3.24	31.13376	4.77	150.0465	6.30	-313.031	7.83	565.8219	9.36	-211.961	10.89	469.9013
0.21	329.9124	1.74	-391.467	3.27	360.5687	4.80	-49.0994	6.33	-108.496	7.86	232.5549	9.39	19.15866	10.92	213.9935
0.24	1.794768	1.77	-189.208	3.30	369.1908	4.83	-240.342	6.36	224.5316	7.89	36.8818	9.42	472.6556	10.95	41.79159
0.27	-309.318	1.80	-27.664	3.33	27.42148	4.86	-238.426	6.39	602.2262	7.92	-217.11	9.45	366.197	10.98	-183.699
0.30	-317.701	1.83	403.679	3.36	-195.675	4.89	-98.5566	6.42	243.2127	7.95	-316.623	9.48	28.85849	11.01	-371.349
0.33	-185.735	1.86	366.676	3.39	-333.149	4.92	311.2313	6.45	-72.5706	7.98	-96.0418	9.51	-264.412	11.04	-229.325
0.36	50.41366	1.89	74.84286	3.42	-202.021	4.95	593.3646	6.48	-256.748	8.01	148.1305	9.54	-347.639	11.07	88.85373
0.39	496.1268	1.92	-318.659	3.45	60.47275	4.98	193.6358	6.51	-202.5	8.04	607.8545	9.57	-211.122	11.10	471.0988
0.42	270.516	1.95	-356.62	3.48	392.7817	5.01	-135.44	6.54	-88.4975	8.07	245.6078	9.60	51.73092	11.13	293.3884
0.45	-8.14456	1.98	-170.527	3.51	319.1349	5.04	-319.856	6.57	272.1925	8.10	21.67343	9.63	499.3601	11.16	14.48837
0.48	-390.869	2.01	43.94711	3.54	85.5007	5.07	-230.522	6.60	554.4455	8.13	-395.06	9.66	303.208	11.19	-272.076
0.51	-324.527	2.04	474.0926	3.57	-346.681	5.10	-84.6654	6.63	225.3698	8.16	61.311	9.69	-4.55203	11.22	-350.872
0.54	-123.225	2.07	307.3993	3.60	-381.768	5.13	302.6092	6.66	-138.553	8.19	304.4055	9.72	-356.38	11.25	-224.535
0.57	89.33273	2.10	-11.1383	3.63	-168.85	5.16	509.5389	6.69	-421.525	8.22	-148.373	9.75	-316.743	11.28	60.23324
0.60	362.4847	2.13	-348.956	3.66	65.74179	5.19	144.2984	6.72	-204.297	8.25	-390.869	9.78	-174.239	11.31	362.9637
0.63	284.1676	2.16	-341.052	3.69	468.2248	5.22	-159.27	6.75	-7.18656	8.28	61.55051	9.81	62.14926	11.34	314.3448
0.66	-4.55203	2.19	-121.549	3.72	303.0882	5.25	-402.365	6.78	295.9032	8.31	329.6729	9.84	452.1782	11.37	70.05282
0.69	-372.547	2.22	99.99057	3.75	-18.4431	5.28	-203.818	6.81	349.4319	8.34	-7.42606	9.87	282.9701	11.40	-273.034
0.72	-326.922	2.25	370.508	3.78	-343.807	5.31	-19.9999	6.84	131.8443	8.37	-496.729	9.90	-22.1554	11.43	-393.024
0.75	-123.106	2.28	250.3978	3.81	-357.219	5.34	237.2252	6.87	-136.278	8.40	-49.4587	9.93	-383.205	11.46	-219.864
0.78	111.1274	2.31	16.16488	3.84	-124.662	5.37	339.1333	6.90	-426.435	8.43	166.0931	9.96	-293.272	11.49	-43.2316
0.81	401.763	2.34	-376.738	3.87	91.8475	5.40	141.5442	6.93	-198.07	8.46	248.9608	9.99	-135.919	11.52	246.3263
0.84	195.31	2.37	-330.27	3.90	356.7367	5.43	-272.555	6.96	-24.7899	8.49	-113.645	10.02	122.863	11.55	332.9062
0.87	16.64	2.40	-137.00	3.93	235.4289	5.46	-434.817	6.99	190.5223	8.52	-548.221	10.05	378.5313	11.58	119.6297
0.90	-444.40	2.43	123.22	3.96	24.90671	5.49	-199.028	7.02	310.0338	8.55	-129.452	10.08	211.2392	11.61	-286.685
0.93	-335.18	2.46	381.76	3.99	-386.318	5.52	-52.0932	7.05	121.7852	8.58	176.2719	10.11	11.01559	11.64	-439.248
0.96	-64.79	2.49	189.21	4.02	-408.831	5.55	180.2237	7.08	-228.846	8.61	287.0416	10.14	-386.677	11.67	-219.505
0.99	240.46	2.52	-9.94	4.05	-142.385	5.58	315.0633	7.11	-552.772	8.64	102.7448	10.17	-337.46	11.70	-48.6204
1.02	325.12	2.55	-427.27	4.08	169.0869	5.61	127.7728	7.14	-209.925	8.67	-145.14	10.20	-126.099	11.73	201.6591
1.05	169.09	2.58	-337.70	4.11	385.8361	5.64	-221.661	7.17	45.38412	8.70	-541.276	10.23	145.2564	11.76	333.2655
1.08	-51.85	2.61	-62.39	4.14	202.8567	5.67	-553.61	7.20	242.135	8.73	-196.513	10.26	331.3495	11.79	173.7572
1.11	-324.77	2.64	222.02	4.17	-22.6344	5.70	-171.964	7.23	195.6716	8.76	81.90817	10.29	201.4196	11.82	-202.979
1.14	-290.28	2.67	308.48	4.20	-327.401	5.73	142.2627	7.26	73.40585	8.79	333.3852	10.32	14.24887	11.85	-490.382
1.17	-94.01	2.70	189.44	4.23	-353.147	5.76	273.39	7.29	-250.76	8.82	179.8645	10.35	-403.323	11.88	-190.286
1.20	295.54	2.73	-37.48	4.26	-112.088	5.79	181.4212	7.32	-530.618	8.85	90.05124	10.38	-348.477	11.91	-12.9346
1.23	406.31	2.76	-453.38	4.29	260.4569	5.82	93.16476	7.35	-206.213	8.88	-65.8645	10.41	-83.7074	11.94	181.7805
1.26	150.05	2.79	-293.63	4.32	439.9636	5.85	-239.743	7.38	80.35141	8.91	-409.071	10.44	247.0448	11.97	291.9514
1.29	-11.14	2.82	-126.10	4.35	192.4383	5.88	-463.677	7.41	272.7912	8.94	-258.424	10.47	426.9107	12.00	203.4554
1.32	-375.06	2.85	312.55	4.38	16.76364	5.91	-117.477	7.44	174.5954	8.97	47.77914	10.50	193.2766		
1.35	-283.57	2.88	332.67	4.41	-292.912	5.94	169.5659	7.47	90.64999	9.00	383.9201	10.53	4.54904		
1.38	-46.70	2.91	168.37	4.44	-333.508	5.97	324.8829	7.50	-181.664	9.03	372.5438	10.56	-270.279		
1.41	396.49	2.94	-60.00	4.47	-98.6763	6.00	209.8022	7.53	-471.461	9.06	133.6406	10.59	-466.791		
1.44	383.32	2.97	-371.59	4.50	337.6963	6.03	85.38095	7.56	-236.15	9.09	-73.7681	10.62	-248.006		
1.47	154.96	3.00	-271.96	4.53	470.6198	6.06	-248.126	7.59	127.0543	9.12	-371.11	10.65	131.8443		
1.50	-106.70	3.03	-43.59	4.56	167.4104	6.09	-477.928	7.62	388.2312	9.15	-278.063	10.68	419.2467		



### 3.5.8.8 Registro de $a_{m\acute{a}x}$ de la estructura para $f=3.25$ hz, con Amortiguador de Masa

Sintonizada al 4.38%

HOJA DE TOMA DE DATOS DE ACELERACIÓN MÁX. EXPERIMENTAL DE LA ESTRUCTURA															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco						Fecha:		18/11/2020					
		Bohon Vidal Ccana Ccpatinta													
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
ACELERACIÓN MÁXIMA DE VIBRACIÓN FORZZADA															
t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )		
0.00	0	1.53	-57.7436	3.06	236.9635	4.59	285.9417	6.12	-98.3392	7.65	140.3245	9.18	-62.6534	10.71	-84.3283
0.03	86.3168	1.56	203.1938	3.09	193.1347	4.62	23.20804	6.15	212.2948	7.68	-293.414	9.21	-77.5025	10.74	-327.303
0.06	-288.025	1.59	-218.449	3.12	114.6978	4.65	131.4629	6.18	-233.418	7.71	-50.9178	9.24	-299.88	10.77	-2.29892
0.09	-38.9427	1.62	145.9528	3.15	-300.599	4.68	-315.208	6.21	-2.41867	7.74	-133.187	9.27	36.02139	10.80	235.4068
0.12	-65.7669	1.65	-202.283	3.18	-34.3922	4.71	97.45364	6.24	-193.541	7.77	308.4549	9.30	229.7785	10.83	146.791
0.15	262.9495	1.68	35.78189	3.21	-159.891	4.74	-149.114	6.27	191.5779	7.80	-52.2351	9.33	244.9868	10.86	78.17374
0.18	-8.28647	1.71	27.15982	3.24	307.7364	4.77	354.559	6.30	53.98404	7.83	184.8719	9.36	74.22195	10.89	-395.322
0.21	170.6215	1.74	252.6509	3.27	-2.17917	4.80	7.041657	6.33	241.2746	7.86	-230.305	9.39	-373.886	10.92	-196.655
0.24	-244.675	1.77	82.60452	3.30	166.071	4.83	172.1783	6.36	-19.6628	7.89	-103.009	9.42	-198.212	10.95	-64.2102
0.27	-23.4948	1.80	-386.46	3.33	-208.271	4.86	-383.945	6.39	-115.703	7.92	-266.589	9.45	-94.6269	10.98	406.6507
0.30	-258.806	1.83	-271.26	3.36	-113.548	4.89	-76.6643	6.42	-273.774	7.95	-28.0454	9.48	408.5667	11.01	120.2063
0.33	171.4597	1.86	-94.7467	3.39	-282.756	4.92	-265.751	6.45	-47.2055	7.98	203.553	9.51	16.14273	11.04	125.8346
0.36	209.7801	1.89	329.4113	3.42	-23.4948	4.95	101.1659	6.48	193.7334	8.01	248.8189	9.54	145.9528	11.07	-315.328
0.39	233.85	1.92	247.7411	3.45	311.0894	4.98	208.7023	6.51	243.9091	8.04	90.14883	9.57	-161.687	11.10	59.37283
0.42	65.36038	1.95	108.7102	3.48	228.2217	5.01	258.5187	6.54	101.2857	8.07	-203.84	9.60	28.23758	11.13	-247.549
0.45	-210.666	1.98	-314.49	3.51	93.38211	5.04	-49.8401	6.57	-188.272	8.10	-281.199	9.63	-230.784	11.16	91.58585
0.48	-274.732	2.01	65.48013	3.54	-273.774	5.07	-99.0577	6.60	-263.117	8.13	-70.557	9.66	124.2779	11.19	-100.016
0.51	-79.2988	2.04	-119.056	3.57	-53.5523	5.10	-288.264	6.63	-105.405	8.16	273.1283	9.69	-21.9381	11.22	198.8827
0.54	228.2217	2.07	111.3448	3.60	-132.468	5.13	-71.1557	6.66	279.7146	8.19	4.886139	9.72	212.4146	11.25	-74.868
0.57	8.119416	2.10	-34.8712	3.63	125.5951	5.16	283.4269	6.69	140.8035	8.22	101.8844	9.75	-71.2755	11.28	-6.60995
0.60	150.2638	2.13	262.231	3.66	-97.6207	5.19	108.1115	6.72	3.80838	8.25	-345.745	9.78	-203.481	11.31	-253.536
0.63	-250.064	2.16	14.70572	3.69	144.6355	5.22	159.2451	6.75	-339.158	8.28	-38.1045	9.81	-301.916	11.34	59.73209
0.66	97.69315	2.19	-213.54	3.72	-257.608	5.25	-395.801	6.78	-177.854	8.31	-69.7187	9.84	53.62479	11.37	355.1577
0.69	-201.205	2.22	-160.61	3.75	18.53775	5.28	5.245392	6.81	-17.7468	8.34	370.3661	9.87	339.3506	11.40	252.1719
0.72	43.20645	2.25	-13.6753	3.78	-247.788	5.31	-112.23	6.84	384.7362	8.37	-30.5601	9.90	253.3694	11.43	51.22977
0.75	60.9296	2.28	379.3474	3.81	188.3446	5.34	395.6336	6.87	158.2871	8.40	187.0274	9.93	126.3136	11.46	-361.312
0.78	279.5949	2.31	163.9154	3.84	42.48795	5.37	-36.7872	6.90	128.4691	8.43	-173.303	9.96	-369.336	11.49	-316.166
0.81	-13.4358	2.34	134.8159	3.87	280.4331	5.40	193.3742	6.93	-401.309	8.46	-44.3315	9.99	-198.81	11.52	-65.4077
0.84	-382.99	2.37	-419.51	3.90	-109.476	5.43	-244.196	6.96	-31.7577	8.49	-278.804	10.02	-58.4621	11.55	335.0396
0.87	-200.49	2.40	-171.03	3.93	-183.243	5.46	-7.32846	6.99	-139.294	8.52	80.68851	10.05	359.9478	11.58	72.18619
0.90	-64.93	2.43	-70.92	3.96	-270.541	5.49	-275.69	7.02	192.2964	8.55	202.7148	10.08	78.29349	11.61	119.6076
0.93	216.73	2.46	357.91	3.99	-75.1075	5.52	48.715	7.05	-26.2491	8.58	273.2481	10.11	90.50809	11.64	-174.142
0.96	-7.21	2.49	3.33	4.02	174.5733	5.55	183.9138	7.08	196.9667	8.61	95.41788	10.14	-301.197	11.67	167.3882
0.99	87.04	2.52	201.16	4.05	206.427	5.58	261.3927	7.11	-148.874	8.64	-79.179	10.17	112.662	11.70	-226.113
1.02	-132.35	2.55	-159.05	4.08	75.65897	5.61	61.8876	7.14	87.75382	8.67	-228.269	10.20	-119.775	11.73	162.8377
1.05	120.45	2.58	79.97	4.11	-273.056	5.64	-73.3112	7.17	-203.361	8.70	-88.6394	10.23	122.9606	11.76	-68.0422
1.08	-237.73	2.61	-305.15	4.14	-184.919	5.67	-196.415	7.20	-10.921	8.73	299.234	10.26	-111.632	11.79	202.9543
1.11	122.48	2.64	8.48	4.17	-77.1433	5.70	-33.9132	7.23	-19.3036	8.76	129.4272	10.29	195.6494	11.82	-252.339
1.14	2.13	2.67	143.80	4.20	284.3849	5.73	182.2373	7.26	273.7271	8.79	13.86746	10.32	-255.093	11.85	-56.6659
1.17	278.04	2.70	243.79	4.23	-2.65817	5.76	158.6464	7.29	-83.8493	8.82	-414.242	10.35	19.25626	11.88	-277.008
1.20	-82.89	2.73	27.64	4.26	152.5391	5.79	42.36819	7.32	-36.4279	8.85	8.119416	10.38	-262.638	11.91	37.09915
1.23	-54.39	2.76	-401.79	4.29	-434.6	5.82	-355.564	7.35	-267.667	8.88	-104.447	10.41	185.2311	11.94	358.1515
1.26	-290.78	2.79	-173.18	4.32	-20.8603	5.85	-209.229	7.38	-79.7778	8.91	386.8918	10.44	167.3882	11.97	244.7473
1.29	-54.75	2.82	-100.37	4.35	-270.182	5.88	-84.6876	7.41	386.772	8.94	-3.13718	10.47	282.3492	12.00	90.62784
1.32	408.09	2.85	377.55	4.38	-2.41867	5.91	416.3505	7.44	253.0102	8.97	183.7941	10.50	80.80826		
1.35	176.73	2.88	52.67	4.41	386.1732	5.94	179.1238	7.47	142.2405	9.00	-242.28	10.53	32.54861		
1.38	130.39	2.91	169.18	4.44	246.5436	5.97	107.5127	7.50	-383.586	9.03	13.62796	10.56	-215.216		
1.41	-275.81	2.94	-92.71	4.47	96.49564	6.00	-337.602	7.53	-176.537	9.06	-192.463	10.59	142.959		
1.44	-137.14	2.97	30.27	4.50	-200.247	6.03	-116.182	7.56	-78.5803	9.09	24.2858	10.62	-18.2258		
1.47	-77.98	3.00	-299.04	4.53	-296.647	6.06	-71.515	7.59	319.8312	9.12	-25.6504	10.65	203.6728		
1.50	321.99	3.03	-86.12	4.56	-74.6285	6.09	116.494	7.62	22.13028	9.15	214.3306	10.68	-53.5523		



### 3.5.8.9 Registro de $a_{\max}$ de la estructura para $f=3.5$ Hz, sin Amortiguador de Masa

Sintonizada al 4.38%

HOJA DE TOMA DE DATOS DE ACELERACIÓN MÁX. EXPERIMENTAL DE LA ESTRUCTURA															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco								Fecha:		18/11/2020			
		Bohon Vidal Ccana Ccapatinta													
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )
0.00	0	1.53	-88.3241	3.06	90.10483	4.59	758.0758	6.12	573.779	7.65	-62.8172	9.18	639.6421	10.71	370.4419
0.03	-1062.74	1.56	885.9698	3.09	-286.272	4.62	-805.273	6.15	-559.784	7.68	-357.285	9.21	-860.359	10.74	39.09091
0.06	818.4303	1.59	-619.539	3.12	-715.34	4.65	871.0009	6.18	995.7815	7.71	-581.698	9.24	804.2997	10.77	797.2343
0.09	-729.591	1.62	562.1632	3.15	-360.877	4.68	-907.181	6.21	-423.986	7.74	-70.0022	9.27	-282.44	10.80	-809.105
0.12	503.4852	1.65	-661.333	3.18	45.31796	4.71	863.5764	6.24	612.6981	7.77	42.08468	9.30	519.7713	10.83	97.76889
0.15	58.13132	1.68	390.9193	3.21	272.9646	4.74	-982.145	6.27	-832.936	7.80	757.7165	9.33	-301.96	10.86	-426.621
0.18	921.6556	1.71	66.15463	3.24	-220.529	4.77	899.0227	6.30	804.5392	7.83	-691.151	9.36	-86.2884	10.89	326.9723
0.21	-920.234	1.74	195.1264	3.27	491.3903	4.80	-935.922	6.33	-813.895	7.86	-4.49845	9.39	-743.601	10.92	121.1203
0.24	879.3835	1.77	17.89499	3.30	-651.633	4.83	560.7262	6.36	866.0912	7.89	-360.997	9.42	171.5355	10.95	-111.436
0.27	-609.001	1.80	-1036.75	3.33	648.5036	4.86	-639.179	6.39	-778.09	7.92	60.16708	9.45	9.871672	10.98	-25.9339
0.30	983.9261	1.83	910.7583	3.36	-144.847	4.89	715.8037	6.42	963.2092	7.95	257.5167	9.48	299.0703	11.01	-671.032
0.33	-1007.65	1.86	-509.488	3.39	1058.052	4.92	-588.165	6.45	-822.877	7.98	-198.974	9.51	-462.905	11.04	557.4929
0.36	890.1611	1.89	743.7057	3.42	-897.362	4.95	634.852	6.48	790.169	8.01	21.00851	9.54	-417.639	11.07	-46.2915
0.39	-681.091	1.92	-1064.65	3.45	467.9192	4.98	-852.455	6.51	-909.097	8.04	-633.79	9.57	-549.605	11.10	1012.307
0.42	882.018	1.95	987.9976	3.48	-882.153	5.01	440.0172	6.54	898.0647	8.07	639.6421	9.60	-85.4501	11.13	-321.719
0.45	-765.755	1.98	-818.805	3.51	988.8359	5.04	390.7995	6.57	-1018.55	8.10	-655.465	9.63	558.8101	11.16	467.4402
0.48	343.4979	2.01	621.6794	3.54	-870.897	5.07	527.0761	6.60	860.7024	8.13	1026.557	9.66	33.82187	11.19	-653.189
0.51	-540.145	2.04	-894.847	3.57	627.4275	5.10	55.01779	6.63	-902.152	8.16	-891.494	9.69	257.2772	11.22	790.7678
0.54	-72.6368	2.07	836.3929	3.60	-985.738	5.13	-604.93	6.66	748.4957	8.19	856.9901	9.72	-699.294	11.25	-396.803
0.57	21.24801	2.10	-229.271	3.63	937.9417	5.16	700.3558	6.69	-804.195	8.22	-829.463	9.75	442.0529	11.28	854.7148
0.60	47.71298	2.13	936.9837	3.66	-782.161	5.19	-247.234	6.72	832.0819	8.25	974.9448	9.78	66.27438	11.31	-544.096
0.63	-234.899	2.16	-600.02	3.69	770.2904	5.22	1000.332	6.75	-932.928	8.28	-877.244	9.81	866.8097	11.34	504.2037
0.66	-692.947	2.19	620.1226	3.72	-851.617	5.25	-440.751	6.78	503.9642	8.31	657.8442	9.84	-248.79	11.37	-1017.23
0.69	448.0405	2.22	-719.412	3.75	641.1988	5.28	441.0949	6.81	-497.393	8.34	-944.424	9.87	53.58078	11.40	830.8844
0.72	-454.882	2.25	506	3.78	-1037.47	5.31	-844.552	6.84	990.5124	8.37	915.7878	9.90	-617.384	11.43	-830.301
0.75	927.4037	2.28	22.08627	3.81	864.1751	5.34	880.8205	6.87	-905.265	8.40	-790.185	9.93	-120.058	11.46	577.2518
0.78	-911.373	2.31	286.7359	3.84	-844.671	5.37	-866.107	6.90	866.3307	8.43	763.4646	9.96	-201.489	11.49	-1014.84
0.81	872.438	2.34	-446.739	3.87	597.2502	5.40	734.2453	6.93	-615.827	8.46	-894.488	9.99	715.6839	11.52	806.6947
0.84	-636.54	2.37	303.74	3.90	-43.4175	5.43	-976.038	6.96	624.3139	8.49	630.541	10.02	-443.745	11.55	-817.009
0.87	623.24	2.40	-512.12	3.93	1050.867	5.46	702.0323	6.99	-746.236	8.52	-541.222	10.05	442.532	11.58	608.8661
0.90	-983.82	2.43	-100.66	3.96	-911.133	5.49	-1052.08	7.02	569.468	8.55	625.9904	10.08	-832.576	11.61	-883.111
0.93	725.26	2.46	581.56	3.99	497.8569	5.52	879.0243	7.05	33.10336	8.58	-377.523	10.11	224.9444	11.64	796.1566
0.96	-676.66	2.49	-0.79	4.02	-644.927	5.55	-835.69	7.08	838.0694	8.61	-35.0349	10.14	-465.659	11.67	-846.707
0.99	874.23	2.52	286.50	4.05	823.4598	5.58	716.4024	7.11	-763.839	8.64	-192.148	10.17	738.7959	11.70	916.6261
1.02	-715.70	2.55	-998.91	4.08	-853.772	5.61	-973.284	7.14	342.5399	8.67	413.9115	10.20	-678.098	11.73	-287.47
1.05	492.95	2.58	916.27	4.11	850.8828	5.64	957.5809	7.17	-944.544	8.70	643.5938	10.23	945.9651	11.76	-104.491
1.08	-637.74	2.61	-474.52	4.14	-576.788	5.67	-304.714	7.20	571.1445	8.73	417.8632	10.26	-980.828	11.79	-50.4828
1.11	321.46	2.64	921.66	4.17	522.8849	5.70	928.0024	7.23	-653.309	8.76	-2.82193	10.29	707.4211	11.82	-317.527
1.14	27.59	2.67	-887.42	4.20	-1033.4	5.73	-952.926	7.26	728.9763	8.79	-158.618	10.32	-848.623	11.85	701.3138
1.17	145.79	2.70	874.47	4.23	901.1782	5.76	1036.617	7.29	-597.266	8.82	66.63363	10.35	704.9063	11.88	-505.537
1.20	-365.91	2.73	-770.78	4.26	-846.108	5.79	-721.088	7.32	-31.6819	8.85	56.2153	10.38	-987.534	11.91	465.5241
1.23	-667.80	2.76	971.23	4.29	757.2375	5.82	824.1783	7.35	-889.458	8.88	628.3855	10.41	977.9386	11.94	-965.261
1.26	387.33	2.79	-756.77	4.32	-811.62	5.85	-661.931	7.38	435.8259	8.91	206.5028	10.44	-342.675	11.97	292.1247
1.29	10.11	2.82	956.02	4.35	838.1892	5.88	493.5459	7.41	362.4185	8.94	10.59018	10.47	620.3622	12.00	-453.684
1.32	689.46	2.85	-670.07	4.38	-810.902	5.91	-979.032	7.44	-241.007	8.97	-1028.37	10.50	-961.908		
1.35	-860.24	2.88	843.58	4.41	896.0289	5.94	325.0562	7.47	46.87472	9.00	871.959	10.53	743.9452		
1.38	868.01	2.91	-744.56	4.44	-903.589	5.97	-651.633	7.50	-63.5357	9.03	-844.911	10.56	-740.129		
1.41	-820.72	2.94	424.69	4.47	1037.814	6.00	919.8593	7.53	-105.808	9.06	767.2966	10.59	892.6759		
1.44	948.12	2.97	-969.45	4.50	-825.391	6.03	-782.281	7.56	215.4841	9.09	-1021.42	10.62	-363.871		
1.47	-954.96	3.00	296.32	4.53	858.3073	6.06	802.3836	7.59	728.2578	9.12	997.5777	10.65	522.2861		
1.50	793.52	3.03	30.59	4.56	-763.6	6.09	-883.471	7.62	331.6425	9.15	-819.404	10.68	-671.631		



### 3.5.8.10 Registro de $a_{\max}$ de la estructura para $f=3$ hz, con Amortiguador de Masa

Sintonizada al 5.98%

HOJA DE TOMA DE DATOS DE ACELERACIÓN MÁX. EXPERIMENTAL DE LA ESTRUCTURA															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco								Fecha:		18/11/2020			
		Bohon Vidal Ccana Ccpatinta													
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )
0.00	0	1.53	445.911	3.06	-642.625	4.59	-233.436	6.12	212.9954	7.65	474.8908	9.18	468.9032	10.71	204.7326
0.03	442.9172	1.56	319.8132	3.09	-568.499	4.62	192.518	6.15	356.3373	7.68	509.7383	9.21	224.3717	10.74	-299.299
0.06	458.7244	1.59	-309.957	3.12	-209.845	4.65	402.8007	6.18	405.7944	7.71	263.7698	9.24	-307.203	10.77	-570.775
0.09	285.4447	1.62	-556.285	3.15	208.9238	4.68	427.5891	6.21	10.49647	7.74	-252.596	9.27	-533.891	10.80	-484.195
0.12	-223.976	1.65	-414.14	3.18	473.4537	4.71	27.74061	6.24	-543.472	7.77	-553.531	9.30	-487.907	10.83	-110.093
0.15	-525.15	1.68	121.3859	3.21	394.1786	4.74	-489.224	6.27	-593.887	7.80	-447.91	9.33	37.20094	10.86	438.0075
0.18	-482.279	1.71	454.8923	3.24	175.1541	4.77	-602.509	6.30	-110.213	7.83	135.277	9.36	465.5502	10.89	463.0354
0.21	106.0578	1.74	535.1255	3.27	-487.787	4.80	-242.418	6.33	310.8319	7.86	534.2872	9.39	478.9623	10.92	401.4834
0.24	460.0416	1.77	258.0217	3.30	-537.364	4.83	283.6485	6.36	485.3091	7.89	476.0883	9.42	398.9686	10.95	49.17604
0.27	482.1956	1.80	-164.22	3.33	-277.624	4.86	493.2127	6.39	390.8256	7.92	243.0529	9.45	-109.255	10.98	-622.028
0.30	329.6328	1.83	-602.868	3.36	279.0979	4.89	417.8893	6.42	-39.3199	7.95	-122.307	9.48	-619.753	11.01	-580.235
0.33	-109.494	1.86	-440.126	3.39	502.673	4.92	168.6875	6.45	-607.658	7.98	-480.483	9.51	-583.947	11.04	-283.372
0.36	-479.525	1.89	79.47303	3.42	430.5829	4.95	-352.469	6.48	-589.695	8.01	-459.406	9.54	-285.288	11.07	277.7807
0.39	-486.71	1.92	592.0072	3.45	153.8384	4.98	-522.515	6.51	-167.693	8.04	41.27247	9.57	402.5612	11.10	501.8347
0.42	27.26161	1.95	461.4787	3.48	-404.92	5.01	-333.548	6.54	460.8799	8.07	679.3057	9.60	508.3013	11.13	444.953
0.45	498.2422	1.98	269.5178	3.51	-513.654	5.04	246.6454	6.57	593.085	8.10	513.3308	9.63	454.8923	11.16	146.1743
0.48	536.802	2.01	-335.823	3.54	-301.575	5.07	552.8486	6.60	438.726	8.13	371.0667	9.66	149.8866	11.19	-314.388
0.51	328.9143	2.04	-516.168	3.57	243.0529	5.10	485.6683	6.63	28.21962	8.16	-140.031	9.69	-405.997	11.22	-544.789
0.54	-164.579	2.07	-498.924	3.60	583.7444	5.13	168.5678	6.66	-409.949	8.19	-495.451	9.72	-512.456	11.25	-364.683
0.57	-480.243	2.10	162.221	3.63	469.7415	5.16	-313.19	6.69	-485.273	8.22	-461.203	9.75	-300.018	11.28	140.6658
0.60	-440.246	2.13	686.0117	3.66	134.4387	5.19	-500.002	6.72	-394.142	8.25	-64.8269	9.78	256.3452	11.31	706.8484
0.63	-112.488	2.16	559.914	3.69	-457.73	5.22	-377.736	6.75	164.0172	8.28	531.4132	9.81	567.8175	11.34	530.9342
0.66	671.4021	2.19	215.1509	3.72	-500.122	5.25	155.0359	6.78	619.5499	8.31	529.2577	9.84	502.194	11.37	354.6608
0.69	547.5796	2.22	-167.932	3.75	-314.987	5.28	606.9761	6.81	517.0431	8.34	325.3218	9.87	139.8275	11.40	-26.3868
0.72	204.2536	2.25	-452.581	3.78	250.5972	5.31	504.3495	6.84	100.3097	8.37	-86.7413	9.90	-258.943	11.43	-495.332
0.75	-238.226	2.28	-428.75	3.81	604.4613	5.34	98.03444	6.87	-286.127	8.40	-515.689	9.93	-516.528	11.46	-571.374
0.78	-499.164	2.31	83.54457	3.84	488.6621	5.37	-291.875	6.90	-437.612	8.43	-561.314	9.96	-417.733	11.49	-151.048
0.81	-430.067	2.34	650.3259	3.87	-27.7041	5.40	-423.721	6.93	-433.061	8.46	-244.334	9.99	67.97694	11.52	544.8253
0.84	-152.48	2.37	526.62	3.90	-440.126	5.43	-440.486	6.96	49.05629	8.49	318.2565	10.02	654.5172	11.55	549.0166
0.87	494.17	2.40	238.14	3.93	-479.165	5.46	-163.621	6.99	583.5049	8.52	573.3261	10.05	558.4769	11.58	331.0698
0.90	533.69	2.43	-339.18	3.96	-296.306	5.49	575.8408	7.02	552.8486	8.55	416.572	10.08	247.1244	11.61	-165.537
0.93	297.54	2.46	-408.39	3.99	283.7682	5.52	529.2577	7.05	312.2689	8.58	-195.595	10.11	-377.018	11.64	-454.018
0.96	-303.01	2.49	-414.26	4.02	543.2686	5.55	251.5552	7.08	-287.204	8.61	-520.599	10.14	-401.806	11.67	-557.602
0.99	-516.41	2.52	-12.85	4.05	392.3823	5.58	-299.06	7.11	-522.755	8.64	-541.316	10.17	-426.714	11.70	-225.293
1.02	-407.79	2.55	627.45	4.08	-51.0555	5.61	-519.282	7.14	-512.935	8.67	-235.233	10.20	-23.0338	11.73	209.4028
1.05	-169.97	2.58	597.28	4.11	-497.727	5.64	-444.557	7.17	-158.951	8.70	160.9037	10.23	445.911	11.76	527.4614
1.08	443.04	2.61	102.70	4.14	-471.98	5.67	-148.772	7.20	449.1443	8.73	500.0385	10.26	521.7134	11.79	464.7119
1.11	490.94	2.64	-425.76	4.17	-346.242	5.70	437.4087	7.23	556.0819	8.76	410.2252	10.29	270.4758	11.82	-43.631
1.14	296.34	2.67	-470.18	4.20	66.89918	5.73	482.4351	7.26	281.3732	8.79	-44.9482	10.32	-260.739	11.85	-511.019
1.17	-288.40	2.70	-345.88	4.23	506.1458	5.76	300.5333	7.29	-188.53	8.82	-483.476	10.35	-545.986	11.88	-451.742
1.20	-528.26	2.73	-0.04	4.26	459.4429	5.79	-287.923	7.32	-625.86	8.85	-498.924	10.38	-456.892	11.91	-358.696
1.23	-479.64	2.76	494.41	4.29	-40.5174	5.82	-523.353	7.35	-476.291	8.88	-331.752	10.41	-136.677	11.94	44.02675
1.26	-110.69	2.79	471.06	4.32	-502.636	5.85	-471.98	7.38	-229.963	8.91	-14.0525	10.44	432.6187	11.97	482.1956
1.29	400.17	2.82	17.32	4.35	-516.887	5.88	-125.421	7.41	93.12465	8.94	489.7399	10.47	477.8845	12.00	466.1489
1.32	485.43	2.85	-534.97	4.38	-214.635	5.91	288.3187	7.44	501.4755	8.97	483.7523	10.50	301.3716		
1.35	289.16	2.88	-481.80	4.41	94.20241	5.94	512.7321	7.47	417.4103	9.00	176.4713	10.53	-443.479		
1.38	-230.32	2.91	-339.54	4.44	411.1832	5.97	333.9439	7.50	62.22889	9.03	-554.249	10.56	-587.42		
1.41	-591.25	2.94	3.43	4.47	405.0759	6.00	-240.023	7.53	-544.549	9.06	-464.436	10.59	-375.7		
1.44	-483.84	2.97	444.71	4.50	-63.3899	6.03	-584.067	7.56	-538.442	9.09	-358.935	10.62	-40.1582		
1.47	-47.46	3.00	508.54	4.53	-631.01	6.06	-500.96	7.59	-318.22	9.12	30.97389	10.65	390.5861		
1.50	402.68	3.03	81.99	4.56	-536.646	6.09	-99.9139	7.62	38.9972	9.15	376.9345	10.68	457.2874		



### 3.5.8.11 Registro de $a_{m\acute{a}x}$ de la estructura para $f=3.25$ hz, con Amortiguador de Masa

Sintonizada al 5.98%

HOJA DE TOMA DE DATOS DE ACELERACIÓN MÁX. EXPERIMENTAL DE LA ESTRUCTURA															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco						Fecha:		18/11/2020					
		Bohon Vidal Ccana Ccpatinta													
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )		
0.00	0	1.53	247.4115	3.06	265.1346	4.59	127.9	6.12	159.2748	7.65	-90.7653	9.18	-172.914	10.71	-164.532
0.03	-253.148	1.56	-104.177	3.09	59.64197	4.62	164.6636	6.15	260.4644	7.68	115.2064	9.21	188.6138	10.74	160.7118
0.06	-14.0049	1.59	22.51917	3.12	-64.3003	4.65	-296.857	6.18	109.5781	7.71	204.4209	9.24	187.1768	10.77	-37.7156
0.09	-164.652	1.62	-288.474	3.15	-279.134	4.68	17.72913	6.21	-137.109	7.74	167.2981	9.27	176.8782	10.80	184.5422
0.12	165.8611	1.65	-73.1619	3.18	-130.523	4.71	-112.081	6.24	-59.3905	7.77	-196.026	9.30	-250.513	10.83	-245.005
0.15	-2.74828	1.68	172.0881	3.21	222.6231	4.74	41.32007	6.27	-154.233	7.80	-165.011	9.33	-2.50878	10.86	17.96863
0.18	272.679	1.71	256.2731	3.24	106.1054	4.77	-55.6782	6.30	164.5438	7.83	-112.799	9.36	-159.862	10.89	-179.381
0.21	-80.5864	1.74	127.9	3.27	144.6652	4.80	270.5234	6.33	-154.114	7.86	210.8875	9.39	339.3803	10.92	85.02918
0.24	-68.3718	1.77	-149.563	3.30	-235.544	4.83	-116.392	6.36	217.354	7.89	-56.0375	9.42	59.88148	10.95	152.449
0.27	-289.432	1.80	-82.8617	3.33	97.84254	4.86	73.17383	6.39	-108.608	7.92	232.0834	9.45	283.4565	10.98	276.511
0.30	-173.274	1.83	-128.128	3.36	-179.86	4.89	-200.337	6.42	82.75391	7.95	-119.266	9.48	-72.8026	11.01	-26.459
0.33	84.19092	1.86	167.1784	3.39	56.8877	4.92	-31.8478	6.45	-216.384	7.98	20.72291	9.51	31.02149	11.04	-81.3049
0.36	236.7537	1.89	-120.344	3.42	-140.462	4.95	-67.7731	6.48	148.7367	8.01	-174.95	9.54	-304.88	11.07	-300.21
0.39	137.9591	1.92	253.5188	3.45	273.7567	4.98	272.9185	6.51	40.48182	8.04	32.219	9.57	-72.6829	11.10	-195.068
0.42	-201.535	1.95	-118.428	3.48	-105.974	5.01	143.4677	6.54	287.7676	8.07	-26.8182	9.60	131.4926	11.13	151.6107
0.45	-170.04	1.98	34.85352	3.51	1.922003	5.04	-221.533	6.57	65.86902	8.10	215.917	9.63	232.6821	11.16	28.86597
0.48	-113.638	2.01	-208.959	3.54	-273.026	5.07	-195.188	6.60	-192.913	8.13	-2.26928	9.66	137.9591	11.19	193.0446
0.51	244.298	2.04	12.34034	3.57	-15.8011	5.10	-168.124	6.63	-173.633	8.16	-49.3314	9.69	-177.225	11.22	-218.42
0.54	-26.8182	2.07	253.3991	3.60	324.1719	5.13	229.9279	6.66	-190.997	8.19	-301.168	9.72	-177.704	11.25	104.0696
0.57	209.0912	2.10	240.8252	3.63	256.2731	5.16	20.4834	6.69	262.0211	8.22	-192.554	9.75	-124.296	11.28	-149.443
0.60	-270.032	2.13	193.8828	3.66	164.0648	5.19	209.4504	6.72	76.28736	8.25	189.5718	9.78	187.7755	11.31	146.9404
0.63	14.85511	2.16	-213.031	3.69	-167.047	5.22	-122.38	6.75	170.7709	8.28	185.0212	9.81	-42.2661	11.34	4.197272
0.66	-304.281	2.19	-174.112	3.72	-121.781	5.25	115.0867	6.78	-118.188	8.31	172.5671	9.84	212.564	11.37	244.777
0.69	28.50672	2.22	-209.319	3.75	-117.709	5.28	-299.371	6.81	113.2904	8.34	-234.466	9.87	-119.146	11.40	78.44288
0.72	199.9901	2.25	189.0928	3.78	38.8053	5.31	-107.171	6.84	-161.897	8.37	-26.2195	9.90	8.388556	11.43	-232.91
0.75	277.948	2.28	108.0214	3.81	-54.7202	5.34	44.6731	6.87	109.2189	8.40	-131.96	9.93	-283.445	11.46	-181.057
0.78	109.2189	2.31	140.5936	3.84	192.8051	5.37	313.035	6.90	-84.1789	8.43	353.7504	9.96	-85.9752	11.49	-195.188
0.81	-84.658	2.34	-251.471	3.87	-122.739	5.40	105.2671	6.93	277.7085	8.46	-46.5771	9.99	155.6823	11.52	286.0911
0.84	-242.37	2.37	103.11	3.90	69.1023	5.43	-145.132	6.96	47.78663	8.49	190.6495	10.02	244.777	11.55	0.844244
0.87	-136.27	2.40	-221.05	3.93	-185.608	5.46	-175.908	6.99	-209.558	8.52	-63.462	10.05	109.6979	11.58	152.0897
0.90	133.89	2.43	-74.84	3.96	-21.5492	5.49	-128.247	7.02	-278.056	8.55	51.61866	10.08	-155.311	11.61	-131.241
0.93	-11.13	2.46	-86.33	3.99	-64.6595	5.52	364.049	7.05	-204.768	8.58	-285.121	10.11	-97.9503	11.64	99.04005
0.96	161.91	2.49	298.66	4.02	243.9387	5.55	-56.277	7.08	353.7504	8.61	-85.2567	10.14	-159.502	11.67	-276.619
0.99	-211.83	2.52	39.76	4.05	55.57044	5.58	154.7242	7.11	114.7274	8.64	-73.7606	10.17	168.1364	11.70	-58.193
1.02	85.63	2.55	13.30	4.08	-219.019	5.61	-192.075	7.14	149.3355	8.67	256.6323	10.20	22.75867	11.73	55.92969
1.05	-170.28	2.58	-265.84	4.11	-260.093	5.64	2.880011	7.17	-119.984	8.70	5.754034	10.23	213.4022	11.76	156.4008
1.08	155.44	2.61	-148.37	4.14	-233.628	5.67	-205.846	7.20	41.20032	8.73	-64.7793	10.26	-139.504	11.79	149.3355
1.11	51.02	2.64	323.09	4.17	346.0863	5.70	-75.3174	7.23	-242.969	8.76	-265.961	10.29	88.14271	11.82	-260.213
1.14	282.38	2.67	140.95	4.20	135.3246	5.73	-85.616	7.26	35.09302	8.79	-80.5864	10.32	-157.227	11.85	-198.781
1.17	65.51	2.70	155.92	4.23	148.2577	5.76	301.8982	7.29	-74.2396	8.82	264.0569	10.35	159.3945	11.88	-183.812
1.20	-90.65	2.73	-280.93	4.26	-252.309	5.79	28.62647	7.32	317.1066	8.85	138.3184	10.38	-34.9613	11.91	379.1376
1.23	-281.53	2.76	-106.45	4.29	53.29517	5.82	-48.1339	7.35	16.41187	8.88	192.3261	10.41	279.2653	11.94	4.077521
1.26	-200.10	2.79	-145.37	4.32	-172.914	5.85	-156.149	7.38	-143.695	8.91	-285.241	10.44	-99.2676	11.97	157.239
1.29	153.89	2.82	182.99	4.35	66.58753	5.88	-74.2396	7.41	-183.093	8.94	32.33875	10.47	-75.3174	12.00	-274.823
1.32	232.56	2.85	-78.79	4.38	-100.585	5.91	256.2731	7.44	-137.827	8.97	-185.369	10.50	-273.266		
1.35	146.58	2.88	200.11	4.41	265.1346	5.94	-36.2786	7.47	371.713	9.00	207.0554	10.53	-143.096		
1.38	-194.47	2.91	-139.38	4.44	29.82398	5.97	207.0554	7.50	-66.4558	9.03	-17.9567	10.56	172.3276		
1.41	1.56	2.94	98.92	4.47	-164.771	6.00	-258.776	7.53	169.0944	9.06	303.2155	10.59	226.2156		
1.44	-116.03	2.97	-189.68	4.50	-276.499	6.03	3.838019	7.56	-191.835	9.09	-5.26306	10.62	156.4008		
1.47	169.09	3.00	150.65	4.53	-118.188	6.06	-180.459	7.59	40.84107	9.12	-66.4558	10.65	-222.97		
1.50	-116.51	3.03	-32.69	4.56	313.035	6.09	34.85352	7.62	-291.348	9.15	-302.365	10.68	-0.47302		

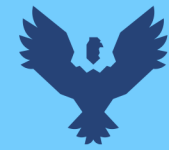


### 3.5.8.12 Registro de $a_{m\acute{a}x}$ de la estructura para $f=3.5$ hz, sin Amortiguador de Masa

Sintonizada al 5.98%

HOJA DE TOMA DE DATOS DE ACELERACIÓN MÁX. EXPERIMENTAL DE LA ESTRUCTURA															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco						Fecha:		18/11/2020					
		Bohon Vidal Ccana Ccapatinta													
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
ACELERACIÓN MÁXIMA DE VIBRACIÓN FORZZADA															
t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )		
0.00	0	1.53	-350.922	3.06	-596.771	4.59	-594.017	6.12	33.35843	7.65	416.5616	9.18	626.1258	10.71	752.463
0.03	594.8708	1.56	465.0607	3.09	717.4958	4.62	-72.8607	6.15	817.9668	7.68	-511.03	9.21	-443.131	10.74	-717.121
0.06	-732.09	1.59	-801.545	3.12	-632.577	4.65	60.3024	6.18	-690.297	7.71	565.0528	9.24	780.0058	10.77	693.9048
0.09	227.2353	1.62	164.845	3.15	505.5365	4.68	240.1684	6.21	642.5316	7.74	-702.511	9.27	-774.482	10.80	-647.665
0.12	-402.655	1.65	62.09867	3.18	-773.404	4.71	41.38175	6.24	-560.127	7.77	267.9506	9.30	330.5804	10.83	630.4368
0.15	580.7401	1.68	278.1294	3.21	642.7712	4.74	-801.426	6.27	790.1846	7.80	-289.011	9.33	-518.334	10.86	-310.926
0.18	69.16397	1.71	-282.904	3.24	-338.229	4.77	664.6856	6.30	-805.018	7.83	654.5067	9.36	755.3371	10.89	781.6823
0.21	-504.922	1.74	-476.182	3.27	742.6435	4.80	-262.546	6.33	184.2447	7.86	-686.824	9.39	-456.902	10.92	-813.76
0.24	407.8197	1.77	188.7952	3.30	-768.734	4.83	519.9066	6.36	61.85916	7.89	640.2564	9.42	13.24027	10.95	505.776
0.27	-445.526	1.80	-303.381	3.33	365.0686	4.86	-618.087	6.39	295.8526	7.92	-325.535	9.45	-740.113	10.98	-719.755
0.30	721.3278	1.83	500.3872	3.36	8.569979	4.89	619.4197	6.42	-267.097	7.95	761.0851	9.48	381.3548	11.01	323.7545
0.33	-674.849	1.86	-834.118	3.39	711.5082	4.92	-423.252	6.45	-453.31	7.98	-763.345	9.51	-387.926	11.04	-663.113
0.36	627.8023	1.89	625.2875	3.42	-266.139	4.95	471.168	6.48	211.4281	8.01	631.0356	9.54	566.1305	11.07	689.474
0.39	-390.321	1.92	-477.499	3.45	315.6115	4.98	-711.373	6.51	-27.1158	8.04	-502.647	9.57	-110.941	11.10	-625.392
0.42	775.2157	1.95	479.3111	3.48	-553.182	5.01	519.9066	6.54	445.9005	8.07	725.0401	9.60	-27.5948	11.13	502.902
0.45	-799.031	1.98	-742.628	3.51	98.38321	5.04	-59.0893	6.57	-596.651	8.10	-269.492	9.63	-708.978	11.16	-571.264
0.48	128.4407	2.01	542.5396	3.54	-520.131	5.07	409.3765	6.60	280.1652	8.13	294.4156	9.66	197.6568	11.19	598.104
0.51	-528.034	2.04	-129.623	3.57	674.8644	5.10	-157.285	6.63	-602.759	8.16	-550.188	9.69	-41.9649	11.22	-504.323
0.54	700.3714	2.07	772.9405	3.60	-387.686	5.13	-139.442	6.66	345.669	8.19	108.2028	9.72	406.263	11.25	715.1007
0.57	-206.742	2.10	-151.178	3.63	2.223177	5.16	-34.0614	6.69	-370.801	8.22	55.51236	9.75	-221.711	11.28	-694.967
0.60	-506	2.13	-86.8715	3.66	-358.706	5.19	-21.1283	6.72	719.292	8.25	174.3053	9.78	-200.036	11.31	686.4803
0.63	187.7174	2.16	-98.3676	3.69	81.97733	5.22	532.6003	6.75	-701.434	8.28	-100.403	9.81	-595.454	11.34	-709.696
0.66	15.39578	2.19	49.76431	3.72	232.6241	5.25	272.3814	6.78	648.8785	8.31	-545.877	9.84	-58.1313	11.37	626.964
0.69	100.7782	2.22	571.1601	3.75	-72.5014	5.28	7.851473	6.81	-538.812	8.34	245.1979	9.87	54.1951	11.40	-511.389
0.72	18.38956	2.25	-336.672	3.78	346.8665	5.31	-803.821	6.84	762.8814	8.37	76.70828	9.90	264.3581	11.43	777.012
0.75	58.02713	2.28	-54.7783	3.81	-504.084	5.34	217.2959	6.87	-601.441	8.40	707.9157	9.93	24.85611	11.46	-580.605
0.78	-527.795	2.31	-748.136	3.84	491.4059	5.37	-267.696	6.90	509.7278	8.43	-82.0815	9.96	-501.33	11.49	546.8506
0.81	387.8213	2.34	168.0783	3.87	-111.9	5.40	524.3374	6.93	-700.356	8.46	343.0345	9.99	225.3192	11.52	-695.446
0.84	14.80	2.37	-312.00	3.90	745.6372	5.43	-830.765	6.96	674.6249	8.49	-482.768	10.02	10.84525	11.55	681.6902
0.87	813.30	2.40	485.42	3.93	-227.459	5.46	614.0309	6.99	-534.501	8.52	492.1244	10.05	497.3935	11.58	-696.404
0.90	-698.56	2.43	-554.38	3.96	267.9506	5.49	-424.45	7.02	680.4927	8.55	-116.45	10.08	10.7255	11.61	710.9095
0.93	291.54	2.46	595.47	3.99	-622.158	5.52	493.5614	7.05	-726.581	8.58	588.1647	10.11	297.2896	11.64	-596.532
0.96	-554.62	2.49	-542.76	4.02	665.0448	5.55	-724.545	7.08	146.8824	8.61	-248.296	10.14	-544.081	11.67	303.9956
0.99	617.74	2.52	506.02	4.05	-623.595	5.58	533.4385	7.11	-496.18	8.64	-28.9121	10.17	375.6067	11.70	-806.695
1.02	-610.78	2.55	-734.48	4.08	323.8743	5.61	-87.1111	7.14	633.5503	8.67	-620.482	10.20	4.378694	11.73	801.9202
1.05	397.52	2.58	531.28	4.11	-758.555	5.64	746.9545	7.17	-253.804	8.70	675.3434	10.23	808.3868	11.76	-254.283
1.08	-717.24	2.61	-229.61	4.14	738.6917	5.67	-168.302	7.20	486.8554	8.73	-603.358	10.26	-193.809	11.79	515.8351
1.11	712.95	2.64	488.65	4.17	-449.717	5.70	489.1306	7.23	-740.832	8.76	536.073	10.29	297.5291	11.82	-776.038
1.14	-498.10	2.67	-119.08	4.20	579.9019	5.73	-622.039	7.26	281.8417	8.79	-785.738	10.32	-489.235	11.85	285.075
1.17	78.03	2.70	-61.60	4.23	-727.659	5.76	-9.15317	7.29	-198	8.82	487.4541	10.35	625.6468	11.88	-180.637
1.20	-452.35	2.73	-151.30	4.26	412.3703	5.79	541.2223	7.32	461.7077	8.85	-624.913	10.38	-279.072	11.91	794.1364
1.23	19.35	2.76	104.25	4.29	-794.72	5.82	289.7453	7.35	-125.072	8.88	710.3107	10.41	595.3498	11.94	-132.736
1.26	104.85	2.79	595.71	4.32	623.0122	5.85	-17.5357	7.38	-76.2137	8.91	-633.535	10.44	-387.806	11.97	504.818
1.29	13.48	2.82	359.56	4.35	-379.064	5.88	-794.36	7.41	-628.505	8.94	443.745	10.47	390.4558	12.00	-652.934
1.32	292.26	2.85	-43.16	4.38	488.0529	5.91	203.2851	7.44	71.79849	8.97	-813.64	10.50	-801.905		
1.35	-535.22	2.88	-693.05	4.41	-713.528	5.94	-276.078	7.47	586.4882	9.00	813.057	10.53	677.6187		
1.38	391.05	2.91	127.00	4.44	472.3655	5.97	465.3002	7.50	357.0453	9.03	-341.342	10.56	-604.675		
1.41	-406.37	2.94	-336.55	4.47	-27.4751	6.00	-611.501	7.53	-47.3537	9.06	500.7465	10.59	518.7091		
1.44	712.35	2.97	497.87	4.50	405.6642	6.03	284.4762	7.56	-695.566	9.09	-758.555	10.62	-827.172		
1.47	-693.77	3.00	-501.93	4.53	-201.952	6.06	-535.099	7.59	153.4687	9.12	428.0576	10.65	610.4384		
1.50	631.28	3.03	558.71	4.56	-185.906	6.09	365.6674	7.62	-331.044	9.15	-517.017	10.68	-447.442		





### 3.5.8.13 Registro de $a_{m\acute{a}x}$ de la estructura para $f=3$ hz, con Amortiguador de Masa

Sintonizada al 7.33%

HOJA DE TOMA DE DATOS DE ACELERACIÓN MÁX. EXPERIMENTAL DE LA ESTRUCTURA															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco								Fecha:		18/11/2020			
		Bohon Vidal Ccana Ccapatinta													
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )
0.00	0	1.53	-222.872	3.06	-36.8983	4.59	229.1884	6.12	154.823	7.65	-149.823	9.18	-236.284	10.71	274.4543
0.03	-235.086	1.56	-218.321	3.09	153.9848	4.62	233.1402	6.15	-143.716	7.68	-227.781	9.21	181.4078	10.74	198.1729
0.06	-275.083	1.59	70.99736	3.12	287.6269	4.65	233.1402	6.18	-277.119	7.71	-156.769	9.24	221.2848	10.77	-108.15
0.09	30.28203	1.62	159.7328	3.15	214.0998	4.68	233.1402	6.21	-222.393	7.74	216.4948	9.27	257.5694	10.80	-213.172
0.12	244.277	1.65	261.4014	3.18	-158.685	4.71	233.1402	6.24	122.7298	7.77	188.9521	9.30	110.1559	10.83	-247.301
0.15	215.417	1.68	195.0594	3.21	-191.617	4.74	233.1402	6.27	192.3051	7.80	247.0313	9.33	-133.537	10.86	95.18706
0.18	221.0453	1.71	-76.7753	3.24	-234.727	4.77	233.1402	6.30	233.1402	7.83	77.10466	9.36	-212.333	10.89	230.7452
0.21	70.63811	1.74	-195.449	3.27	108.1202	4.80	233.1402	6.33	76.2664	7.86	-226.704	9.39	-201.436	10.92	267.868
0.24	-123.718	1.77	-245.864	3.30	157.0983	4.83	233.1402	6.36	-128.029	7.89	-257.001	9.42	201.1667	10.95	75.90715
0.27	-258.318	1.80	-23.9652	3.33	273.4963	4.86	233.1402	6.39	-243.229	7.92	-162.637	9.45	194.8199	10.98	-129.705
0.30	-171.498	1.83	349.0591	3.36	190.8681	4.89	233.1402	6.42	-198.323	7.95	197.8136	9.48	189.5508	11.01	-198.562
0.33	231.7032	1.86	225.5959	3.39	-109.348	4.92	233.1402	6.45	169.0734	7.98	231.4637	9.51	-11.7506	11.04	-210.896
0.36	145.8417	1.89	214.459	3.42	-219.519	4.95	233.1402	6.48	241.882	8.01	195.8976	9.54	-225.386	11.07	122.2508
0.39	227.7514	1.92	11.36137	3.45	-259.156	4.98	233.1402	6.51	186.078	8.04	62.01604	9.57	-278.077	11.10	203.2024
0.42	122.7298	1.95	-160.841	3.48	80.21819	5.01	233.1402	6.54	51.71745	8.07	-106.833	9.60	-201.556	11.13	274.574
0.45	-154.613	1.98	-251.851	3.51	259.4854	5.04	233.1402	6.57	-152.218	8.10	-219.638	9.63	207.8727	11.16	14.11565
0.48	-211.256	2.01	-85.2777	3.54	237.092	5.07	233.1402	6.60	-228.021	8.13	-238.559	9.66	230.1464	11.19	-223.83
0.51	-199.64	2.04	249.6658	3.57	129.7951	5.10	233.1402	6.63	-241.792	8.16	30.76103	9.69	184.162	11.22	-205.148
0.54	51.5977	2.07	254.6954	3.60	-36.8983	5.13	233.1402	6.66	-5.28401	8.19	230.0267	9.72	-120.844	11.25	-269.574
0.57	285.9504	2.10	218.6503	3.63	-99.4083	5.16	233.1402	6.69	199.8494	8.22	271.7	9.75	-221.075	11.28	-86.5949
0.60	253.7374	2.13	8.247849	3.66	-231.374	5.19	233.1402	6.72	232.7809	8.25	97.46233	9.78	-236.044	11.31	214.459
0.63	116.2632	2.16	-214.848	3.69	-52.2264	5.22	233.1402	6.75	-3.12849	8.28	-232.452	9.81	-116.413	11.34	234.6969
0.66	-69.231	2.19	-281.071	3.72	310.2598	5.25	233.1402	6.78	-236.523	8.31	-216.884	9.84	156.0206	11.37	58.78276
0.69	-224.788	2.22	-199.52	3.75	267.2692	5.28	233.1402	6.81	-189.701	8.34	-223.59	9.87	290.7404	11.40	-334.36
0.72	-266.221	2.25	264.8742	3.78	105.2461	5.31	233.1402	6.84	-255.564	8.37	-6.96053	9.90	234.0982	11.43	-275.562
0.75	-92.343	2.28	222.9613	3.81	-118.449	5.34	233.1402	6.87	-73.9013	8.40	190.8681	9.93	-219.998	11.46	-189.581
0.78	198.5322	2.31	192.6644	3.84	-150.422	5.37	233.1402	6.90	190.6286	8.43	258.4076	9.96	-253.528	11.49	-42.5266
0.81	287.1479	2.34	-52.8251	3.87	-251.013	5.40	233.1402	6.93	254.2164	8.46	65.24931	9.99	-246.103	11.52	157.6971
0.84	215.78	2.37	-203.59	3.90	-204.071	5.43	233.1402	6.96	133.1481	8.49	-261.791	10.02	-98.6898	11.55	248.3486
0.87	-121.92	2.40	-293.40	3.93	174.4622	5.46	233.1402	6.99	-241.553	8.52	-265.623	10.05	180.0905	11.58	114.467
0.90	-197.96	2.43	-178.08	3.96	236.4932	5.49	233.1402	7.02	-163.475	8.55	-227.302	10.08	289.4231	11.61	-384.416
0.93	-268.74	2.46	150.87	3.99	211.7048	5.52	233.1402	7.05	-211.974	8.58	-79.7691	10.11	155.9008	11.64	-228.5
0.96	91.95	2.49	235.54	4.02	-120.365	5.55	233.1402	7.08	-72.5841	8.61	190.3891	10.14	-200.478	11.67	-182.156
0.99	218.17	2.52	205.00	4.05	-237.721	5.58	233.1402	7.11	192.0656	8.64	275.532	10.17	-272.448	11.70	89.91801
1.02	218.29	2.55	-99.29	4.08	-224.548	5.61	233.1402	7.14	290.6207	8.67	119.6163	10.20	-222.632	11.73	110.0362
1.05	-60.49	2.58	-230.30	4.11	-136.052	5.64	233.1402	7.17	230.7452	8.70	-254.845	10.23	-80.3679	11.76	252.1806
1.08	-344.66	2.61	-234.49	4.14	154.4638	5.67	233.1402	7.20	-212.573	8.73	-287.298	10.26	128.7173	11.79	71.95537
1.11	-232.57	2.64	-190.18	4.17	199.9692	5.70	233.1402	7.23	-263.228	8.76	-218.68	10.29	258.7669	11.82	-208.262
1.14	-196.53	2.67	199.61	4.20	204.3999	5.73	233.1402	7.26	-289.333	8.79	17.70818	10.32	192.6644	11.85	-275.322
1.17	-77.25	2.70	282.72	4.23	-77.8531	5.76	233.1402	7.29	-79.7691	8.82	160.8106	10.35	-83.0024	11.88	-213.531
1.20	203.44	2.73	233.14	4.26	-228.979	5.79	233.1402	7.32	166.4389	8.85	241.2832	10.38	-247.42	11.91	147.2787
1.23	254.82	2.76	-90.91	4.29	-228.38	5.82	233.1402	7.35	197.2149	8.88	147.7577	10.41	-263.826	11.94	200.2087
1.26	112.31	2.79	-250.41	4.32	-116.772	5.85	233.1402	7.38	218.8898	8.91	-251.612	10.44	43.33488	11.97	284.0343
1.29	-228.86	2.82	-292.69	4.35	164.1636	5.88	233.1402	7.41	-38.3353	8.94	-202.634	10.47	174.4622	12.00	165.6006
1.32	-219.52	2.85	-86.95	4.38	259.6051	5.91	233.1402	7.44	-270.652	8.97	-193.054	10.50	253.2583		
1.35	-235.92	2.88	157.94	4.41	211.7048	5.94	233.1402	7.47	-236.164	9.00	61.29753	10.53	199.3704		
1.38	-22.77	2.91	213.50	4.44	-68.752	5.97	233.1402	7.50	23.45622	9.03	117.7002	10.56	-125.514		
1.41	160.45	2.94	194.22	4.47	-235.924	6.00	233.1402	7.53	156.2601	9.06	237.2117	10.59	-189.82		
1.44	249.79	2.97	-110.78	4.50	-257.839	6.03	233.1402	7.56	217.4528	9.09	191.7063	10.62	-238.319		
1.47	152.19	3.00	-226.70	4.53	-14.2653	6.06	233.1402	7.59	182.9645	9.12	-124.197	10.65	76.98491		
1.50	-192.22	3.03	-228.26	4.56	158.2958	6.09	233.1402	7.62	60.10002	9.15	-197.724	10.68	169.1932		



### 3.5.8.14 Registro de $a_{m\acute{a}x}$ de la estructura para $f=3.25$ hz, con Amortiguador de Masa

Sintonizada al 7.33%

HOJA DE TOMA DE DATOS DE ACELERACIÓN MÁX. EXPERIMENTAL DE LA ESTRUCTURA															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco						Fecha:		18/11/2020					
		Bohon Vidal Ccana Ccpatinta													
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )		
0.00	0	1.53	224.6747	3.06	-277.561	4.59	-290.374	6.12	-139.967	7.65	40.97669	9.18	-103.682	10.71	-93.3839
0.03	34.39038	1.56	-169.546	3.09	-149.906	4.62	-186.67	6.15	103.2472	7.68	-196.01	9.21	197.0122	10.74	157.8536
0.06	-96.9764	1.59	137.7355	3.12	-127.633	4.65	-56.7401	6.18	153.9019	7.71	242.9966	9.24	-315.163	10.77	-278.758
0.09	-62.2487	1.62	-184.993	3.15	368.3759	4.68	321.7927	6.21	107.199	7.74	-171.462	9.27	46.24573	10.80	44.20996
0.12	351.2515	1.65	119.7728	3.18	-95.6592	4.71	-73.0262	6.24	-145.356	7.77	54.26905	9.30	-57.5784	10.83	-77.6965
0.15	-131.944	1.68	77.02173	3.21	218.5674	4.74	153.0636	6.27	-130.028	7.80	-193.855	9.33	40.37793	10.86	191.6234
0.18	176.7743	1.71	307.4226	3.24	-180.443	4.77	-126.196	6.30	-66.5597	7.83	-48.7168	9.36	-59.1351	10.89	-68.835
0.21	-352.166	1.74	11.8772	3.27	139.1725	4.80	72.23169	6.33	299.2795	7.86	327.6605	9.39	294.729	10.92	244.1941
0.24	-16.7433	1.77	-51.9501	3.30	-201.639	4.83	-164.037	6.36	-91.4679	7.89	178.0916	9.42	-37.3405	10.95	-44.765
0.27	-95.5394	1.80	-278.16	3.33	-64.7634	4.86	74.50696	6.39	165.6375	7.92	134.2627	9.45	-72.3077	10.98	129.2332
0.30	153.3031	1.83	-124.639	3.36	82.29078	4.89	-92.7852	6.42	-315.761	7.95	-183.077	9.48	-230.738	11.01	-222.954
0.33	-112.424	1.86	217.1304	3.39	271.4973	4.92	240.8411	6.45	8.04517	7.98	-130.507	9.51	-177.09	11.04	-66.2004
0.36	264.3123	1.89	191.3839	3.42	86.72156	4.95	-58.8956	6.48	-49.1958	8.01	-169.665	9.54	191.6234	11.07	71.27369
0.39	-71.3497	1.92	144.202	3.45	57.74183	4.98	74.50696	6.51	183.6001	8.04	230.782	9.57	106.6002	11.10	235.6918
0.42	30.55835	1.95	-214.213	3.48	-137.333	5.01	-209.542	6.54	-69.4337	8.07	-55.5426	9.60	129.3529	11.13	65.64539
0.45	-158.768	1.98	-41.6515	3.51	-61.7696	5.04	-63.9252	6.57	240.9608	8.10	150.0698	9.63	-201.639	11.16	-70.0325
0.48	-193.136	2.01	-113.263	3.54	320.5952	5.07	97.25965	6.60	-65.6017	8.13	-205.471	9.66	-130.986	11.19	-131.944
0.51	267.1863	2.04	235.6918	3.57	-107.754	5.10	292.813	6.63	-14.7075	8.16	-51.7106	9.69	-83.8038	11.22	-81.7681
0.54	64.20838	2.07	-94.5814	3.60	154.1414	5.13	-78.6545	6.66	-203.555	8.19	-122.004	9.72	325.6248	11.25	362.9871
0.57	134.8615	2.10	178.2113	3.63	-328.934	5.16	93.66712	6.69	-224.631	8.22	230.9017	9.75	50.91602	11.28	56.54432
0.60	-261.874	2.13	-335.401	3.66	-39.1367	5.19	-145.476	6.72	64.80713	8.25	-136.734	9.78	168.8707	11.31	151.0278
0.63	41.57544	2.16	36.18665	3.69	-95.1802	5.22	-145.116	6.75	49.59876	8.28	186.1149	9.81	-297.679	11.34	-270.615
0.66	-59.9734	2.19	-34.8257	3.72	140.9688	5.25	269.9406	6.78	78.5785	8.31	-334.802	9.84	10.91919	11.37	-45.3638
0.69	303.3511	2.22	279.2811	3.75	-82.4866	5.28	-128.95	6.81	-211.578	8.34	45.16797	9.87	-98.2937	11.40	-49.7946
0.72	-46.5613	2.25	-49.1958	3.78	250.4211	5.31	55.70606	6.84	-134.339	8.37	-114.46	9.90	149.2316	11.43	71.99219
0.75	305.9856	2.28	207.7898	3.81	-21.0543	5.34	-99.9702	6.87	-156.373	8.40	299.2795	9.93	-111.227	11.46	-153.499
0.78	-77.2175	2.31	-77.936	3.84	117.6173	5.37	-43.4477	6.90	356.0415	8.43	47.08399	9.96	267.300	11.49	279.4009
0.81	-69.5535	2.34	121.6888	3.87	-222.715	5.40	10.67969	6.93	-107.994	8.46	109.9533	9.99	-118.053	11.52	-113.023
0.84	-210.98	2.37	-202.00	3.90	-62.2487	5.43	175.457	6.96	180.6063	8.49	-101.048	10.02	131.0294	11.55	65.76514
0.87	-154.22	2.40	-61.65	3.93	99.29541	5.46	-26.3234	6.99	-232.295	8.52	-15.6655	10.05	-158.528	11.58	-117.933
0.90	94.51	2.43	55.71	3.96	47.56299	5.49	-233.373	7.02	-45.8428	8.55	-105.599	10.08	-42.7292	11.61	-42.2502
0.93	129.23	2.46	251.02	3.99	46.96424	5.52	-181.521	7.05	-184.035	8.58	193.1802	10.11	-78.894	11.64	-17.4618
0.96	114.02	2.49	91.15	4.02	-245.108	5.55	-180.682	7.08	56.42456	8.61	-98.2937	10.14	235.6918	11.67	203.7183
0.99	-156.25	2.52	14.99	4.05	-135.416	5.58	240.9608	7.11	-133.5	8.64	204.796	10.17	58.46033	11.70	79.89576
1.02	-98.89	2.55	-79.25	4.08	-137.931	5.61	15.82898	7.14	314.9669	8.67	-188.945	10.20	-110.149	11.73	-248.701
1.05	-50.63	2.58	319.04	4.11	357.1193	5.64	127.1974	7.17	-59.6141	8.70	-14.1088	10.23	-149.308	11.76	-133.74
1.08	245.15	2.61	-115.18	4.14	-129.309	5.67	-229.661	7.20	36.5459	8.73	-67.0387	10.26	-90.6296	11.79	-147.152
1.11	-108.35	2.64	183.36	4.17	162.6437	5.70	-20.9346	7.23	-227.146	8.76	126.9579	10.29	343.1084	11.82	318.799
1.14	214.97	2.67	-314.08	4.20	-178.168	5.73	-120.448	7.26	-33.0294	8.79	-62.7277	10.32	-89.3124	11.85	-53.1476
1.17	-194.21	2.70	-2.25	4.23	-47.8785	5.76	222.1599	7.29	166.4757	8.82	270.8986	10.35	151.2673	11.88	138.5737
1.20	-2.13	2.73	-125.72	4.26	-202.836	5.79	-207.866	7.32	200.3652	8.85	-116.137	10.38	-198.765	11.91	-116.017
1.23	-204.15	2.76	-48.12	4.29	-65.1227	5.82	226.3512	7.35	67.56141	8.88	-47.8785	10.41	87.08081	11.94	77.50074
1.26	-95.18	2.79	-104.04	4.32	-130.626	5.85	-183.197	7.38	-217.566	8.91	-186.55	10.44	-205.351	11.97	-193.975
1.29	137.74	2.82	263.47	4.35	268.0245	5.88	100.0139	7.41	-187.748	8.94	-128.112	10.47	-47.2798	12.00	53.79004
1.32	189.35	2.85	120.25	4.38	-36.6219	5.91	-210.141	7.44	-155.415	8.97	190.3062	10.50	-133.86		
1.35	62.77	2.88	21.46	4.41	40.97669	5.94	122.2876	7.47	316.1644	9.00	172.2238	10.53	245.7509		
1.38	-78.65	2.91	-219.48	4.44	-247.863	5.97	86.24256	7.50	47.80249	9.03	134.9812	10.56	123.2456		
1.41	-21.77	2.94	-179.84	4.47	-73.3855	6.00	307.3029	7.53	137.2565	9.06	-162.72	10.59	31.87561		
1.44	-108.47	2.97	96.54	4.50	228.2672	6.03	-114.101	7.56	-227.864	9.09	-8.60022	10.62	-115.897		
1.47	202.52	3.00	68.64	4.53	60.37635	6.06	-71.23	7.59	61.93311	9.12	-65.4819	10.65	-63.4462		
1.50	-129.67	3.03	61.57	4.56	113.1865	6.09	-304.265	7.62	-114.221	9.15	209.4663	10.68	289.5797		



### 3.5.8.15 Registro de $a_{\max}$ de la estructura para $f=3.5$ hz, sin Amortiguador de Masa

Sintonizada al 7.33%

HOJA DE TOMA DE DATOS DE ACELERACIÓN MÁX. EXPERIMENTAL DE LA ESTRUCTURA															
TESISTAS:		Lening Rafael Apaza Surco						Fecha:		18/11/2020					
		Bohon Vidal Ccana Ccapatinta													
LUGAR:		Trabajo en gabinete													
t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	a (cm/s <sup>2</sup> )		
0.00	0	1.53	-572.605	3.06	-201.856	4.59	34.53289	6.12	737.5909	7.65	-491.294	9.18	-128.448	10.71	662.1478
0.03	-396.69	1.56	-25.8216	3.09	531.7389	4.62	241.9416	6.15	-29.8931	7.68	659.2737	9.21	38.60442	10.74	-768.757
0.06	614.1276	1.59	554.1324	3.12	-739.897	4.65	-99.9475	6.18	521.2009	7.71	-665.412	9.24	623.2287	10.77	555.2101
0.09	-210.717	1.62	-391.062	3.15	570.7778	4.68	-471.894	6.21	-680.979	7.74	338.9399	9.27	244.4564	10.80	-486.623
0.12	565.2692	1.65	321.4562	3.18	-336.336	4.71	272.2386	6.24	423.2446	7.77	-474.768	9.30	-146.171	10.83	814.95
0.15	-775.343	1.68	-856.414	3.21	785.0123	4.74	-269.036	6.27	9.624685	7.80	760.7028	9.33	-782.528	10.86	-499.916
0.18	327.803	1.71	726.6935	3.24	-422.796	4.77	479.0485	6.30	625.7435	7.83	-67.9739	9.36	247.8094	10.89	756.751
0.21	-550.211	1.74	-274.185	3.27	710.5272	4.80	-632.36	6.33	-259.815	7.86	494.4964	9.39	-85.5773	10.92	-722.892
0.24	488.1496	1.77	473.54	3.30	-625.415	4.83	560.5989	6.36	-260.294	7.89	-721.575	9.42	386.7205	10.95	186.6166
0.27	-458.362	1.80	-861.923	3.33	617.4806	4.86	-670.321	6.39	98.59966	7.92	245.2946	9.45	91.29485	10.98	-647.209
0.30	818.9018	1.83	772.0792	3.36	-335.138	4.89	802.0169	6.42	-105.576	7.95	521.5601	9.48	214.1594	11.01	749.6857
0.33	-755.704	1.86	-152.877	3.39	463.7204	4.92	-266.282	6.45	451.5058	7.98	-278.137	9.51	-724.209	11.04	-616.553
0.36	174.6415	1.89	477.0127	3.42	-566.258	4.95	674.1229	6.48	165.301	8.01	-4.02693	9.54	329.8388	11.07	255.8327
0.39	-619.307	1.92	-700.618	3.45	-79.3503	4.98	-777.498	6.51	55.60906	8.04	-171.439	9.57	-222.692	11.10	-817.376
0.42	747.0512	1.95	549.5818	3.48	7.349417	5.01	690.2892	6.54	-846.834	8.07	-42.946	9.60	636.4013	11.13	700.4681
0.45	-344.599	1.98	-184.851	3.51	205.178	5.04	-249.995	6.57	737.1119	8.10	-310.35	9.63	-777.379	11.16	-675.71
0.48	487.7903	2.01	401.5696	3.54	-244.966	5.07	517.2491	6.60	-530.811	8.13	547.9053	9.66	590.8959	11.19	561.9162
0.51	-489.976	2.04	61.47686	3.57	23.7553	5.10	-816.058	6.63	569.9395	8.16	-413.815	9.69	-476.684	11.22	-662.059
0.54	452.344	2.07	-115.635	3.60	-339.928	5.13	229.6072	6.66	-875.934	8.19	-91.9241	9.72	792.7961	11.25	247.0909
0.57	-662.418	2.10	-128.089	3.63	184.7006	5.16	-511.891	6.69	738.0699	8.22	-872.461	9.75	-534.404	11.28	208.8903
0.60	617.0016	2.13	14.17522	3.66	102.3119	5.19	652.2084	6.72	-285.681	8.25	298.7035	9.78	600.7155	11.31	-159.224
0.63	-684.691	2.16	597.7217	3.69	-67.7344	5.22	-314.062	6.75	541.1993	8.28	-245.445	9.81	-716.186	11.34	88.30108
0.66	383.4872	2.19	-363.28	3.72	68.90142	5.25	233.4393	6.78	-677.746	8.31	421.6878	9.84	207.9323	11.37	-502.071
0.69	-887.669	2.22	245.1749	3.75	-553.205	5.28	-726.365	6.81	424.2026	8.34	-674.872	9.87	-716.785	11.40	-209.041
0.72	762.9781	2.25	-781.929	3.78	384.086	5.31	47.22649	6.84	11.18145	8.37	568.1432	9.90	730.5256	11.43	-46.6583
0.75	-327.115	2.28	720.5862	3.81	-361.484	5.34	-539.673	6.87	319.66	8.40	-440.04	9.93	-313.942	11.46	817.2253
0.78	510.6628	2.31	-309.871	3.84	833.0324	5.37	617.3609	6.90	-262.33	8.43	796.5084	9.96	389.2353	11.49	-300.291
0.81	-713.192	2.34	456.4156	3.87	-290.95	5.40	-51.0891	6.93	401.0906	8.46	-308.554	9.99	-550.091	11.52	-102.702
0.84	456.77	2.37	-591.76	3.90	193.9214	5.43	-634.276	6.96	-558.953	8.49	699.9891	10.02	527.4279	11.55	-225.446
0.87	-16.60	2.40	542.88	3.93	-553.684	5.46	-251.672	6.99	-111.084	8.52	-773.666	10.05	-615.715	11.58	84.5888
0.90	651.61	2.43	-544.94	3.96	672.6858	5.49	145.3025	7.02	30.3416	8.55	232.601	10.08	752.44	11.61	-102.941
0.93	-239.22	2.46	507.31	3.99	-611.883	5.52	718.5505	7.05	188.6524	8.58	-504.945	10.11	-205.807	11.64	488.1496
0.96	412.59	2.49	-702.41	4.02	386.1218	5.55	-774.265	7.08	30.3416	8.61	816.387	10.14	675.9191	11.67	212.2433
0.99	-580.87	2.52	519.05	4.05	-744.567	5.58	576.6456	7.11	-605.177	8.64	-595.717	10.17	-779.295	11.70	-4.86518
1.02	-62.11	2.55	-255.86	4.08	612.3314	5.61	-474.05	7.14	317.0254	8.67	454.4996	10.20	550.5398	11.73	-568.294
1.05	35.97	2.58	446.24	4.11	-557.875	5.64	792.9158	7.17	-193.233	8.70	-746.842	10.23	-474.529	11.76	286.6087
1.08	194.28	2.61	-67.61	4.14	710.8864	5.67	-555.6	7.20	538.3252	8.73	592.0934	10.26	809.681	11.79	37.64641
1.11	-239.82	2.64	-70.37	4.17	-649.844	5.70	580.8368	7.23	-740.256	8.76	-540.272	10.29	-779.654	11.82	438.2134
1.14	-541.71	2.67	-162.94	4.20	283.1359	5.73	-722.892	7.26	572.2148	8.79	173.6835	10.32	319.181	11.85	-78.2725
1.17	314.15	2.70	82.31	4.23	-880.484	5.76	558.3237	7.29	-500.874	8.82	-698.822	10.35	-535.841	11.88	62.43487
1.20	39.92	2.73	599.04	4.26	743.0994	5.79	-688.164	7.32	794.4726	8.85	49.86101	10.38	649.9332	11.91	-17.5588
1.23	464.08	2.76	275.35	4.29	-104.977	5.82	812.1957	7.35	-419.443	8.88	-551.169	10.41	-499.317	11.94	-217.184
1.26	-77.67	2.79	-129.17	4.32	502.879	5.85	-600.147	7.38	705.9766	8.91	597.0032	10.44	312.7144	11.97	244.0971
1.29	305.41	2.82	-310.59	4.35	-689.841	5.88	210.0878	7.41	-723.73	8.94	-187.964	10.47	-515.843	12.00	565.0297
1.32	-577.39	2.85	156.20	4.38	262.5387	5.91	-851.026	7.44	535.571	8.97	-48.5743	10.50	26.38982		
1.35	-668.88	2.88	-91.45	4.41	-121.742	5.94	756.9905	7.47	-355.137	9.00	-705.289	10.53	9.145681		
1.38	528.03	2.91	399.41	4.44	365.4048	5.97	-326.277	7.50	441.9257	9.03	291.6382	10.56	153.2061		
1.41	-64.02	2.94	144.46	4.47	-99.3487	6.00	533.176	7.53	-797.018	9.06	402.1684	10.59	147.8173		
1.44	659.99	2.97	96.68	4.50	-138.268	6.03	-689.841	7.56	301.0986	9.09	400.7314	10.62	-632.72		
1.47	-162.10	3.00	-576.68	4.53	-599.309	6.06	467.1932	7.59	-527.937	9.12	62.07561	10.65	300.0208		
1.50	-182.22	3.03	301.82	4.56	-20.7921	6.09	-347.952	7.62	705.7371	9.15	-105.696	10.68	-192.395		



### 3.5.9 Registro de Desplazamiento por el Metodo de Runge-Kutta en Vibración Libre.

a) Objetivos:

- Registrar los desplazamientos de la estructura a partir de una vibración libre de manera numerica, mediante la implementación de un código de programación en el programa MAPLE, utilizando el método de Runge-Kutta, capaz de resolver ecuaciones diferenciales de segundo grado, para poder apreciar el comportamiento de la estructura en función de desplazamientos máximos.

b) Instrumentos utilizados en la prueba

- Programa Maple.

c) Procedimiento

- Una vez implementado el código de procesamiento de datos, se introduce las propiedades físicas y mecánicas de la estructura para el cálculo de modos de vibración y frecuencias de la estructura.

Para vibración libre solo se considera una deformación inicial en la parte superior de la estructura, para luego el programa proceda al cálculo y resolución de la ecuación de segundo grado en función del tiempo, exportando los resultados en formato Excel para su procesamiento.



### 3.5.9.1 Registro de desplazamientos en vibración libre sin AMS

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																	
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL																	
HOJA DEL MÉTODO RUNGE KUTTA - LIBRE (Desplazamiento)																	
TESISTAS:	Lening Rafael Apaza Surco Bohon Vidal Ccana Ccapatinta Fecha: 11/11/2020																
LUGAR:	Trabajo en gabinete																
MATERIAL:	Hoja de cálculo																
t(s)	d1 (cm)	d2 (cm)	d3 (cm)	d4 (cm)	a4 (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	d1 (cm)	d2 (cm)	d3 (cm)	d4 (cm)	a4 (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	d1 (cm)	d2 (cm)	d3 (cm)	d4 (cm)	a4 (cm/s <sup>2</sup> )
0.00	1.58	3.05	4.53	6.00	-7292.31	2.01	-0.83	-1.32	-1.53	-1.56	151.95	4.02	-0.41	-0.67	-0.84	-0.91	327.66
0.03	1.50	2.03	1.71	1.62	462.47	2.04	-1.14	-2.09	-2.91	-3.40	2449.71	4.05	0.56	0.93	1.16	1.27	-537.65
0.06	-2.06	-2.77	-3.06	-2.98	-379.40	2.07	-0.53	-0.75	-0.77	-0.76	-75.28	4.08	0.75	1.31	1.76	2.00	-1210.59
0.09	-1.67	-2.81	-4.32	-5.40	5338.39	2.10	1.13	1.83	2.22	2.33	-562.28	4.11	0.15	0.23	0.25	0.25	42.67
0.12	-0.64	-0.55	-0.36	-0.15	-1028.85	2.13	1.03	1.85	2.58	2.99	-2016.53	4.14	-0.73	-1.21	-1.53	-1.68	755.14
0.15	2.07	3.25	3.86	4.27	-2022.58	2.16	0.05	-0.03	-0.15	-0.25	465.60	4.17	-0.63	-1.10	-1.48	-1.68	1002.56
0.18	1.62	2.60	3.46	4.20	-3650.12	2.19	-1.25	-2.10	-2.64	-2.88	1196.16	4.20	0.12	0.23	0.33	0.40	-343.09
0.21	-0.43	-0.86	-1.11	-1.12	27.26	2.22	-0.84	-1.48	-1.97	-2.24	1326.16	4.23	0.79	1.34	1.71	1.90	-943.69
0.24	-1.87	-3.22	-4.32	-5.07	3747.39	2.25	0.45	0.79	1.04	1.15	-564.53	4.26	0.46	0.79	1.04	1.18	-658.15
0.27	-1.45	-2.06	-2.30	-2.59	1380.91	2.28	1.21	2.11	2.78	3.11	-1664.13	4.29	-0.38	-0.66	-0.86	-0.97	553.93
0.30	1.36	2.11	2.41	2.25	806.25	2.31	0.59	0.96	1.19	1.28	-437.43	4.32	-0.77	-1.31	-1.72	-1.92	1040.72
0.33	1.59	2.87	4.32	5.22	-4467.81	2.34	-0.87	-1.43	-1.78	-1.91	649.98	4.35	-0.24	-0.41	-0.52	-0.57	239.70
0.36	1.09	1.16	1.02	0.85	868.08	2.37	-1.06	-1.91	-2.61	-2.99	1875.06	4.38	0.59	0.99	1.27	1.41	-704.68
0.39	-1.91	-3.07	-3.32	-3.27	-260.81	2.40	-0.26	-0.34	-0.32	-0.25	-358.32	4.41	0.67	1.16	1.53	1.74	-1013.84
0.42	-1.23	-2.50	-3.72	-4.72	4910.81	2.43	1.15	1.88	2.29	2.46	-816.47	4.44	0.01	0.00	-0.03	-0.06	162.53
0.45	-0.39	-0.16	0.46	0.68	-1145.91	2.46	0.84	1.56	2.17	2.52	-1740.34	4.47	-0.72	-1.21	-1.53	-1.70	807.47
0.48	2.15	3.37	4.00	3.99	39.68	2.49	-0.14	-0.32	-0.56	-0.73	856.13	4.50	-0.51	-0.89	-1.20	-1.37	841.46
0.51	1.01	1.86	2.89	3.53	-3145.60	2.52	-1.26	-2.06	-2.56	-2.76	1007.92	4.53	0.23	0.41	0.56	0.66	-486.56
0.54	-0.38	-1.09	-1.68	-1.99	1521.55	2.55	-0.58	-1.08	-1.52	-1.76	1172.66	4.56	0.76	1.27	1.62	1.80	-865.10
0.57	-1.94	-3.33	-4.13	-4.43	1506.70	2.58	0.53	0.96	1.33	1.55	-1146.23	4.59	0.31	0.55	0.75	0.86	-537.50
0.60	-0.73	-1.25	-1.66	-1.96	1443.13	2.61	1.19	2.00	2.54	2.80	-1287.31	4.62	-0.44	-0.76	-1.01	-1.15	707.85
0.63	1.19	2.15	2.76	2.93	-827.98	2.64	0.29	0.54	0.73	0.82	-441.03	4.65	-0.71	-1.20	-1.54	-1.72	872.33
0.66	1.53	2.85	3.87	4.38	-2543.36	2.67	-0.88	-1.48	-1.93	-2.16	1170.48	4.68	-0.10	-0.17	-0.23	-0.27	161.74
0.69	0.41	0.49	0.34	0.25	482.54	2.70	-0.98	-1.71	-2.26	-2.55	1414.16	4.71	0.60	1.02	1.33	1.50	-818.27
0.72	-1.78	-2.91	-3.51	-3.55	180.30	2.73	0.01	0.03	0.10	0.17	-356.26	4.74	0.58	0.99	1.30	1.46	-798.43
0.75	-1.06	-2.13	-3.23	-3.80	2780.65	2.76	1.11	1.82	2.30	2.52	-1122.00	4.77	-0.12	-0.21	-0.28	-0.32	224.66
0.78	0.01	0.41	0.92	1.35	-2160.41	2.79	0.70	1.27	1.75	2.02	-1328.43	4.80	-0.69	-1.17	-1.50	-1.67	845.19
0.81	2.02	3.31	3.82	3.90	-377.17	2.82	-0.32	-0.60	-0.88	-1.08	1002.15	4.83	-0.40	-0.69	-0.92	-1.05	633.19
0.84	0.56	1.40	2.21	2.75	-2648.24	2.85	-1.19	-1.94	-2.41	-2.63	1085.38	4.86	0.31	0.55	0.75	0.85	-550.04
0.87	-0.59	-1.26	-2.10	-2.58	2402.13	2.88	-0.38	-0.74	-1.07	-1.27	993.03	4.89	0.70	1.17	1.50	1.66	-808.53
0.90	-1.94	-3.14	-3.81	-3.89	434.66	2.91	0.62	1.10	1.54	1.81	-1354.60	4.92	0.19	0.34	0.47	0.55	-377.36
0.93	-0.19	-0.56	-1.06	-1.29	1104.63	2.94	1.11	1.81	2.27	2.48	-1042.88	4.95	-0.48	-0.83	-1.11	-1.27	768.80
0.96	1.13	2.12	2.93	3.42	-2453.09	2.97	0.07	0.17	0.31	0.39	-390.70	4.98	-0.63	-1.05	-1.34	-1.49	722.10
0.99	1.53	2.65	3.34	3.59	-1256.73	3.00	-0.86	-1.50	-2.00	-2.30	1473.36	5.01	0.02	0.03	0.02	0.00	56.32
1.02	-0.16	-0.17	-0.20	-0.28	401.82	3.03	-0.89	-1.48	-1.89	-2.10	1034.23	5.04	0.59	1.02	1.34	1.52	-867.99
1.05	-1.61	-2.71	-3.45	-3.81	1747.71	3.06	0.22	0.36	0.46	0.51	-276.10	5.07	0.49	0.82	1.05	1.17	-593.47
1.08	-0.97	-1.86	-2.57	-2.92	1717.72	3.09	1.03	1.73	2.24	2.51	-1353.22	5.10	-0.22	-0.38	-0.48	-0.54	276.48
1.11	0.49	0.88	1.38	1.75	-1887.67	3.12	0.58	1.00	1.33	1.52	-918.24	5.13	-0.64	-1.10	-1.43	-1.60	853.05
1.14	1.85	2.95	3.60	3.81	-1033.55	3.15	-0.48	-0.84	-1.15	-1.33	905.21	5.16	-0.29	-0.50	-0.66	-0.75	414.34
1.17	0.39	0.94	1.57	1.90	-1594.66	3.18	-1.06	-1.76	-2.22	-2.45	1142.19	5.19	0.39	0.67	0.88	0.99	-569.57
1.20	-0.81	-1.56	-2.33	-2.93	2997.77	3.21	-0.23	-0.44	-0.65	-0.79	662.49	5.22	0.62	1.05	1.35	1.51	-755.26
1.23	-1.78	-2.84	-3.33	-3.50	856.61	3.24	0.69	1.23	1.68	1.95	-1342.14	5.25	0.08	0.15	0.22	0.26	-188.75
1.26	0.15	-0.08	-0.41	-0.64	1155.03	3.27	0.97	1.58	1.97	2.16	-922.02	5.28	-0.51	-0.88	-1.16	-1.32	772.10
1.29	1.16	2.08	3.02	3.63	-3021.74	3.30	-0.10	-0.12	-0.07	-0.02	-260.77	5.31	-0.53	-0.89	-1.14	-1.26	602.78
1.32	1.46	2.30	2.77	2.90	-660.91	3.33	-0.85	-1.49	-2.02	-2.32	1498.47	5.34	0.12	0.20	0.23	0.25	-71.60
1.35	-0.53	-0.72	-0.71	-0.73	137.88	3.36	-0.75	-1.22	-1.53	-1.67	702.41	5.37	0.58	0.99	1.32	1.49	-857.26
1.38	-1.43	-2.47	-3.32	-3.87	2738.09	3.39	0.39	0.63	0.76	0.81	-270.96	5.40	0.38	0.64	0.82	0.90	-418.37
1.41	-0.91	-1.52	-1.91	-2.10	941.13	3.42	0.93	1.60	2.12	2.41	-1426.95	5.43	-0.30	-0.51	-0.64	-0.71	340.06
1.44	0.82	1.33	1.74	2.01	-1345.78	3.45	0.45	0.74	0.94	1.04	-515.49	5.46	-0.59	-1.01	-1.32	-1.49	826.06
1.47	1.58	2.58	3.27	3.66	-1921.15	3.48	-0.61	-1.03	-1.34	-1.50	783.90	5.49	-0.19	-0.33	-0.42	-0.46	218.27
1.50	0.29	0.59	0.90	1.10	-1005.56	3.51	-0.91	-1.54	-2.00	-2.23	1158.13	5.52	0.44	0.74	0.97	1.08	-574.93
1.53	-1.03	-1.80	-2.54	-3.01	2378.66	3.54	-0.10	-0.19	-0.27	-0.33	282.45	5.55	0.54	0.91	1.18	1.33	-696.62
1.56	-1.52	-2.38	-2.88	-3.11	1097.48	3.57	0.75	1.32	1.76	1.99	-1192.60	5.58	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	-6.74
1.59	0.28	0.32	0.16	0.02	692.56	3.60	0.80	1.32	1.67	1.83	-815.34	5.61	-0.52	-0.90	-1.17	-1.32	739.75
1.62	1.17	2.13	3.00	3.60	-2985.59	3.63	-0.22	-0.35	-0.39	-0.39	11.78	5.64	-0.43	-0.72	-0.93	-1.03	504.91
1.65	1.23	1.89	2.18	2.32	-654.86	3.66	-0.83	-1.46	-1.97	-2.25	1396.55	5.67	0.20	0.33	0.41	0.45	-206.50
1.68	-0.74	-1.08	-1.19	-1.15	-173.15	3.69	-0.59	-0.95	-1.17	-1.27	478.13	5.70	0.55	0.95	1.25	1.41	-804.69
1.71	-1.27	-2.25	-3.15	-3.71	2761.56	3.72	0.50	0.81	0.99	1.06	-360.66	5.73	0.28	0.46	0.59	0.65	-284.33
1.74	-0.77	-1.14	-1.31	-1.38	288.65	3.75	0.83	1.46	1.96	2.23	-1352.08	5.76	-0.36	-0.60	-0.76	-0.84	408.36
1.77	1.02	1.67	2.03	2.19	-815.50	3.78	0.30	0.48	0.58	0.61	-171.99	5.79	-0.52	-0.90	-1.19	-1.34	761.04
1.80	1.28	2.20	2.93	3.38	-2221.61	3.81	-0.69	-1.15	-1.46	-1.61	739.79	5.82	-0.10	-0.16	-0.20	-0.21	61.82
1.83	0.20	0.28	0.32	0.38	-267.04	3.84	-0.76	-1.32	-1.74	-1.97	1115.06	5.85	0.47	0.79	1.01	1.13	-578.40
1.86	-1.17	-2.01	-2.64	-2.97	1664.19	3.87	0.01	0.03	0.05	0.07	-75.74	5.88	0.45	0.77	1.01	1.13	-622.49
1.89	-1.18	-1.92	-2.42	-2.69	1328.07	3.90	0.79	1.35	1.76	1.97	-1046.80	5.91	-0.09	-0.15	-0.20	-0.23	143.71
1.92	0.37	0.59	0.66	0.62	159.69	3.93	0.62	1.05	1.35	1.51	-738.08	5.94	-0.52	-0.88	-1.15	-1.29	689.83
1.95	1.20	2.14	2.94	3.39	-2262.51	3.96	-0.32	-0.52	-0.65	-0.71	309.24	5.97	-0.33	-0.56	-0.72	-0.81	416.20
1.98	0.93	1.42	1.68	1.77	-468.29	3.99	-0.81	-1.40	-1.86	-2.11	1222.29	6.00	0.26	0.43	0.56	0.62	-324.32



### 3.5.10 Registro de Desplazamiento y Aceleración por el Método de Runge-Kutta en Vibración Forzada.

a) Objetivos:

- Registrar los desplazamientos y aceleraciones de la estructura a partir de una vibración forzada de manera numerica, mediante la implementación de un código de programación en el programa MAPLE, utilizando el método de Runge-Kutta, capaz de resolver ecuaciones diferenciales de segundo grado, para poder apreciar el comportamiento de la estructura en función de aceleraciones y desplazamientos máximos en vibración forzada, en frecuencias de 3.00, 3.25 y 3.50 Hz.

b) Instrumentos utilizados en la prueba

- Programa Maple.

c) Procedimiento

- Una vez implementado el código de procesamiento de datos. Se introduce las propiedades físicas y mecánicas de la estructura para el cálculo de modos de vibración y frecuencias de la estructura.

Para vibración forzada, se considera una agitación de base a frecuencias específicas, para que el programa proceda al cálculo y resolución de la ecuación de segundo grado en función del tiempo, exportando los resultados en formato Excel para su procesamiento.



### 3.5.10.1 Registro de desplazamientos y aceleraciones en vibración forzada sin AMS a 3.00 Hz

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																							
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL																							
HOJA DEL MÉTODO RUNGE KUTTA - f = 3.00 Hz (desplazamientos y aceleraciones)																							
TESISTAS: Lening Rafael Apaza Surco										Fecha: 11/11/2020													
Bohon Vidal Ccana Ccapatinta																							
LUGAR: Trabajo en gabinete																							
MATERIAL: Hoja de cálculo																							
t(s)	d1 (cm)	d2 (cm)	d3 (cm)	d4 (cm)	a4 (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	d1 (cm)	d2 (cm)	d3 (cm)	d4 (cm)	a4 (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	d1 (cm)	d2 (cm)	d3 (cm)	d4 (cm)	a4 (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	d1 (cm)	d2 (cm)	d3 (cm)	d4 (cm)	a4 (cm/s <sup>2</sup> )
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.98	0.44	0.74	0.95	1.06	-381.38	3.96	0.24	0.39	0.51	0.56	-198.61						
0.03	0.03	0.05	0.06	0.07	-27.57	2.01	-0.19	-0.32	-0.41	-0.46	160.86	3.99	-0.41	-0.68	-0.87	-0.97	347.62						
0.06	-0.55	-0.91	-1.16	-1.29	452.18	2.04	-0.68	-1.12	-1.44	-1.61	573.25	4.02	-0.71	-1.19	-1.52	-1.70	603.86						
0.09	-0.67	-1.12	-1.44	-1.61	567.65	2.07	-0.60	-1.00	-1.28	-1.42	509.91	4.05	-0.43	-0.72	-0.92	-1.02	360.96						
0.12	-0.25	-0.42	-0.54	-0.60	218.02	2.10	-0.02	-0.04	-0.05	-0.06	20.98	4.08	0.21	0.34	0.44	0.49	-177.22						
0.15	0.39	0.64	0.82	0.91	-317.46	2.13	0.57	0.95	1.22	1.36	-486.34	4.11	0.67	1.12	1.43	1.59	-566.18						
0.18	0.71	1.18	1.52	1.69	-598.93	2.16	0.69	1.15	1.48	1.64	-588.44	4.14	0.58	0.97	1.24	1.38	-488.13						
0.21	0.45	0.75	0.96	1.07	-386.76	2.19	0.24	0.40	0.51	0.57	-200.92	4.17	0.01	0.02	0.03	0.04	-10.56						
0.24	-0.19	-0.31	-0.40	-0.44	151.75	2.22	-0.41	-0.68	-0.88	-0.98	351.60	4.20	-0.56	-0.93	-1.20	-1.33	473.18						
0.27	-0.67	-1.12	-1.44	-1.60	571.28	2.25	-0.72	-1.20	-1.53	-1.71	609.33	4.23	-0.68	-1.12	-1.44	-1.61	567.65						
0.30	-0.60	-1.00	-1.29	-1.44	517.33	2.28	-0.43	-0.72	-0.92	-1.02	361.40	4.26	-0.23	-0.39	-0.50	-0.56	197.31						
0.33	-0.03	-0.05	-0.06	-0.07	28.84	2.31	0.21	0.35	0.45	0.50	-182.27	4.29	0.40	0.66	0.85	0.94	-333.99						
0.36	0.57	0.95	1.22	1.36	-487.37	2.34	0.67	1.12	1.44	1.60	-570.63	4.32	0.70	1.17	1.50	1.67	-591.70						
0.39	0.70	1.16	1.49	1.66	-597.02	2.37	0.58	0.97	1.24	1.38	-486.71	4.35	0.43	0.72	0.92	1.03	-364.69						
0.42	0.24	0.40	0.52	0.58	-206.75	2.40	0.01	0.02	0.02	0.03	-5.03	4.38	-0.20	-0.33	-0.42	-0.46	162.26						
0.45	-0.41	-0.69	-0.88	-0.98	355.41	2.43	-0.56	-0.94	-1.20	-1.34	476.19	4.41	-0.66	-1.11	-1.42	-1.58	557.90						
0.48	-0.72	-1.21	-1.55	-1.72	618.12	2.46	-0.67	-1.12	-1.44	-1.60	564.61	4.44	-0.59	-0.98	-1.25	-1.40	496.28						
0.51	-0.43	-0.72	-0.92	-1.03	364.66	2.49	-0.23	-0.38	-0.49	-0.55	191.90	4.47	-0.03	-0.04	-0.06	-0.06	25.23						
0.54	0.22	0.36	0.46	0.51	-188.33	2.52	0.40	0.66	0.85	0.95	-335.31	4.50	0.56	0.93	1.19	1.33	-469.50						
0.57	0.68	1.13	1.45	1.62	-578.70	2.55	0.70	1.17	1.50	1.67	-587.42	4.53	0.68	1.14	1.46	1.63	-579.18						
0.60	0.58	0.97	1.24	1.38	-487.17	2.58	0.43	0.71	0.92	1.02	-359.97	4.56	0.24	0.41	0.52	0.58	-210.14						
0.63	0.00	0.01	0.01	0.01	2.55	2.61	-0.20	-0.32	-0.42	-0.46	161.80	4.59	-0.40	-0.66	-0.85	-0.95	335.12						
0.66	-0.57	-0.95	-1.21	-1.35	482.70	2.64	-0.66	-1.10	-1.41	-1.57	552.88	4.62	-0.71	-1.19	-1.53	-1.70	605.26						
0.69	-0.67	-1.12	-1.43	-1.60	562.33	2.67	-0.58	-0.97	-1.25	-1.39	492.73	4.65	-0.44	-0.73	-0.94	-1.05	374.40						
0.72	-0.22	-0.37	-0.48	-0.53	183.66	2.70	-0.03	-0.05	-0.06	-0.07	27.34	4.68	0.20	0.33	0.43	0.47	-167.87						
0.75	0.40	0.67	0.86	0.96	-339.64	2.73	0.55	0.92	1.18	1.32	-464.31	4.71	0.67	1.12	1.44	1.60	-571.96						
0.78	0.70	1.16	1.49	1.66	-582.75	2.76	0.68	1.14	1.46	1.62	-577.12	4.74	0.59	0.99	1.26	1.41	-501.98						
0.81	0.42	0.70	0.90	1.00	-351.97	2.79	0.25	0.41	0.53	0.59	-213.61	4.77	0.02	0.03	0.04	0.05	-15.91						
0.84	-0.20	-0.33	-0.42	-0.47	163.58	2.82	-0.39	-0.66	-0.84	-0.94	330.31	4.80	-0.57	-0.95	-1.21	-1.35	482.56						
0.87	-0.66	-1.09	-1.40	-1.56	546.42	2.85	-0.71	-1.19	-1.53	-1.70	604.84	4.83	-0.68	-1.14	-1.46	-1.63	580.42						
0.90	-0.58	-0.96	-1.24	-1.38	485.81	2.88	-0.44	-0.74	-0.95	-1.05	378.81	4.86	-0.24	-0.39	-0.50	-0.56	198.25						
0.93	-0.03	-0.05	-0.06	-0.07	28.19	2.91	0.20	0.33	0.42	0.47	-163.94	4.89	0.41	0.68	0.87	0.97	-345.83						
0.96	0.55	0.91	1.17	1.30	-456.81	2.94	0.68	1.12	1.44	1.61	-573.17	4.92	0.71	1.19	1.52	1.69	-602.09						
0.99	0.68	1.13	1.45	1.61	-571.96	2.97	0.59	0.99	1.27	1.42	-506.82	4.95	0.43	0.72	0.92	1.02	-361.30						
1.02	0.25	0.42	0.54	0.60	-216.90	3.00	0.02	0.04	0.05	0.05	-18.59	4.98	-0.21	-0.34	-0.44	-0.49	175.20						
1.05	-0.39	-0.65	-0.83	-0.92	322.61	3.03	-0.57	-0.95	-1.22	-1.36	485.20	5.01	-0.67	-1.11	-1.43	-1.59	564.90						
1.08	-0.71	-1.19	-1.52	-1.69	601.93	3.06	-0.69	-1.15	-1.47	-1.64	585.16	5.04	-0.58	-0.97	-1.24	-1.38	489.11						
1.11	-0.45	-0.74	-0.96	-1.06	384.08	3.09	-0.24	-0.39	-0.51	-0.56	199.44	5.07	-0.02	-0.03	-0.04	-0.04	12.60						
1.14	0.19	0.32	0.41	0.45	-156.85	3.12	0.41	0.68	0.87	0.97	-349.56	5.10	0.56	0.93	1.20	1.33	-472.51						
1.17	0.67	1.12	1.44	1.60	-572.71	3.15	0.71	1.19	1.53	1.70	-606.24	5.13	0.68	1.13	1.45	1.61	-569.13						
1.20	0.60	1.00	1.28	1.43	-513.44	3.18	0.43	0.72	0.92	1.02	-360.94	5.16	0.24	0.39	0.51	0.56	-199.15						
1.23	0.03	0.04	0.06	0.06	-24.33	3.21	-0.21	-0.35	-0.45	-0.50	179.58	5.19	-0.40	-0.66	-0.85	-0.94	333.98						
1.26	-0.57	-0.95	-1.22	-1.36	487.15	3.24	-0.67	-1.12	-1.43	-1.60	568.04	5.22	-0.71	-1.17	-1.51	-1.68	593.51						
1.29	-0.69	-1.16	-1.48	-1.65	592.38	3.27	-0.58	-0.97	-1.24	-1.38	487.29	5.25	-0.43	-0.72	-0.93	-1.03	366.14						
1.32	-0.24	-0.40	-0.51	-0.57	203.28	3.30	-0.01	-0.02	-0.03	-0.03	8.05	5.28	0.20	0.33	0.42	0.46	-162.88						
1.35	0.41	0.69	0.88	0.98	-353.61	3.33	0.56	0.94	1.20	1.34	-474.35	5.31	0.67	1.11	1.42	1.58	-559.83						
1.38	0.72	1.20	1.54	1.71	-613.26	3.36	0.67	1.12	1.44	1.60	-566.11	5.34	0.59	0.98	1.26	1.40	-497.21						
1.41	0.43	0.72	0.92	1.02	-362.55	3.39	0.23	0.39	0.50	0.56	-194.92	5.37	0.02	0.04	0.05	0.06	-24.07						
1.44	-0.21	-0.35	-0.45	-0.51	185.22	3.42	-0.40	-0.66	-0.85	-0.95	334.38	5.40	-0.56	-0.93	-1.20	-1.33	471.34						
1.47	-0.68	-1.13	-1.44	-1.61	574.13	3.45	-0.70	-1.17	-1.50	-1.67	589.66	5.43	-0.68	-1.14	-1.46	-1.63	579.51						
1.50	-0.58	-0.97	-1.24	-1.38	486.59	3.48	-0.43	-0.72	-0.92	-1.02	362.67	5.46	-0.24	-0.41	-0.52	-0.58	208.59						
1.53	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	1.49	3.51	0.20	0.32	0.42	0.46	-161.85	5.49	0.40	0.67	0.85	0.95	-336.68						
1.56	0.57	0.94	1.21	1.34	-478.90	3.54	0.66	1.10	1.41	1.57	-555.59	5.52	0.71	1.19	1.53	1.70	-604.97						
1.59	0.67	1.12	1.44	1.60	-563.28	3.57	0.59	0.98	1.25	1.39	-494.84	5.55	0.44	0.73	0.94	1.04	-372.63						
1.62	0.23	0.38	0.49	0.54	-188.17	3.60	0.03	0.05	0.06	0.07	-26.36	5.58	-0.20	-0.33	-0.43	-0.48	169.00						
1.65	-0.40	-0.67	-0.85	-0.95	336.98	3.63	-0.56	-0.93	-1.19	-1.32	467.18	5.61	-0.67	-1.12	-1.44	-1.60	571.12						
1.68	-0.70	-1.16	-1.49	-1.66	585.07	3.66	-0.68	-1.14	-1.46	-1.63	578.44	5.64	-0.59	-0.98	-1.26	-1.40	500.19						
1.71	-0.43	-0.71	-0.91	-1.01	356.45	3.69	-0.25	-0.41	-0.53	-0.59	211.84	5.67	-0.02	-0.03	-0.04	-0.05	15.32						
1.74	0.20	0.33	0.42	0.46	-162.30	3.72	0.40	0.66	0.85	0.94	-333.03	5.70	0.57	0.95	1.21	1.35	-481.27						



### 3.5.10.2 Registro de desplazamientos y aceleraciones en vibración forzada sin AMS a 3.25 Hz

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																		
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTEADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL																		
HOJA DEL MÉTODO RUNGE KUTTA - $f = 3.25$ Hz (desplazamientos y aceleraciones)																		
TESISTAS:	Lening Rafael Apaza Surco										Fecha:	11/11/2020						
LUGAR:	Bohon Vidal Ccana Ccapatinta																	
MATERIAL:	Trabajo en gabinete																	
	Hoja de cálculo																	
t(s)	d1 (cm)	d2 (cm)	d3 (cm)	d4 (cm)	a4 (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	d1 (cm)	d2 (cm)	d3 (cm)	d4 (cm)	a4 (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	d1 (cm)	d2 (cm)	d3 (cm)	d4 (cm)	a4 (cm/s <sup>2</sup> )	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.01	0.23	0.39	0.51	0.57	-242.49	4.02	0.84	1.41	1.82	2.03	-843.60	
0.03	-1.05	-1.77	-2.28	-2.54	1056.85	2.04	-0.77	-1.29	-1.66	-1.85	768.83	4.05	-0.13	-0.22	-0.28	-0.31	131.82	
0.06	-0.57	-0.96	-1.24	-1.38	566.67	2.07	-1.04	-1.74	-2.25	-2.51	1048.87	4.08	-0.97	-1.63	-2.10	-2.34	977.74	
0.09	0.45	0.76	0.97	1.09	-455.58	2.10	-0.32	-0.53	-0.68	-0.76	323.91	4.11	-0.88	-1.49	-1.91	-2.14	888.52	
0.12	1.04	1.74	2.25	2.51	-1039.67	2.13	0.71	1.20	1.54	1.72	-715.96	4.14	0.04	0.07	0.09	0.10	-46.78	
0.15	0.64	1.08	1.39	1.55	-637.39	2.16	1.06	1.78	2.30	2.56	-1073.24	4.17	0.93	1.56	2.01	2.24	-934.06	
0.18	-0.36	-0.61	-0.79	-0.88	365.36	2.19	0.39	0.66	0.85	0.95	-401.01	4.20	0.93	1.55	2.00	2.23	-929.07	
0.21	-1.02	-1.71	-2.21	-2.46	1019.04	2.22	-0.66	-1.10	-1.42	-1.58	658.97	4.23	0.04	0.07	0.09	0.10	-39.92	
0.24	-0.71	-1.19	-1.53	-1.71	707.54	2.25	-1.08	-1.81	-2.33	-2.60	1088.97	4.26	-0.88	-1.48	-1.90	-2.12	884.65	
0.27	0.28	0.46	0.59	0.66	-273.13	2.28	-0.47	-0.78	-1.01	-1.13	473.73	4.29	-0.96	-1.61	-2.08	-2.32	965.27	
0.30	1.00	1.67	2.16	2.41	-995.62	2.31	0.59	0.99	1.28	1.43	-597.46	4.32	-0.13	-0.21	-0.28	-0.31	127.44	
0.33	0.77	1.30	1.68	1.87	-775.88	2.34	1.08	1.82	2.34	2.62	-1095.70	4.35	0.83	1.39	1.79	2.00	-830.27	
0.36	-0.19	-0.31	-0.40	-0.44	180.61	2.37	0.54	0.90	1.16	1.30	-542.17	4.38	0.99	1.67	2.15	2.40	-996.95	
0.39	-0.97	-1.63	-2.10	-2.34	969.71	2.40	-0.53	-0.88	-1.13	-1.27	531.10	4.41	0.21	0.36	0.46	0.52	-214.85	
0.42	-0.84	-1.40	-1.81	-2.02	840.97	2.43	-1.08	-1.82	-2.34	-2.61	1093.43	4.44	-0.77	-1.29	-1.66	-1.86	771.66	
0.45	0.10	0.16	0.21	0.23	-89.36	2.46	-0.60	-1.01	-1.30	-1.45	606.62	4.47	-1.02	-1.71	-2.21	-2.46	1023.86	
0.48	0.94	1.58	2.04	2.27	-941.22	2.49	0.45	0.76	0.98	1.09	-459.76	4.50	-0.30	-0.50	-0.65	-0.72	301.15	
0.51	0.89	1.50	1.93	2.16	-901.24	2.52	1.07	1.80	2.32	2.59	-1082.40	4.53	0.71	1.19	1.53	1.71	-709.47	
0.54	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	0.61	2.55	0.66	1.11	1.44	1.60	-667.39	4.56	1.04	1.75	2.25	2.51	-1045.62	
0.57	-0.91	-1.53	-1.97	-2.19	909.74	2.58	-0.38	-0.63	-0.81	-0.91	383.55	4.59	0.38	0.64	0.83	0.92	-385.36	
0.60	-0.95	-1.59	-2.05	-2.28	955.19	2.61	-1.05	-1.77	-2.28	-2.54	1063.15	4.62	-0.64	-1.08	-1.39	-1.55	644.23	
0.63	-0.07	-0.13	-0.17	-0.19	84.76	2.64	-0.72	-1.21	-1.56	-1.74	724.83	4.65	-1.06	-1.77	-2.28	-2.55	1061.75	
0.66	0.87	1.46	1.89	2.10	-874.60	2.67	0.30	0.50	0.64	0.72	-302.82	4.68	-0.46	-0.77	-1.00	-1.11	466.54	
0.69	0.99	1.66	2.14	2.39	-1001.46	2.70	1.03	1.73	2.23	2.48	-1036.39	4.71	0.58	0.97	1.25	1.39	-576.36	
0.72	0.16	0.26	0.34	0.38	-166.25	2.73	0.78	1.31	1.68	1.88	-779.14	4.74	1.07	1.79	2.30	2.57	-1071.77	
0.75	-0.83	-1.39	-1.80	-2.00	834.97	2.76	-0.21	-0.36	-0.46	-0.51	218.20	4.77	0.54	0.90	1.16	1.30	-543.86	
0.78	-1.03	-1.72	-2.22	-2.48	1038.98	2.79	-1.00	-1.67	-2.16	-2.41	1002.95	4.80	-0.51	-0.85	-1.09	-1.22	506.14	
0.81	-0.24	-0.40	-0.51	-0.57	243.77	2.82	-0.83	-1.39	-1.79	-2.00	830.43	4.83	-1.07	-1.79	-2.31	-2.58	1075.17	
0.84	0.78	1.31	1.69	1.89	-790.01	2.85	0.13	0.21	0.27	0.31	-130.55	4.86	-0.61	-1.02	-1.32	-1.47	616.65	
0.87	1.05	1.77	2.28	2.54	-1067.05	2.88	0.96	1.61	2.08	2.32	-963.73	4.89	0.43	0.73	0.94	1.04	-433.74	
0.90	0.31	0.52	0.67	0.75	-317.53	2.91	0.88	1.47	1.90	2.12	-878.59	4.92	1.06	1.78	2.30	2.57	-1071.52	
0.93	-0.73	-1.23	-1.58	-1.76	738.97	2.94	-0.04	-0.07	-0.08	-0.09	40.89	4.95	0.68	1.14	1.46	1.63	-684.36	
0.96	-1.07	-1.80	-2.32	-2.59	1085.34	2.97	-0.92	-1.54	-1.98	-2.21	919.57	4.98	-0.36	-0.60	-0.77	-0.86	359.26	
0.99	-0.38	-0.64	-0.83	-0.93	387.97	3.00	-0.92	-1.55	-1.99	-2.22	923.31	5.01	-1.05	-1.77	-2.28	-2.54	1060.49	
1.02	0.67	1.13	1.45	1.62	-681.31	3.03	-0.05	-0.08	-0.11	-0.12	49.61	5.04	-0.74	-1.24	-1.60	-1.78	746.65	
1.05	1.08	1.81	2.34	2.61	-1093.94	3.06	0.87	1.46	1.88	2.10	-871.23	5.07	0.28	0.47	0.61	0.68	-282.77	
1.08	0.45	0.76	0.98	1.09	-455.67	3.09	0.96	1.61	2.08	2.32	-964.10	5.10	1.03	1.73	2.23	2.49	-1041.90	
1.11	-0.61	-1.02	-1.31	-1.46	616.79	3.12	0.14	0.23	0.30	0.33	-139.75	5.13	0.80	1.34	1.72	1.92	-803.32	
1.14	-1.08	-1.82	-2.34	-2.61	1093.33	3.15	-0.82	-1.37	-1.77	-1.97	819.29	5.16	-0.20	-0.34	-0.44	-0.49	204.33	
1.17	-0.52	-0.87	-1.13	-1.26	521.22	3.18	-1.00	-1.67	-2.15	-2.40	1000.32	5.19	-1.01	-1.69	-2.18	-2.43	1015.72	
1.20	0.54	0.90	1.16	1.29	-545.49	3.21	-0.22	-0.38	-0.49	-0.54	228.37	5.22	-0.85	-1.42	-1.83	-2.05	854.31	
1.23	1.08	1.80	2.33	2.59	-1084.25	3.24	0.76	1.28	1.65	1.84	-764.19	5.25	0.12	0.21	0.26	0.29	-124.08	
1.26	0.59	0.98	1.27	1.41	-585.09	3.27	1.03	1.72	2.22	2.48	-1031.23	5.28	0.97	1.63	2.11	2.35	-982.11	
1.29	-0.46	-0.77	-0.99	-1.11	467.90	3.30	0.31	0.52	0.67	0.75	-314.40	5.31	0.89	1.50	1.93	2.16	-899.65	
1.32	-1.06	-1.78	-2.29	-2.56	1067.68	3.33	-0.71	-1.18	-1.53	-1.70	706.15	5.34	-0.04	-0.07	-0.09	-0.10	42.20	
1.35	-0.65	-1.09	-1.40	-1.57	647.61	3.36	-1.05	-1.76	-2.27	-2.53	1056.04	5.37	-0.93	-1.57	-2.02	-2.25	941.39	
1.38	0.38	0.63	0.82	0.91	-384.82	3.39	-0.39	-0.65	-0.84	-0.94	396.95	5.40	-0.93	-1.57	-2.02	-2.25	939.43	
1.41	1.04	1.75	2.25	2.51	-1044.66	3.42	0.65	1.08	1.39	1.55	-645.25	5.43	-0.04	-0.07	-0.09	-0.10	40.97	
1.44	0.71	1.19	1.54	1.71	-708.80	3.45	1.07	1.79	2.31	2.57	-1074.00	5.46	0.89	1.49	1.92	2.14	-894.03	
1.47	-0.29	-0.49	-0.63	-0.71	297.38	3.48	0.47	0.79	1.01	1.13	-475.31	5.49	0.97	1.63	2.10	2.34	-973.79	
1.50	-1.01	-1.70	-2.19	-2.45	1016.24	3.51	-0.58	-0.97	-1.25	-1.40	581.44	5.52	0.13	0.21	0.27	0.31	-125.00	
1.53	-0.77	-1.29	-1.66	-1.86	768.42	3.54	-1.08	-1.80	-2.33	-2.59	1084.47	5.55	-0.84	-1.40	-1.81	-2.01	840.62	
1.56	0.21	0.34	0.44	0.49	-206.89	3.57	-0.54	-0.91	-1.17	-1.31	549.00	5.58	-1.00	-1.68	-2.16	-2.41	1002.81	
1.59	0.98	1.65	2.12	2.37	-983.35	3.60	0.51	0.86	1.11	1.23	-514.56	5.61	-0.21	-0.35	-0.45	-0.51	209.31	
1.62	0.83	1.39	1.79	1.99	-825.93	3.63	1.08	1.81	2.33	2.60	-1086.96	5.64	0.78	1.31	1.68	1.88	-781.86	
1.65	-0.12	-0.19	-0.25	-0.28	114.81	3.66	0.61	1.02	1.32	1.47	-617.76	5.67	1.02	1.72	2.21	2.47	-1026.55	
1.68	-0.95	-1.59	-2.05	-2.28	946.72	3.69	-0.44	-0.74	-0.95	-1.06	444.48	5.70	0.29	0.49	0.63	0.71	-293.24	
1.71	-0.88	-1.47	-1.90	-2.12	880.53	3.72	-1.07	-1.80	-2.32	-2.58	1081.19	5.73	-0.72	-1.20	-1.55	-1.73	718.44	
1.74	0.03	0.04	0.05	0.06	-22.57	3.75	-0.67	-1.13	-1.46	-1.63	681.49	5.76	-1.04	-1.75	-2.25	-2.51	1044.97	
1.77	0.91	1.52	1.96	2.19	-906.85	3.78	0.37	0.62	0.79	0.89	-371.09	5.79	-0.37	-0.63	-0.81	-0.90	376.00	
1.80	0.93	1.56	2.01	2.24	-931.22	3.81	1.06	1.77	2.29	2.55	-1067.11	5.82	0.65	1.09	1.40	1.56	-651.07	
1.83	0.06	0.11	0.14	0.15	-68.47	3.84	0.73	1.23	1.59	1.77	-740.27	5.85	1.05	1.77	2.28	2.54	-1057.98	
1.86	-0.87	-1.45	-1.87	-2.08	863.97	3.87	-0.29	-0.49	-0.63	-0.70	294.39	5.88	0.45	0.76	0.98	1.10	-456.78	
1.89	-0.97	-1.63	-2.10	-2.34	976.91	3.90	-1.04	-1.74	-2.24	-2.50	1044.89	5.91	-0.58	-0.97	-1.25	-1.40	580.44	
1.92	-0.15	-0.25	-0.33	-0.37	157.13	3.93	-0.79	-1.32	-1.71	-1.91	794.24	5.94	-1.06	-1.78	-2.29	-2.56	1065.40	
1.95	0.82	1.37	1.77	1.97	-818.04	3.96	0.21	0.35	0.45	0.51	-214.53	5.97	-0.53	-0.89	-1.15	-1.28	534.76	
1.98	1.01	1.69	2.18	2.43	-1016.47	3.99	1.01	1.69	2.18	2.43	-1014.91	6.00	0.51	0.85	1.10	1.22	-507.1	





### 3.5.10.3 Registro de desplazamientos y aceleraciones en vibración forzada sin AMS a

#### 3.50 Hz

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																	
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL																	
HOJA DEL MÉTODO RUNGE KUTTA - $f = 3.50$ Hz (desplazamientos y aceleraciones)																	
TESISTAS: Lening Rafael Apaza Surco							Fecha: 11/11/2020										
Bohon Vidal Ccana Ccapatinta																	
LUGAR: Trabajo en gabinete																	
MATERIAL: Hoja de cálculo																	
t(s)	d1 (cm)	d2 (cm)	d3 (cm)	d4 (cm)	a4 (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	d1 (cm)	d2 (cm)	d3 (cm)	d4 (cm)	a4 (cm/s <sup>2</sup> )	t(s)	d1 (cm)	d2 (cm)	d3 (cm)	d4 (cm)	a4 (cm/s <sup>2</sup> )
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.01	-2.28	-3.85	-4.99	-5.58	2695.71	4.02	0.97	1.64	2.13	2.39	-1150.54
0.03	-0.25	-0.43	-0.56	-0.63	299.75	2.04	-1.64	-2.78	-3.60	-4.03	1953.21	4.05	-1.50	-2.53	-3.28	-3.67	1775.78
0.06	2.06	3.49	4.52	5.05	-2452.41	2.07	0.79	1.33	1.72	1.93	-925.76	4.08	-2.33	-3.94	-5.11	-5.72	2761.44
0.09	2.12	3.58	4.65	5.20	-2516.82	2.10	2.36	4.00	5.18	5.79	-2799.69	4.11	-0.62	-1.05	-1.36	-1.52	734.16
0.12	-0.14	-0.24	-0.30	-0.34	170.43	2.13	1.36	2.30	2.98	3.34	-1617.53	4.14	1.77	2.98	3.87	4.32	-2091.29
0.15	-2.24	-3.79	-4.91	-5.49	2664.67	2.16	-1.13	-1.92	-2.48	-2.77	1335.84	4.17	2.22	3.76	4.87	5.45	-2632.76
0.18	-1.89	-3.19	-4.14	-4.63	2240.29	2.19	-2.39	-4.04	-5.24	-5.86	2835.53	4.20	0.25	0.43	0.56	0.63	-302.50
0.21	0.53	0.89	1.15	1.29	-630.68	2.22	-1.04	-1.76	-2.28	-2.55	1238.05	4.23	-1.99	-3.36	-4.36	-4.87	2355.23
0.24	2.36	3.99	5.17	5.79	-2804.45	2.25	1.45	2.46	3.18	3.56	-1716.98	4.26	-2.06	-3.49	-4.52	-5.06	2441.94
0.27	1.61	2.72	3.53	3.95	-1908.77	2.28	2.36	3.99	5.17	5.79	-2800.79	4.29	0.12	0.19	0.25	0.27	-134.39
0.30	-0.90	-1.51	-1.96	-2.19	1068.49	2.31	0.69	1.16	1.51	1.69	-823.58	4.32	2.16	3.66	4.74	5.30	-2562.04
0.33	-2.42	-4.09	-5.30	-5.93	2869.84	2.34	-1.74	-2.94	-3.81	-4.26	2058.71	4.35	1.85	3.13	4.06	4.54	-2193.88
0.36	-1.29	-2.19	-2.84	-3.18	1532.78	2.37	-2.27	-3.84	-4.97	-5.56	2694.92	4.38	-0.48	-0.81	-1.05	-1.17	566.52
0.39	1.24	2.09	2.71	3.03	-1472.69	2.40	-0.32	-0.54	-0.70	-0.78	384.27	4.41	-2.29	-3.87	-5.01	-5.60	2707.45
0.42	2.41	4.08	5.29	5.91	-2861.23	2.43	1.99	3.36	4.35	4.86	-2351.23	4.44	-1.60	-2.70	-3.51	-3.92	1894.58
0.45	0.95	1.61	2.09	2.34	-1123.61	2.46	2.12	3.59	4.65	5.20	-2519.39	4.47	0.83	1.41	1.82	2.04	-984.16
0.48	-1.54	-2.61	-3.38	-3.78	1833.72	2.49	-0.07	-0.11	-0.14	-0.15	68.60	4.50	2.36	3.98	5.16	5.77	-2788.50
0.51	-2.35	-3.97	-5.14	-5.75	2781.14	2.52	-2.18	-3.69	-4.78	-5.34	2585.89	4.53	1.31	2.21	2.87	3.21	-1551.01
0.54	-0.59	-1.00	-1.29	-1.45	692.76	2.55	-1.91	-3.24	-4.20	-4.70	2277.81	4.56	-1.17	-1.97	-2.55	-2.85	1377.92
0.57	1.81	3.05	3.95	4.42	-2143.79	2.58	0.45	0.75	0.97	1.09	-523.03	4.59	-2.37	-4.00	-5.19	-5.80	2803.53
0.60	2.22	3.76	4.88	5.45	-2633.85	2.61	2.32	3.93	5.09	5.69	-2755.49	4.62	-0.99	-1.67	-2.17	-2.42	1170.99
0.63	0.22	0.37	0.48	0.54	-251.59	2.64	1.66	2.81	3.64	4.08	-1975.83	4.65	1.47	2.49	3.22	3.60	-1738.97
0.66	-2.02	-3.42	-4.43	-4.95	2396.95	2.67	-0.82	-1.38	-1.79	-2.00	966.65	4.68	2.32	3.93	5.09	5.70	-2752.22
0.69	-2.05	-3.47	-4.49	-5.03	2425.05	2.70	-2.40	-4.07	-5.27	-5.89	2854.66	4.71	0.64	1.09	1.41	1.58	-763.10
0.72	0.16	0.26	0.34	0.38	-189.02	2.73	-1.36	-2.30	-2.99	-3.34	1621.10	4.74	-1.74	-2.94	-3.81	-4.26	2059.09
0.75	2.18	3.69	4.79	5.35	-2589.01	2.76	1.17	1.98	2.56	2.87	-1387.20	4.77	-2.22	-3.76	-4.88	-5.45	2635.58
0.78	1.83	3.09	4.01	4.48	-2161.54	2.79	2.42	4.10	5.32	5.95	-2880.06	4.80	-0.28	-0.48	-0.62	-0.69	336.51
0.81	-0.52	-0.88	-1.13	-1.27	618.95	2.82	1.03	1.74	2.25	2.52	-1222.96	4.83	1.97	3.33	4.31	4.83	-2330.85
0.84	-2.30	-3.88	-5.03	-5.62	2717.42	2.85	-1.50	-2.53	-3.27	-3.66	1772.95	4.86	2.07	3.50	4.54	5.08	-2456.02
0.87	-1.57	-2.65	-3.43	-3.84	1850.84	2.88	-2.38	-4.03	-5.22	-5.84	2830.60	4.89	-0.09	-0.15	-0.19	-0.21	99.11
0.90	0.87	1.46	1.90	2.12	-1028.92	2.91	-0.66	-1.12	-1.46	-1.63	792.18	4.92	-2.15	-3.64	-4.72	-5.27	2547.75
0.93	2.35	3.97	5.15	5.76	-2781.10	2.94	1.78	3.01	3.90	4.36	-2113.17	4.95	-1.87	-3.16	-4.10	-4.59	2217.26
0.96	1.27	2.15	2.79	3.12	-1500.96	2.97	2.28	3.85	5.00	5.59	-2707.45	4.98	0.46	0.77	0.99	1.11	-533.76
0.99	-1.19	-2.01	-2.61	-2.91	1410.59	3.00	0.28	0.48	0.63	0.70	-340.56	5.01	2.28	3.86	5.00	5.60	-2704.35
1.02	-2.35	-3.97	-5.15	-5.76	2780.26	3.03	-2.02	-3.42	-4.43	-4.95	2398.49	5.04	1.62	2.74	3.56	3.98	-1924.41
1.05	-0.95	-1.60	-2.08	-2.33	1120.19	3.06	-2.12	-3.58	-4.64	-5.19	2514.03	5.07	-0.81	-1.37	-1.78	-1.98	957.28
1.08	1.49	2.51	3.25	3.63	-1756.59	3.09	0.10	0.17	0.22	0.24	-119.50	5.10	-2.36	-3.99	-5.17	-5.79	2796.46
1.11	2.30	3.88	5.03	5.63	-2716.18	3.12	2.21	3.73	4.84	5.41	-2621.24	5.13	-1.33	-2.26	-2.92	-3.27	1583.87
1.14	0.61	1.03	1.33	1.49	-716.95	3.15	1.90	3.21	4.16	4.66	-2255.84	5.16	1.15	1.95	2.52	2.82	-1359.53
1.17	-1.74	-2.95	-3.82	-4.27	2060.41	3.18	-0.49	-0.82	-1.06	-1.18	575.43	5.19	2.38	4.03	5.22	5.84	-2821.26
1.20	-2.19	-3.71	-4.80	-5.37	2591.12	3.21	-2.34	-3.95	-5.12	-5.73	2775.67	5.22	1.01	1.71	2.22	2.48	-1203.29
1.23	-0.25	-0.43	-0.56	-0.62	299.71	3.24	-1.63	-2.76	-3.58	-4.01	1940.27	5.25	-1.47	-2.47	-3.21	-3.58	1730.67
1.26	1.96	3.31	4.29	4.80	-2316.39	3.27	0.86	1.45	1.87	2.09	-1014.95	5.28	-2.34	-3.96	-5.13	-5.74	2777.43
1.29	2.04	3.44	4.46	4.99	-2408.18	3.30	2.41	4.07	5.28	5.90	-2858.15	5.31	-0.66	-1.12	-1.46	-1.63	791.43
1.32	-0.11	-0.18	-0.23	-0.25	123.05	3.33	1.33	2.25	2.91	3.26	-1576.26	5.34	1.74	2.95	3.82	4.27	-2061.34
1.35	-2.13	-3.60	-4.67	-5.22	2519.68	3.36	-1.20	-2.03	-2.63	-2.94	1426.45	5.37	2.25	3.80	4.93	5.51	-2665.32
1.38	-1.83	-3.10	-4.02	-4.50	2171.24	3.39	-2.42	-4.09	-5.29	-5.92	2867.18	5.40	0.30	0.50	0.66	0.74	-358.03
1.41	0.46	0.78	1.01	1.13	-542.83	3.42	-0.99	-1.67	-2.17	-2.43	1173.96	5.43	-1.98	-3.35	-4.33	-4.85	2342.99
1.44	2.26	3.81	4.94	5.53	-2666.21	3.45	1.52	2.56	3.32	3.71	-1799.38	5.46	-2.09	-3.54	-4.59	-5.14	2486.94
1.47	1.59	2.69	3.49	3.90	-1885.01	3.48	2.36	4.00	5.18	5.79	-2803.38	5.49	0.08	0.13	0.17	0.18	-86.39
1.50	-0.81	-1.37	-1.77	-1.97	951.12	3.51	0.63	1.06	1.38	1.54	-744.38	5.52	2.17	3.67	4.75	5.31	-2568.08
1.53	-2.33	-3.94	-5.10	-5.70	2752.69	3.54	-1.79	-3.03	-3.92	-4.39	2124.50	5.55	1.89	3.20	4.15	4.64	-2246.05
1.56	-1.31	-2.22	-2.88	-3.22	1554.99	3.57	-2.25	-3.81	-4.93	-5.52	2669.35	5.58	-0.45	-0.76	-0.99	-1.10	530.83
1.59	1.14	1.92	2.49	2.78	-1339.43	3.60	-0.25	-0.43	-0.56	-0.63	298.97	5.61	-2.30	-3.90	-5.05	-5.65	2730.40
1.62	2.35	3.97	5.14	5.75	-2776.71	3.63	2.02	3.41	4.42	4.94	-2394.13	5.64	-1.64	-2.77	-3.60	-4.02	1948.10
1.65	1.00	1.69	2.19	2.45	-1187.55	3.66	2.08	3.52	4.57	5.11	-2469.53	5.67	0.82	1.38	1.79	2.00	-964.04
1.68	-1.44	-2.44	-3.15	-3.53	1699.31	3.69	-0.13	-0.21	-0.27	-0.30	150.73	5.70	2.38	4.03	5.22	5.84	-2825.23
1.71	-2.31	-3.91	-5.07	-5.67	2736.87	3.72	-2.19	-3.71	-4.81	-5.38	2602.29	5.73	1.34	2.28	2.95	3.30	-1600.17
1.74	-0.66	-1.12	-1.45	-1.63	789.96	3.75	-1.86	-3.15	-4.09	-4.57	2209.91	5.76	-1.16	-1.97	-2.54	-2.85	1374.89
1.77	1.71	2.90	3.75	4.19	-2022.51	3.78	0.50	0.84	1.09	1.22	-593.42	5.79	-2.40	-4.06	-5.26	-5.89	2849.59
1.80	2.22	3.76	4.87	5.45	-2632.86	3.81	2.32	3.91	5.07	5.67	-2744.74	5.82	-1.02	-1.72	-2.23	-2.50	1210.77
1.83	0.31	0.52	0.68	0.76	-370.42	3.84	1.60	2.71	3.51	3.93	-1897.83	5.85	1.48	2.50	3.24	3.62	-1752.64
1.86	-1.95	-3.29	-4.26	-4.77	2301.09	3.87	-0.86	-1.45	-1.88	-2.10	1018.34	5.88	2.36	3.99	5.18	5.79	-2802.35
1.89	-2.08	-3.52	-4.56	-5.10	2465.69	3.90	-2.38	-4.02	-5.21	-5.83	2819.00	5.91	0.66	1.12	1.46	1.63	-789.66
1.92	0.06	0.10	0.13	0.14	-62.04	3.93	-1.30	-2.20	-2.86	-3.19	1541.65	5.94	-1.76	-2.98	-3.86	-4.32	2087.33
1.95	2.14	3.61	4.68	5.24	-2527.69	3.96	1.19	2.02	2.61	2.92	-1415.47	5.97	-2.26	-3.82	-4.96	-5.55	2684.33
1.98	1.88	3.19	4.13	4.62	-2237.												



### 3.6 Procedimientos de Análisis de Datos

#### 3.6.1 Cálculo de momento de inercia

a) Procedimiento o cálculo de la prueba

Para:

$$b = 2.5\text{cm}$$

$$h = 0.3\text{cm}$$

Aplicando la Ec. (95) para el cálculo de momento de inercia.

$$I_y = \frac{0.3 * 2.5^3}{12} = 0.390625\text{cm}^4$$

b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

**Tabla 11**

*Cálculo de Inercia*

 <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b></p> 				
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL				
<b>HOJA PARA EL CÁLCULO DE INERCIA</b>				
TESISTAS:	Lening Rafael Apaza Surco			
	Bohon Vidal Ccana Ccapatinta			
LUGAR:	Trabajo en gabinete			
MATERIAL:	Hoja de cálculo			
CÁLCULO DE INERCIA				
 $I_x = \frac{b * h^3}{12}$ $I_y = \frac{h * b^3}{12}$				
Descripción	b (cm)	h (cm)	Ix	Iy
Figura	2.5	0.300	0.005625	0.390625



c) Análisis de la prueba

El momento inercia a considerarse es el de  $I_x$ , en el lado más débil para poder apreciar los desplazamiento y aceleraciones del comportamiento estructural, y a su vez el amortiguamiento y el período de vibración.

### 3.6.2 Cálculo de rigidez estructural

a) Procedimiento o cálculo de la prueba

Para:

$$I_x = 0.005625 \text{ cm}^4$$

$$E = 2100000 \text{ kgf} / \text{cm}^2$$

Aplicando la Ec. (96) para el cálculo de la rigidez

$$k_{col} = 12 * \frac{0.005625 * 2100000}{28^3} = 6.457 \text{ kgf} / \text{cm}$$

$$4 * k_{col} = 25.829 \text{ kgf} / \text{cm} = 2582.908 \text{ kgf} / \text{m}$$

b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

**Tabla 12**

*Cálculo de Rigidez Estructural*

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL						
HOJA PARA EL CÁLCULO DE RIGIDEZ ESTRUCTURAL						
TESISTAS:	Lening Rafael Apaza Surco			Fecha:	14/11/2020	
	Bohon Vidal Ccana Ccapatinta					
LUGAR:	Trabajo en gabinete					
MATERIAL:	Hoja de cálculo					
CÁLCULO DE RIGIDEZ						
				$k_{col} = \frac{12EI}{h^3}$		
Nivel	E (kgf/cm <sup>2</sup> )	I (cm <sup>4</sup> )	h (cm)	K 1col (kgf/cm)	K 4col (kgf/cm)	K 4col (kgf/m)
1	2100000.00	0.0056250	30.0	5.250	21.000	2100.000
2	2100000.00	0.0056250	28.0	6.457	25.829	2582.908
3	2100000.00	0.0056250	28.0	6.457	25.829	2582.908
4	2100000.00	0.0056250	28.0	6.457	25.829	2582.908



c) Análisis de la prueba

La rigidez estructural en el primer nivel es menor, porque la distancia de entrepiso en el primer nivel es de mayor altura, y los entrepisos del segundo al cuarto nivel son de menor altura con respecto al primero nivel, es por ello que se incrementa la rigidez estructural.

### 3.6.3 Metrado de masa

a) Procedimiento o cálculo de la prueba

- Metrado de materiales

Se calcula la masa de la maqueta con estructura aporticada por piso.

$$P_{\text{elem}} = C_{\text{elem}} * A * L * P$$

$P_{\text{elem}}$  : Peso del elemento estructural.

$C_{\text{elem}}$  : Cantidad de elementos

$A$  : Sección o área.

$L$  : Longitud

$P$  : Peso específico

- **Primer piso**

- Columna

$$P_{\text{columna}} = 4 * (2.5 * 10^{-2} m) * (0.3 * 10^{-2} m) * (0.33 m) * 7860 \frac{\text{kgf}}{m^3}$$

$$P_{\text{columna}} = 0.8235 \text{Kgf}$$

- Vigas X-X



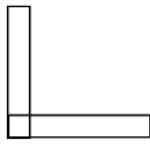
$\text{Ala} = 2.5 \text{cm}$  ;  $\text{espesor} = 0.3 \text{cm}$ .

$$P_{\text{vigas}} = 2 * ((2.1825 m * 0.3 m) + (2.5 m * 0.3 m)) * 10^{-4} * (0.40 m) * 7860 \frac{\text{kgf}}{m^3}$$

$$P_{\text{vigas}} = 0.9348 \text{Kgf}$$



- Vigas Y-Y



$Ala = 2.5cm; espesor = 0.3cm.$

$$P_{vigas} = 2 * ((2.1825m * 0.3m) + (2.5m * 0.3m)) * 10^{-4} * (0.30m) * 7860 \frac{kgf}{m^3}$$

$$P_{vigas} = 0.7011Kgf$$

- Losa

$$Area_{Losa} = (0.3m) * (0.4m) = 0.12m^2; espesor = 0.003m$$

$$P_{Losa} = (0.12m^2) * (0.003m) * 7860 \frac{Kgf}{m^3}$$

$$P_{Losa} = 2.8296Kgf$$



$$Peso_{piso1} = 0.8235 + 0.9348 + 0.7011 + 2.8296 = 5.2891Kgf$$

De similar manera para los pisos siguientes.



**Tabla 13**

*Cálculo del Metrado*

 <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b></p> 						
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL						
HOJA DE METRADO						
TESISTAS:	Lening Rafael Apaza Surco			FECHA:	11/11/2020	
	Bohon Vidal Ccana Ccapatinta					
LUGAR:	Trabajo en gabinete					
MATERIAL:	Hoja de cálculo					
METRADO						
1° Nivel						
Descripción	Número de el	Área (m2)	Longitud (m)	Peso específico	Peso (kgf)	Masa (kgf-s2/m)
Columnas	4	0.00008	0.330	7860	0.8235	0.08395
Vigas x-x	2	0.0001487	0.400	7860	0.9348	0.09529
Vigas y-y	2	0.0001487	0.300	7860	0.7011	0.07147
Losa	1	0.12000	0.003	7860	2.8296	0.28844
Total					5.2891	0.53915
2° - 3° Nivel						
Descripción	Número de el	Área (m2)	Longitud (m)	Peso específico	Peso (kgf)	Masa (kgf-s2/m)
Columnas	4	0.00008	0.31	7860	0.7736	0.07886
Vigas x-x	2	0.0001487	0.40	7860	0.9348	0.09529
Vigas y-y	2	0.0001487	0.30	7860	0.7011	0.07147
Losa	1	0.12000	0.003	7860	2.8296	0.28844
Total					5.2392	0.53407
4° Nivel						
Descripción	Número de el	Área (m2)	Longitud (m)	Peso específico	Peso (kgf)	Masa (kgf-s2/m)
Columnas	4	0.00008	0.310	7860	0.7736	0.07886
Vigas x-x	2	0.0001487	0.400	7860	0.9348	0.09529
Vigas y-y	2	0.0001487	0.300	7860	0.7011	0.07147
Losa	1	0.12000	0.003	7860	2.8296	0.28844
Apoyo del resorte	1	0.00008	0.100	7860	0.0624	0.00636
Carril	1				0.1930	0.01967
Total					5.4946	0.56010



b) Análisis de prueba

Discretizando las masas para aplicar el análisis modal para poder estimar las propiedades dinámicas como las frecuencias y los modos naturales, se tiene las siguientes masas por piso.

Piso	Masa (kgf-s <sup>2</sup> /m)
1	0.536609
2	0.534065
3	0.534065
4	0.520668

### 3.6.4 Cálculo de rigidez del resorte

a) Procedimiento o cálculo de la prueba

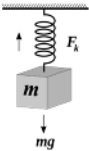
Una vez obtenido las deformaciones con sus respectivos pesos se procede a aplicar la ley de Hooke según la Ec. (4)



b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

**Tabla 14**

*Cálculo de la Rigidez del Resorte*

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL					
<b>HOJA PARA LA RIGIDEZ DEL RESORTE</b>					
TESISTAS:	Lening Rafael Apaza Surco				
	Bohon Vidal Ccana Ccpatinta				
LUGAR:	Trabajo en gabinete				
MATERIAL:	Hoja de cálculo				
FECHA: 12/11/2020					
CÁLCULO DE LA RIGIDEZ DEL RESORTE					
 $F = k * x$ $x = L_f - L_i$					
Resorte tipo 10					
Incremento (Kgf)	Peso(Kgf)	Li (inicial cm)	Lf (final cm)	x (deformación cm)	K (kgf/cm)
0.417	0.417	6.1	6.95	0.85	0.4906
0.418	0.835	6.1	7.85	1.75	0.4771
0.416	1.251	6.1	8.70	2.6	0.4812
0.417	1.668	6.1	9.65	3.55	0.4699
0.42	2.088	6.1	10.70	4.6	0.4539
					<b>0.4745</b>
Resorte tipo 1					
Incremento (Kgf)	Peso(Kgf)	Li (inicial cm)	Lf (final cm)	x (deformación cm)	K (kgf/cm)
0.419	0.419	7.9	8.77	0.87	0.4816
0.418	0.837	7.9	9.64	1.74	0.4810
0.415	1.252	7.9	10.50	2.6	0.4815
0.417	1.669	7.9	11.37	3.47	0.4810
0.42	2.089	7.9	12.25	4.35	0.4802
Promedio					<b>0.4811</b>
Resorte tipo 9					
Incremento (Kgf)	Peso(Kgf)	Li (inicial cm)	Lf (final cm)	x (deformación cm)	K (kgf/cm)
0.417	0.417	7.5	8.15	0.65	0.6415
0.418	0.835	7.5	8.80	1.3	0.6423
0.416	1.251	7.5	9.45	1.95	0.6415
0.417	1.668	7.5	10.10	2.6	0.6415
0.42	2.088	7.5	10.70	3.2	0.6525
					<b>0.6439</b>
Resorte tipo 3					
Incremento (Kgf)	Peso(Kgf)	Li (inicial cm)	Lf (final cm)	x (deformación cm)	K (kgf/cm)
0.421	0.421	9.7	10.24	0.54	0.7796
0.418	0.839	9.7	10.78	1.08	0.7769
0.417	1.256	9.7	11.33	1.63	0.7706
0.417	1.673	9.7	11.85	2.15	0.7781
0.418	2.091	9.7	12.41	2.71	0.7716
					<b>0.7754</b>



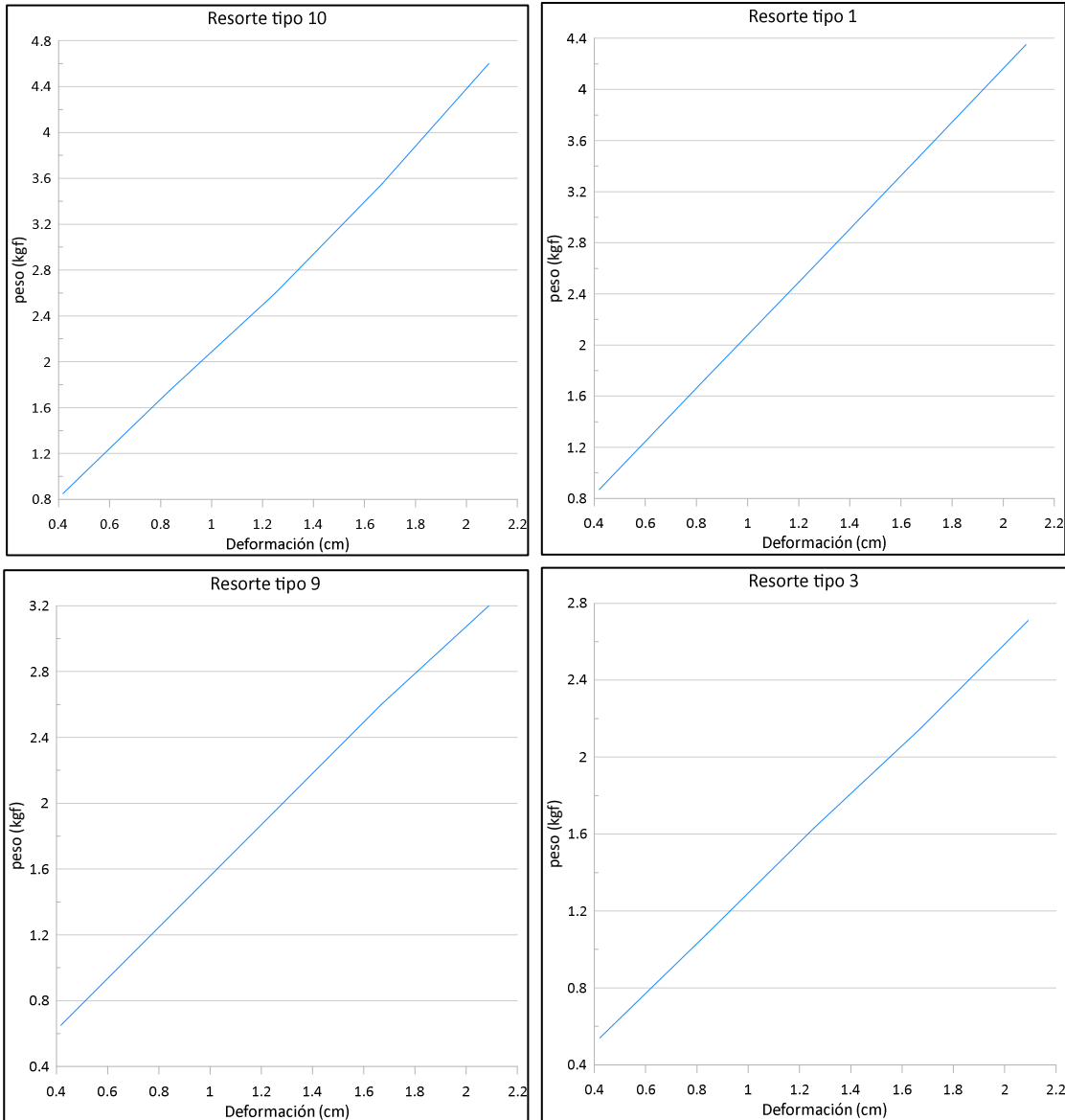


c) Análisis de la prueba

Se obtiene las rigideces que son de 0.4745, 0.4811, 0.6439, 0.7754 kgf/cm respectivamente

**Figura 60**

*Gráficos de Deformación vs Peso, para el Calculo de Rigideces de los Resortes.*





### 3.6.5 Cálculo de los períodos estructurales, frecuencia natural



a) Procedimiento o cálculo de la prueba

Una vez obtenido los datos de la masa y rigidez de la estructura, en el programa Matlab se procesa los datos para obtener las propiedades de la estructura tales como la frecuencia natural, período de vibración y la frecuencia cíclica.

b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

**Tabla 15**

*Cálculo de los Periodos Estructurales. Frecuencia Natural*

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b> 					
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS). SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL					
HOJA DE CÁLCULO DE LOS PERÍODOS ESTRUCTURALES, FRECUENCIA NATURAL					
TESISTAS:	Lening Rafael Apaza Surco			FECHA:	16/11/2020
	Bohon Vidal Ccana Ccapatinta				
LUGAR:	Trabajo en gabinete				
MATERIAL:	Hoja de cálculo				
PERÍODO ESTRUCTURAL Y FRECUENCIA NATURAL					
Matriz de Masa					
	0.5366090	0.0000000	0.0000000	0.0000000	
	0.0000000	0.5340651	0.0000000	0.0000000	
	0.0000000	0.0000000	0.5340651	0.0000000	
	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.5206684	
Matriz de Rigidez					
	4682.9082	-2582.9082	0	0	
	-2582.9082	5165.8163	-2582.9082	0	
	0	-2582.9082	5165.8163	-2582.9082	
	0	0	-2582.9082	2582.9082	
Modo - 1	Valor propio	$\lambda((\text{rad/seg.})^2)=$	535.5219	Modo - 2	Valor propio
	Frecuencia	$f(\text{hz})=$	3.6831		$\lambda((\text{rad/seg.})^2)=$
	Frec. natural	$Wn(\text{rad/seg.})=$	23.1413		$f(\text{hz})=$
	Periodo	$T(\text{seg.})=$	0.2715		$Wn(\text{rad/seg.})=$
					$T(\text{seg.})=$
					4546.6506
					10.7316
					67.4289
					0.0932
Modo - 3	Valor propio	$\lambda((\text{rad/seg.})^2)=$	11006.4590	Modo - 4	Valor propio
	Frecuencia	$f(\text{hz})=$	16.6972		$\lambda((\text{rad/seg.})^2)=$
	Frec. natural	$Wn(\text{rad/seg.})=$	104.9117		$f(\text{hz})=$
	Periodo	$T(\text{seg.})=$	0.0599		$Wn(\text{rad/seg.})=$
					$T(\text{seg.})=$
					16944.2471
					20.7172
					130.1701
					0.0483
Vectores propios				Valores propios	
	0.25846565	-0.612188947	-0.6338494	-0.383759	535.5219
	0.43985176	-0.531657421	0.300189	0.655151	4546.6506
	0.57253341	0.048688	0.55105928	-0.601289	11006.4590
	0.641819	0.583261966	-0.4521673	0.248913	16944.2471



## Modos de vibración por el método de vectores propios

Figura 61

*Modo de Vibración 1*

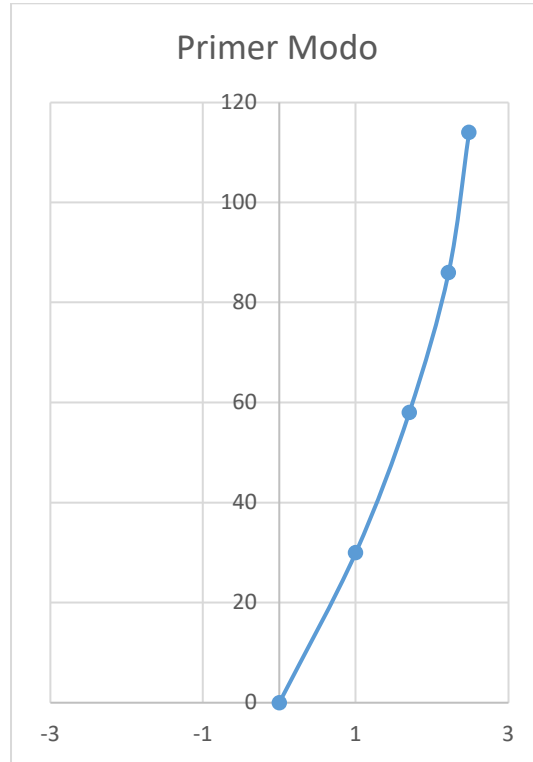
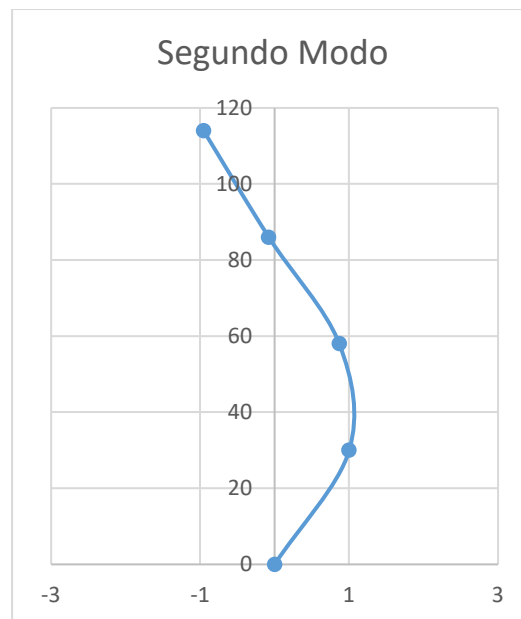


Figura 62

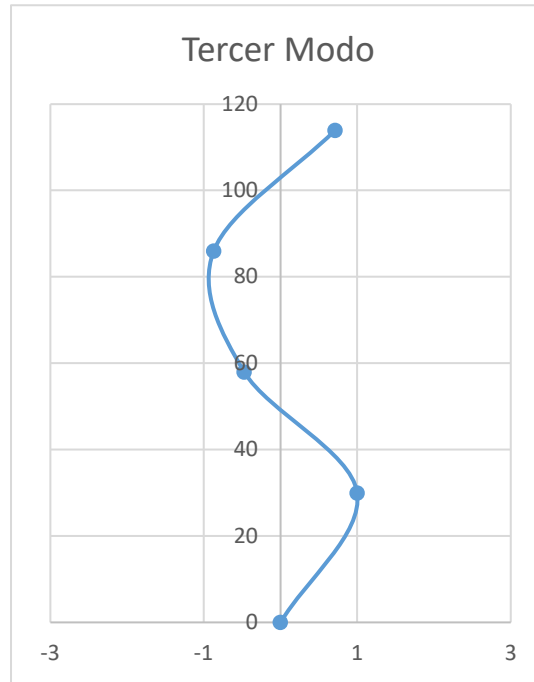
*Modo de Vibración 2*





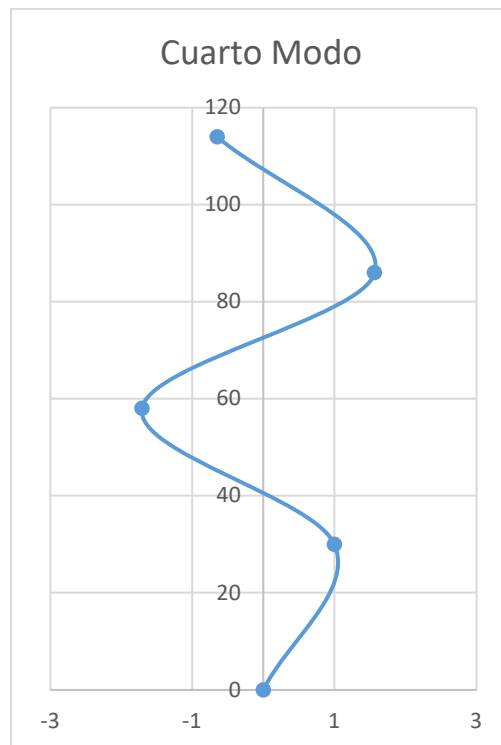
**Figura 63**

*Modo de Vibración 3*



**Figura 64**

*Modo de vibración 4*





### Análisis de la prueba:

Se observa los modos de vibración de la estructura siendo estos 04 modos debido a que se trata de una estructura aporticada de 04 niveles.

Para el primer modo refleja un periodo con valor de 0.2715 seg., magnitud acorde con las características de rigidez de la estructura. A partir de dicho modo el periodo fundamental decrece de manera conjunta con la participación de masas. **Se trabaja solamente en el primer modo de vibración.**

### 3.6.6 Cálculo para la selección del Amortiguador de Masa Sintonizada

a) Una vez obtenida la rigidez del resorte, la rigidez de la estructura principal, la masa de la estructura principal y el factor de amortiguamiento, se procede a calcular la masa del Amortiguador de Masa Sintonizada. Para ello se hará el cálculo de la frecuencia optima con la Ec. (93) además de la ecuación:

$$f = \left( \frac{\sqrt{1-0.5\bar{m}}}{1+\bar{m}} + \sqrt{1-2\xi^2-1} \right) - [2.375 - 1.034\sqrt{\bar{m}} - 0.426\bar{m}] \xi \sqrt{\bar{m}} - (3.730 - 16.903\sqrt{\bar{m}} + 20.496\bar{m}) \xi^2 \sqrt{\bar{m}}$$

$$k_d - \frac{m_d}{m} * f_{opt} * k = 0$$

La ecuación Ec. (93) se resolvió en excel, con la función “*buscar objetivo*” para hallar la masa del Amortiguador de Masa Sintonizada según a la rigidez del resorte que se presenta en la siguiente tabla.

### Análisis de la prueba:

Se determina la masa en función de la rigidez de los resortes con sus respectivas relaciones de masas y peso en gramos.

kd	$\bar{m}$	Peso( gr.)
0.47453	4.32%	920
0.48108	4.38%	932
0.64388	5.98%	1272
0.77535	7.33%	1559

Tabla 16

*Selección de la Masa del Amortiguador de Masa Sintonizada*

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p><b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b></p> </div>  </div>						
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL						
HOJA PARA LA SELECCIÓN DE LA MASA DEL AMS						
TESISTAS:	Lening Rafael Apaza Surco			FECHA:	12/11/2020	
	Bohon Vidal Ccana Ccapatinta					
LUGAR:	Trabajo en gabinete					
MATERIAL:	Hoja de cálculo					
CÁLCULO DE LA RIGIDEZ DEL RESORTE						
	ω: frecuencia natural de la estructura					
	m: masa de la estructura principal					
	k: rigidez de la estructura principal					
	m <sub>d</sub> : masa del AMS					
	k <sub>d</sub> : rigidez del AMS					
	ξ: factor de amortiguamiento					
	f opt: frecuencia óptima en función de la relación de masas y factor de					
Masa para el resorte tipo 1						
ω (rad/seg)	m (kg.)	K (kgf/cm)	k <sub>d</sub>	ξ	f opt	m <sub>d</sub>
23.1413465	2.16738155	11.6068032	0.4745314	0.01	0.943550	0.0937315
23.1413465	2.16738155	11.6068032	0.4810784	0.01	0.942831	0.09503386
23.1413465	2.16738155	11.6068032	0.6438846	0.01	0.924097	0.12964085
23.1413465	2.16738155	11.6068032	0.7753520	0.01	0.908743	0.1589177

### 3.6.7 Desplazamiento experimental en vibración libre

- a) Procedimiento o cálculo de la prueba

Una vez obtenido los datos del registro de desplazamientos en vibración libre se procesan en el Software Grapher

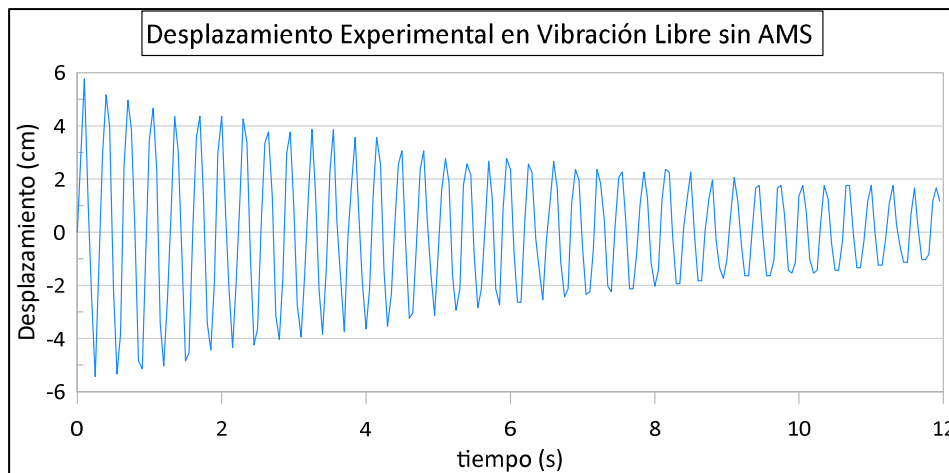


b) Diagrama o tablas que permitan interpretar el ítem

### 3.6.7.1 Desplazamiento experimental en vibración libre sin Amortiguador de Masa Sintonizada

Figura 65

*Desplazamiento en vibración libre sin Amortiguador de Masa Sintonizada*

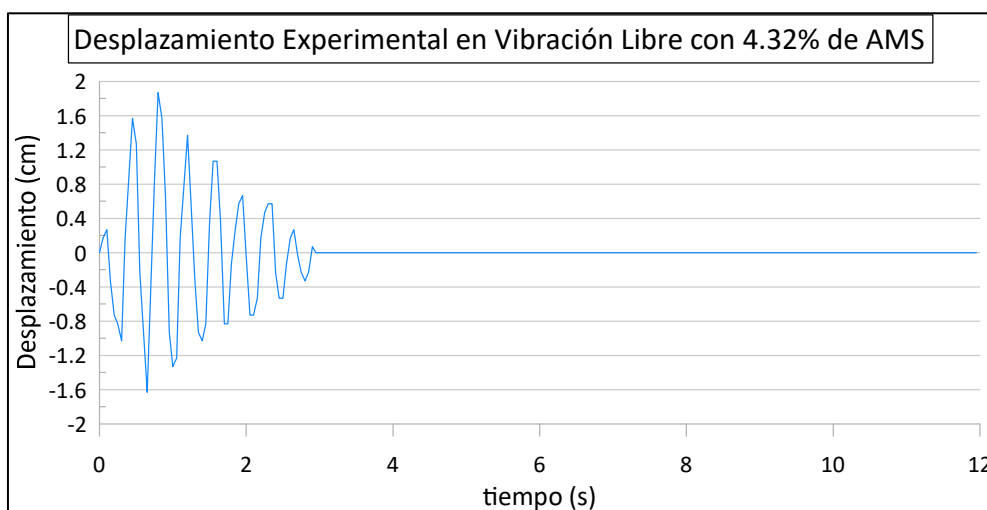


*Nota:* Se puede apreciar que el desplazamiento decrece en los rangos de  $t = 0$  seg. a  $t = 12$  seg.

### 3.6.7.2 Desplazamiento experimental en vibración libre con 4.32% de Amortiguador de Masa Sintonizada

Figura 66

*Desplazamiento en Vibración Libre con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.32%*

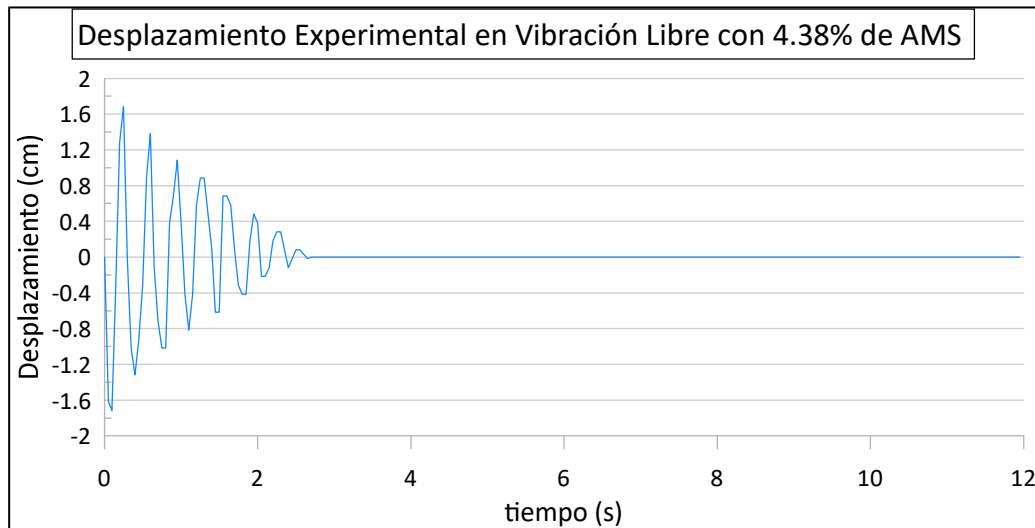


*Nota:* Se puede apreciar que el desplazamiento decrece en los rangos de  $t = 0$  seg. a  $t = 2.4$  seg.

### 3.6.7.3 Desplazamiento experimental en vibración libre con 4.38% de Amortiguador de Masa Sintonizada

**Figura 67**

*Desplazamiento en Vibración Libre con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.38%*

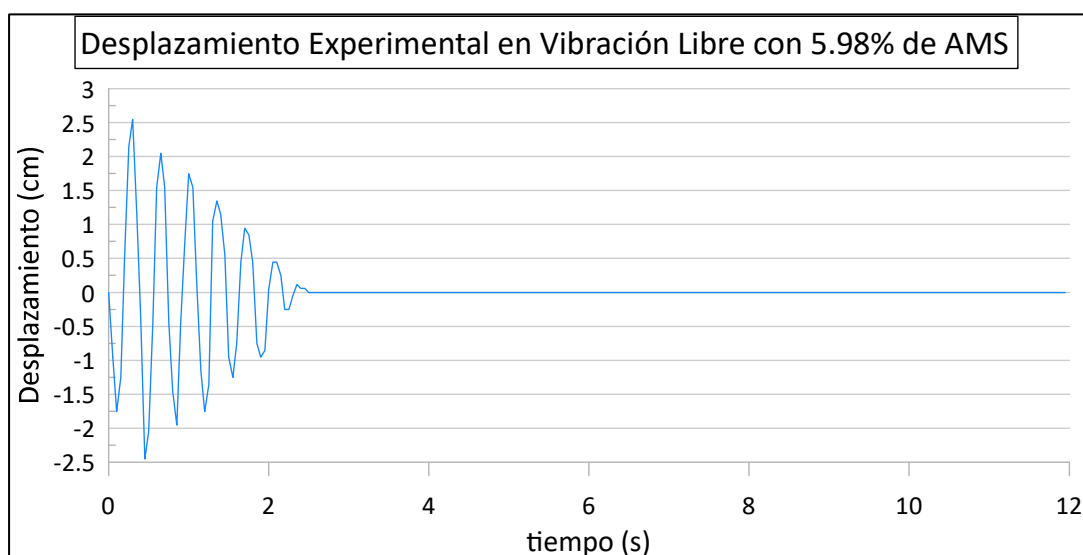


*Nota:* Se puede apreciar que el desplazamiento decrece en los rangos de  $t = 0$  seg. a  $t = 2.4$  seg.

### 3.6.7.4 Desplazamiento experimental en vibración libre con 5.98% de Amortiguador de Masa Sintonizada

**Figura 68**

*Desplazamiento en Vibración Libre con Amortiguador de Masa Sintonizada al 5.98%*



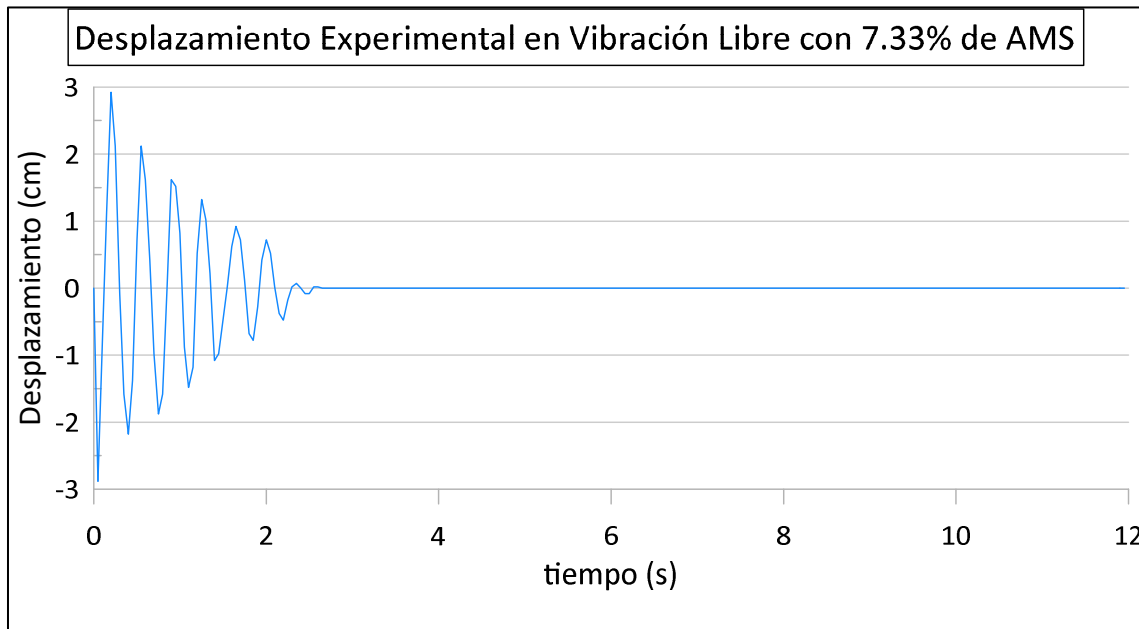
*Nota:* Se puede apreciar que el desplazamiento decrece en los rangos de  $t = 0$  seg. a  $t = 2.2$  seg.



### 3.6.7.5 Desplazamiento experimental en vibración libre con 7.33% de Amortiguador de Masa Sintonizada

Figura 69

*Desplazamiento en Vibración Libre con Amortiguador de Masa Sintonizada al 7.33%*



*Nota:* Se puede apreciar que el desplazamiento decrece en los rangos de  $t = 0$  seg. a  $t = 2.15$  seg.

### 3.6.8 Factor de amortiguamiento teórico

- a) Procesamiento o cálculo de la prueba
- Factor de amortiguamiento para el Amortiguador de Masa Sintonizada

Datos:

Relación de masa:  $\bar{m} = 0.01$

Amortiguamiento de Estructura:  $\xi = 0.01$

Aplicando la Ec. (94) se tiene:

$$\xi_d = \sqrt{\frac{3(0.01)}{8(1+0.01)(1-0.5(0.01))}} + (0.151(0.01) - 0.170(0.01)^2 + (0.163(0.01) + 4.980(0.01)^2)0.01$$

$$\xi_d = 0.0626$$

- Relación de la frecuencia del Amortiguador de Masa Sintonizada y la frecuencia natural mediante la Ec. (93)



$$f = \left( \frac{\sqrt{1-0.5*0.01}}{1+0.01} + \sqrt{1-2*0.01^2} - 1 \right) - [2.375 - 1.034\sqrt{0.01} - 0.426(0.01)] * 0.01 * \sqrt{0.01} - (3.730 - 16.903\sqrt{0.01} + 20.496*0.01) * 0.01^2 * \sqrt{0.01}$$

$$f = 0.9852$$

- Cálculo de |D3| mediante:

$$|D_3| = \left\{ \left[ -f^2 \rho^2 \bar{m} + (1 - \rho^2)(f^2 - \rho^2) - 4\xi_d \xi_a f \rho^2 \right]^2 + 4 \left[ \xi_d \rho (f^2 - \rho^2) + \xi_a f \rho (1 - \rho^2 (1 + \bar{m}))^2 \right]^2 \right\}$$

$$|D_3| = \left\{ \left[ -0.9852^2 * 1^2 * 0.01 + (1 - 1^2)(0.9852 - 1^2) - 4 * 0.01 * 0.0626 * 0.9852 * 1^2 \right]^2 \dots \right. \\ \left. \dots + 4 \left[ 0.01 * 1 * (0.9852^2 - 1^2) + 0.0626 + 0.9852 * 1 * (1 - 1^2) + 0.0626 * 0.9852 * 1 * (1 - 1^2 (1 + 0.01))^2 \right]^2 \right\}$$

$$|D_3| = 0.012$$

- Cálculo de H5 mediante:

$$H_5 = \frac{\sqrt{\left[ f^2 - \rho^2 \right]^2 + \left[ 2\xi_d \rho f \right]^2}}{|D_3|}$$

$$H_5 = \frac{\sqrt{\left[ 0.9852^2 - 1^2 \right]^2 + \left[ 2 * 0.0626 * 1 * 0.9852 \right]^2}}{0.012}$$

$$H_5 = 10.5416$$

- Amortiguamiento equivalente para el sistema primario según:

$$\xi_e = \frac{1}{2H_5 |_{opt}}$$



$$\xi_e = \frac{1}{2 * 10.5416}$$

$$\xi_e = 0.04743$$



Tabla 17

*Cálculo del Factor de Amortiguamiento Teórico*

 <span style="margin-left: 150px;">UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</span> 							
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL							
HOJA DE CÁLCULO DEL FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO TEÓRICO							
TESISTAS:	Lening Rafael Apaza Surco				Fecha:	18/11/2020	
	Bohon Vidal Ccana Ccpatinta						
LUGAR:	Trabajo en gabinete						
MATERIAL:	Hoja de cálculo						
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO TEÓRICO							
	m: Relación de masas						
	$\rho$ : Relación de la frecuencia de excitación y la frecuencia natural						
	$\xi_d$ : factor de amortiguamiento para el AMS						
	f: Relación de la frecuencia del AMS y la frecuencia natural						
	D3: Factor que depende de $\xi$ , $\xi_d$ , f, p y m						
	$\xi_e$ : Amortiguamiento equivalente para el sistema primario						
	$\xi$ : 0.010 Amortiguamiento de la estructura principal						
m	p	$\xi_d$	f	D3	H5	Ee	
<b>0.000</b>	<b>1</b>	<b>0.0015</b>	<b>0.9999</b>	<b>0.0001</b>	<b>35.7912</b>	<b>0.0139699</b>	
0.005	1	0.0448	0.9920	0.0065	13.9391	0.0358704	
0.010	1	0.0626	0.9852	0.0120	10.5416	0.0474310	
0.015	1	0.0762	0.9787	0.0174	8.9208	0.0560489	
0.020	1	0.0877	0.9722	0.0226	7.9289	0.0630603	
0.025	1	0.0978	0.9659	0.0277	7.2465	0.0689989	
0.030	1	0.1069	0.9597	0.0326	6.7435	0.0741459	
0.035	1	0.1152	0.9535	0.0374	6.3555	0.0786726	
0.040	1	0.1229	0.9474	0.0421	6.0464	0.0826937	
<b>0.043</b>	<b>1</b>	<b>0.1276</b>	<b>0.9435</b>	<b>0.0450</b>	<b>5.8773</b>	<b>0.0850732</b>	
<b>0.044</b>	<b>1</b>	<b>0.1285</b>	<b>0.9428</b>	<b>0.0456</b>	<b>5.8483</b>	<b>0.0854955</b>	
0.045	1	0.1301	0.9415	0.0466	5.7944	0.0862906	
0.050	1	0.1369	0.9355	0.0510	5.5851	0.0895240	
0.055	1	0.1434	0.9297	0.0553	5.4089	0.0924408	
<b>0.0598</b>	<b>1</b>	<b>0.1493</b>	<b>0.9241</b>	<b>0.0593</b>	<b>5.2640</b>	<b>0.0949850</b>	
0.060	1	0.1495	0.9239	0.0595	5.2588	0.0950782	
0.065	1	0.1554	0.9182	0.0635	5.1300	0.0974664	
0.070	1	0.1611	0.9125	0.0674	5.0186	0.0996303	
<b>0.073</b>	<b>1</b>	<b>0.1647</b>	<b>0.9087</b>	<b>0.0699</b>	<b>4.9527</b>	<b>0.1009546</b>	
0.075	1	0.1665	0.9069	0.0712	4.9217	0.1015908	
0.080	1	0.1718	0.9013	0.0748	4.8372	0.1033658	
0.085	1	0.1768	0.8958	0.0784	4.7632	0.1049704	
0.090	1	0.1817	0.8904	0.0818	4.6985	0.1064180	
0.095	1	0.1865	0.8850	0.0851	4.6417	0.1077201	
0.100	1	0.1911	0.8796	0.0883	4.5919	0.1088869	



- b) Análisis de la prueba
- El factor de amortiguamiento

$\bar{m}$	$\xi_e$
0.00%	0.0140
4.32%	0.0852
4.38%	0.0855
5.98%	0.0950
7.33%	0.1010

### 3.6.9 Factor de amortiguamiento experimental

Procesamiento o cálculo de la prueba

$$\delta = \frac{2 * \pi * \xi}{\sqrt{1 - \xi^2}}$$

$$\delta = \frac{1}{n} * \ln \left( \frac{x_1}{x_{n+1}} \right)$$

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

Siendo:

$x_1$  = Amplitud inicial

$x_{n+1}$  = Amplitud final en el periodo n

$n$  = número de periodos

$\delta$  = decremento logarítmico

#### 3.6.9.1 Factor de amortiguamiento experimental sin Amortiguador de Masa Sintonizada

- a) Procesamiento o cálculo de la prueba

Datos:

$$x_1 = 5.748$$

$$x_{n+1} = 2.5$$

$$n = 22$$

$$\delta = \frac{1}{n} * \ln \left( \frac{x_1}{x_{n+1}} \right)$$



$$\delta = \frac{1}{22} \ln \left( \frac{5.748}{2.5} \right)$$

$$\delta = 0.03784$$

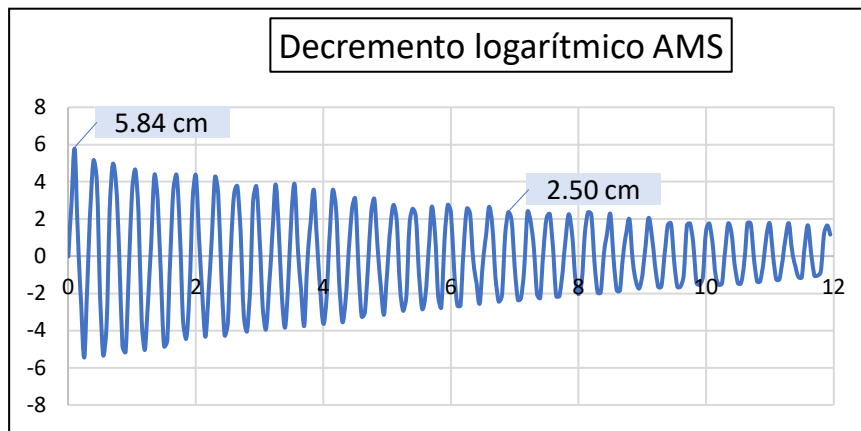
$$\xi = \frac{\delta}{\sqrt{4 * \pi^2 + \delta^2}}$$

$$\xi = 0.0060229$$

b) Diagrama

**Figura 70**

*Decremento Logarítmico sin Amortiguador de Masa Sintonizada*



*Nota:* El factor de amortiguamiento es de 0.60%

### 3.6.9.2 Factor de amortiguamiento experimental con 4.32% de Amortiguador de Masa Sintonizada

a) Procesamiento o cálculo de la prueba

$$x_1 = 1.897$$

$$x_{n+1} = 0.097$$

$$n = 6$$

$$\delta = \frac{1}{n} * \ln \left( \frac{x_1}{x_{n+1}} \right)$$

$$\delta = \frac{1}{6} \ln \left( \frac{1.897}{0.097} \right)$$

$$\delta = 0.49555$$

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

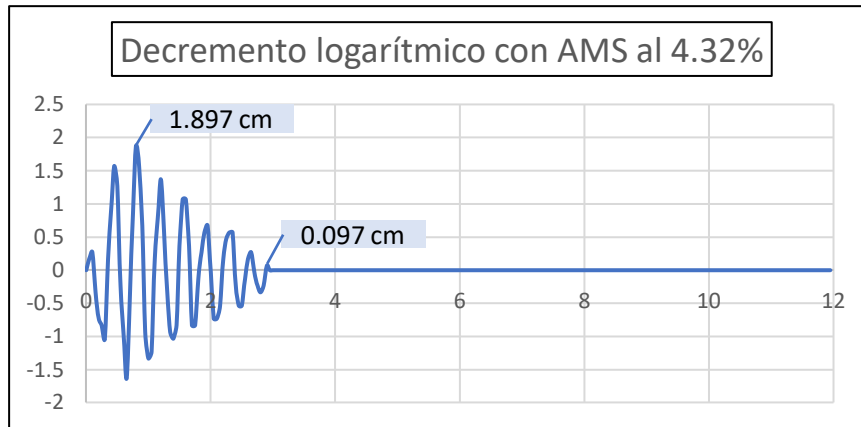
$$\xi = 0.0786255$$



b) Diagrama

**Figura 71**

*Decremento Logarítmico con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.32%*



*Nota:* El factor de amortiguamiento es de 7.86%

### 3.6.9.3 Factor de amortiguamiento experimental con 4.38% de Amortiguador de Masa Sintonizada

a) Procesamiento o cálculo de la prueba

Datos:

$$x_1 = 1.653$$

$$x_{n+1} = 0.053$$

$$n = 7$$

$$\delta = \frac{1}{n} * \ln\left(\frac{x_1}{x_{n+1}}\right)$$

$$\delta = \frac{1}{7} \ln\left(\frac{1.653}{0.053}\right)$$

$$\delta = 0.49144$$

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

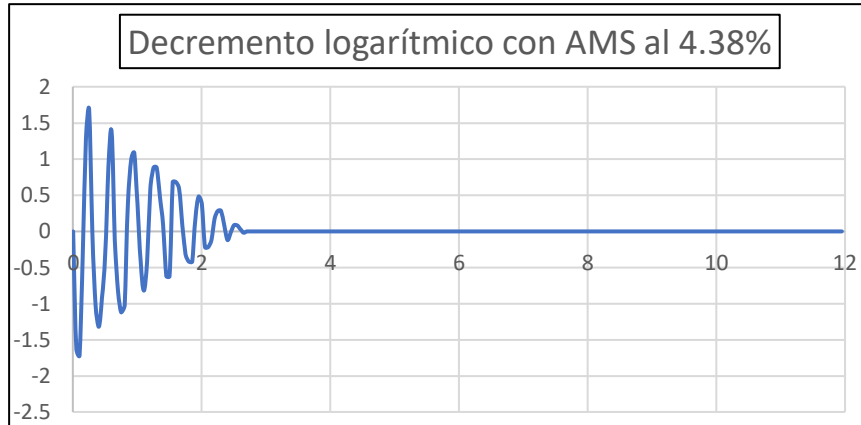
$$\xi = 0.0779764$$



b) Diagrama

**Figura 72**

*Decremento Logarítmico con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.38%*



*Nota:* El factor de amortiguamiento es de 7.80%

### 3.6.9.4 Factor de amortiguamiento experimental con 5.98% de Amortiguador de Masa Sintonizada

a) Procesamiento o cálculo de la prueba

Datos:

$$x_1 = 2.505$$

$$x_{n+1} = 0.07385$$

$$n = 6$$

$$\delta = \frac{1}{n} * \ln \left( \frac{x_1}{x_{n+1}} \right)$$

$$\delta = \frac{1}{6} \ln \left( \frac{2.505}{0.07385} \right)$$

$$\delta = 0.58733$$

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

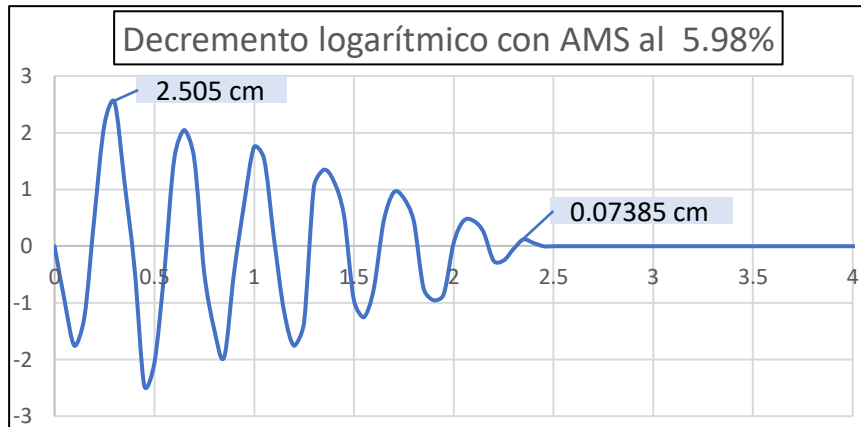
$$\xi = 0.0930715$$



b) Diagrama

**Figura 73**

*Decremento Logarítmico con Amortiguador de Masa Sintonizada al 5.98%*



*Nota:* El factor de amortiguamiento es de 9.31%

### 3.6.9.5 Factor de amortiguamiento experimental con 7.33% de Amortiguador de Masa Sintonizada

a) Procesamiento o cálculo de la prueba

Datos:

$$x_1 = 2.92$$

$$x_{n+1} = 0.06822$$

$$n = 6$$

$$\delta = \frac{1}{n} * \ln\left(\frac{x_1}{x_{n+1}}\right)$$

$$\delta = \frac{1}{6} \ln\left(\frac{2.92}{0.06822}\right)$$

$$\delta = 0.6261$$

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

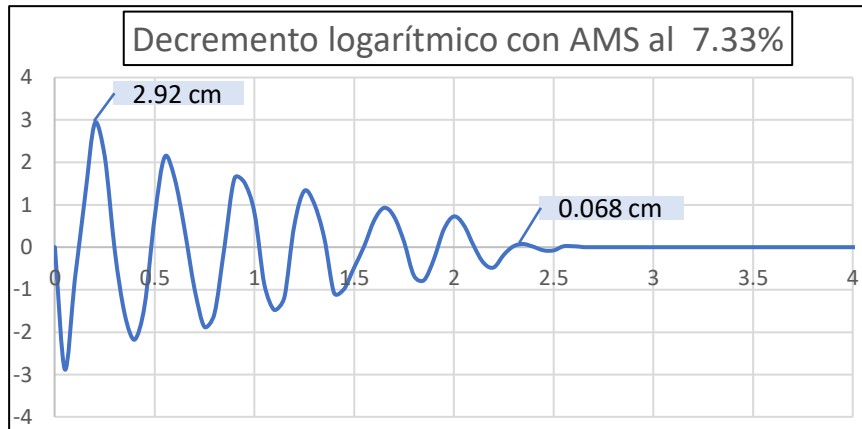
$$\xi = 0.0991559$$



b) Diagrama

**Figura 74**

*Decremento Logarítmico con Amortiguador de Masa Sintonizada al 7.33%*



*Nota:* El factor de amortiguamiento es de 9.92%

**Tabla 18**

*Cálculo del Factor de Amortiguamiento Experimental*

<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>						
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL						
<b>HOJA DE CÁLCULO DEL FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO EXPERIMENTAL</b>						
TESISTAS:	Lening Rafael Apaza Surco		Fecha:	18/11/2020		
	Bohon Vidal Ccana Ccapatinta					
LUGAR:	Trabajo en gabinete					
MATERIAL:	Hoja de cálculo					
<b>FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO EXPERIMENTAL</b>						
	Siendo:			$\delta = \frac{2 * \pi * \epsilon_t}{\sqrt{1 - \epsilon_t^2}}$		
	x <sub>1</sub> =	Amplitud inicial				
	x <sub>n+1</sub> =	Amplitud final en el periodo n				
	n=	N° de periodos				
	δ=	decremento log		$\delta = \frac{1}{n} * \ln \left( \frac{x_1}{x_{n+1}} \right)$		
				$\epsilon_t = \frac{\delta}{\sqrt{4 * \pi^2 + \delta^2}}$		
AMS (%)	x <sub>1</sub>	x <sub>n+1</sub>	n	δ	ε <sub>t</sub>	ε <sub>t</sub> (%)
0	5.748	2.5	22	0.03784	0.0060229	0.60%
4.32	1.897	0.097	6	0.49555	0.0786255	7.86%
4.38	1.653	0.053	7	0.49144	0.0779764	7.80%
5.98	2.505	0.07385	6	0.58733	0.0930715	9.31%
7.33	2.92	0.06822	6	0.6261	0.0991559	9.92%



### 3.6.10 Periodo de vibración teórico

a) Procesamiento o cálculo de la prueba

Una vez obtenido el factor de amortiguamiento ( $\xi$ ) se aplica la siguiente fórmula:

$$T_D = \frac{T_n}{\sqrt{1-\xi^2}}$$

$$T_n = 0.2715 \text{seg}$$

Datos:

$\bar{m}$	$\xi_e$
0.00%	0.0140
4.32%	0.0852
4.38%	0.0855
5.98%	0.0950
7.33%	0.1010

- Periodo de vibración sin Amortiguador de Masa Sintonizada

$$\xi = 0.0140$$

$$T_D = \frac{0.2715}{\sqrt{1-0.0140^2}}$$

$$T_D = 0.27153$$

- Periodo de vibración con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.32%

$$\xi = 0.0852$$

$$T_D = \frac{0.2715}{\sqrt{1-0.0852^2}}$$

$$T_D = 0.27249$$

- Periodo de vibración con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.38%

$$\xi = 0.0855$$

$$T_D = \frac{0.2715}{\sqrt{1-0.0855^2}}$$

$$T_D = 0.27250$$

- Periodo de vibración con Amortiguador de Masa Sintonizada al 5.98%

$$\xi = 0.0950$$

$$T_D = \frac{0.2715}{\sqrt{1-0.0950^2}}$$



$$T_D = 0.27273$$

- Periodo de vibración con Amortiguador de Masa Sintonizada al 7.33%

$$\xi = 0.1010$$

$$T_D = \frac{0.2715}{\sqrt{1 - 0.1010^2}}$$

$$T_D = 0.27289$$

- b) Diagramas, tablas que permiten interpretar el ítem

**Tabla 19**

*Cálculo para el Periodo de Vibración*

<div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b>  <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b> </div>			
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO MODELADO A ESCALA SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS) SIMULADO DE FORMA ANALÍTICA Y EXPERIMENTAL			
HOJA DE CÁLCULO PARA EL PERIODO DE VIBRACIÓN TEÓRICO			
TESISTAS:	Lening Rafael Apaza Surco	Fecha:	19/11/2020
	Bohon Vidal Ccana Ccapatinta		
LUGAR:	Trabajo en gabinete		
MATERIAL:	Hoja de cálculo		
PERIODO DE VIBRACIÓN TEÓRICO			
Siendo:			
$\xi_n =$	Factor de amortiguamiento	$T_D = \frac{T_n}{\sqrt{1 - \xi^2}}$	
$T_n =$	Periodo de vibración natural		
$T_D =$	Periodo de vibración amortiguado		
AMS (%)	$T_n$	$\xi_n$	TD
0	0.2715	0.0139699	0.27153988
4.32	0.2715	0.08507324	0.27250128
4.38	0.2715	0.08549554	0.27251117
5.98	0.2715	0.09498496	0.27274655
7.33	0.2715	0.10095455	0.27290766

*Nota:* Se puede apreciar que con el aumento del porcentaje de masa en el Amortiguador de Masa Sintonizada incrementa el periodo, aunque es despreciable este incremento.



### 3.6.11 Período de vibración experimental

#### 3.6.11.1 Período de vibración experimental sin Amortiguador de Masa Sintonizada

- a) Procesamiento o cálculo de la prueba

Se visualiza el diagrama para poder determinar el periodo experimental

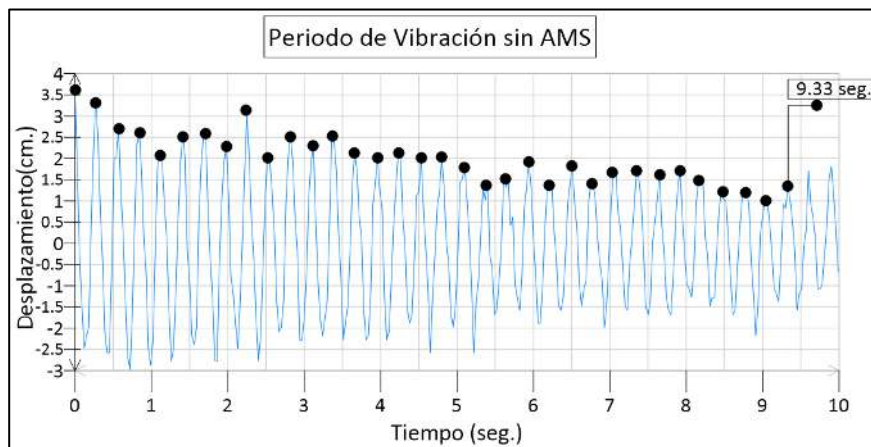
$$T = \frac{T_f - T_i}{n}$$

$$T = \frac{9.33}{33} = 0.283$$

- b) Diagrama

**Figura 75**

*Periodo de Vibración sin Amortiguador de Masa Sintonizada*



*Nota:* El periodo de vibración para la estructura sin Amortiguador de Masa Sintonizada es de 0.283 seg.

#### 3.6.11.2 Período de vibración experimental con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.32%

- a) Procesamiento o cálculo de la prueba

Se visualiza el diagrama para poder determinar el periodo experimental

$$T = \frac{T_f - T_i}{n}$$

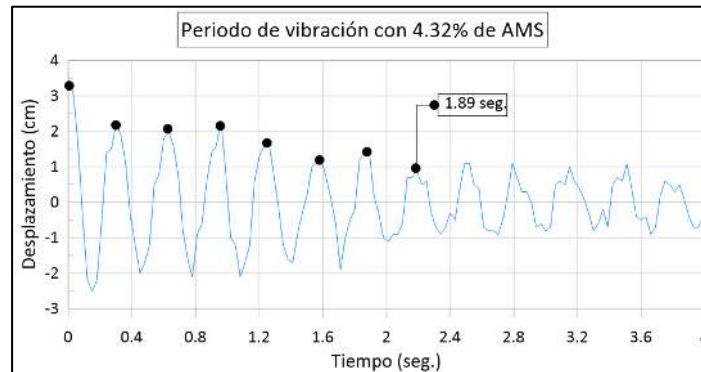
$$T = \frac{1.89}{6} = 0.315$$



b) Diagrama

**Figura 76**

*Periodo de Vibración con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.32%*



*Nota:* El periodo de vibración para la estructura con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.32% es de 0.315 seg.

### 3.6.11.3 Periodo de vibración experimental con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.38%

a) Procesamiento o cálculo de la prueba

Se visualiza el diagrama para poder determinar el periodo experimental

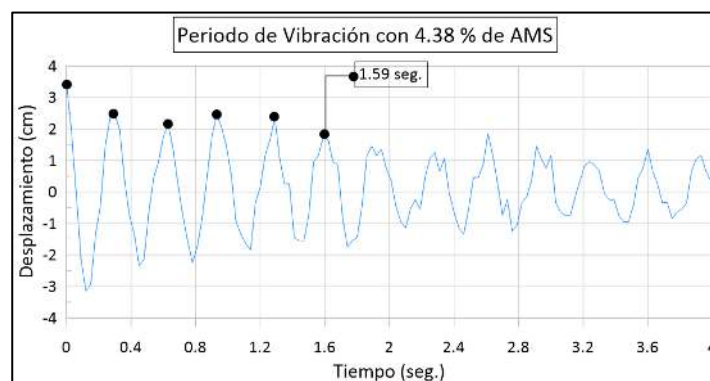
$$T = \frac{T_f - T_i}{n}$$

$$T = \frac{1.59}{5} = 0.318$$

b) Diagrama

**Figura 77**

*Periodo de Vibración con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.38%*



*Nota:* El periodo de vibración para la estructura con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.38% es de 0.318 seg.



### 3.6.11.4 Periodo de vibración experimental con Amortiguador de Masa Sintonizada al 5.98%

- a) Procesamiento o cálculo de la prueba

Se visualiza el diagrama para poder determinar el periodo experimental

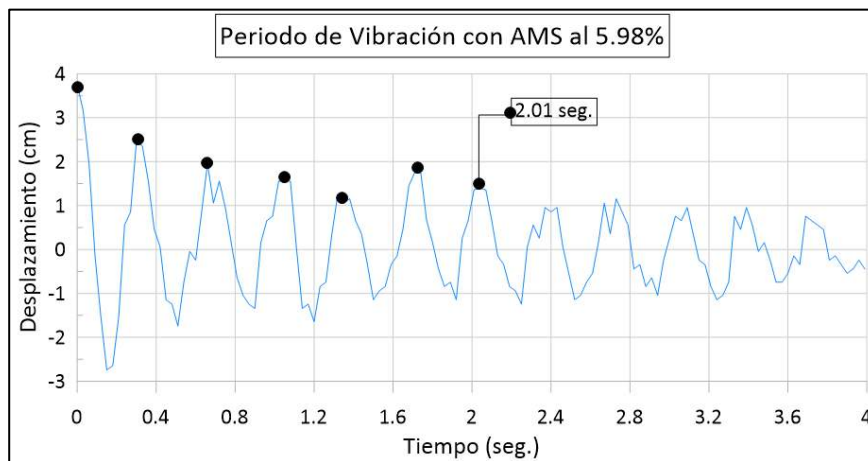
$$T = \frac{T_f - T_i}{n}$$

$$T = \frac{2.01}{6} = 0.335$$

- b) Diagrama

**Figura 78**

*Periodo de Vibración con Amortiguador de Masa Sintonizada al 5.98%*



*Nota:* El periodo de vibración para la estructura con Amortiguador de Masa Sintonizada al 5.98% es de 0.335 seg.

### 3.6.11.5 Periodo de vibración experimental con Amortiguador de Masa Sintonizada al 7.33%

- a) Procesamiento o cálculo de la prueba

Se visualiza el diagrama para poder determinar el periodo experimental

$$T = \frac{T_f - T_i}{n}$$

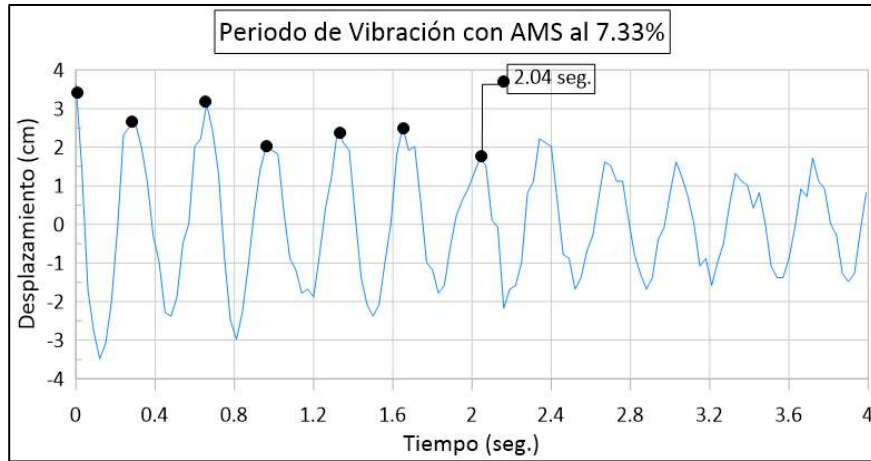
$$T = \frac{2.04}{6} = 0.340$$



b) Diagrama

**Figura 79**

*Periodo de Vibración con Amortiguador de Masa Sintonizada al 7.33%*



*Nota:* El periodo de vibración para la estructura con Amortiguador de Masa Sintonizada al 7.33% es de 0.375 seg.



Tabla 20

*Cálculo para el Periodo de Vibración Experimental*

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MAQUETA CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO SOMETIDO A VIBRACIONES DE 1 GDL, CON Y SIN AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA (AMS), SIMULADO DE FORMA NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL			
<b>HOJA DE CÁLCULO PARA EL PERIODO DE VIBRACIÓN EXPERIMENTAL</b>			
TESISTAS:	Lening Rafael Apaza Surco	Fecha:	19/11/2020
	Bohon Vidal Ccana Ccapatinta		
LUGAR:	Trabajo en gabinete		
MATERIAL:	Hoja de cálculo		
<b>FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO EXPERIMENTAL</b>			
Siendo:			
T	Periodo de vibración		
Gráfico			
	Cálculo del periodo de vibración experimental		
	AMS (%)	T	
	0	0.283	
	4.32	0.315	
	4.38	0.318	
	5.98	0.336	
	7.33	0.340	

### 3.6.12 Desplazamiento experimental en vibración forzada

- a) Procedimiento o cálculo de la prueba

Una vez obtenido los datos del registro de desplazamientos en vibración forzada se procesan en el Software Grapher, esto con la finalidad de poder apreciar en cuanto reducen los desplazamientos.

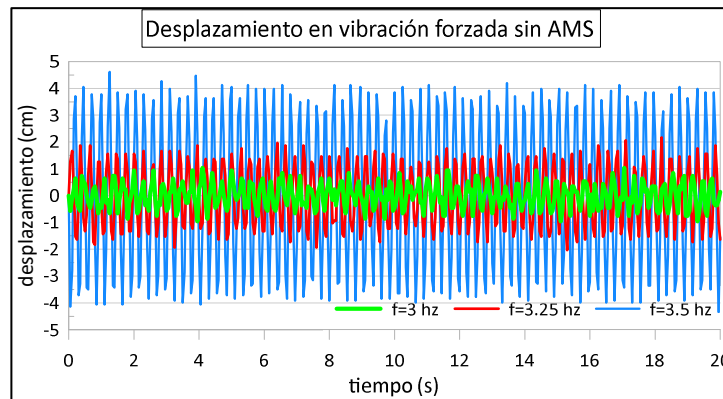


b) Diagrama o tablas que permitan interpretar el ítem

### 3.6.12.1 Desplazamiento experimental en vibración forzada sin Amortiguador de Masa Sintonizada

Figura 80

*Desplazamiento Experimental en Vibración Forzada sin Amortiguador de Masa Sintonizada*



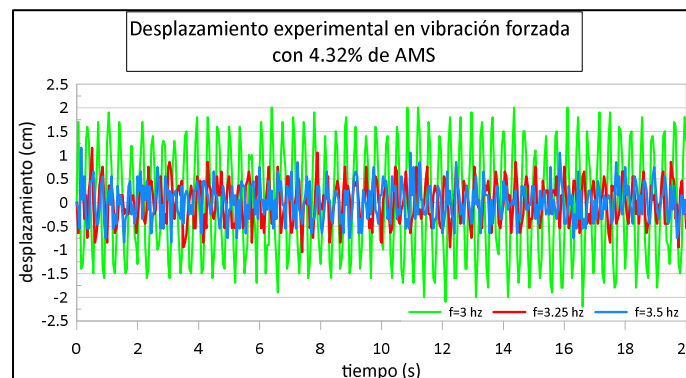
*Nota:* Los desplazamientos máximos con un desplazamiento de 2.5 mm. de la mesa sísmica a determinadas frecuencias son las siguientes:

Frecuencia (hz)	Desplazamiento (cm)
3.50	4.76
3.25	2.21
3.00	1.30

### 3.6.12.2 Desplazamiento experimental en vibración forzada con 4.32% de Amortiguador de Masa Sintonizada

Figura 81

*Desplazamiento Experimental en Vibración Forzada con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.32%*



*Nota:* Los desplazamientos máximos con un desplazamiento de 2.5 mm. de la mesa sísmica a determinadas frecuencias son las siguientes:

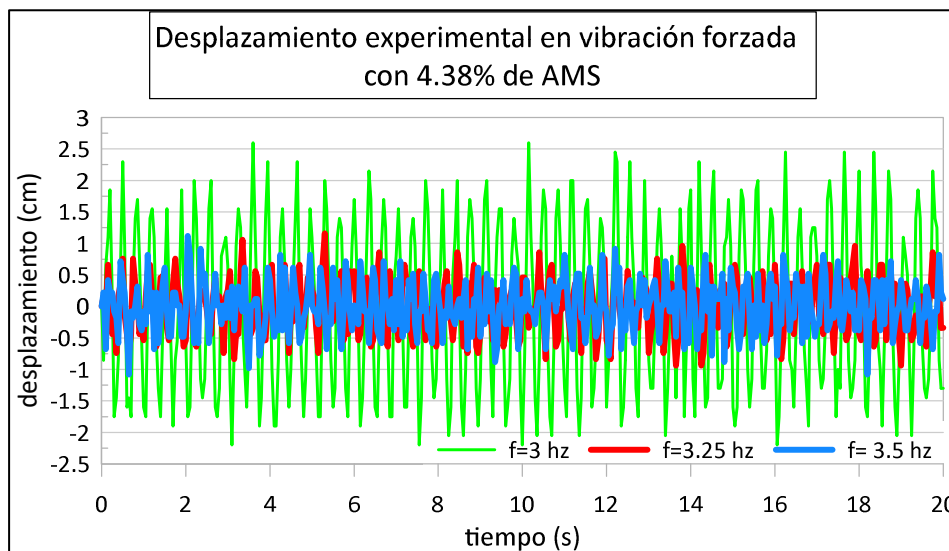


Frecuencia (hz)	Desplazamiento (cm)
3.50	1.06
3.25	1.30
3.00	2.47

### 3.6.12.3 Desplazamiento experimental en vibración forzada con 4.38% de Amortiguador de Masa Sintonizada

Figura 82

*Desplazamiento Experimental en Vibración Forzada con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.38%*



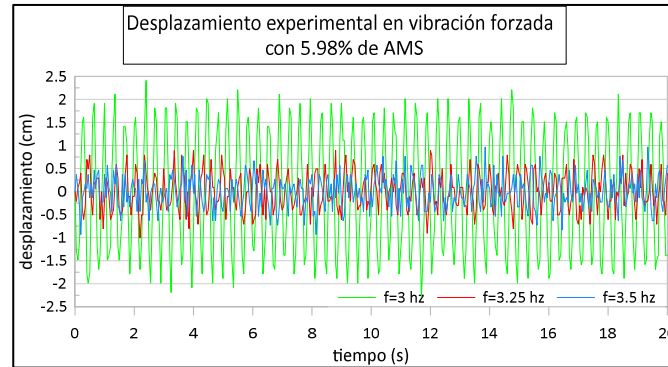
*Nota:* Los desplazamientos máximos con un desplazamiento de 2.5 mm. de la mesa sísmica a determinadas frecuencias son las siguientes:

Frecuencia (hz)	Desplazamiento (cm)
3.50	1.06
3.25	1.06
3.00	2.89

### 3.6.12.4 Desplazamiento experimental en vibración forzada con 5.98% de Amortiguador de Masa Sintonizada

**Figura 83**

*Desplazamiento Experimental en Vibración Forzada con Amortiguador de Masa Sintonizada al 5.98%*



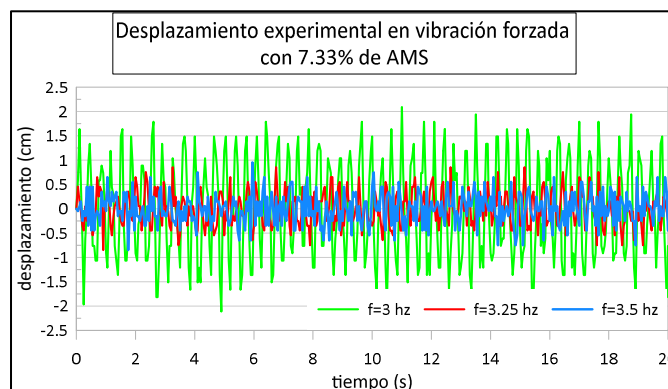
*Nota:* Los desplazamientos máximos con un desplazamiento de 2.5 mm. de la mesa sísmica a determinadas frecuencias son las siguientes:

Frecuencia (hz)	Desplazamiento (cm)
3.50	1.09
3.25	1.19
3.00	2.25

### 3.6.12.5 Desplazamiento experimental en vibración forzada con 7.33% de Amortiguador de Masa Sintonizada

**Figura 84**

*Desplazamiento Experimental en Vibración Forzada con Amortiguador de Masa Sintonizada al 7.33%*



*Nota:* Los desplazamientos máximos con un desplazamiento de 2.5 mm. de la mesa sísmica a determinadas frecuencias son las siguientes:



Frecuencia (hz)	Desplazamiento (cm)
3.50	1.00
3.25	1.10
3.00	2.05

### 3.6.13 Aceleración máxima experimental de la estructura en vibración forzada

a) Procedimiento o cálculo de la prueba

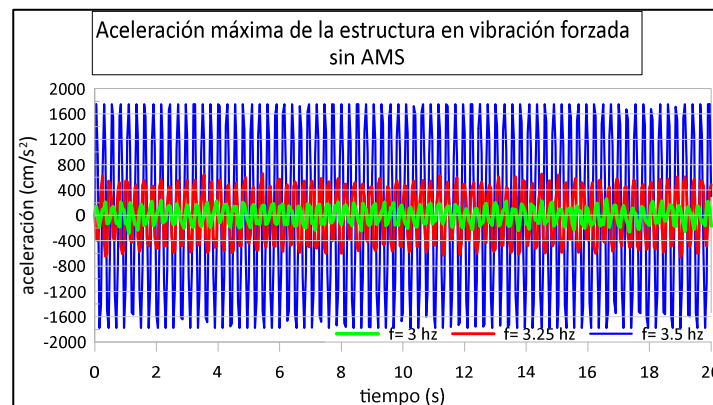
Una vez obtenido los datos del registro de aceleraciones máximas en vibración forzada se procesan en el Software Grapher, esto con la finalidad de poder apreciar en cuanto se reducen las aceleraciones con el incremento en porcentajes de Amortiguador de Masa Sintonizada.

b) Diagramas o tablas que permitan interpretar el ítem.

#### 3.6.13.1 Aceleración máxima experimental de la estructura en vibración forzada sin Amortiguador de Masa Sintonizada

**Figura 85**

*Aceleración Máxima de la Estructura en Vibración Forzada sin Amortiguador de Masa Sintonizada*



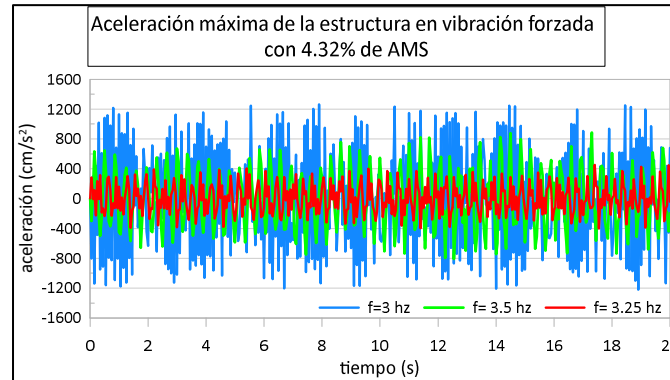
*Nota:* La aceleración máxima con un desplazamiento de 2.5 mm. de la mesa sísmica a determinadas frecuencias son las siguientes:

Frecuencia (hz)	Aceleración (cm/s <sup>2</sup> )
3.50	1737.08
3.25	718.31
3.00	311.03

### 3.6.13.2 Aceleración máxima experimental de la estructura en vibración forzada con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.32%

**Figura 86**

*Aceleración Máxima de la Estructura en Vibración Forzada con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.32%*



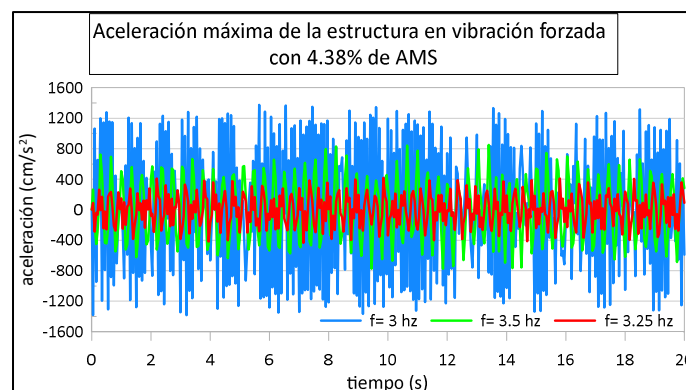
*Nota:* La aceleración máxima con un desplazamiento de 2.5 mm. de la mesa sísmica a determinadas frecuencias son las siguientes

Frecuencia (hz)	Aceleración (cm/s <sup>2</sup> )
3.50	852.21
3.25	409.22
3.00	1296.37

### 3.6.13.3 Aceleración máxima experimental de la estructura en vibración forzada con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.38%

**Figura 87**

*Aceleración Máxima de la Estructura en Vibración Forzada con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.38%*



*Nota:* La aceleración máxima con un desplazamiento de 2.5 mm. de la mesa sísmica a determinadas frecuencias son las siguientes

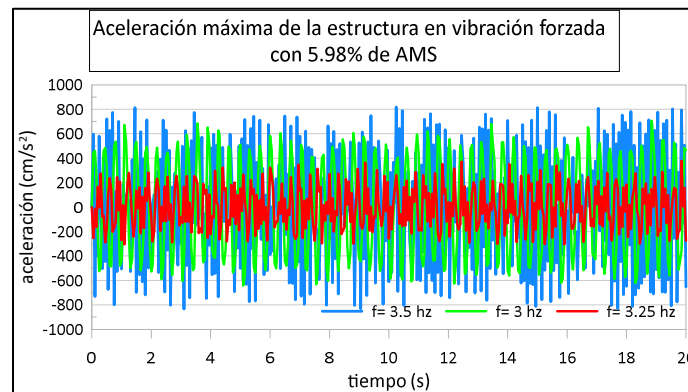


Frecuencia (hz)	Aceleración (cm/s <sup>2</sup> )
3.50	829.13
3.25	388.99
3.00	1398.91

### 3.6.13.4 Aceleración máxima experimental de la estructura en vibración forzada con Amortiguador de Masa Sintonizada al 5.98%

Figura 88

*Aceleración Máxima de la Estructura en Vibración Forzada con Amortiguador de Masa Sintonizada al 5.98%*



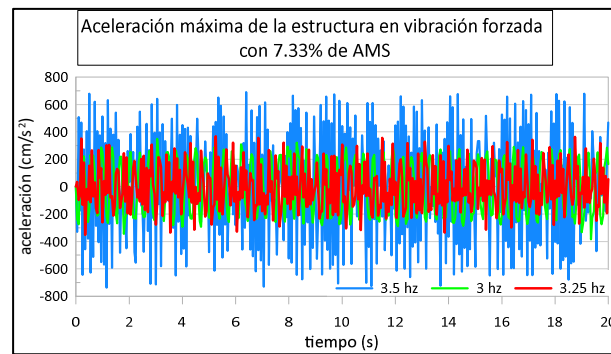
*Nota:* La aceleración máxima con un desplazamiento de 2.5 mm. de la mesa sísmica a determinadas frecuencias son las siguientes

Frecuencia (hz)	Aceleración (cm/s <sup>2</sup> )
3.50	822.44
3.25	376.17
3.00	535.02

### 3.6.13.5 Aceleración máxima experimental de la estructura en vibración forzada con Amortiguador de Masa Sintonizada al 7.33%

**Figura 89**

*Aceleración Máxima de la Estructura en Vibración Forzada con Amortiguador de Masa Sintonizada al 7.33%*



*Nota:* La aceleración máxima con un desplazamiento de 2.5 mm. de la mesa sísmica a determinadas frecuencias son las siguientes

Frecuencia (hz)	Aceleración (cm/s <sup>2</sup> )
3.50	708.93
3.25	331.35
3.00	488.14

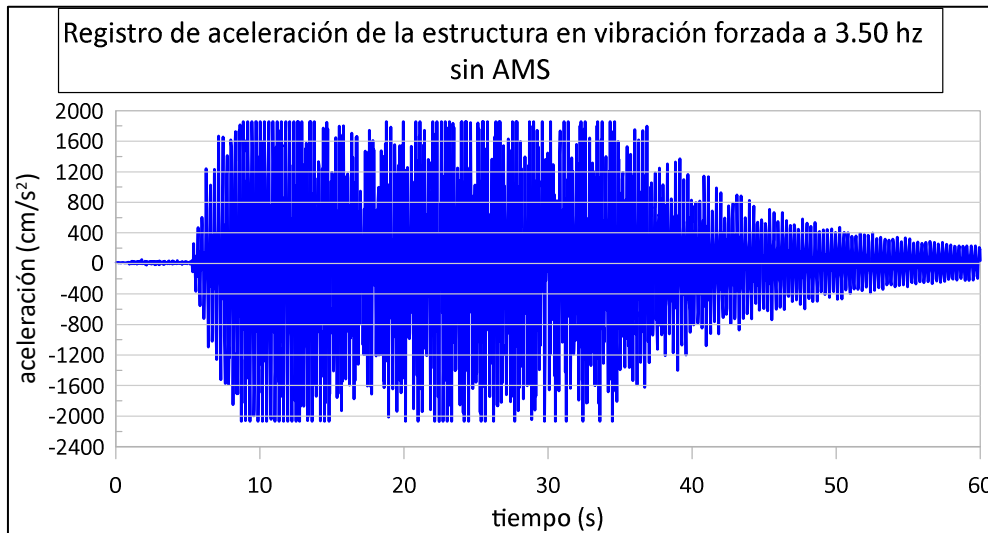


### 3.6.14 Gráficos de Aceleración experimental de Manera Continua

#### 3.6.14.1 Aceleración experimental a $f=3.50$ hz de manera continua sin Amortiguador de Masa Sintonizada

Figura 90

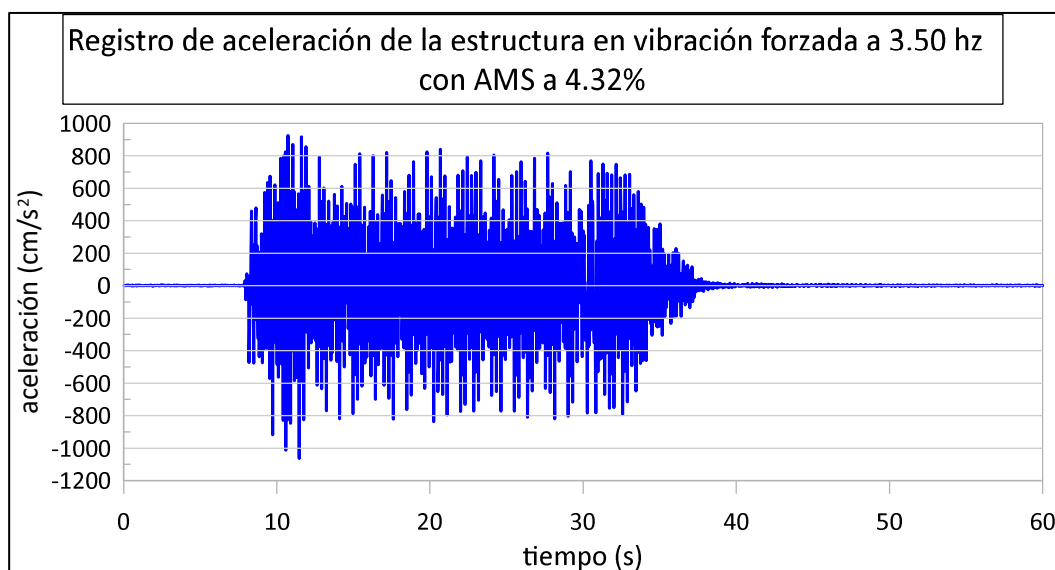
*Aceleración con  $f=3.50$  hz de Manera Continua sin Amortiguador de Masa Sintonizada*



#### 3.6.14.2 Aceleración experimental a $f=3.50$ hz de manera continua con amortiguador de masa sintonizada a 4.32%

Figura 91

*Aceleración con  $f=3.50$  hz de Manera Continua con AMS a 4.32%*



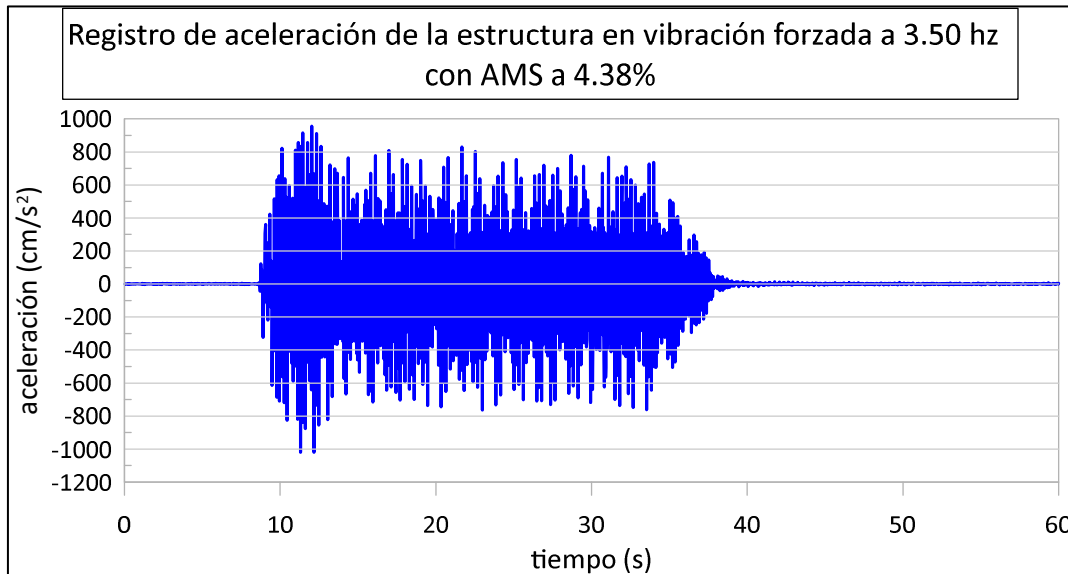




### 3.6.14.3 Aceleración experimental a $f=3.50$ hz de manera continua con 4.38%

**Figura 92**

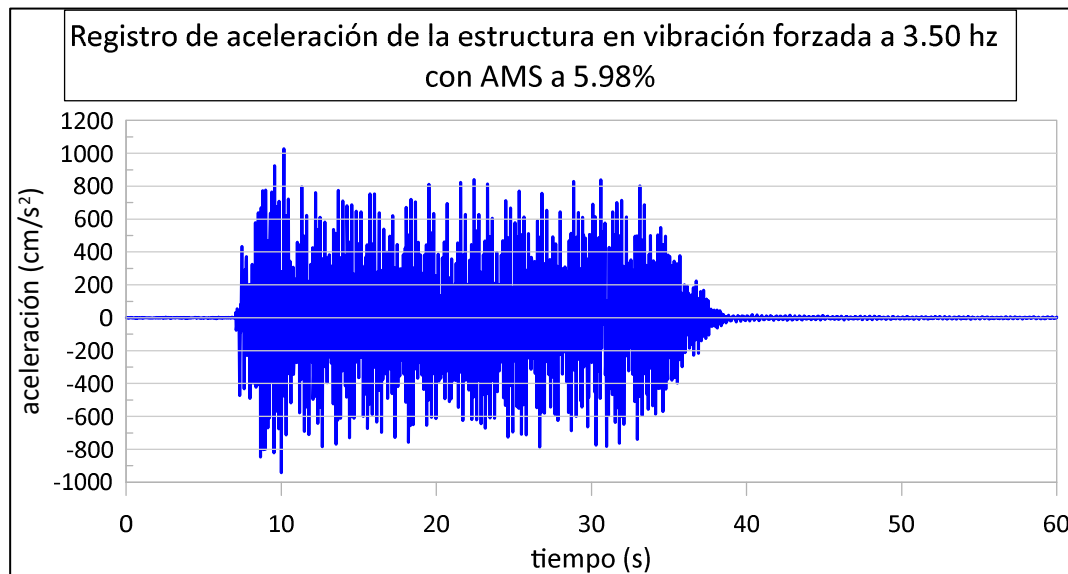
*Aceleración con  $f=3.50$  hz de Manera Continua con AMS a 4.38%*



### 3.6.14.4 Aceleración experimental a $f=3.50$ hz de manera continua con 5.98%

**Figura 93**

*Aceleración con  $f=3.50$  hz de Manera Continua con AMS a 5.98%*

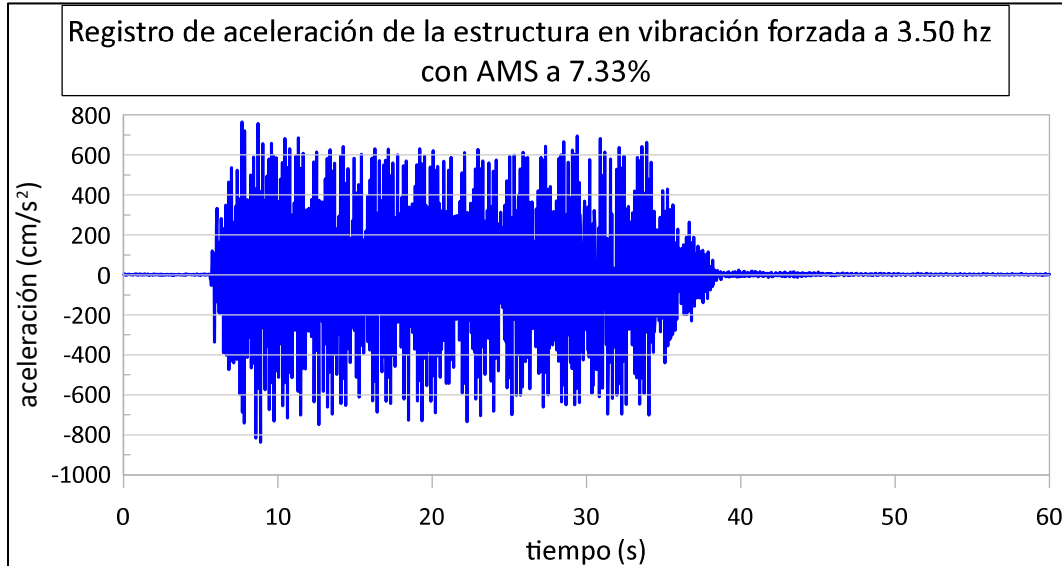




### 3.6.14.5 Aceleración experimental $f=3.50$ hz de manera continua con 7.33%

**Figura 94**

*Aceleración con  $f=3.50$  hz de Manera Continua con AMS a 7.33%*



### 3.6.15 Método de Runge-Kutta (Forma Numérica)

De acuerdo al anexo N° 06, el programa implementado en el Software Maple, permite el procesamiento numérico de la estructura, mostrando resultados para la excitación de la estructura en forma libre a diferentes frecuencias de excitación. Todo esto haciendo uso de la ecuación general de movimiento con aceleración de base y resuelto por el método de Runge-Kutta.

Los datos iniciales son los calculados anteriormente.

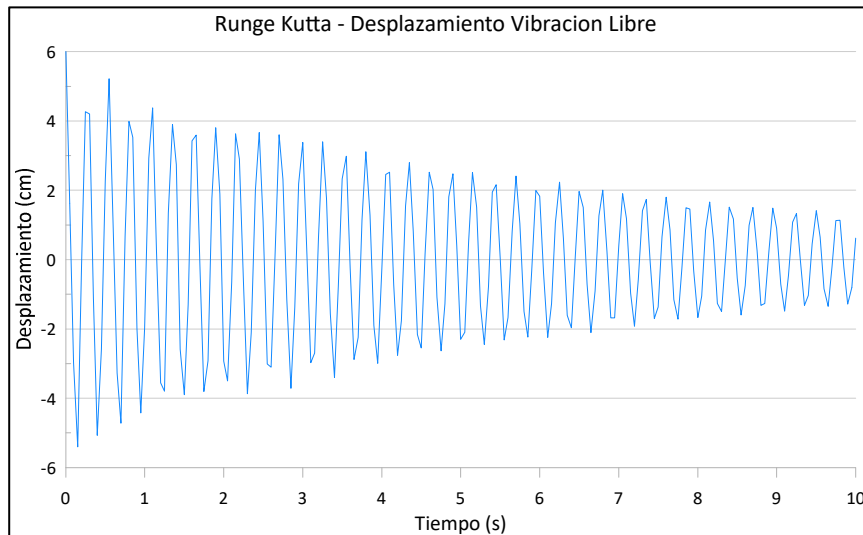


### 3.6.15.1 Desplazamiento numérico en vibración libre

#### 3.6.15.1.1 Desplazamiento numérico en vibración libre sin AMS

Figura 95

*Desplazamiento Numérico en Vibración Libre.*

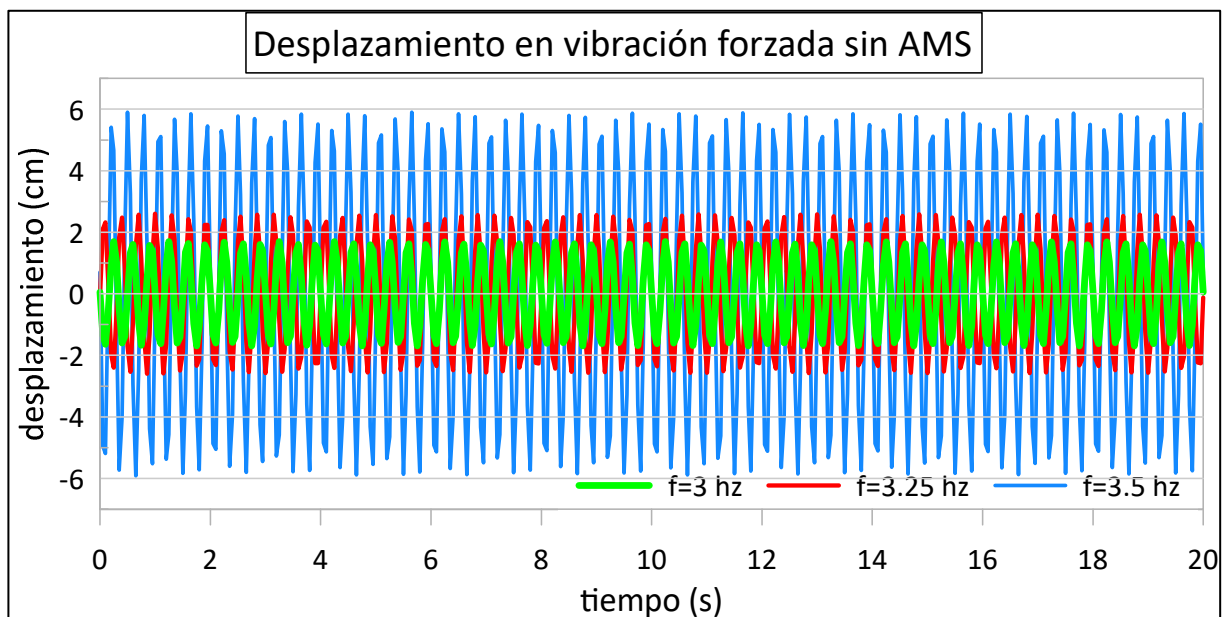


*Nota:* Se registra el comportamiento de la estructura en vibración libre, mediante el método de Runge Kutta, dando como desplazamiento inicial de 6 cm.

### 3.6.15.2 Desplazamiento numérico en vibración forzada sin AMS

Figura 96

*Grafico Comparativo de Desplazamiento Numérico en Vibración Forzada sin AMS.*

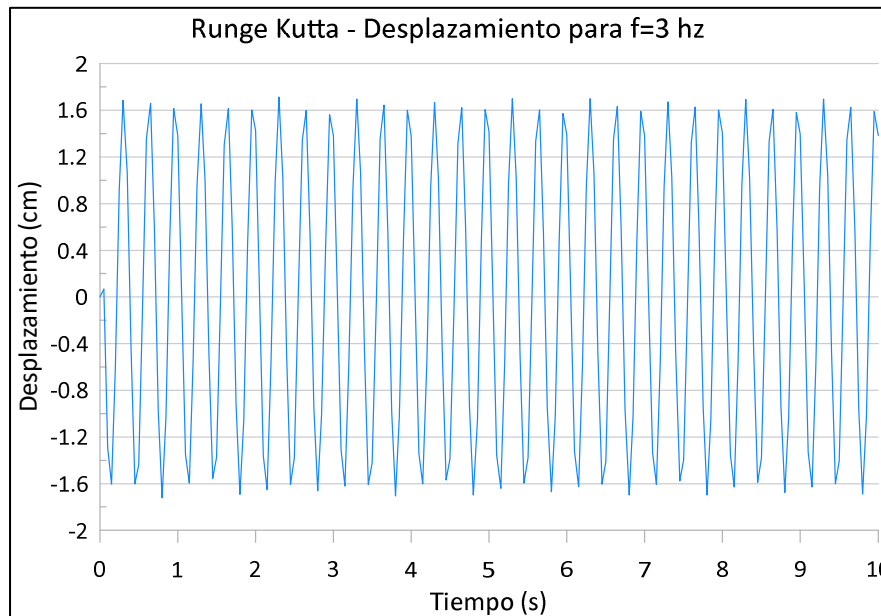




### 3.6.15.2.1 Desplazamiento numérico en vibración forzada sin AMS a 3.00 Hz

**Figura 97**

*Desplazamiento Numérico en Vibración Forzada sin AMS a 3.00 Hz.*

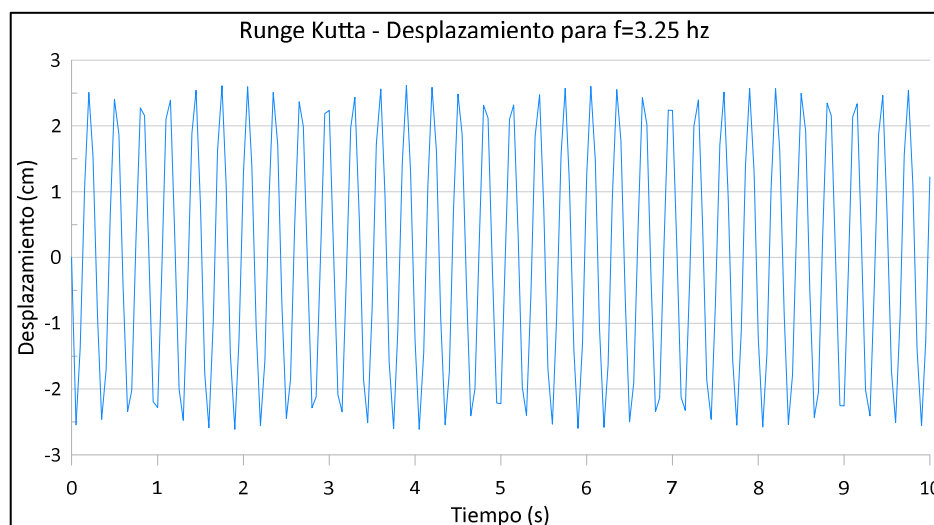


*Nota:* El desplazamiento máximo que alcanza es de 1.76 cm

### 3.6.15.2.2 Desplazamiento numérico en vibración forzada sin AMS a 3.25 Hz

**Figura 98**

*Desplazamiento Numérico en Vibración Forzada sin AMS a 3.25 Hz.*

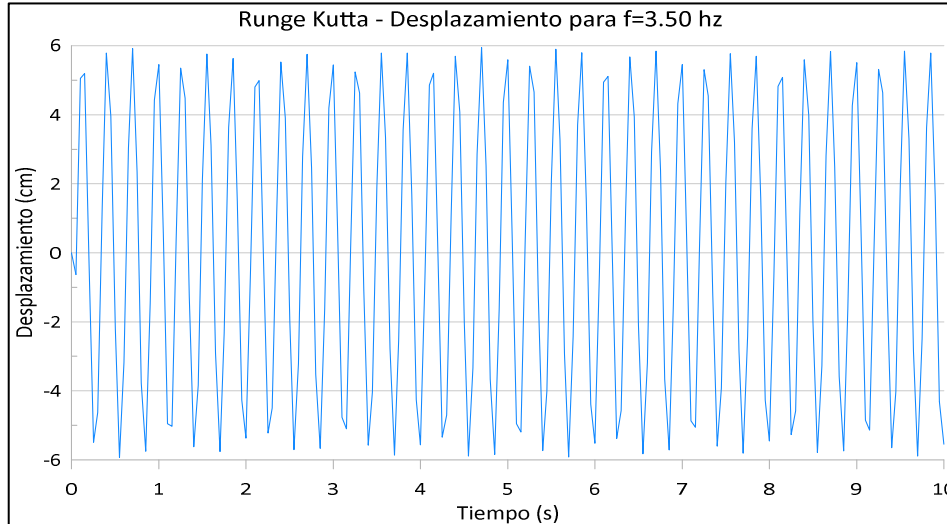


*Nota:* El desplazamiento máximo que alcanza es de 2.62 cm

### 3.6.15.2.3 Desplazamiento numérico en vibración forzada sin AMS a 3.50 hz

**Figura 99**

*Desplazamiento Numérico en Vibración Forzada sin AMS a 3.50 hz.*

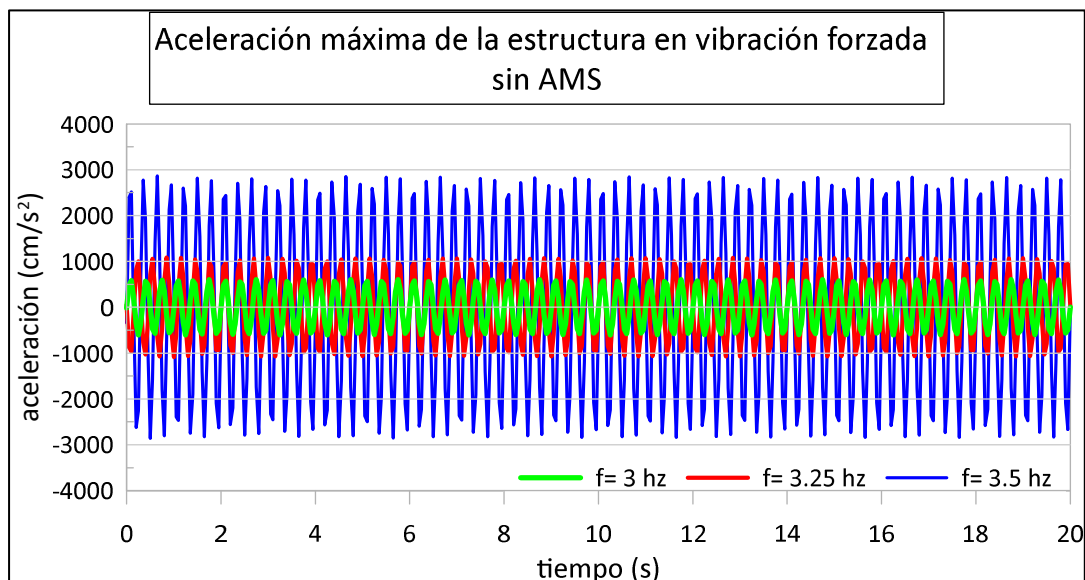


*Nota:* El desplazamiento máximo que alcanza es de 6.01 cm

### 3.6.15.3 Aceleración numérica en vibración forzada sin AMS

**Figura 100**

*Grafico Comparativo de Aceleraciones Numericas en Vibración Forzada sin AMS.*

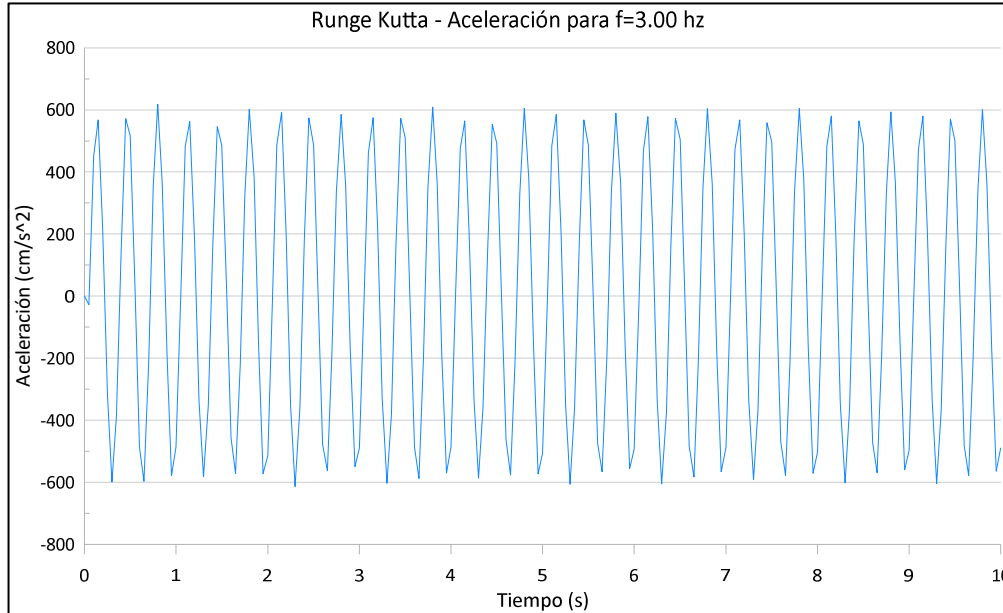




### 3.6.15.3.1 Aceleración Numérica en vibración forzada sin AMS a 3.00 hz

**Figura 101**

*Aceleración Numérica en Vibración Forzada sin AMS a 3.00 hz.*

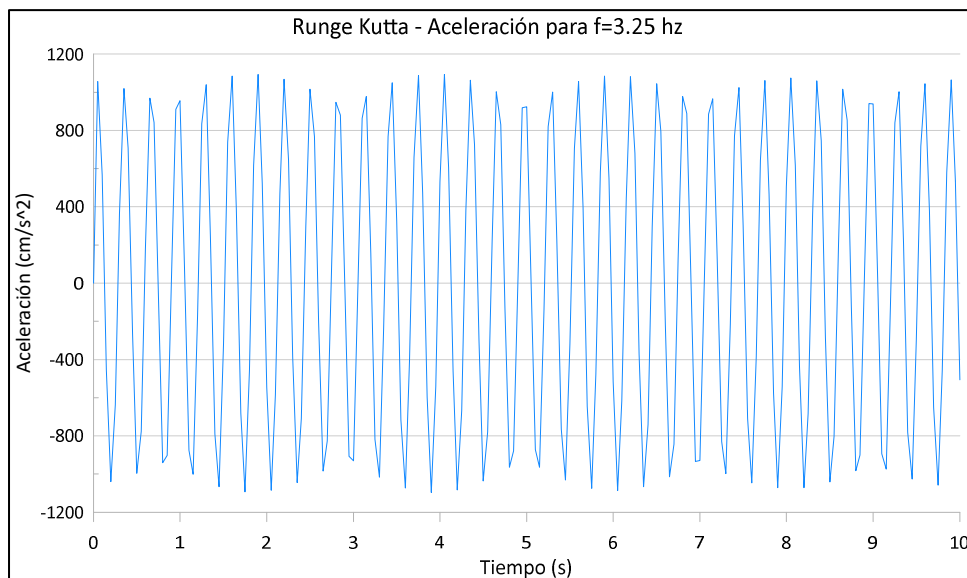


*Nota:* La aceleración máxima que alcanza es de 630.95 cm/s<sup>2</sup>

### 3.6.15.3.2 Aceleración Numérica en vibración forzada sin AMS a 3.25 hz

**Figura 102**

*Aceleración Numérica en Vibración Forzada sin AMS a 3.25 hz.*



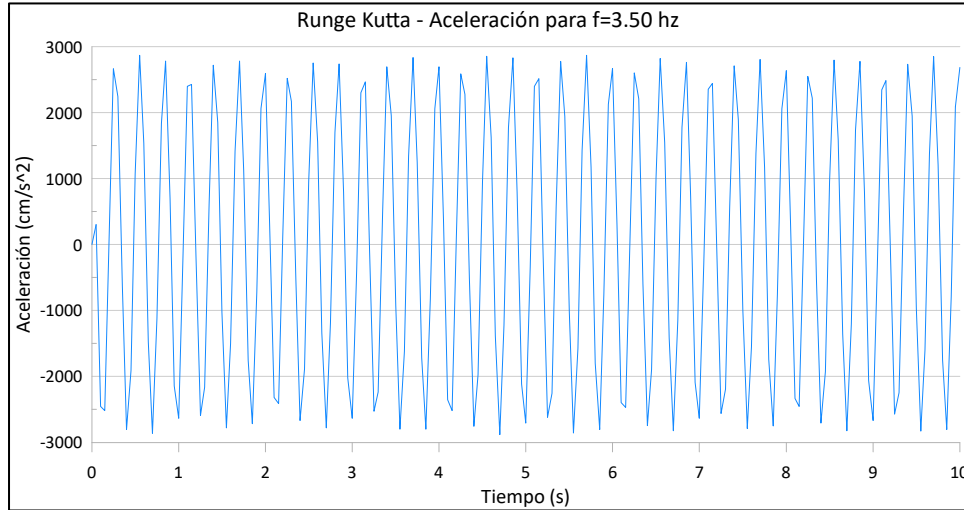
*Nota:* La aceleración máxima que alcanza es de 1093.43 cm/s<sup>2</sup>



### 3.6.15.3 Aceleración Numérica en vibración forzada sin AMS a 3.50 hz

Figura 103

*Aceleración Numérica en Vibración Forzada sin AMS a 3.50 hz.*



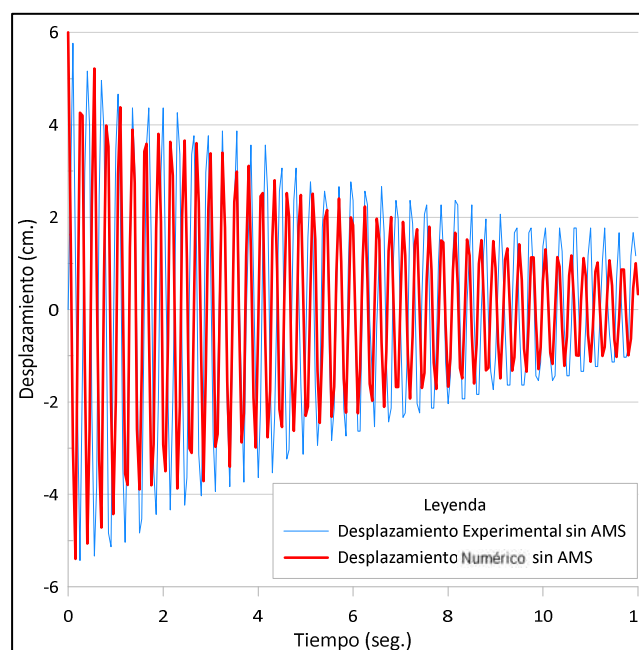
*Nota:* La aceleración máxima que alcanza es de 2932.66 cm/s<sup>2</sup>

### 3.6.16 Gráficos comparativos entre resultados Numéricos y Experimentales

#### 3.6.16.1 Comparación de Desplazamiento Numérico y Experimental en Vibración Libre sin AMS.

Figura 104

*Desplazamientos en Vibración Libre de Forma Analítica y Experimental sin AMS*

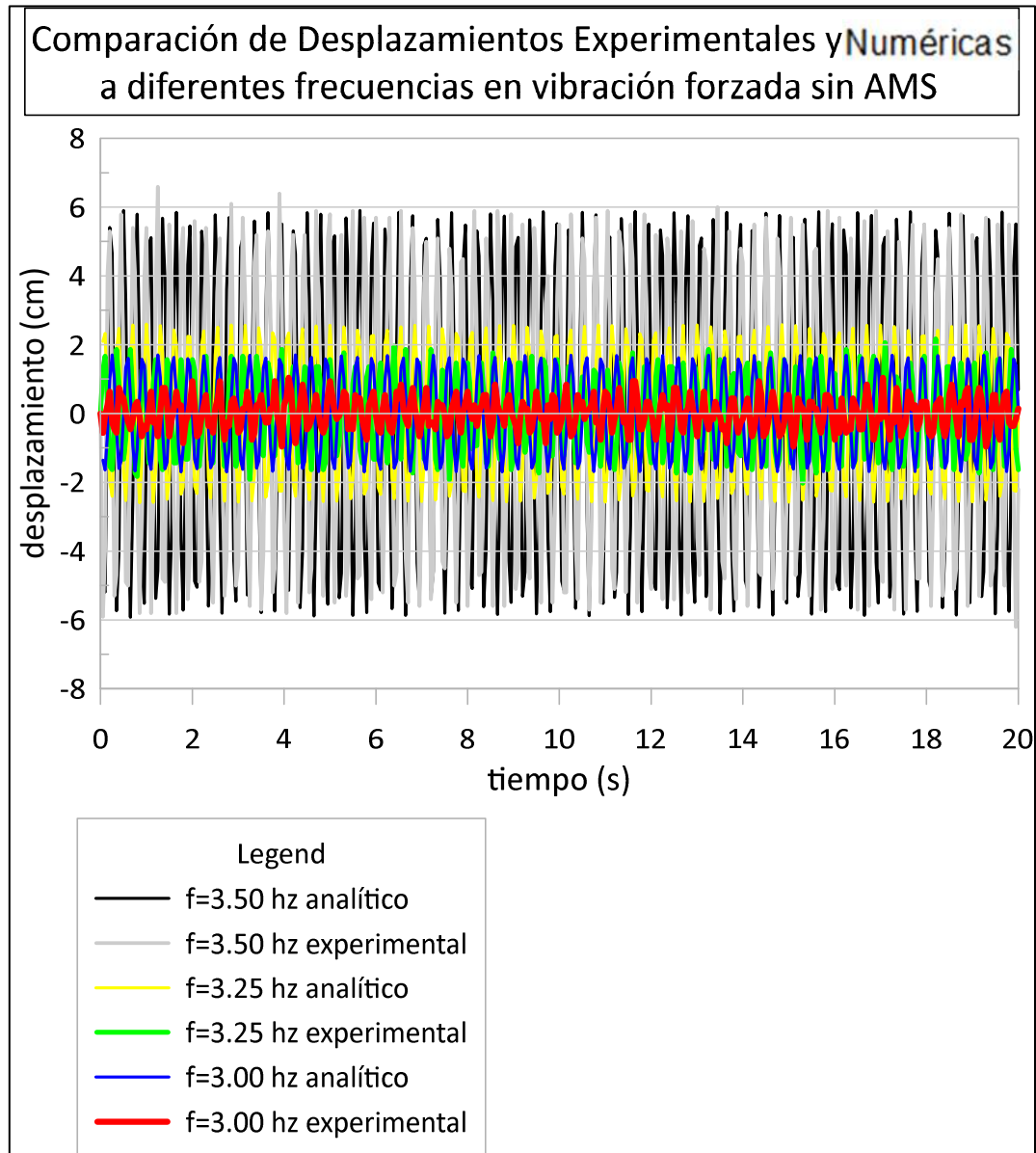




### 3.6.16.2 Comparación de Desplazamientos Experimentales y Numéricos a diferentes frecuencias en vibración forzada sin AMS

Figura 105

*Desplazamientos Experimentales y Numéricos a Frecuencias de 3.00, 3.25 y 3.50 Hz sin AMS*



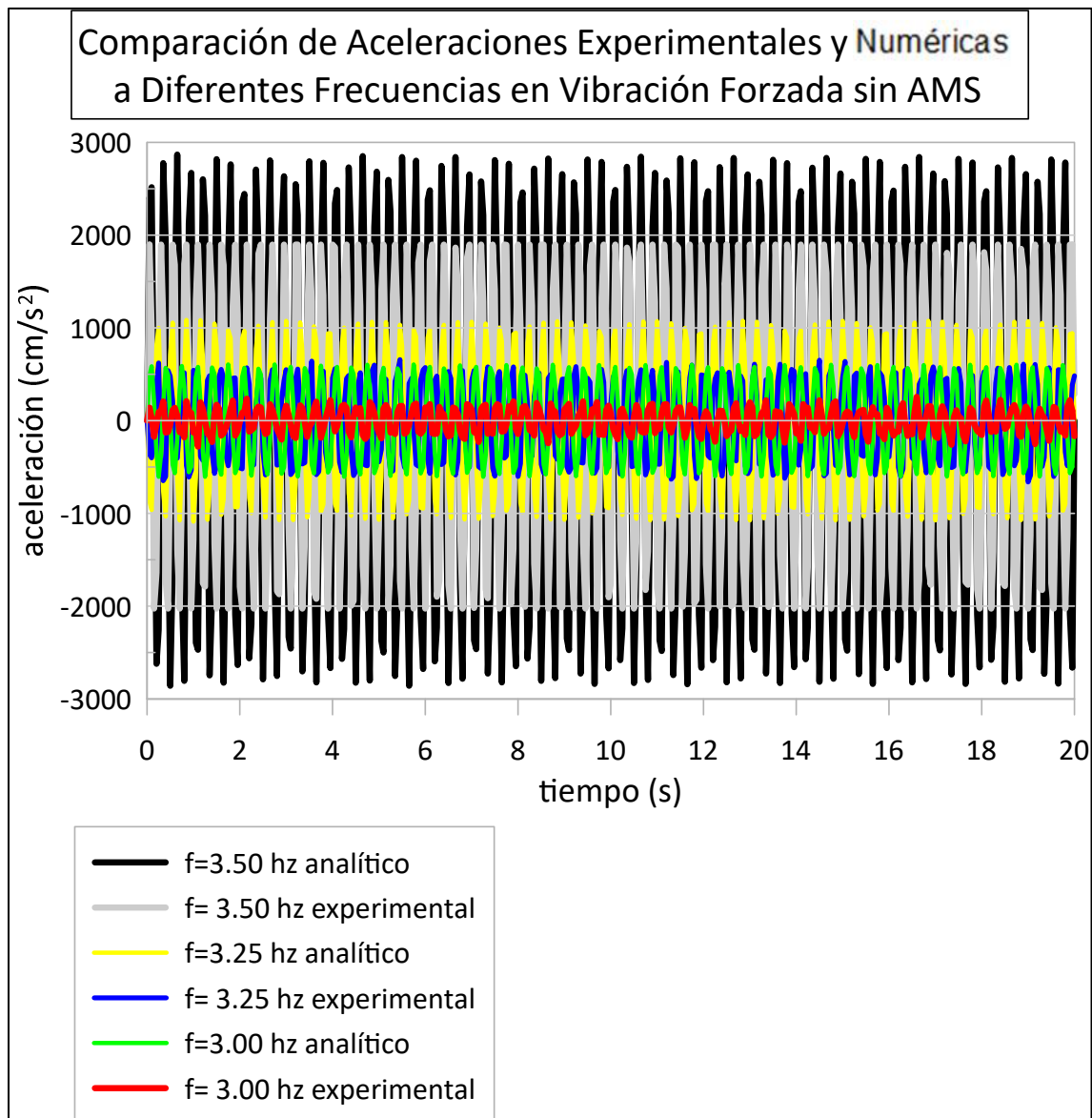




### 3.6.16.3 Comparación de aceleraciones Experimentales y Analíticas a Diferentes Frecuencias en Vibración Forzada Sin AMS

Figura 106

*Aceleraciones Experimentales y Numéricas a Frecuencias de 3.00, 3.25 y 3.50 Hz sin AMS*

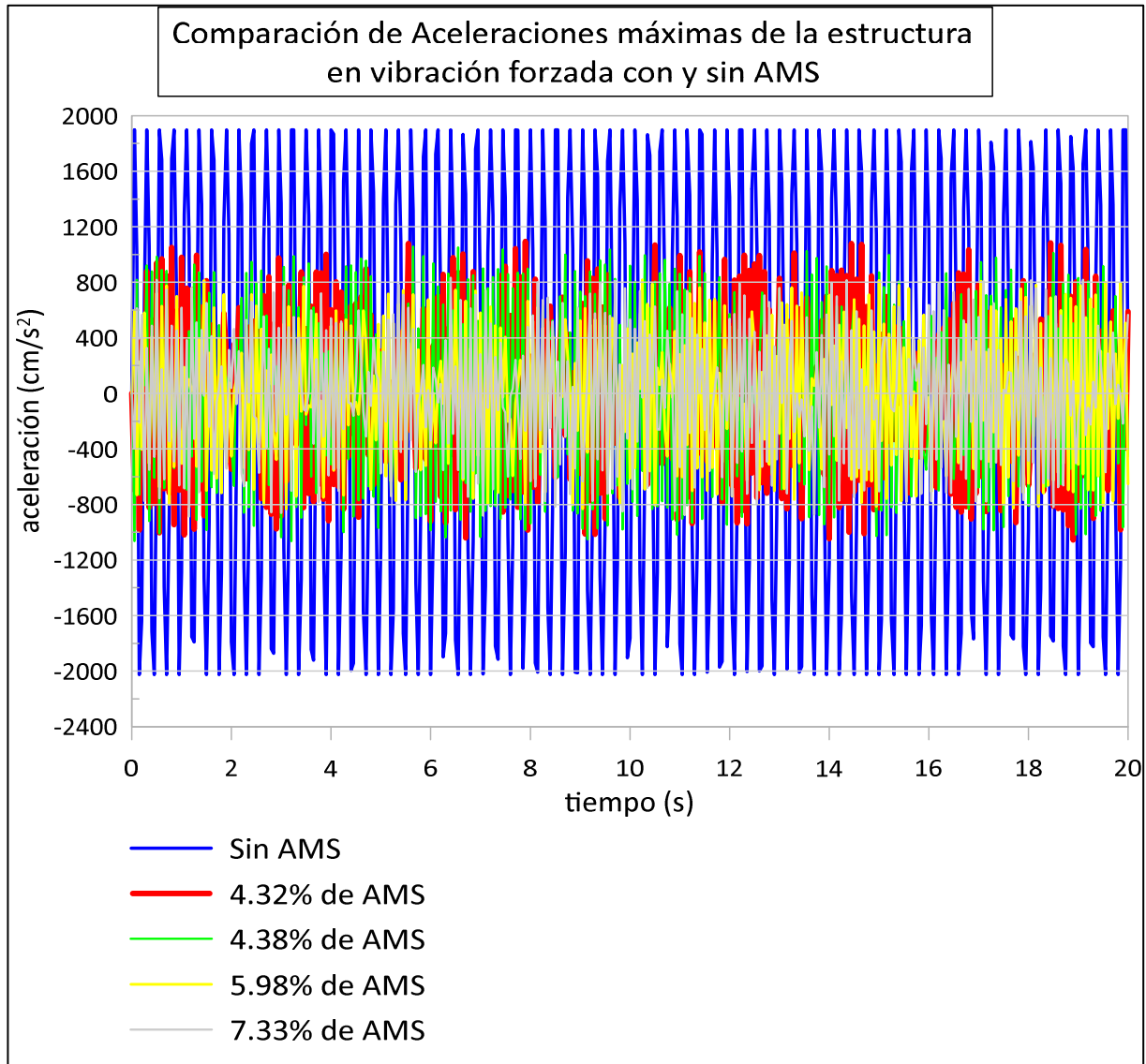




### 3.6.17 Gráficos comparativos entre resultados con y sin amortiguador de masa sintonizada.

Figura 107

*Aceleraciones Experimentales con AMS al 4.32%, 4.38%, 5.98% y 7.33% y sin AMS*





## Capítulo IV: Resultados

### 4.1 Periodo de vibración

Tabla 21

*Cuadro Comparativo del Periodo de Vibración Experimental y Numérico*

Porcentaje de AMS	Periodo de vibración Numérico Libre (s)	Periodo de vibración Experimental (s)	Error (%)
Sin AMS	0.273	0.283	4%

*Nota:* Se puede confirmar la semejanza de los periodos calculados de forma numérica y experimental, constatando con una variación mínima, lo cual hace que el cálculo realizado de forma experimental sea considerado para nuestra investigación.

Tabla 22

*Cuadro de Incremento Experimental del Periodo de Vibración con AMS*

Porcentaje de AMS	Periodo de vibración Experimental sin AMS (s)	Periodo de vibración Experimental con AMS (s)	Incremento de Periodo (s)
4.32% de AMS	0.283	0.315	0.032
4.38% de AMS	0.283	0.318	0.035
5.98% de AMS	0.283	0.335	0.052
7.33% de AMS	0.283	0.34	0.057



**Tabla 23**

*Cuadro de Incremento Numérico del Periodo de Vibración con AMS*

<b>Porcentaje de AMS</b>	<b>Periodo de vibración Numérico sin AMS</b> (s)	<b>Periodo de vibración Numérico con AMS</b> (s)	<b>Incremento de Periodo</b> (s)
<b>4.32% de AMS</b>	0.2715	0.2725	0.001
<b>4.38% de AMS</b>	0.2715	0.2725	0.001
<b>5.98% de AMS</b>	0.2715	0.2727	0.0012
<b>7.33% de AMS</b>	0.2715	0.2729	0.0014

*Nota:* Se tiene una comparación entre el periodo de vibración experimental sin AMS y con AMS a los diferentes porcentajes que se muestran, observándose un incremento del periodo de acuerdo al porcentaje de masa incrementado para el AMS, de la misma manera para el caso numérico.

## 4.2 Factor de amortiguamiento

### 4.2.1 Comparación del factor de amortiguamiento numérico y experimental.

**Tabla 24**

*Comparación del Factor de Amortiguamiento Numérico y Experimental*

<b>Porcentaje de AMS</b>	<b>Factor de amortiguamiento Numérico</b>	<b>Factor de amortiguamiento Experimental</b>	<b>Error (%)</b>
<b>Sin AMS</b>	0.84%	0.60%	57.14%

*Nota:* Se observa que el factor de amortiguamiento numérico se asemeja al factor de amortiguamiento experimental calculado por decremento logarítmico.



**Tabla 25**

*Comparación del Factor de Amortiguamiento Experimental y Teórico.*

Porcentaje de AMS	Amortiguamiento Experimental		Amortiguamiento Numérico		Error (%)
	Factor de amortiguamiento	Incremento de Amortiguamiento	Factor de amortiguamiento	Incremento de Amortiguamiento	
Sin AMS	0.60%	0.00%	1.40%	0.00%	57.14%
4.32% de AMS	7.86%	7.70%	8.52%	7.12%	7.75%
4.38% de AMS	7.80%	7.74%	8.55%	7.15%	8.77%
5.98% de AMS	9.31%	8.70%	9.50%	8.10%	2.00%
7.33% de AMS	9.92%	9.31%	10.10%	8.70%	1.78%

*Nota:* Se tiene la comparación del factor de amortiguamiento con y sin AMS de forma experimental y numérico, tomando como referencia el amortiguamiento sin AMS, se observa que se tiene un incremento de amortiguamiento significativo, a medida que se aumenta el porcentaje de masa del AMS.

### 4.3 Desplazamiento en vibración forzada

**Tabla 26**

*Cuadro de Resumen de Desplazamientos en Vibración Forzada*

Frecuencia (Hz)	Desplazamiento (cm)					Reduccion o Incremento (%)			
	Sin AMS	4.32% de AMS	4.38% de AMS	5.98% de AMS	7.33% de AMS	4.32% de AMS	4.38% de AMS	5.98% de AMS	7.33% de AMS
3.00	1.30	2.47	2.89	2.25	2.05	90.00%	122.31%	73.08%	57.69%
3.25	2.21	1.30	1.06	1.19	1.10	41.18%	52.04%	46.15%	50.23%
3.50	4.76	1.06	1.06	1.09	1.00	77.73%	77.73%	77.10%	78.99%

	Incremento
	Reduccion

*Nota:* Se tiene el resumen de datos máximos en desplazamiento a diferentes frecuencias de excitación y porcentajes de AMS, donde se observa que para una excitación de 3.00 Hz se



tiene un incremento del desplazamiento para los diferentes porcentajes de masa, en los demás casos, se tiene una reducción de este.

#### 4.4 Aceleración en vibración forzada

Tabla 27

Cuadro de Resumen de Aceleraciones en Vibración Forzada

Frecuencia (Hz)	Aceleracion (cm/s <sup>2</sup> )					Reduccion (%)			
	Sin AMS	4.32% de AMS	4.38% de AMS	5.98% de AMS	7.33% de AMS	4.32% de AMS	4.38% de AMS	5.98% de AMS	7.33% de AMS
3.00	311.03	1296.37	1398.91	535.02	488.14	316.80%	349.77%	72.02%	56.94%
3.25	718.31	409.22	388.99	376.17	331.35	43.03%	45.85%	47.63%	53.87%
3.50	1737.08	852.21	829.13	822.44	708.93	50.94%	52.27%	52.65%	59.19%

	Incremento
	Reduccion

*Nota:* Se tiene el resumen de datos máximos en aceleración a diferentes frecuencias de excitación y porcentajes de AMS, donde se observa que para una excitación de 3.00 Hz se tiene un incremento de la aceleración para los diferentes porcentajes de masa, en los demás casos, se tiene una reducción de este.

Tabla 28

Cuadro Comparativo del Método Experimental y Numérico

Frecuencia (Hz)	Desplazamiento (cm)	Aceleración (cm/s <sup>2</sup> )	Desplazamiento (cm)	Aceleración (cm/s <sup>2</sup> )	Error (%)	
	Experimental		Numérico		Desplazamiento	Aceleracion
	Sin AMS		Sin AMS			
3.00	1.30	311.03	1.69	599.94	23.08	48.16
3.25	2.21	718.31	2.57	1073.01	14.01	33.06
3.50	4.76	1737.08	5.29	2529.07	10.02	31.32

*Nota:* Se observa la compracion de resultados obtenidos de forma experimental y de forma analítica, estos a diferentes frecuencias de excitación.



## Capítulo V: Discusión

### Contraste de resultados con referentes del marco teórico

#### Discusión N° 1:

##### **¿Qué componente es el que mayoritariamente influye en los parámetros de amortiguación estructural con Amortiguador de Masa Sintonizada?**

Los valores de amortiguamiento tienden a aumentar con el incremento de la rigidez del resorte y la masa de Amortiguador de Masa Sintonizada, esto de acuerdo a la frecuencia de excitación a la cual es ensayada la estructura. En caso de no ser lo suficientemente rígido podría aumentar los desplazamientos y aceleraciones frente a una excitación externa. Puede interpretarse como la sintonización de la estructura principal y el Amortiguador de Masa Sintonizada.

#### Discusión N° 2:

##### **¿Cómo se ha evaluado la respuesta dinámica de la estructura?**

La respuesta dinámica de la estructura se evalúa de forma experimental, mediante el registro de desplazamientos y aceleraciones en el cuarto nivel de la estructura, para ello se coloca sensores de desplazamiento y aceleración. La estructura fue montada sobre una mesa sísmica la cual fue excitada a frecuencias de 3.00, 3.25 y 3.50 Hz.

La respuesta analítica se evalúa obteniendo los desplazamientos y aceleraciones mediante la resolución de ecuaciones diferenciales, resueltas por el método de Runge-Kutta.

#### Discusión N° 3:

##### **¿De qué manera se relacionan la rigidez del resorte y la masa del Amortiguador de Masa Sintonizada?**

Estos se relacionan con la siguiente fórmula:

$$k_d - \frac{m_d}{m} * f_{opt}^2 * k = 0$$

La rigidez del resorte depende de la relación de masas del Amortiguador de Masa Sintonizada y de la estructura principal, y se determina la frecuencia óptima que se explica en el ítem 3.6.6 y la rigidez de la estructura principal.



En la toma de datos se observa que aplicando la relación de dicha ecuación se logra una óptima sintonización entre la estructura principal y el Amortiguador de Masa Sintonizada.

### **Interpretación de los resultados encontrados en la investigación**

#### **Discusión N° 4:**

**¿Por qué se eligió las masas al 4.32, 4.38, 5.98 y 7.33% para el Amortiguador de Masa Sintonizada?**

Debido a que estos resortes fueron factibles de conseguir en el mercado, ya que es difícil conseguir un resorte de baja rigidez por debajo de 1.4 kgf/cm, es por esta razón que se utiliza resortes con las respectivas rigideces de: 0.4745 kf/cm, 0.4811 kgf/cm, 0.6439 kgf/cm y 0.7754 kgf/cm, y posteriormente se determinó masas que están explicadas en el ítem 3.6.6.

#### **Discusión N° 5:**

**¿Qué nivel de confiabilidad tienen los datos registrados por los sensores?**

Los sensores adquiridos tienen un nivel de confiabilidad variable de acuerdo al número de lecturas que realizan por segundo, estando entre 95 % en caso del sensor VL53L0X y 98% en caso del sensor MPU6050. Esto debido a que el sensor VL53L0X (sensor de desplazamiento) se registraron 30 datos por segundo con un error de +-5%. En el caso del sensor MPU6050(accelerómetro), se registraron 30 datos por segundo con un error de +-2%.

### **Comentario de la demostración de la hipótesis**

#### **Discusión N° 6:**

**¿En cuanto al periodo de vibración natural del sistema estructural aporticado, incorporando el Amortiguador de Masa Sintonizada, ha incrementado con respecto a la estructura aporticada sin Amortiguador de Masa Sintonizada?**

El periodo de vibración natural del sistema estructural teóricamente se incrementa, se esperó lo mismo para la parte experimental, en este caso se incrementó excesivamente, esto debido a que la estructura al ser incorporada con Amortiguador de Masa Sintonizada se transforma en una estructura de 5 grados de libertad y cambia las propiedades dinámicas de la estructura, como hay un aumento de masa en la estructura la frecuencia natural disminuye notablemente y por lo tanto el periodo de vibración aumenta con el incremento proporcional de la rigidez y la masa del Amortiguador de Masa Sintonizada.





**Discusión N° 7:**

**¿El factor de amortiguamiento del sistema estructural aporticado con Amortiguador de Masa Sintonizada ha incrementado de acuerdo a las propiedades dinámicas del sintonizador en relación a la misma estructura sin Amortiguador de Masa Sintonizada?**

El amortiguamiento de la estructura es visible en forma experimental debido a la incorporación del Amortiguador de Masa Sintonizada, además haciendo uso de las ecuaciones para el cálculo de amortiguación en forma analítica por el decremento logarítmico se tiene un aumento similar con respecto al calculado en forma experimental.

**Discusión N° 8:**

En la parte de ANEXOS se inserta el algoritmo desarrollado en el software Matlab, el cual ha permitido el análisis modal, la recolección de datos mediante la placa ARDUINO gracias a la incorporación de complementos en este programa, facilitando el proceso debido al conocimiento previo de este programa además de ser de fácil aprendizaje para cualquier usuario.

Se hizo uso también para los cálculos respectivos de desplazamientos y aceleraciones máximas en forma teórica y experimental haciendo uso de sus herramientas se logra exportar esta información para poder ser interpretadas en otros programas como Excel y Grapher.

**Discusión N° 9:**

Se ha logrado la construcción de la mesa sísmica que permite la excitación de base de la estructura aporticada en diferentes frecuencias, permitiendo encontrar en forma experimental el primer modo de la estructura, excitándose así la estructura en su punto de resonancia, el proceso de construcción de la mesa y los códigos del software ARDUINO se encuentra en los ANEXOS.

**Incorporación de temas nuevos que se han presentado durante el proceso de la investigación que no estaba considerado dentro de los objetivos de la investigación**

**Discusión N° 10:**

Construcción de estructuras con la incorporación de disipadores y realizar un análisis dinámico experimental y teórico, con la variación de desplazamiento, aceleración, determinando su periodo y amortiguación.



**Discusión N° 11:**

Construcción de una mesa sísmica con 2 grados de libertad para maquetas con sistemas aporticadas con diversos materiales de construcción, incorporando amortiguadores de masa sintonizada para 2 grados de libertad.

**Discusión N° 12:**

Construcción de maquetas con sistemas estructurales aporticadas con la incorporación de aisladores sísmicos y realizar un análisis dinámico experimental y teórico, con la variación de desplazamiento y frecuencias de vibración forzada de una mesa sísmica, determinando su periodo y amortiguación.

**Discusión N° 13:**

Análisis dinámico de una maqueta estructural aporticada con la incorporación de columnas de agua como amortiguador de masa sintonizada.



## Glosario

**Aceleración.** Magnitud derivada vectorial que nos indica la variación de velocidad por unidad de tiempo.

**Acelerómetro.** Instrumento para medir la aceleración en función del tiempo.

**Acelero grama.** Representación temporal de la aceleración que experimental el suelo en un determinado punto durante un terremoto. Estos se caracterizan por ser altamente irregulares u oscilatorios.

**Análisis dinámico.** Análisis de fuerzas, desplazamientos, velocidades y aceleraciones que aparecen en una estructura o mecanismo como resultado de los desplazamientos y deformaciones que aparecen en la estructura.

**Análisis modal.** Es el proceso de determinación de las características dinámicas inherentes a un sistema mecánico y necesario para la posterior formulación de un modelo matemático del comportamiento dinámico de dicho sistema. Esta modelización dinámica se lleva a cabo en base a los parámetros modales (frecuencias naturales, modos naturales de vibración y relaciones de amortiguamiento) propios del sistema, y que dependen de la distribución de sus características de masa, rigidez y amortiguamiento.

**Amortiguamiento.** Capacidad de un sistema o cuerpo para disipar energía cinética en otro tipo de energía. Normalmente en energía térmica.

**Amortiguador de masa.** Sistema de absorción de vibraciones mediante el balanceo de un contrapeso colgante.

**Amplitud.** Medida de la variación máxima del desplazamiento u otra magnitud física que varía periódica o cuasi periódicamente en el tiempo.

**Arduino.** Plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador reprogramable y una serie de pines hembra. Estos permiten establecer conexiones entre el microcontrolador y los diferentes sensores y actuadores.

**Decremento Logarítmico.** Logaritmo natural de la razón de cuales quiera dos amplitudes sucesivas del mismo signo en el gráfico obtenido experimentalmente dejando que el sistema vibre libremente.

**Espectro.** Cualquier función de frecuencia o periodo.



**Espectro de respuesta.** Se denomina de respuesta ya que lo que mide es cómo responde la estructura a las acciones que se le inducen desde el exterior, en vista de que mide la reacción de una estructura ante la vibración del suelo que la soporta.

**Excitación.** Efecto producido por las acciones dinámicas como puede ser: sismos, cargas sinusoidales, triangulares; o también como la transferencia de energía de un cuerpo en movimiento a otro, ya sea que este en reposo o movimiento.

**Frecuencia.** Número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier evento periódico.

**Frecuencia natural.** Un sólido alterado de su posición de descanso tiende a vibrar a ciertas frecuencias denominadas naturales o resonantes cuando éste es excitado. Para cada frecuencia natural, el sólido adquiere una determinada forma denominada forma modal. El análisis de frecuencia calcula las frecuencias naturales y las formas modales asociadas.

**Grados de libertad.** Número necesario de coordenadas independientes para definir completamente la posición del sistema en cualquier instante de tiempo.

**Inercia.** Propiedad que tienen los cuerpos de permanecer en su estado de reposo relativo o movimiento relativo. Resistencia que opone la materia al modificar su estado de movimiento, incluyendo cambios en la velocidad o en la dirección del movimiento.

**Masa.** Magnitud física y propiedad general de la materia que expresa la inercia o resistencia al cambio de movimiento de un cuerpo. Cantidad de materia que contiene un cuerpo.

**Periodo.** Intervalo de tiempo necesario para completar un ciclo repetitivo.

**Periodo fundamental.** Es el tiempo que esta toma en dar un ciclo completo, cuando experimenta vibración no forzada. Su determinación es primordial porque de él depende la magnitud de la fuerza sísmica que experimentara la estructura, se han desarrollado fórmulas que permiten hacer un cálculo aproximado del periodo del edificio con el propósito de estimar las fuerzas sísmicas.

**Rigidez.** Medida cualitativa de la resistencia a las deformaciones elásticas producidas por un material, que contempla la capacidad de un elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones.

**Sensor VL53L0X.** Sensor de distancia infrarrojo laser, empleado para medir distancias de 50mm a 2000mm de forma precisa.



**Sensor MPU6050.** Unidad de medición inercial de 6 grados de libertad pues combina un acelerómetro de 3 ejes y un giroscopio de 3 ejes.

**Servomotor:** Es aquel que contiene en su interior un encoder conocido como decodificador, que convierte el movimiento mecánico en pulsos digitales interpretados por un controlador de movimiento.

**Vibración.** Se denomina vibración a la propagación de ondas elásticas produciendo deformaciones y tensiones sobre un medio continuo (o posición de equilibrio), Generan movimientos de menor magnitud que las oscilaciones en torno a un punto de equilibrio, el movimiento es periódico (o cuasi periódico) de mayor frecuencia que las oscilaciones pueden ocasionar fatiga de materiales.

**Vibración forzada.** Vibración en la cual la respuesta se debe a excitación externa del sistema.

**Vibración libre.** Vibración de un sistema en ausencia de excitación externa.

**Vibración permanente.** Movimiento que permanece en el sistema después de que el movimiento transitorio presente al iniciarse el movimiento ha desaparecido.

**Vibración transitoria.** Parte del movimiento inicial que desaparece debido a la presencia de fuerzas de amortiguación en el sistema.



## Nomenclatura

AMS: Amortiguador de Masa Sintonizada.

GDL: Grado de libertad.

$m$  : Masa de estructura.

$k$  : Rigidez de estructura.

$\omega$  : Frecuencia natural de estructura.

$\xi$  : Razón de amortiguación de la estructura.

$c$  : Coeficiente de amortiguación.

$u$  : Desplazamiento relativo entre la estructura y el terreno.

$\dot{u}$  : Velocidad relativa entre la estructura y el terreno.

$\ddot{u}$  : Aceleración relativa de la estructura y el terreno.

$m_d$  : Masa de amortiguador de masa sintonizada.

$k_d$  : Rigidez del amortiguador de masa sintonizada.

$\omega_d$  : Frecuencia natural del amortiguador de masa sintonizada.

$\xi_d$  : Razón de amortiguamiento del amortiguador de masa sintonizada.

$c_d$  : Coeficiente de amortiguamiento del amortiguador de masa sintonizada.

$u_d$  : Desplazamiento relativo entre el amortiguador de masa sintonizada ya la estructura.

$\dot{u}_d$  : Velocidad relativa entre el amortiguador de masa sintonizada y la estructura.

$\ddot{u}_d$  : Aceleración relativa entre el amortiguador de masa sintonizada y la estructura.

$\bar{m}$  : Razón de masas entre la masa del amortiguador y la masa de estructura.

$W_d$  : Peso de amortiguador de masa sintonizada.

$g$  : Aceleración de gravedad.

$k_{eq}$  : Rigidez equivalente del amortiguador de masa sintonizada.

$\xi_e$  : Razón de amortiguamiento equivalente.



$p$ : Fuerza externa aplicada de la estructura a porticada.

$a_g$  : Aceleración absoluta del terreno.

$\Omega$  : Frecuencia natural de la fuerza perturbadora.

$\rho$ : Razón de frecuencias de la fuerza externa o el movimiento del terreno y la estructura.

$\rho_d$ : Razón de frecuencias de la fuerza externa o el movimiento del terreno y el Amortiguador de Masa Sintonizada.

$f$  : Razón de frecuencias entre la frecuencia del amortiguador y la estructura.

$\delta$ : Angulo de fase entre la respuesta y la excitación.

$H_s$  : Factor de amplificación de la respuesta pseudo estática para el movimiento del terreno, en una estructura con amortiguamiento y con un Amortiguador de Masa Sintonizada con amortiguamiento.

$M$  : Matriz de masas para una estructura de múltiples grados de libertad.

$K$  : Matriz de rigideces para una estructura de múltiples grados de libertad.

$C$  : Matriz de amortiguamiento para una estructura de múltiples grados de libertad.



## Conclusiones

### Conclusión N° 1

Se logró demostrar la Subhipótesis N°01, la cual indica:

**“El período de vibración natural de la maqueta con sistema estructural aporticado con Amortiguador de Masa Sintonizada se verá incrementado de acuerdo a las propiedades dinámicas del sintonizador en relación a la misma estructura sin Amortiguador de Masa Sintonizada, en forma analítica y experimental”.**

El periodo de vibración se presenta en la siguiente tabla, aumenta en función al incremento del Amortiguador de Masa Sintonizada.

<b>Porcentaje de AMS</b>	<b>Periodo de vibración Experimental sin AMS (s)</b>	<b>Periodo de vibración Experimental con AMS (s)</b>	<b>Incremento de Periodo (%)</b>
<b>4.32% de AMS</b>	0.283	0.315	11.31
<b>4.38% de AMS</b>	0.283	0.318	12.37
<b>5.98% de AMS</b>	0.283	0.335	18.37
<b>7.33% de AMS</b>	0.283	0.340	20.14

<b>Porcentaje de AMS</b>	<b>Periodo de vibración numérico sin AMS (s)</b>	<b>Periodo de vibración numérico con AMS (s)</b>	<b>Incremento de Periodo (s)</b>
<b>4.32% de AMS</b>	0.2715	0.2725	0.001
<b>4.38% de AMS</b>	0.2715	0.2725	0.001
<b>5.98% de AMS</b>	0.2715	0.2727	0.0012
<b>7.33% de AMS</b>	0.2715	0.2729	0.0014





El periodo de vibración experimental sin Amortiguador de Masa Sintonizada es 0.283 seg., y con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.32% incrementa a 0.315, y con Amortiguador de Masa Sintonizada al 7.33% llega hasta 0.318, se puede apreciar una diferencia de 0.057 seg. con respecto al periodo de vibración sin Amortiguador de Masa Sintonizada, esta diferencia de periodo es muy desfasada para un cálculo numérico, entonces se concluyó que el aumento de porcentaje en el Amortiguador de Masa Sintonizada hace que disminuya la frecuencia natural de la estructura principal, por lo tanto, aumenta notablemente el periodo de vibración.

El periodo de vibración numérico es de 0.2715 seg., se tiene que el incremento de periodo en 0.001 siendo este poco significante en comparación a los obtenidos en forma experimental.

Se observó que hay una semejanza de 96.47% entre el periodo de vibración experimental y numérico sin Amortiguador de Masa Sintonizada.

### Conclusión N° 2

Se logró demostrar la Subhipótesis N°02, la cual indica:

**“El factor de amortiguamiento de la maqueta con sistema estructural aporticado con Amortiguador de Masa Sintonizada será incrementado de acuerdo a las propiedades dinámicas del sintonizador en relación a la misma estructura sin Amortiguador de Masa Sintonizada, en forma analítica y experimental”.**

El factor de amortiguamiento experimental se presenta en la siguiente tabla, aumenta en función al incremento del Amortiguador de Masa Sintonizada.

Porcentaje de AMS	Amortiguamiento Experimental		Amortiguamiento Numérico		Error (%)
	Factor de amortiguamiento	Incremento de Amortiguamiento	Factor de amortiguamiento	Incremento de Amortiguamiento	
Sin AMS	0.60%	0.00%	1.40%	0.00%	57.14%
4.32% de AMS	7.86%	7.70%	8.52%	7.12%	7.75%
4.38% de AMS	7.80%	7.74%	8.55%	7.15%	8.77%
5.98% de AMS	9.31%	8.70%	9.50%	8.10%	2.00%
7.33% de AMS	9.92%	9.31%	10.10%	8.70%	1.78%



El factor de amortiguamiento experimental sin Amortiguador de Masa Sintonizada es 0.60%, y con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.32% incrementa a 7.70%, y con Amortiguador de Masa Sintonizada al 7.33% llega hasta 9.31%, se puede apreciar que el amortiguamiento numérico es de 1.40% y el amortiguamiento experimental es de 0.60%.

### Conclusión N° 3

Se logró demostrar la Subhipótesis N°03, la cual indica:

**“El desplazamiento de la maqueca con sistema estructural aporricado con Amortiguador de Masa Sintonizada será reducido en relación a la misma estructura sin (AMS), en forma numérica y experimental”.**

A continuación, se presentan los desplazamientos experimentales sin Amortiguador de Masa Sintonizada y con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.32, 4.38, 5.98 y 7.33%.

Frecuencia (Hz)	Desplazamiento (cm)					Reduccion o Incremento (%)			
	Sin AMS	4.32% de AMS	4.38% de AMS	5.98% de AMS	7.33% de AMS	4.32% de AMS	4.38% de AMS	5.98% de AMS	7.33% de AMS
3.00	1.30	2.47	2.89	2.25	2.05	90.00%	122.31%	73.08%	57.69%
3.25	2.21	1.30	1.06	1.19	1.10	41.18%	52.04%	46.15%	50.23%
3.50	4.76	1.06	1.06	1.09	1.00	77.73%	77.73%	77.10%	78.99%

	Incremento
	Reduccion

Se concluye que el desplazamiento máximo es de 4.76 cm. a una frecuencia de 3.5hz cuando la estructura principal sin Amortiguador de Masa Sintonizada entra en resonancia, y luego se tomó a 3.25 hz y 3 hz de la mesa sísmica obteniendo un desplazamiento de 2.21 cm. y 1.30 cm. respectivamente., Luego se simuló para una estructura con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.32% en las mismas frecuencias obteniendo desplazamientos de 1.06, 1.30 y 2.47 cm. respectivamente, ahora la estructura es simulada a una frecuencia de 3.5 hz esta se encuentra fuera de la frecuencia de resonancia, por ello se desplaza solo 1.15 cm, es así que la frecuencia natural baja debido al aumento de masa y se vio que a una frecuencia de 3 hz de la mesa sísmica alcanza un desplazamiento 2.47 cm., para una estructura con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.38% en las mismas frecuencias se obtuvo 1.06, 1.06 y 2.89 cm., la cual se asemeja a la estructura con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.32%, para una estructura con Amortiguador de Masa Sintonizada al 5.98% en las mismas frecuencias se obtuvo 1.09, 1.19 y 2.25 cm. respectivamente, y para una estructura con Amortiguador de Masa Sintonizada al 7.33% en las mismas frecuencias se obtuvo 1.00, 1.10 y 2.05 cm.



Se observa que la estructura con Amortiguador de Masa Sintonizada al 7.33% tiene desplazamientos reducidos con respecto a los anteriores.

Se concluyó que si reduce notablemente el desplazamiento de la estructura principal.

#### Conclusión N° 4

Se logró demostrar la Subhipótesis N°04, la cual indica:

**“La aceleración de la maqueta con sistema estructural aporticado con Amortiguador de Masa Sintonizada será reducido en relación a la misma estructura sin Amortiguador de Masa Sintonizada, en forma numérica y experimental”.**

A continuación, se presentan las aceleraciones máximas experimentales sin Amortiguador de Masa Sintonizada y con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.32, 4.38, 5.98 y 7.33%.

Frecuencia (Hz)	Aceleracion (cm/s <sup>2</sup> )					Reduccion (%)			
	Sin AMS	4.32% de AMS	4.38% de AMS	5.98% de AMS	7.33% de AMS	4.32% de AMS	4.38% de AMS	5.98% de AMS	7.33% de AMS
3.00	311.03	1296.37	1398.91	535.02	488.14	316.80%	349.77%	72.02%	56.94%
3.25	718.31	409.22	388.99	376.17	331.35	43.03%	45.85%	47.63%	53.87%
3.50	1737.08	852.21	829.13	822.44	708.93	50.94%	52.27%	52.65%	59.19%

	Incremento
	Reduccion

Se observa que la aceleración máxima experimental de la estructura sin Amortiguador de Masa Sintonizada es 1737.08 cm/s<sup>2</sup> a una frecuencia de 3.5 hz de la mesa sísmica, y para 3.25 y 3 hz se tiene 718.31 y 311.03 cm/s<sup>2</sup>, para una estructura con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.32% con una frecuencia de 3.5 hz se tiene una aceleración de 852.21 cm/s<sup>2</sup>, el desplazamiento máximo para esa misma frecuencia con el mismo Amortiguador de Masa Sintonizada es de 1.06 cm., se pudo observar que los desplazamiento son bien reducidos sin embargo la aceleración llega hasta 852.21 cm/s<sup>2</sup>, esto ocurre debido a que la frecuencia de la mesa sísmica es mayor y trata de hacer desestabilizar la estructura principal, y el efecto del Amortiguador de Masa Sintonizada entra en sintonización con la estructura principal reduciendo así los desplazamientos, para 3.25 hz la aceleración máxima disminuye a 409.22 cm/s<sup>2</sup>, esto ocurre debido a que la frecuencia de la estructura se encuentra fuera de la resonancia para esa frecuencia de excitación, para 3 hz. la aceleración máxima es 1296.37 cm/s<sup>2</sup> con un desplazamiento de 2.34 cm. a esta frecuencia la estructura tiene un mayor desplazamiento, en la cual intenta entrar en resonancia, pero esta es contrarrestada por el Amortiguador de Masa Sintonizada, las aceleraciones máximas para una estructura con Amortiguador de Masa Sintonizada al 4.38% para las mismas frecuencias son 829.13, 388.99 y 1398.91 cm/s<sup>2</sup>, las



aceleraciones máximas para una estructura con Amortiguador de Masa Sintonizada al 5.98% para las mismas frecuencias son  $822.44 \text{ cm/s}^2$ ,  $376.17 \text{ cm/s}^2$  y  $535.02 \text{ cm/s}^2$  y las aceleraciones máximas para una estructura con Amortiguador de Masa Sintonizada al 7.33% para las mismas frecuencias son  $708.93 \text{ cm/s}^2$ ,  $331.35 \text{ cm/s}^2$  y  $488.14 \text{ cm/s}^2$

Se observa que a medida que se incrementa el Amortiguador de Masa Sintonizada, se disminuyen las aceleraciones.



## Recomendaciones

### Recomendación N° 1

Se recomienda realizar lecturas mayores a los 50 datos por segundo en los sensores de desplazamiento y aceleración, lo que permitiría obtener datos más precisos. Debido a las limitaciones del mercado no se puede obtener sensores de mayor calidad. Por ello es recomendable que estas sean importadas y que sean de marcas reconocidas para una mayor confiabilidad. En el caso de sensor de desplazamiento de marca POLOLU.

### Recomendación N° 2

Se recomienda la búsqueda de resortes de amortiguamiento de diferentes rigideces de acuerdo a la maqueta con sistema estructural aporcado que se han de analizar en forma experimental, debido a la poca variedad de estos no se pudo establecer mediciones a porcentajes fijos.

### Recomendación N° 3

En la presente tesis se analizó el análisis dinámico de la estructura con Amortiguador de Masa Sintonizada y sin Amortiguador de Masa Sintonizada de manera experimental obteniéndose datos desde los sensores VL53L0X y MPU6050 para el desplazamiento ya aceleración respectivamente, en el cual el sensor de desplazamiento presenta ruido en la lectura, debido a ello se recomienda hacer uso de sensores de mayor precisión y con filtro ante ruido de lectura de datos. Lo cual aumentara la precisión de los datos recolectado.

### Recomendación N° 4

La recolección de datos se realizó mediante sensores de desplazamiento y aceleración, estos controlados mediante la placa Arruino debido a que esta se puede adquirir en nuestra localidad, debido al avance tecnológico se recomienda hacer uso de nuevos controladores de sensores de lectura, que permitan la fácil exportación de resultados para su respectivo procesamiento.

### Recomendación N° 5

El cambio en la dirección de rotación del motor causa que las lecturas realizadas por el sensor no sean constantes, dado que este presenta una alta sensibilidad al momento de realizar las lecturas, por ello se recomienda tener en cuenta esta observación en el comportamiento de la mesa sísmica para la toma de datos de aceleración de base en futuras investigaciones.

Se recomienda hacer un estudio paramétrico en función de la frecuencia de la estructura en un grado de libertad



## Referencias

- Aguilar Pachao, A. A., & Valdivia Begazo, C. A. (2015). Modelamiento Estructural para el Análisis Comparativo de Modelos a Escala para Estructuras Provistas con Amortiguadores de Masa Concentrada.
- Anrango Cañarejo, M. R. (2015). Análisis y rediseño de la cimentación de un edificio en acero con aisladores sísmicos Bloque E del Hospital Regional Ambato modelamiento en el programa ETABS (Análisis comparativo de comportamiento y costos). Quito: UCE.,
- Baeza, J. P. (2009). Manual de arduino. Universidad de Alicante
- Benavente Escobar, C. L., Delgado Madera, G. F., Taipei Maquerhua, E. L., Audin, L., & Pari Pinto, W. (2013). Neotectónica y peligro sísmico en la región Cusco [Boletín C 55].
- Bonilla, G. (2019). Diseño e implementación de algoritmos con robótica cooperativa para la clasificación de objetos de color en un entorno estructurado. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Cassano, A. M. (2009). Análisis de estructuras bajo acciones dinámicas: Editorial Universitaria de la Universidad Tecnológica Nacional.
- Castillo, E. F., Cruchaga, M. A. (2012). Experimental vibration analysis for a 3D scaled model of a three-floor steel structure.
- Chopra, A. K. (2014). Dinámica de estructuras. Pearson. Cuarta Edición
- Connor, J. J. (2003). Structural Motion Control: Pearson Education, Inc.
- Electronic Components Datasheet Search. (2016). <https://www.alldatasheet.com/>
- Fernández, M. C. Madrid. (2009). Manual básico de Matlab.
- Genatios, C., & Lafuente, M. (2016). Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras. In: CAF.
- Laguna, V., & Cristóbal, S. (2013). Establecimiento de un Sistema de Aseguramiento Metrológico Conforme a la Norma NTE, ISO 10012: 2007 para el Laboratorio de Calibración de Instrumentos de Longitud INEN.
- López Vanegas, R. E., & Méndez Riso, G. S. (2018). Modelo y Análisis de una estructura metálica de 20 niveles con sistemas de masas sintonizadas. Universidad Nacional de Ingeniería,
- Lourenco, R. (2011). Design, construction and testing of an adaptive pendulum tuned mass damper. University of Waterloo,
- Maquerhua, E. T., Madera, G. F. D., Alegre, E. A., & Escobar, C. B. (2014). Monitoreo geodésico del sistema de fallas geológicas en la región de Cusco.
- Medina Guzmán, H. (2009). Física 1.
- Nitche, M. (2011). Protección Sísmica de Estructuras-Sistemas de Aislación Sísmica y Disipación de Energía Corporación de Desarrollo Tecnológico-Cámara Chilena de la Construcción.
- Paz, M. (2021). Dinámica Estructural: Teoría y Cálculo: Reverté. Tercera Edición. Barcelona
- Reyes, L. E. G. (1998). Dinámica Estructural Aplicada al Diseño Sísmico. Universidad de los Andes. Colombia



- Rodríguez, Á. (2007). Modelación estructural. Revista Facultad de Ingeniería UPTC.
- Roffel, A., Lourenco, R., Narasimhan, S., & Yarusyevych, S. J. (2011). Adaptive compensation for detuning in pendulum tuned mass dampers.
- Rojas Atachao, R. F. (2016). Control pasivo de vibraciones aplicado a la residencial” Las Dalias” mediante amortiguadores de masa sintonizada.
- Ruiz, M. C., & Díaz, E. B. (2015). Resistencia de materiales: CIMNE.
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., Lucio, P. B., Valencia, S. M., & Torres, C. P. M. (1998). Metodología de la investigación (Vol. 1): Mcgraw-hill México, DF.
- Santiago Prowald, J. B. (2000). Calibración de acelerómetros para la medida de microAceleraciones en aplicaciones espaciales. Aeronauticos,
- Sigcha, B. (2014). Modelo físico experimentales reducidos de estructuras de puentes de acero. Quito: Universidad Central de Ecuador.
- Sigcha Semanate, B. G. (2014). Modelos físicos experimentales reducidos de estructuras de puentes de acero (Puente en celosía sobre el río Muisne-Provincia de Esmeraldas).
- SKYCRAPER CITY. (2020, Agosto). Retrieved from <https://www.skyscrapercity.com/threads/cusco-en-ruinas-terremoto-de-1950.931992/>
- Suesca, Á. E. (2007). Modelación estructural para cargas sísmicas.
- Vicente, S. (2013). Establecimiento de un sistema de aseguramiento metrológico conforme a la norma NTE, ISO 10012:2007 para el laboratorio de calibración de instrumentos de longitud INEN. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.